TÜRKİYE 24. ULUSLARARASI MADENCİLİK KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI

14-17 NİSAN 2015 / ANTALYA

EDİTÖRLER

Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ Öznur ÖNEL Dr. Hakan BAŞARIR

Dr. Mehmet KARADENİZ Elif TORUN BİLGİÇ

TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

IMCET2015 / ANTALYA / TÜRKİYE / 14-17 NİSAN

TÜRKİYE 24. ULUSLARARASI MADENCİLİK KONGRESİ VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI

EDİTÖRLER
Dr. Mehtap Gülsün Kılıç
Öznur Önel
Dr. Hakan Başarır
Dr. Mehmet Karadeniz
Elif Torun Bilgiç

TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Mining Engineers of Turkey

Bu Kongre TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.
(Türkiye Bilimsel ve teknolojik Araştırma Kurumu)

Tüm hakları saklıdır © 2015

Kongrede yer bütün bildiriler Editörler tarafından bilimsel kurulda yer alan üyelerden en az ikisinin yaptığı değerlendirmeler dikkate alarak seçilmiştir.

Bildirilerin içeriği tamamen yazar/yazarların sorumluluğundadır ve Maden Mühendisleri Odası bu konuda herhangi bir yükümlülük taşımamaktadır.

Kongrede yer alan bildirilerin herhangi bir kısmının veya tamamının odanın yazılı izni olmaksızın ticari amaçlı olarak çoğaltımı, dağıtımı veya saklanması yasaktır.

ISBN: 978-605-01-0705-0

Baskı: TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Cad. 19/4 Kızılay-Ankara

Tel : +90 312 425 10 80
Faks : +90 312 417 52 90
www.maden.org.tr
maden@maden.org.tr

Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu

Başkan	: Ayhan YÜKSEL
II. Başkan	: Hüseyin Can DOĞAN
Sekreter	: Necmi ERGİN
Üyeler	: Mehmet ÖZYURT Mehmet ZAMAN Emre DEMİR Emra Ergüzeloğlu KARATAŞ

Kongre Yürütme Kurulu

Başkan	: Dr. Bülent TOKA
II. Başkan	: Dr. Mehmet KARADENİZ
Sekreter	: Niyazi KARADENİZ
Sayman	: Mehmet ÖZYURT
Üyeler	: M. Erşat AKYAZILI Nadir AVŞAROĞLU Dr. Hakan BAŞARIR Şadiye BENGÜ Elif TORUN BİLGİÇ Necmi ERGİN Pelin KERTMEN Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ Öznür ÖNEL Ali ÖNEMLİ Davut ÖZLEN Dr. Nejat TAMZOK Tuğba TOKER Muharrem TORALIOĞLU

Bilim Kurulu

Dr. A. Ekrem YÜCE
Dr. Abbas TAHERI
Dr. Abdülhadi Erdal ÖZDENİZ
Dr. Abdullah SEYRANKAYA
Dr. Abdurrahman DALGIÇ
Dr. Adem ERSOY
Dr. Agnieszka SUROWIAK
Dr. Agus Pulung SASMITO
Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI
Ahmet Güneş YARDIMCI
Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Dr. Ahmet ŞENTÜRK
Dr. Alaaddin ÇAKIR
Dr. Alaettin KILIÇ
Dr. Ali Ekrem ARITAN
Dr. Ali İhsan AROL
Ali ÖNEMLİ
Dr. Ali Osman YILMAZ
Ali Rıza KILIÇ
Dr. Ali SARIIŞIK
Dr. Ali UÇAR
Dr. Andre XAVIER
Dr. Antonio NIETO
Dr. Antonio ZUCCA
Asım KUTLUATA
Dr. Askeri KARAKUŞ
Dr. Ata Utku AKÇİL
Dr. Ataç BAŞÇETİN
Dr. Atilla CEYLANOĞLU
Dr. Ayhan KESİMAL
Dr. Aykut AKGÜN
Dr. Bahri ERSOY
Dr. Bahtiyar ÜNVER
Dr. Bayram ERÇIKDI
Dr. Bayram KAHRAMAN
Dr. Bekir GENÇ
Dr. Bern KLEIN
Dr. Bülent ERDEM
Dr. Bülent TOKA
Dr. Bülent TÜTMEZ
Dr. C. Okay AKSOY
Dr. Çağatay PAMUKÇU
Dr. Carlos Hoffmann SAMPAIO
Dr. Celal KARPUZ
Dr. Cem ŞENSÖĞÜT
Dr. Cenk GÜRAY
Dr. Çetin HOŞTEN
Dr. Çiğdem KELEŞ
Dr. Jan DRYZMALA
Dr. John MEECH
Dr. John STURGUL
Dr. Jörg BENNDORF
Dr. Kaan ERARSLAN
Dr. Kadri DAĞDELEN
Dr. Kemal BARIŞ
Dr. Kemal BİLİR
Dr. Kerim AYDINER
Dr. Kerim KÜÇÜK
Dr. Kevin BROWN
Dr. Kremena DEDELYANOVA
Dr. Ljudmilla BOKÁNYI
Dr. M. Erdinç BİLİR
Dr. M. Kemal ÖZFIRAT
Dr. M. Saim SARAÇ
Dr. M.Suat DELİBALTA
Dr. Mahmut PARLAKTUNA
Dr. Malcolm SCOBLE
Dr. Maria E. HOLUSZKO
Dr. Meftuni YEKELER
Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN
Dr. Mehmet KARADENİZ
Mehmet KAYADELEN
Dr. Mehmet KIZIL
Dr. Mehmet SARI
Dr. Mehmet TANRIVERDİ
Dr. Mehtap Gülsün KILIÇ
Dr. Melih GENİŞ
Dr. Melih İPHAR
Dr. Metin UÇURUM
Dr. Michael A. ZHURAVKOV
Dr. Mohan YELLISHETTY
Dr. Morteza Gholi OSANLOO
Dr. Murat ERDEMOĞLU
Dr. Murat KARAKUŞ
Dr. Mustafa AYHAN
Dr. Mustafa ÇINAR
Dr. Mustafa ÇIRAK
Dr. Mustafa Kemal EMİL
Dr. Mustafa KUMRAL
Dr. Mustafa ÖNDER
Dr. N. Erhan YAŞITLI
Dr. N. Metin CAN
Dr. Naci Emre ALTUN
Nadir AVŞAROĞLU
Dr. Nazife ERARSLAN
Necati YILDIZ
Dr. Necmettin ÇETİN

Dr. Cihan DOĞRUÖZ
Dr. Cyril O'CONNOR
Dr. Dee BRADSHAW
Dr. Deniz AYDIN
Dr. Deniz TUMAÇ
Dr. Didem EREN SARICI
Dr. Doğan KARAKUŞ
Dr. E. Yener YAZICI
Dr. E.İlknur CÖCEN
Dr. Eleonora WIDZYK-CAPEHART
Dr. Elizabeth MAKHATHA
Dr. Emin Cafer ÇİLEK
Dr. Emrah Tuğcan TUZCU
Dr. Ercan EMİR
Dr. Ercüment YALÇIN
Dr. Erdoğan KAYMAKÇI
Dr. Eren Caner ORHAN
Dr. Erhan ÇETİN
Dr. Erhan TERCAN
Dr. Erkan ÖZKAN
Dr. Erkan TOPAL
Dr. Erkin NASUF
Dr. Erol KAYA
Dr. Evren ÖZBAYOĞLU
Dr. F. Deniz ÖZTÜRK
Dr. Fatih BAYRAM
Dr. Ferdi CİHANGİR
Dr. Fikri KAHRAMAN
Dr. Giorgio MASSACCI
Dr. Givemore SAKAHUNI
Dr. Gökhan AYDIN
Dr. Graeme JAMESON
Dr. Gülay BULUT
Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU
Dr. Gülşen TOZSİN
Dr. Güneş ERTUNÇ
Dr. Gürcan KONAK
Dr. Güzide Meltem LÜLE
Dr. Güzin Gülsev UYAR
Dr. Hacı DEVECİ
Dr. Hakan BAŞARIR
Dr. Hakan TUNÇDEMİR
Hakkı ÖKTEM
Dr. Haldun KURAMA
Dr. Halil İPEK
Dr. Halil KÖSE
Dr. Hanifi ÇOPUR
Dr. Hasan ÇİFTÇİ
Dr. Hasan HACIFAZLIOĞLU
Dr. Hasan ÖZTÜRK
Dr. Hikmet SİS
Dr. Nejat TAMZOK
Dr. Niyazi BİLİM
Dr. Nuh BİLGİN
Dr. Nural KUYUCAK
Dr. Nuray DEMİREL
Dr. Nuray KARAPINAR
Dr. Nuray TOKGÖZ
Dr. Nuri Ali AKÇIN
Dr. Okan SU
Dr. Oktay BAYAT
Dr. Olgaç M. KANGAL
Dr. Ömürden GENÇ
Dr. Önder UYSAL
Dr. Osman SİVRİKAYA
Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU
Dr. Özcan GÜLSOY
Dr. Özgür AKKOYUN
Dr. Özlem BIÇAK
Dr. Özlem KAYA
Dr. Paul HAGAN
Dr. Petr SOLOZHENKIN
Dr. Phillip STOTHARD
Dr. Pier Paolo MANCA
Dr. Raj SINGHAL
Dr. Richard Minnitt ECON
Dr. Rudrajit MITRA
Dr. Sabiha KOCA
Dr. Sair KAHRAMAN
Dr. Sait KIZGUT
Dr. Savaş ÖZÜN
Dr. Seher ATA
Dr. Selamet G. ERÇELEBİ
Dr. Selçuk SAMANLI
Dr. Serhat AKIN
Dr. Serkan SAYDAM
Dr. Sevgi GÜRCAN
Dr. Şevket DURUCAN
Dr. Seyfi KULAKSIZ
Dr. Seyhan ÖNDER
Dr. Sezai ŞEN
Dr. Sinan Turhan ERDOĞAN
Dr. Suphi URAL
Dr. Taki GÜLER
Dr. Tarkeshwar KUMAR
Dr. Tevfik GÜYAGÜLER
Dr. Tolga DEPÇİ
Dr. Tomasz NIEDOBA
Dr. Tuğrul ÜNLÜ
Dr. Tuncay USLU
Dr. Tuncel YEGÜLALP
Dr. Turan BATAR

Dr. Hürriyet AKDAŞ
Dr. Hüseyin ANKARA
Dr. Hüseyin YAVUZ
Dr. İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ
Dr. İbrahim ALP
Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU
Dr. İbrahim OCAK
Dr. İbrahim ONUR
Dr. İbrahim UĞUR
Dr. İhsan ÖZKAN
Dr. İhsan ÖZTÜRK
Dr. İlgin KURŞUN
Dr. İlkay Bengü ÇELİK
Dr. İlker ACAR
Dr. İlknur EROL
Dr. Irena GRIGOROVA
Dr. İrfan Celal ENGİN
İrfan GÜVEN
Dr. İsmail BENTLİ
Dr. Ivan NISHKOV
Dr. İzzet KARAKURT
Dr. Turgay ONARGAN
Dr. Türker HÜDAVERDİ
Dr. U. Gökhan AKKAYA
Dr. Uğur DEMİR
Dr. Uğur ÖZBAY
Dr. Uğur ULUSOY
Dr. Ümit ATALAY
Dr. Ümit ÖZER
Dr. Vedat ARSLAN
Dr. Vedat DENİZ
Dr. Vedat DİDARİ
Dr. Vladimir E VIGDERGAUZ
Dr. Volkan BOZKURT
Dr. W. Scott DUNBAR
Dr. Yadigar Vasfi MÜFTÜOĞLU
Dr. Yakup UMUCU
Dr. Yaşar KASAP
Dr. Yaşar KİBİCİ
Dr. Zekeriya DURAN
Dr. Zeki KARACA

SUNUŞ

Yapısı ve sorunları her zaman tartışma konusu olan ülke madenciliğinin, Cumhuriyet'in kuruluşundan sonraki tarihsel gelişimine bakıldığında, sorunların çözümünde önemli bir yer tutması gereken bilimsel etkinliklerin geçmişinin ancak 1960'lı yıllara kadar uzanabildiği görülür. Genç Cumhuriyet'in toplumsal ve siyasal bakımlardan çalkantılı bir dönemden geçtiği yıllardır 1960'lar. Sanayileşebilmek adına uğraşı verilmektedir, ama hedeflerden hayli uzakta kalınmıştır. Onun itici gücü olması gereken ülke madenciliğiyse, çözüm bekleyen çok yönlü sıkıntılar içindedir. Dolayısıyla, öncelikle madenciliğin kuvvetli hamlelere, buna koşut köklü değişimlere ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Bu görev, büyük ölçüde madencilere düşmektedir. Bu bilinçle, 1969'da, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nca "Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi" adı verilen, ulusal çapta bir etkinlik düzenlenerek, ilk kez, bir araya gelinir.

Yola çıkılırken, biri Türk madenciliğine, diğeri, takip eden yıllarda gerçekleştirilecek kongrelere dönük olmak üzere, iki temel hedefin konulduğu anlaşılmaktadır. Bir tarafta, etkinliğin gelenekselleşmesi, niteliğinin yükseltilmesi ve uluslararası boyuta taşınması, diğer yanda ise, sorunların neler olduğunun saptanması, bilimsel-teknik temellere dayanan çözümler üretilmesi ve tabii ki yer bilimleri alanında yetişmiş olan genç mühendislerin mesleki gelişimlerinin desteklenmesi vardır.

Böyle başlamıştır, geride bırakılan 46 yılın hikâyesi. Belki uzun değildir, ama çetin ve mücadelesi bol bir yoldur geçilen. Başlangıcından günümüze değin, kongrelerimiz, düzenlendiği yılların şartları altında, kimi zaman küçük inişler gösterse bile mercek altına alındığında, kısa bir zaman diliminde, göz ardı edilemeyecek bir gelişme kaydetmiştir. Öyle ki, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın gönüllü kadroları, gösterdikleri yoğun, fedakârane çabalarla, katılım kısıtlı çerçevede kalsa da, henüz daha 1973'de, faaliyetlerine, "uluslararası katılımlı" kimliği kazandırmışlardır. Etkinlik, istisnasız her iki yılda bir tekrarlanarak sürdürülmüş ve nihayet, hedeflerden birine daha ulaşıldığı kanaatiyle, 17.'sinin yapıldığı 2001'de adı, "Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi" olarak değiştirilmiştir.

Tabii ki, ortaya konan gayret her türlü övgüye değer, ama burada, teknolojinin oynadığı rol de hatırda tutulmalıdır. Bilindiği üzere, bilhassa, 90'lı yıllardan itibaren iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, kısa zaman içinde daha geniş coğrafyalara ulaşım bir hayli kolaylaşmıştır. Bunlar, etkinliğin bilimsel, toplumsal, kültürel niteliklerinin olabildiğince yukarı çekilmesini ve uluslararası tanınırlığını kolaylaştırmakla birlikte, sözü edilen özelliklere bürünme zorunluluğunu da beraberinde getirmiştir. Bundan ötürü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, ülkemiz madenciliğinin bu en büyük etkinliğine kurumsal bir yapı kazandırmayı ve onu gerçek manada küresel boyuta taşımayı hedeflemektedir. Nitekim 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, bu yönde güçlü adımlar atıldığının açık bir göstergesi olarak gerçekleştirilmektedir. Kongremiz kapsamında düzenlenen oturumlarda bilimsel, teknik ve toplumsal konular işlenirken, madencilik sektöründeki yeni teknolojik ürünler ve gelişmeler sergilenmiştir. Dünyanın değişik yerlerinden akademisyenlerin, mühendislerin, yöneticilerin, danışmanların, yatırımcıların, sanayi uzmanlarının, tedarikçilerin bir araya getirilmesine vesile olunan etkinlikte sosyal ve kültürel etkinlikler, tur ve saha gezileri, delegeler arasında ortak girişim ve paylaşım adına yeni fırsatlar yaratılmıştır. Hedeflenen amaçlar doğrultusunda; paylaşılan sözlü ve poster sunumlar, sağlanan geniş katılım geleceğe dair umutları arttırmıştır.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu ve Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Yürütme Kurulu olarak, başta 1954 yılından itibaren Odamızı ve

Kongremizi bugünlere taşıyanlar olmak üzere, Kongremizin düzenlenmesinde emeği geçenlere, bildiri ve sunum hazırlayan bilim insanlarına, etkinliğin bilimsel niteliğini yükselten Bilim Kurulu üyelerine, yönetimleriyle katkı koyan oturum başkanlarına, Kongremize desteklerini esirgemeyen tüm kurum ve kuruluşlara içten teşekkür ederiz.

TMMOB
Maden Mühendisleri Odası
44. Dönem Yönetim Kurulu

Türkiye 24. Uluslararası
Madencilik Kongresi ve Sergisi
Yürütme Kurulu

İÇİNDEKİLER

MADENCİLİK TARİHİ, EĞİTİMİ, POLİTİKALARI VE ENERJİ

Çatalhöyük'den Hititler'e Anadolu'da Madencilik
Ö. Günay 2

Madencilik Uygulamalarının Yasal Zemininde İyileştirme Beklentileri
T. Tufan 11

Madencilikte Ne Kadar Dışa Bağımlıyız?
M. Köse ve V. Oygur 17

Şırnak Asfaltitlerinin Önemi
Ö. Bilgin, S. Kantarcı 27

Uludere Asfaltitlerinin Değerlendirilmesi
R. Kocaman, B. Bilgen, ve B. Kocaman 33

Lisansüstü Eğitimde Madenciliğe Yönelik Hazırlanan Ulusal Tezlerin Niceliksel Değerlendirmesi
İ. Özkan 42

Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitiminin Analitik Serim Süreci ile Analizi
M. Yavuz 56

Yer Altı Madenciliğinde Simülasyonla Eğitim Verilmesi: Yer Altı Maden Eğitim Simülasyonu
M.O. Kaya, M. Aktaş, ve A. Sağır 63

Yeraltı Mekanize Metal Madenciliği Uygulamalarında Vardiya Amiri Eğitimi
İ. Türkmen 70

İŞ GÜVENLİĞİ VE İŞÇİ SAĞLIĞI

Bir Mermer Ocağında Güvenlik Kültürü Matrisi Çalışması
A.R. Ergun, S. Gürler, ve M. Çobanoğlu 76

Cenne Kömür İşletmeleri Tahlisiye Merkezi ve Eğitim Çalışmaları
A. Hadi Özdeniz ve S. Alemdar 83

Elmeri Yönteminin Mermer Fabrikalarında Uygulanabilirliği
H. Sarıkaya ve R. Altındağ 90

Geçmişten Günümüze Madenlerde Kazalar ve İş Güvenliği
Y. Yiğiter 97

İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
Y. Aslantürk 108

Kuvars İşletmesi'nde Tozlu Ortam Hava Kalitesinin Pnömatik Taşıma Sistemi ile İyileştirilmesi
A. K. Çakır ve N. Çetin 113

Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri: Ölçümü ve Değerlendirilmesi
T. Doğan, B. Erdem, ve Z. Duran 119

Yer Altı Madenciliğinde ATEX 94/9/AT Yönetmeliği Uygulamaları
S. Kahraman ve N. Karabakal 133

Yürüyen Tahkimatların Kullanımında Risk Değerlendirmesi
M. E. Yetkin, M. K. Özfırat, F. Şimşir, ve B. Kahraman 141

MADENCİLİKTE RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE YÖNETİMİ

Kütahya/Gediz Yöresinde Faaliyet Gösteren Bir Taş Ocağının Risk Değerlendirme Raporunun İncelenmesi
S. Samanlı, Ö. Öney, H. Çelik, Y. Can, R. Yılmaz, ve M. Alsancak 149

Risk Değerlendirmesi Ne Değildir (Madenlerde) Risk Değerlendirmesi Nasıl Olmalıdır.
Y. Yiğiter 162

Teknolojik Kazalar ve Risk Algısı
A. Bilgin, M.A. Alkan, D. Bağla, B. Kurada, M.F. Şen, Ö. Çağlar, O. Güleşen, A.T. Okşin, ve E. Tanriverdi 170

TKİ'ye Bağlı Açık İşletme Kömür Madenlerindeki İş Günü Kayıplı İş Kazalarının Aşamalı Loglineer Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi
M. Önder, M. Mutlu, E. Adıgüzel, ve S. Önder 178

MADEN ARAMA ÇALIŞMALARI, MADEN JEOLOJİSİ VE JEOİSTATİSTİK

Açık Ocak ve Yer Altı Maden Projelendirme Süreçlerinde Teknolojik ve Bütünleşik Yaklaşım
T. E. Toptaş 191

Jeofizik Kuyu Loglarının Madencilikte Kullanım Olanakları
G. Çakmakcı 203

Porfiri Altın Sisteminde Tenör Kontrol ve QA/QC Uygulamaları - Kışladag Altın Madeni Örneği
Y.Öztaş ve A.Beliceli 215

Uzaklığa Bağlı İlişkiyi Kullanan Regresyona Dayalı Bir Algoritmayla Mineral Kaynaklarının Değerlendirilmesi
S. Çoban ve B. Tütmez 222

Yüzey Modelleme Teknikleri ve Bir Kömür Yatağına Uygulanması
A.C. Özdemir, A. Dağ, ve B.A. Mert 229

KAYA MEKANİĞİ VE JEOTEKNİK UYGULAMALAR

Jeoteknik Uygulamalar
Ş. Aliyazıcıoğlu, K. Karaman, A. Kesimal, F. Cihangir, ve B. Erçıkdı 242

Doğal Taş Ocaklarında Süreksizliklerin Blok Alma Verimine Etkisi
M. Yetkin, A. H. Deliormanlı, ve B. Yavuz 249

Küre Bakır Madenindeki Tesis ve Baraj Atıklarının Macun Dolgu Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi
B. Erçıkdı, F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci, A. Tezcan, K. Küçükateş, F. Enisoğlu, ve V. Karaoğlu 256

Macun Dolguda Duraylılığın Mikroyapısal Değerlendirmesi
F. Cihangir, B. Erçıkdı, A. Kesimal, H. Deveci, S. Ocak, ve Y. Akyol 266

Ocak Yangınları ve Tasman İlişkisi: Zonguldak Taşkömürü Havzasında Deneysel Uygulama
H. Akçın, A. Çakır 283

Sayısal Modelleme Yöntemiyle RMR Sistemince Önerilen Tahkimat Sistemlerinin Analizi
E. Karakaplan ve H. Başarır 296

Spesifik Enerji Değerinin Çoklu Regresyon Yöntemi ile Tahmin Edilmesi
S. Yaşar, A.O. Yılmaz, ve M. Çapik 304

Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık Indeksi Deneyinde Eşdeğer Boyutlu Küresel Örneklerin Saklanma Koşullarının Deney Sonuçları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması
Y. Keser ve Ö. Uysal 312

Şırnak Kömür Madeniz Atık Marn-Şeyl Yığınlarının Jeoteknik Reklamasyon Değerlendirmesi
Y.İ. Tosun 321

Ultrasonik P- Dalga Hızı Yöntemi ile Macun Dolgu Dayanımının Tahmini
T. Yılmaz ve B. Erçıkdı 333

MADEN TASARIMI, MODELLEME VE OPTİMİZASYON

Bala-Aşıkoğlu Alçıtaşı Yataklarında Taşocak İşletmeciliğinden Maden İşletmeciliğine Geçiş
Y.İ. Yahşi ve S. Kulaksız 343

Optimum Yeraltı İşletme Kapasitesinin Belirlenmesinde Net Bugünkü Değer Yöntemi
T. Mallı, H. Köse 356

Soma Eynez Kömür Sahası İçin Farklı Bir Üretim Yöntemi Önerisi
B. Ünver, M.A. Hindistan, A.E. Tercan, G. Ertunç, M.S. Ünal, S.Y. Kıllıoğlu, ve F. Atalay 363

CBS VE TOPOGRAFYA UYGULAMALARI

Açık Maden Ocaklarında Oluşan Şev Duraysızlıklarının İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin (TLS-LiDAR) Kullanımı
M.V. Özdoğan ve A.H. Deliormanlı 373

GPS/CBS Tabanlı Üretim Takip Programının Geliştirilmesi ve Madencilikte Kullanımı: Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi Örneği
B.A. Mert, A. Dağ, ve A.C. Özdemir 381

Kritik Altı Uzunayak Panoları İçin Tasman Analizi: Tire Linyit Sahası Uygulaması
H. Akçın, T. Ünlü, N.A. Akçın, ve C. Başaran 393

Madencilik Faaliyetleri için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Çevresel Bir Uyarı Sistemi
G. Akbaş 403

Madencilikte Kadastro ve Mülkiyet Bilgi Sistemi Çalışmaları
A. Kavcı 408

Oda-Topuk Üretiminde Tasman Analizi: Tire Linyitleri İçin Uygulama
Ö. Yılmaz, H. Akçın, T. Ünlü, N. A. Akçın, C. Başaran 412

Tunçbilek Linyit Sahasında Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Açık Ocak Tasarımı
M.Yurdakul 423

Yersel Lazer Tarama: Taş Ocakları Uygulamaları
A.H. Deliormanlı, M.V. Özdoğan, H. Yenice, D. Karakuş, ve E. Yalçın 430

YENİLİKÇİ MADENCİLİK YÖNTEMLERİ

Okyanus ve Denizaltı Madenciliğine Kısa Bir Bakış
A. Ehsani, A. Kesimal 436

DELME PATLATMA, SONDAJ TEKNOLOJİLERİ VE MEKANİZASYON

Açık Ocak Patlatmalarında Toz, Hava Şoku, Gürültü, Titreşim ve Taş Fırlamasının Bir Bilgisayar Yazılımı ile Değerlendirilmesi
Z. Duran, B. Erdem, ve T. Doğan 449

Açık ve Kapalı Mod TBM'lerin Performans Karşılaştırması: Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu Örneği
İ. Ocak, H. Eker, R. Aslan, S. Martinoğlu, M. Namlı, ve A. Pekin 463

Küre Yeraltı Projesi, Mekanize Kuyu Açma Uygulamalarında Raise Boring Operasyonları
F. Yazar, S.Ö. Koç, ve K. Küçükateş 468

Matkap Aşınmaları ve Eşdeğer Kuvars İçeriği
M. Çapik, A.O. Yılmaz, S. Yaşar, ve İ. Çavuşoğlu 474

Patlatma İşlemlerinde Malzeme Yükleme Maliyetinin En Az Olmasını Sağlayan Matematiksel Bağıntının Geliştirilmesi
A. Tosun, G. Konak, A.H. Onur 482

Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın KuzRam Modeli İle Değerlendirilmesi
T. Hüdaverdi ve Ö. Akyıldız 488

Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Yeraltı Yapılarına Etkisinin Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma
T. Öngen, Ç. Pamukçu, M.V. Özdoğan, A.H. Deliormanlı, ve D. Karakuş 494

Silvan Tünel Projesi ve Karşılaşılabilecek Problemler
D. Aydın ve M. Çoğalan 504

Şev Duraylılığı Açısından Kontrollü Patlatma Teknikleri: Bursa Orhaneli Linyit Sahası-Gümüşpınar Sektörü Çalışması
G.G. Uyar, B. Kaypak, ve C.O. Aksoy 509

TBM Kullanılarak Tünel Açmada Karşılaşılan Zorluklar: Silvan Tüneli Örneği
M. E. İnal ve N. İnal 521

Trabzon Akyazı Tünelindeki Kazı ve Tahkimat Uygulamaları
G. Külekçi, A. O. Yılmaz, T. Yılmaz, ve B. Özyazıcı 529

Dizel-Elektrik Güç Aktarımı ve Yükleyicilerde Uygulaması
M. Özdoğan, H. Özdoğan, ve Ö. Güngör 541

Delik Dibi Tabancaların Dizayn Farklılıklarının Delme Maliyetlerine Etkisi
E. A. Kantarcı, B.Ergener 550

Planlanan Delgi Paterninin Sahaya Uygulanması ve Operasyon Maliyetlerine Yansıması
E. A. Kantarcı, G.B. Buyurgan 557

MADEN HAVALANDIRMA, METAN VE KAYA GAZI

Bir Yeraltı Kömür Ocağında 3 Boyutlu Havalandırma Analizi
S.C. Özer, A. Fişne, G.G. Uyar, ve C.O. Aksoy 566

Bir Yeraltı Kömür Ocağında Ocak Havası Sıcaklığının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi
M. Altun ve A.H. Özdeniz 572

Çayırhan Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmasının İncelenmesi
A.H. Özdeniz ve E. Kuzoluk 579

Çayırhan' da Uzun Galerilerin Tali Havalandırması
E. Kahraman ve C. Sığırcı 583

Farklı Geometrik Boyutlardaki Kömür Yığınlarının Kendliğinden Yanmasının İncelenmesi
C. Kamacı ve A.H. Özdeniz 593

Kömür Yüzey Renginin Kömür Yığınlarında İçsel Isınmaya Etkisi
K. Doğan ve A.H. Özdeniz 600

Madenler İçin Tasarlanmış Yaşam Galerileri
M.Çelik 605

TTK Armutçuk Müessesesi Büyük Damar Gaz İçeriğinin Doğrudan Ölçme Yöntemiyle Belirlenmesi
V. Didari, M. Oskan, ve K. Barış 610

TTK Ocaklarında İşletilebilir Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi
S.C. Özer, O. Esen, A. Fişne, ve Ö.A. Ergenekon 620

Çayeli Bakır'da Yeraltı Havalandırma Sistemi ve Yenilikçi Çözümler
Z.C. Yavaş, H. Kartoğlu, ve M. Güreşçi 630

Yeraltı Kömür Ocaklarında Gaz İzleme Ağları Sensör Ölçümlerinin ve Konumlarının Doğruluğunun Analizi: TTK Kozlu Müessesesi
Y. Aydın ve K. Barış 640

Elektromanyetik Csamt (Akım Çıkış Kaynağı Kontrollü Manyetotellürik)Yöntemi İle Jeotermal Sahanın İki Boyutlu Model Çözümü
D. Batum ve A. Üçer 653

KÖMÜR VE KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ

Farklı Su Tipleri ve Donma-Çözülmenin Mermer Dayanımı Üzerinde Etkisi
S. Beyhan ve A. Özgür 658

Kömür Öğütme Devresinde Değirmen Giriş ve Çıkışı Kükürt Farklılığının Nedenlerinin Araştırılması
B. Kolukısa, M. G. Kolukısa, ve Y. Umucu 663

Kömürün Hidrofobik Flokülasyonu ve Bazı Parametrelerin Etkisi
S. Düzyol 669

Malatya-Arguvan Linyitlerinin Gravite Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi
A. Aksoğan Korkmaz, İ. Bentli, H. Sis 676

Selimoğlu (Divriği-Sivas) Linyitlerinin Yıkanabilirliği
M. Birinci ve H. Sis 682

Yüksek Kül-Kükürt İçerikli Toz Boyutlu Kömürün Flotasyon ile Temizlenmesi
E. Şahinoğlu 689

Yüksek Kül-Kükürt İçerikli Toz Kömürün Farklı Yağlar ile Aglomerasyonu
E. Şahinoğlu ve T. Uslu 694

ENDÜSTRİYEL HAMMADELER VE KIYMETLİ METALLER

Batı Toroslar, Beydağları Otoktonu Mermer Yatakları
N. Kun ve M. Kun 701

Bazı Doğal Taşların Farklı Koşullar Altında Dayanım Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi
D. Akbay, N. Şengün, S. Demirdağ, R. Altındağ, ve İ. Uğur 710

Borlu Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
H. Sarıkaya ve R. Altındağ 718

Farklı Doğal Taşların Isıl Yalıtım Performanslarının Değerlendirilmesi
M. Kun ve B. Tufan 725

Farklı Olivin Cevherlerinin Yıkanabilirliğinin Araştırılması
Y. Umucu, A. Hatipoğlu, B. Tamgüç, T. Tunay, V. Deniz, Ş. Caran, ve R. Dakduklu 732

Farklı Ortam Koşullarında Çarpma Dayanımı ile Kireçtaşlarının Performanslarının Araştırılması
G. Sarıışık, E. Özkan, ve A. Şentürk 737

Granit Numunelerin Yüksek Sıcaklıklarda Fiziko-Mekanik Özelliklerindeki Değişimin İncelenmesi
A. Sakcalı, H. Yavuz, ve H. Cevizci 750

Kapadokya (Nevşehir) Bölgesi Volkanik Tüf Tozları ile Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi
İ. Çınar, C. Şensöğüt, ve M. Sınıksaran 757

Kireçtaşlarında Kayma Direnci ve Yüzey Pürüzlülüğünün Kayma Potansiyeline Olan Etkisinin İncelenmesi
G. Coşkun, A. Sarıışık, G. Sarıışık, ve H. Akdaş 765

Kolemanit Atıklarının Mekanik Hücre, Flotasyon Kolonu ve Jameson Hücresiyle Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması
A. Uçar, O. Şahbaz, ve B. Öteyaka 775

Mermer İçeren Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
H. Sarıkaya 783

Mermer, Bej ve Traverten Bloklarında Plaka Veriminin Ultrasonik Ölçümlerle Analizi
A. Sakcalı, H. Yavuz, ve Ş. Şahin 790

Mikrodalga ile Isıtma, Toplayıcı ve Köpürtücünün Düşük Ranklı Kömür Flotasyonuna Etkisinin İstatistiksel Analizi
O.Yılmaz, O. Şahbaz, A.Uçar, ve M. Çınar 796

Renk Parametreleri (L*,a*,b*) Kullanılarak Mikronize Öğütme Tesisinin İstatistiksel Proses Kontrolü
M. Uçurum 802

Serçeören Vollastoniti ve Üretim Yönteminin Ekonomik Analizi
B. Haner, S. Haner, ve Ö. Elitok 810

Trabzon İli Araklı İlçesi Kaymaklı Köyünden Alınan Kireçtaşı Örneklerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması
A.O. Yılmaz, E. Koç, ve D.D. Şahin 820

Türkiye'deki Mermer Sektörü Sorunlarının Tespit Edilip Analitik Hiyararşi Prosesi Yöntemi İle Önceliklendirilmesi
E.B. Baylan 825

Orta Karadeniz Bölümü Çimento Hammadde Potansiyelinin Araştırılması
Survey of the Central Black Sea Region Cement Raw Materials Potential
A.V. Korkmaz , H. Hacıfazlıoğlu 835

CEVHER HAZIRLAMA TESİS TASARIMI VE ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kalsiyum Karbonat (CaCO3) Mineral Dolgu Özelliklerinin Geliştirilmesinde Ultrasonik Enerjinin Etkisi
Ö.Y. Toraman ve H. İnal 848

Klinker Öğütmede Küresel ve Spherodial Tetrahedronal Bilyaların Karşılaştırılması
U. Malayoglu ve V.T. Engin 857

Demir Cevherinin Peletlenmesi ve Türkiye'de Demir Cevheri Madenciliği
N. Yıldız ve Ö. Özal 864

Kromit Zenginleştirme Tesis Atıklarından Kromit Geri Kazanımında Knelson Konsantratörü Çalışma Parametrelerinin Araştırılması
T. Kıyak ve C. Karagüzel 877

Sünger Demir Üretimi (DRI)
Ö. Özal ve N. Yıldız 884

Krom Cevherinin Yıkanma Sürecinde Oluşan Atık Malzemenin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ve Maden Alanlarının Rehabilitasyon Sürecinde Kullanım Potansiyelleri
T. Dindaroğlu, S. Ata, ve R. Kaya 892

Altın Madeni Değirmeninde Kullanılan, Mangan Kaplama Malzemeleri Kullanımından Kauçuk Astar-Lifterbar Kullanımına Geçişinin İşletmecilik Ve Ekonomik Açıdan İrdelenmesi
G. Yargül, O. Oktay, A. Besnili, ve K. Kolbakır 897

Fosfat Cevherinin Ters Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi
U. Çınar, O. Güven, ve M.O. Kangal 904

Madencilikte Kristalizasyon Yöntemi ile Kaynak Tuzu Üretimi
S.S. Tanrıkulu 910

Anyonik ve Katyonik Türü Toplayıcı-Ortoklaz Etkileşiminin Yüzey Gerilim Ölçümleri ile Belirlenmesi
S. Özün ve Ş. Ulutaş 916

HİDROMETALURJİ VE BİOHİDROMETALURJİ

Çayeli Bakır Cevherinin Liçine Sıcaklık ve Sürenin Etkisi
M. Kartal, S. Demirel, A. Alp, A.O. Aydın, ve H. Gül 923

Çayeli Sülfürlü Bakır Cevherinin Direkt Liçine Mekanik Aktivasyon ve Yükseltgeyicinin Etkisi
M. Kartal, S. Demirel, M. Uysal, A. Alp, ve A.O. Aydın 929

Kavurma-Asit Liçi Yöntemi ile Kalkopirit Konsantresinden Bakırın Kazanılması
N. Bahar ve H. Yoğurtçu 935

GERİ KAZANIM

Atık Baskılı Devre Kartlarının Ekonomik Potansiyeli ve Çevresel Karakterizasyonu
E.Y. Yazici ve H. Deveci 941

Yeraltı Delme Uygulamasında Bit Kullanım Ömürlerinin Arttırılması
Y. Dönmez 952

MADENCİLİK VE ÇEVRE

İskenderun Demir Çelik (İSDEMİR) Çelikhane Cüruflarının Değerlendirilme Olanakları
Y. Erdogan ve R. Eren 962

Kömür Açık İşletmelerinde Şev Duraysızlıkları ve Etki Sahasının Belirlenmesi
M.S. Delibalta 969

Afşin – Elbistan Kömür Havzasının Yeraltı Suyu Potansiyeli ve Susuzlaştırma Çalışmaları Açısından Değerlendirilmesi
C. Taştekin, E. Ata ve M. Erkasap 978

Asit Maden Drenajı Karakterizasyonu ve Uygulamaları
K. Kahramanoğlu, M.M. Taşkın, ve Ş. Özdemir 987

Karbonatlı Formasyonlardaki Gizli Riskler Ve Çözüm Önerileri
M. Çelik ve C. Bozok 999

Madencilik Faaliyetleri ve Çevresel Etki Değerlendirme Kararlarının Değerlendirilmesi
A. Bilgin 1004

Madencilik Faaliyetlerine Ait Çevresel Etki Değerlendirme Raporlarında Kümülatif Etki Kavramı
E. Doğutepe 1011

Şırnak Kömür Madeni Atık Marn-Şeyl Yığınlarının Zirai Tarım Alanı Olarak Rekültivasyonu ve Çevre Etki Değerlendirmesi
Y.İ. Tosun 1018

Metal Madenlerinden Üretilen İnce Taneli ve Sülfürlü Atıkların Yerüstünde Güvenilir Olarak Depolanabilirliğinin İncelenmesi
A. Başçetin, O. Özdemir, S. Tüylü, D. Adıgüzel 1028

Madencilik Tarihi, Eğitimi, Politikaları ve Enerji

Çatalhöyük'den Hititler'e Anadolu'da Madencilik
From Çatalhöyük to Hittites Mining in Anatolia

Ö. Günay
Serbest/Maden Müh-Hukukçu

ÖZET Anadolu'da yaşayan insanlar, MÖ 10.000 de avcılık-toplayıcılık aşamasının ardından, tarım aşamasına evrilerek, tarımla toprağa bağlanıp yerleşik düzene geçmişler ve bu tarihten itibaren de madencilik yapmaya başlamışlar. Bu çalışma ile Anadolu'da, yerleşik düzene geçen tipik bir neolitik(yeni taş) çağı medeniyeti olan Çatalhöyük'le; yine bronz çağı tipolojisine uygun bir medeniyet olan Hititleri karşılaştıracağım.

Çatalhöyük günümüzden 9000;Hititler ise 3000 yıl önce yaşamışlar. Aralarında 6000 yıllık bir fark var. Bu medeniyetlerle ilgili genel bilgiler ışığında madencilik özelini incelemeye çalışacağım. Karşılaştırma ise daha çok, madenciliğin nasıl, ne için, kimler için madencilik "sorularına cevap aramaya çalışacağım. Amacım kural üretmek, genellemeler yapmak değil; madencilik tarihinde bir tartışmayı başlatmak amacını gütmekteyim. Anadolu'da madenciliğin üretim şekli temel konu. Anadolu'da madencilik üretimi hangi değişkenlere bağlı olarak değişmiştir sorusuna cevap aramaya çalışacağım.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, Çatalhöyük, Hitit

ABSTRACT In B.C. 10.000, people who lived in Anatolia followed the path from hunting and collecting to tie up to the soil by agriculture and adopted the sedentary life. Thus, with the settled life simultaneously, the mining began. In this study, I will compare the two civilization which are known as a typical neolithic age civilization Çatalhöyük and a typical bronze age civilization Hittites.

Çatalhöyük lived 9.000 years and The Hittites lived 3.000 years from now and there is a 6.000 years gap between them. I will try to implement general information about these civilizations specifically on mining and will continue to compare by seeking answers to the questions such as how does the mining work,what does it serve for and to whom does it serve for.

In this study, it is not aimed to make a rule or generalization but to provide material for discussion on mining. The main topic is production type in Anatolian mining. It is being looked for the parameters influence or change the production types in Anatolian mining.

Keywords: Mining, Çatalhöyük, Hittites

1 MADENCİLİK TARİHİ NEDEN YAZILMALIDIR ?

ODTÜ Felsefe Bölüm Başkanı Ahmet İnam ,zaman konusunda , zamanın ,geçmiş,şu an ve gelecek olmak üzere üç boyutlu olduğunu , her ne kadar "Şu an diye bir şey yoktur, şu an dedigimizde bile geride kalmıştır " görüşünde olanlar var ise de, zamanın üç boyutlu olduğu fikrini benimser. "Gelecek korkusu veya geleceğe boşvermişlik tavrı ile birleşince, üç boyutlu zaman, bir boyuta, şimdiye indirgenmeye çalışılır. İnsan kendini şimdide sıkıştırır. Tarihi ve geleceği olmayan bir insan çıkar karşımıza. En azından iki kez yoksullaştırılmış bir varlık! Tarihi ve geleceği elinden gitmiş, cılızlaşıp, insan gibi insan olabilme olanağını yitirmiş bu insana tarih boyunca rastladığımız gibi, çağımızda da her an karşımıza çıkma olasılığı yüksek. ("Şimdi"nin mengenesine

sıkışmış, zaman yoksulu,aç gözlü insan):"(İnam,2015,Tarih Geleceğe Yazılır).

Katıldığım bu görüş nedeni ile insan, geçmişi, şu anı ve geleceği ile insandır. Bu da insana ait, insanla ilgili bir özelliktir.

Şimdiye sıkışmış tek boyutlu insanın yanında, geçmişe sıkışmış, şimdide çırpınan iki boyutlu bir varlığa da insan denir. Geçmiş bir "sürūr-u iyd" olarak algılandığı için "orada" kalmak, geçmişi şimdiye taşıyıp, şimdide durarak, geçmişin keyfini çıkarmaya uğraşan bu çabada, insan gelecekle ilgilenmediği, geleceğe kendini kapadığı için yine yoksuldur. Şimdiye sıkışıp, gözlerini geçmişe çeviren bakışta da, abartılan, özlemi duyulan ama şimdileştirilemeyen bir hal yaşarız, buna alışılan gelen deyimiyle "nostalji" diyoruz.

İnsan için,bu üç boyutlu zamanda gelecek boyutu "endişe" doludur. Bu endişesini ortadan kaldırabilmek için falcılıktan tutun da, yapay zekâ uygulamalarına kadar bütün yöntemleri deneyebilir. En tutarlı meteorolojik tahminlerimiz halâ üç günlük süreyi kapsıyor. Bütün teknolojik imkânları kullanmamıza rağmen rezerv tahminlerimiz de hala yüzde otuz hata payı var. Daha uzun süreli meteorolojik tahminler, daha az hata payı olan rezerv hesaplama yöntemleri üzerinde kafa yoruyoruz.

Bütün bunlar içinde geçmişte ki verileri ve bilgileri esas alıyoruz. Benzer yöntemle, bugünün madenciliğini bilmek ve madenciliğin geleceğini kurabilmek için geçmişi hatırlamakta fayda var.

2 TANIMLAR, VARSAYIMLAR, YÖNTEM

Maden tanımında ki varsayımım, doğada kullanabileceğimiz (ekonomik değeri olan değil) insan emeği ile değişime uğrattığımız her türlü nesnedir. Maden tarihçilerinin bir kısmı maden tarihi denince yalnız metal madenleri esas kabul ediyorlar. Bu tanım eksik bir tanım olduğunu düşünüyorum. Madencilik tanımını :"Madenle yapılan her türlü eylem türü, düşünsel olduğu kadar, fiziki bir eylemde olabilir." şeklinde yapıyorum.

Çalışmamın temel varsayımlarından en önemlisi elbette ki zaman açısından çok geriye gitmemiz ve o dönemle ilgili elde edilen veriler ve elde edilen verilerin yorumlanması ile ilgili bilgilerin görece az olmasıdır. Yorumlarımın çoğu, elde edilmiş az sayıda bulgulara ve bunlara yapılan yorumlara dayanmaktadır.

Maden mühendisliği, somut verilere dayanır, veriler denenebilir sınanabilir. Benzer yöntemler kullanıldığında belirsizlik sınırları içinde benzer sonuçlar alınır. Ancak tarih yazımı ise büyük ölçüde yoruma dayanır. Yorumu yapanın eğitimi, kültür seviyesi, psikolojik durumu ve ideolojisi ile değişebilir. Oysa tarih yazımı, var olan bulgulara yapılan yorumlardır. Kişinin eğitimine, düşünce biçimine, psikolojisine, varsaydığı statüye göre değişebilir. Dolayısıyla çalışmamın bu varsayıma da dayandığını ifade etmem gerekir.

Varsayımlarımın sonuncusu ise, Anadolu madencilik kültüründe, farklı dönemlerde gelişmeler, genel değişime uygun olarak kendi iç dinamikleri ile değil; daha çok dış etmenlerle, önemli kültürel ve yapısal değişim süreçleri yaşadığı, her defasında, dışarıdan gelen kültürel etkinlikler, Anadolu'nun madencilik kültürünü de etkilediği, karıştığı ve yeni sentezler ortaya çıkardığı yönündedir.

3 ANADOLU'DA MADENCİLİK

3.1.Çatalhöyük

Çatalhöyük**,** Konya Şehri'nin 52 km. güney doğusunda,Hasandağı'nın yaklaşık olarak 136 kilometre uzağında, Çumra İlçesi'nin 11 km. kuzeyindedir.Bilimsel kazılara,uzun bir süre ara verilmiş olmasına rağmen, 1958 den beri devam etmektedir. UNESCO tarafından 2012 yılında Dünya Kültürel Varlıklar Miras Listesi'ne dahil edilmesine karar verilmiştir. Proje sorumlusu Standford Üniversitesi'nden Ian Hodder, aynı zamanda Çatalhöyük kazılarını ilk başlatan James Melaart'ın öğrencisidir.

Bu nedenle,olguların çoğunu, objektif bir nitelendirme yapabilmek için Hodder'i kaynak göstererek yapmak yolunu seçtim.

3.1.1 Çatalhöyük insanının düşünce biçim

Zamanda bir yolculuk yapalım ve sadece birkaç nesil geriye gidelim. Evlerde yemek aynı kaptan yenirdi, kâğıt mendil yerine, bez mendil kullanılırdı, tuvaletler evin dışındaydı, büyüklerin önünde bacak bacak üstüne atılmaz, sigara içilmezdi. Bisiklete binmek, top oynamak günahtı, beşik kertmesi ve görücü usulü evlilik vardı. Bu tür örnekleri çoğaltabiliriz. Bir nesil öncesinin yaşam biçimi bile bize çok farklı geliyor. Oysa 9000 yıl öncesinin davranışlarını ve yaşam biçimleri ile karşılaşmak bize çok anlaşılmaz gelecektir. Dolayısıyla, o zamanki davranışları, bugünün sanayi toplumunun düşünce sistemi ile anlamakta oldukça zorlanacağız görünüyor. Bu nedenle, Çatalhöyük'ü anlayabilmek, dönemin düşünce sistemi ile düşünebilmeyi gerekli kılıyor. Bunun içinde o zaman insanın nasıl yaşadığını ve nasıl düşündüğünü anlayabilmek gerekiyor.

Günümüzden farklı olarak, o dönemde kutsallığın henüz gelişmemiş olduğunu ve üretimin kâr için yapılmadığını söyleyebiliriz. Alâeddin Şenel bu dönemin düşünce biçimini, insan odaklı, insan yaşamının bitkilere benzetilmesi ve kadınların düşüncede saygınlık kazanması unsurları ile dinsel düşünüşün belirlenmeye başladığı şeklinde açıklar. Şenel,2013(38-39s).

O dönemin düşünce biçiminin insan odaklı olmasından ne anlaşılması gerektiğini belki şu örnekle açıklayabiliriz: Karşısına birdenbire çıkan ayıyı gören ilk insan "İşte bir ayı, şimdi ne yapacağım? Diye düşünür. Ayı bekleyedursun " Bir dalı kırıp ucunu taşla sivrilterek araç yapıp kendimi savunmalıyım"der. Ortaçağ insanı bu durumu tanrının bir cezalandırması olarak düşünecek, sanayi toplumunun insanı ise bu durumda muhtemel bütün alternatifleri düşünerek ve büyük olasılıkla olay yerinden kaçmayı ve bu olaydan nasıl para kazanabileceğini düşünecekti. Bundan dolayı neolitik döneminin insanı sorun çözücü idi. Bunun başka bir anlatımı somut düşünce biçimidir. Yenitaş çağı eşitlikçi topluluklarının insanın kafasında "boyun eğme, yalvarma, dize, ayağa kapanma yoktur. Bu anlayış yöneten-yönetilen farklılaşmasının ortaya çıktığı eşitsiz, katmanlı uygar toplumlarda oluşacak. Şenel,2013 (39 s)

İnsan yaşamının bitkilere benzetilmesi ile ilgili elimizde kanıt yok. Özellikle Çatalhöyük'te görülen duvar resimlerinde, bitki resimlerine hemen hiç rastlanılmıyor. Bitkileri anımsatan kilden yapılmış herhangi bir ritüele de rastlamadım.

Kadınların düşüncede saygınlık kazanması konusunda ki yorumlarımı,üretimde kadın erkek eşitliğinin olduğunu, beslenme biçimlerinin ve yaşam sürelerinin yakınlığı, ölü gömme kültürleri konusunda yapılmış araştırmalara göre yapıyorum. Bu nedenle kadın erkek eşitliğini sağlamış bir topluluk gibi görmek mümkün. Hodder,2014(s.210) Ancak zaman içinde kadının daha çok ev işlerinde erkeğin ise ev dışı işlerde yoğunlaştığı söylenebilir. Böyle olsa da ev içinde eşitsizliği çağrıştıracak bir bulguya rastlanılmadı.

Bu nedenlerle Çatalhöyük insanın somut ve insan temelli bir düşünceye sahip olduğunu düşünüyorum.

3.1.2 Çatalhöyük'de üretim

Çatalhöyük'de üretim şeklini bir tipolojinin içinde değerlendirmek gerekirse en genel anlamda hane tipi üretim tarzı olarak tanımlıyabiliz. Hane Tipi üretim tarzının temel özellikleri, düşük üretim, kısmı işbölümü ve ihtiyaç temelli somut üretimdir. Konumuzla ilgili olarak, Çatalhöyük'de yerleşim yerinde Antik Yunanda görüldüğü gibi bir pazar yeri ve agora bugüne kadar tesadüf edilmedi. Toplulukta yalnız ticaretle uğraşan bir grup ya da tabakanın varlığı ile ilgili bir kanıta rastlamadım. Yıkılan evlerin tabanında yapılan kazılarda çıkan materyaller birbirinin aynı ve ticaretle yoğun uğraşılan bir ev veya yapı kalıntısına ait bir bilgiye bugüne kadar ulaşılamadı. Evlerde depolanan ürünler benzer nitelik ve miktarda. Bu nedenlerle üretimin pazar için yapıldığını söylemek zor. Üretimin boyutları da dikkate alınacak olursa, tüm üretimin hane halkı için ve somut günlük ihtiyaçların giderilmesine yönelik yapıldığını söyleyebiliriz. Bunun sonucu olarak Çatalhöyük insanın emeği

pazar ihtiyaçları için değil, kendi için kendi ürettiği üründe somutlaşmaktadır. Başka bir ifade ile Çatalhöyük insanı, kendi ürettiğine yabancı olmamaktadır. Bu nedenle ürettiği alın terini akıttığı her ürün hanesine ait idi, kendi becerisi, beğenisi ve ihtiyaçları için üretiyordu. Sınıfsal bir ayrım olmadığı ve iş bölümü de fazla gelişmediği için, her ürün hane içindi ve ihtiyaçların dışında bir artık ürün üretiminin olmadığını söyleyebilirim. Toplumda üretim dışı unsurların sadece çocuklar ve yaşlılar olduğu düşüncesindeyim. Bu nedenlerle, Çatalhöyük'de üretimin, pazar için değil, hane halkının somut ihtiyaçlarını gidermek üzere yapıldığını ve sosyal faydanın öne çıktığını düşünüyorum.

3.1.3 Çatalhöyük'de madencilik

Yukarıdaki genellemelerimizden hareketle, Maden üretiminin de toplumsal fayda amacı ile ve hane halkının tüketimi ile sınırlı olduğunu söyleyebiliriz Çatalhöyük'ün en temel madencilik hammaddesi ve bulunabilen madencilik aracı obsidiyendir. Buluntuların çoğu bugün ki Aksaray ili sınırları içinde kalan Nenezi Dağı kökenlidir. Diğer taş malzemeler flint taşı ve gölsel kökenli kireç taşlarıdır. Seramik ise o dönemin vazgeçilmez kaynağı olduğu için seramik hammaddesi üretiminin ve farklı seramik çamurlarının denendiği ile ilgili bilgiler mevcut.

Metal madenleri konusunda ise, kazının ilk başkanlığını yapan Mellaart'a göre 9.

Tabakada, yani MÖ 6500 den sonra, sınırlı amaçla olsa da bakır ve kurşunu kullanabildiklerini iddia etmektedir.

3.1.3.1 Kireç ve alçı

Çatalhöyük insanı kerpiç evlerde yaşamaya karar vermişler ve ocaklarda evin içinde bulunuyor. Evin içinde yakılan ocak duvarları çok kısa sürede kirletiyor olmalı ki, çok sık kireç oranı yüksek balçıkla duvarları sıvamak zorunda kalmışlar.

Bunun bir başka nedeni fare ve haşeratlardan kurtulmak olabilir. Bir başka nedeni evlerin pencereleri olmadığı varsayımı ile aydınlatma ihtiyacı olabilir. Ian Hodder, yerleşim yerlerinin kenarlarında kireç sızan çukurlar bulduklarını söylüyor. O zamanki şartlarda piyasadan kireç temin etme olanağı olmadığı için, bu işi bir toplumsal emek sonucu yaptıkları söyleyebiliriz. En uygun sıva toprağının hangi mevsimde toplanacağı, toprağın hangi aletlerle kazılacağı, kazılan toprağın ne ile taşınacağı sorunları toplumsal bir kararla neticelendirilmiş olmalı. İnce sıvaların duvara iyi yapışmadığı zaman , sıvaya farklı organik maddeler katarak defalarca denenmiş olabilir. Katılan organik madde ve su miktarı da yine deneme yanılma yolu ile kararlaştırılmış olabilir.

Madencilik açısından ise kireç yakma eylemi tekrarlanan uygulamalardandı. Süprüntü alanında küçük çaplı kireç yakma işlemlerinin tekrarlandığı ve altı ayrı stratigrafik dönemde yapıldığı rapor edilmiştir. Sıvama işleminin ,astar ve yüzey katlarından oluşan işlemlerinin düzenli olarak 50 ile 100 kere yapıldıkları ortaya çıkarılmıştır. Öyleki bir binada sıvama işleminin 70 dönem boyunca yapıldığı gözlemlenmiş ve kimi binalarda sıvanın 7,5 cm kalınlığa ulaştığı ölçülmüştür. 450 kat sıvanan bina bile vardır. Hodder,2014 Çatalhöyük'te belli bir dönemde hane sayısı ile hane için gerekli sıva miktarı üzerinden toplam kireç miktarı hesaplanır. Bu nedenle,o günkü teknolojik gelişme seviyesine göre, çok önemli bir madencilik faaliyeti olarak değerlendirmek mümkündür.

Alçılı kafatasları ise Çatalhöyük'ün en heyecan verici bulgularındandır. Bu nedenle alçının işlevselliğini ve teknolojisini de keşfettiklerini düşünüyorum..

3.1.3.2 Obsidiyen

Volkanik yörelerde lav akıntıları kenarında lavların ani soğuması sonucu oluşan, siyah, gri, yeşil ve mor renkli, kalın şişe camını andıran, kesici bir kenar vererek kolay kırılabilen volkanik bir camdır.

Çatalhöyük'ün keşfedilmesi ile Jane Jacobs, avcı toplumundan, yerleşik ve tarım toplumuna geçiş ile ilgili ve bu ara dönemi açıklayan hayali bir kent modeli

kurgulamıştır. Bu kurduğu modele de Kentlerin Ekonomisi adlı kitabında Yeni Obsidiyen (New Obsidian) adını vermiştir. Jacobs, Çatalhöyük'ü zanaatkârların, üreticilerin ve ticaretle uğraşanların kenti olarak tarif ediyor. Diğer kentlerle de ticaretin olduğunu ve ana ticaret kaynağının Obsidiyen olduğunu düşünüyor. Jacobs'un kabulleri daha sonra çok özel durumlar olarak kabul edilmiş ve kurguladığının ve hayali bir kent modeli olduğu kabul görmüştür. Aktüre,1997 37.s.Çatalhöyük'de henüz tekerlek icat olunmamış ve büyük baş hayvanların evcilleştirilmesi yapılmadığı için uzun mesafeli bir ticaretin olmadığını ve bir yandaki kasabaya aktarılmak sureti ile uzun mesafelere taşınmış olma ihtimali daha güçlü geliyor.

Elbette ki günlük yaşamda kullanılan tüm eşyalar obsidiyenden yapılmıştı. İğne, kazma, bıçak, ayna, tahıl öğütmek için havanlar, et sıyırıcıları, mızrak uçları en belirgin olanlardı. Hemen hemen her evde ve kazı raporlarında görüleceği üzere araç ve alet buluntuların çoğu obsidiyen. Her evin de bir obsidiyen işliği olarak kullanıldığını biliyoruz. Obsidiyenleri ölüleri ile birlikte veya yalnızca obsidiyen olarak evin tabanına gömüyorlar. (Hodder, 2014 , s. 171)

Çatalhöyük'te obsidiyenin yalnızca bir hammade kaynağı olarak değil ancak sembolik bazı anlamları olduğu da düşünülüyor. Ev tabanına gömülen insan kafatasları, heykeller ve obsidiyenler zaman zaman çıkarılıp dolaşıma sokulup; tekrar gömülürdü. (Hodder, 2014 , s. 171)

Çatalhöyük'de sık sık şölen yapıldığını biliyoruz. Şölenin toplumsal birliği sağlayan, pekiştiren çok önemli bir görevi günümüzde de vardır. Bu şölenler sırasında da bunların yerinden çıkarılarak şölene dahil edilebileceği, bu nedenle de geçmişle ilgili bir bağ kurulmasının gerçekleştiği konusunda Hodder yorum yapıyor. Konumuzla ilgisi ise sadece bir hammadde olması değil, sembolik anlamıda içermesidir. Elbette ki Çatalhöyük o zaman dilimi içinde Anadolu'da en büyük yerleşim yeri, obsidiyenle ilgili olarak da, her evde yapılan obsidiyen malzemeler sonucunda teknolojik olarak diğerlerinin çok çok önünde. Biriktirme malzemesi olarak da en önemlisi obsidiyen. Hodder,2014,s.173.Her evde, fırın/ocak ve merdiven girişi yakınlarında en az bir oyuk var. James Conolly ve Tristan Carter bu obsidiyen parçalarının çeşitli aletlerin yapımında kullanılmak üzere biriktirilen işlenmemiş ya da şekillenmemiş malzemeler olduğunu düşünüyorlar. Obsidiyenin 170 km uzaktaki Kapadokya'dan(Nenezi dağı) işlenmemiş halde getirildiği ve evde gömüldüğü yerde saklandığına kesin gözüyle bakıyorlar. Gerek görüldüğünde zemin kazılarak parçalar kondukları yerlerden çıkarılır ve evin içinde o zemine yakın bir yerde işlenirdi. (Hodder, 2014 , s. 73)

Çatalhöyük'de obsidiyen bu nedenlerle hem teknolojik üstünlük sağlayan ve hem de sembolik anlamlar içeren bir ürün.

Bu nedenlerle Çatalhöyük MÖ 7300 den başlayıp MÖ 5600 yılına kadar 1700 yıl dünya tarihine damga vurmuş bir medeniyet

3.1.3.3 Yapı malzemeleri

Çatalhöyük'te temel yapı malzemeleri ağaç ve kerpiç. Evler bal peteği şeklinde, duvarlar ortak. Evlere bir merdiven yardımı ile çatıdan giriliyor. Kerpiçler kimi yerde 1m varan uzunluktalar. Ortalama olarak 40 cm kalınlıkları var. Zamanla en önemli değişiklik, kerpiç boyları. Evin tabanında uzun iken, üste doğru kerpiç boylarında kısalma olmuş. Daha sonra kerpiç boyları eşitlenmiş. Pencerelerle ilgili elimizde bilgi yok. Bu kerpiç ağırlığı taşıyan ağaçlar ise ardıç ve meşe. Taş kullanılmamış hatta evler temelsiz, yıkılan evin olduğu yere tekrar ev yapılmış. Hodder,2014,s.116.Bu nedenle balçık hazırlama, farklı killer kullanma ve balçığın organik malzemelerle uygun oranda karıştırılması işlevleri önemli bir madencilik faaliyeti olarak da görülebilir.

3.1.4 Çatalhöyük'te değiş-tokuş

Para henüz icat olmadığı alım –satım değil, değiş tokuş ile ihtiyaçların tamamlandığını düşünüyorum. Bu değiş tokuşu ticaret boyutunda düşünmenin doğru olmadığı da aşikardır.. Çünkü üretilen ürünler başkasının

beğenisi, pazara çıkardığında müşteri bulma düşüncesi ile üretilmiyor. Tamamen ihtiyaç temellidir. Değiş tokuş da ki ölçünün ne olacağı oldukça belirsiz. Ancak arz ve talebin bu dönemde geçerli olduğunu söyleyebilir miyiz? Bu kuralın geçerli olması için yeterli arzın ve yeterli talebin olması gerektiğini biliyoruz. Ancak Çatalhöyük'te üretimin sınırlı, teknolojik gelişimin henüz yavaş olması nedeniyle, arz ve talep kuralının geçerliliğini ileri sürmek oldukça zor.

Nenezi Dağından üretilen obsidiyenler, Çatalhöyük'te işlendikten sonra özellikle Levanten bölgesi (Bugün ki Suriye,Lübnan,Filistin) ne götürüldüğü ile ilgili çalışmalar Dixon ve Cann tarafından çalışılmış ve sonuçlarını da da açıklamışlar.Levantende yapılan kazılar sonucu iz elementlerle Anadolu'da iki önemli obsidiyen kaynağı olarak Bingol çevresi ile Çatalhöyük tespit edilmiştir.Burada üretilen obsidiyenlerin çoğu zaman işlenmiş, nadiren ham olarak taşınmış olduğu sonucuna varılmıştır. Taşıma yolları haritalara işlenmiştir.

Bu sonuçlara göre , bir değiş-tokuş işleminin yapıldığını ; ancak bunun bir ticaret niteliğinde olmadığı sonucuna varılabilinir.

3.1.5 Sanat, cömertlik ve hediye

Konumuzla doğrudan ilişkili olmasa da alt başlıkta yer alan üç kavramın anlaşılması Çatalhöyük insanın anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Çatalhöyük insanı beklendiği gibi ya da Gordon Childe'ın nitelendirmesi gibi barbar değil. Günün her saati yiyecek peşinde koşan eli kazmalı insanlar değil. Duvar resimlerinin sayısı ve görece güzelliği şaşırtıcı. Kilden yapılmış heykellerin aynı tarihte yaşamış diğer medeniyetlerde görülmeyecek kadar sık ve güzel. Kullandıkları kökboyaları ve hematit boyalar 9000 yıldır solmamış. Bu nedenlerle Çatalhöyük insanın önemli bir zamanını sanat eserleri üretmeye harcadığını düşündürüyor..

Cömertlik kavramı ise o günkü koşullarda farklı fonksiyon taşımış olabilir. Özellikle lider seçimi, ya da yönetici olmanın belirleyici özelliğinin cömertlik olduğunu Marshall Sahlins'e (Taş Devri Ekonomisi) dayanarak ifade ediyoruz.

Son olarak hediye kavramı ise, bir değişim değeri olarak önümüze çıkabilir. Malların takasında başka bir ifade ile mal değiş tokuşunda değer kavramı ile ilgili olarak para yerine hediyenin yer aldığını ve medeniyetin ulaşmadığı Afrika, Avusturalya ile Güney Amerika'da ki kapalı topluluklarda hala geçerli olduğunu biliyoruz. Sahlins, 2010,s.48-182

Değiş tokuş yapanlar, karşısındakinin ihtiyacına yönelik bir hediye (satış) yaptığında, hediye alanda hediyenin altında kalmamak ve toplumsal onurunu kurtarmak için kendine göre aldığı hediyeden daha fazlasını hediye vermek üzere kendini borçlu hissediyor. Bu durumda toplumsal birliği ve bir arada yaşama iradesini artırıcı bir etki doğuruyor.

Bu nedenlerle, Çatalhöyük insanının sanat için,günümüz insanından daha fazla vakit ayırdığını kolaylıkla söyleyebilirim.

Benzer şekilde, günümüz insanından daha cömert ve hediye üzerine kurulu bir toplumsal yapı içinde olduklarını ,biraz kıskanarak da olsa ifade edebilirim.

3.1.6 Çatalhöyük ta son söz

Madencilik açısından Çatalhöyük'ün tipik öneminin obsidiyen madenciliği olduğunu yukarda anlatmaya çalıştım. Ancak üretim şekli açısından farklılığı açıklanmaya muhtaçtır. Obsidiyenin Nenezi dağından toplanması, taşınması ve işlenmesi toplumsal bir çabayı gerektiriyor. Her evde obsidiyen işleniyor. Bilgi, beceri ve tekniklerini birbirlerine aktararak daha iyisini elde etme yolunu seçmişler. Testere uçlu obsidiyenin elde edilmesi için her evde yüzlerce hatta binlerce deneme yapılmış, sonuç alınamayan tekniklerin birbirlerine iletilmesi ile sonuç alınamayan tekniklerin tekrar denenmesi önlenmiş olabilir. Başarılı olan tekniklerin ise daha iyisinin yapılabilmesi için de yeniden toplu bir arayışa girmiş olabilirler. Şölen Çatalhöyük yaşamında önemli bir rol oynadığı için de, her başarı bir şölenle kutlanmış olabilir.

Neolitik dönemden sonraki dönem bronz çağı. Çatalhöyük'de bronzla ilgili bir bilgiye rastlamıyoruz. Ya da Çatalhöyük'ün bronz çağında da devam ettiği ile ilgili, elimizde bulgu yok. Bu nedenle Çatalhöyük, neolitik dönemle sınırlı ve mekân açısından da sadece Çatalhöyük ya da Konya çevresi ile sınırlı kaldığı yorumunu yapıyorum. Bu medeniyetin çökmesinin nedeni de Bronz çağına ayak uyduramaması olarak nitelendirebiliriz. Bronzu üretebilmek için bakır ve kalayın temini (Bakır Anadolu'da bol olarak var. Ancak kalayın temini için uzun mesafe ticaret gerekli), bunları işleyecek bir işlik ve günlük ihtiyaçlarının da toplumun diğer kesimlerince karşılanma zorunluluğu var. Daha genel bir açıklama yapacak olursak, bronzu üretebilmek için işbölümü, uzmanlaşma, artık ürünün üretilebiliyor ve depolanabiliyor olması ve ev dışı mülkiyetin de varlığı gerektiğini sonucu çıkıyor.

Bu nedenle Çatalhöyük'de mevcut toplumsal yapıyı devam ettirerek ,bronzu üretmesi mümkün değildi. Bronzun üretilmesi ile üretici güçlerin gelişmesi yeni bir üretim şeklini doğurdu. Bronzun üretilmesi için, eski toplumsal yapının yıkılıp, yeni bir toplumsal yapının kurulması sonucunu doğurdu. Altı bin yıllık bir değişim sonucunda da , Hititler bu yeni toplumsal yapı ile karşımıza çıktı. Bu değişikliği Hititler'de anlamaya çalışacağız.

3.2 Hititler

Hititler ,başkenti ,bugünkü Çorum iline bağlı Boğazköy'de MÖ 1650- MÖ 1250 yıllarında imparatorluk kurulmuş , "ambarlar şehri" de olarak anılan bir medeniyettir.. UNESCO'nun Dünya Kültür Mirasları listesinde yer almaktadır.

Hititlerde tek geçim kaynağı tarım değildi. Yalnızca sanayi bölgesi olarak nitelendirebilecek, özellikle maden işçiliğiyle ilgili alanlarda bulunmaktadır. Maden cevherlerinin eritilmesi (her zaman değilse de ama genellikle) madenlerin yakınında yapılmaktaydı.Son çalışmalarla, çeşitli eski maden ve eritme alanlarının varlığını göstermiştir. Maden, külçeler halinde yük arabaları ile ve eşeklerle taşınıp yaygın olarak değiş tokuş ediliyordu. MacQuenn,2013,s.107.Hititlerde her şeyin ve özellikle mülkiyetin tanrılar da olduğu düşüncesi egemendi. Bu nedenle madenlerin sahibi de tanrılar idi. Öyleyse üretilen madenlerin bir kısmı, hükümdara kira olarak ödenmeli idi. Her şeyin fiyatı hükümdar veya kanunlarla belirlendiği için, maden ürünlerinin fiyatının da merkezi otorite tarafından belirlendiğini rahatça söyleyebiliriz.

3.2.1.Hitit insanının düşünce biçimi

Hititler bin tanrılı medeniyet olarak bilinir. Fırtına tanrısı ise en büyüğü. Günümüzde piyasa belirleyici olurken, Hititler' de büyük kral fırtına tanrısının keyfi belirleyicidir. Ülkenin durumu kötüye gittiğinde ya da savaş yenilgisi yaşandığında, bunun tanrının isteğinden mi, yoksa insanın yetersizliğinden mi kaynaklandığı belli değildir. Bunu ancak tanrı bilir.

Hititlerde toplumsal farklılaşma var olduğu için, toplumsal katmanların düşünce biçimlerinin de farklı olduğunu aynen yapacağım alıntı ile açıklamaya çalışacağım: "Ben Tuthaliya, ordularımı geceleyin yola çıkardım ve düşman ordularının çevresini sardım. Tanrılar bana ordularını verdiler. Arinna'nın Güneş Tanrıçası, Göğün Fırtına Tanrısı, Hattuşa'nın koruyucu tanrıları Zamam, İştar, Sin, Lelvani. Düşman ordularını yendim ve topraklarını işgal ettim. Hangi ülkenin orduları olursa olsun, Tanrılar önümden yürüdü ve bana savaş açan ülkeleri bana teslim etti. Assuva Ülkesi'ni de yok ettikten sonra yurduma döndüm. Ganimet olarak Hattuşa'ya, arabacılarla birlikte 600 at arabası ve 10.000 piyade getirdim ve onları Hattuşa'ya yerleştirdim. Brandau,2011,s.129.Aşağı katmandan bir Mezopotamyalının düşüncesi ise " Bir prensin oğlu her konuda yeğleniyor. Oysa aptal birinin, ileride ünlü olacak bir çocuğu; güçlü ve yürekli birinin, zayıf ve korkak bir çocuğu olabilir. İnsanlar, tanrı sözünü dinleyen dürüstü (dokuz köyden) sürüp, hırsızı yüceltirler, zayıfları öldürürler. Ama varsılın da yoksulun da sonu birdir (Şenel,

2013)

Sonuç olarak, yönetici sınıfın düşüncesi, başarıları, tanrının kendisinin yanında yer alması ile gerçekleştiğini yönünde, yönetilen ise yöneticileri hırsızlıkla ve adil olmamakla suçluyor. Çatalhöyük insanı insan odaklı iken, Hitit yöneticisi ganimet odaklı düşünüyor. Hititler beraber düşünce sistemimiz, günümüzün insanın düşünce sistemine çok benziyor. Bu nedenle Hititleri anlamakta zorlanmayacağız.

3.2.2 Hititler'de üretim şekli

Hattuşa'da temel ekonomik faaliyetler, tarım, hayvancılık, madencilik ve ticaretti. Önemli gelir kaynaklarından biri ise savaşda elde edilen ganimetler ve esirlerdi. Ayrıca Hattuşa bir ambarlar şehri idi. "Hükümdarın gücü merkezi tahıl depolama sistemine dayanıyordu".Brandau,2011,s.191. Malların fiyatı ise hükümdar tarafından ve kanunlarla belirlenmişti. Eğilmez,2014

Hititler'de bir imparatorluktu. Alâeddin Şenel'in imparatorluklarla ilgili genel tanımı olan" Bürokrasi, hukuk ve sabit Pazar fiyatları" nın aynen geçerli olduğunu düşünüyoruz. Para henüz icat edilmediği için değerli taşlar para yerine kullanılıyordu. Çatalhöyük'den Hititler ' e kadar olan gelişmeler sonucu sınıflar ve toplumsal katmanlar oluşmuştu. Köylüler, esirler ve zanaatkârlar üretimim temel unsurları idiler. Üretim dışı unsurlar, Hükümdar ve çevresi, din adamları, askerler, yazıcılar ve tüccarlar idi. Ancak üretimin asıl unsurları olmayan kral ve çevresi, üretilen mal ve hizmetlerin paylaşımını doğrudan yönetiyorlardı. Üretim araçları yani toprak ve para hükümdarın mülkiyetinde idi. Faizle ödünç alma tapınak tarafından düzenleniyordu. Eğilmez,2014 Ticarette rüşvet ise olağandı ve yazılı tabletlerde bile sık sık söz edildiğini görüyoruz. Eğilmez,2014

3.2.3 Hititler'de madencilik

Hititleri bir bronz çağı medeniyeti olarak nitelendirebilmek için elimizde çok sayıda bilgi var.Ankara Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde bronz eserlerden seçkin örnekler sergileniyor. Bu nedenlerle Hititler'de en önemli madencilik faaliyeti bronz üretimi idi. Ancak o dönemde ilk sürekli demir üretiminin Hattuşa'da yapıldığına ait yazılı kaynaklar mevcut. Demirin fiyatı,altın ve gümüşün fiyatının çok çok üstünde.Ancak bu konuda tam bir organizasyon yapıldığını söylemek ve sürekli bir demir madenciliğinin yapıldığını söylemek için elimizde çok net bilgiler yok. Demirin kullanılır hale gelmesi için iki kez eritilmesi gerektiği ve çok büyük enerji kaynağına ihtiyaç olduğu için, temel olarak odun kömürünün de üretiminin yapılıyor olması gerekir. Ayrıca bu sıcaklığı sürekli kılabilmek içinde körük ya da oksijen kaynağı gerekiyordu. Demir madenciliği ile bölgede oldukça fazla ağaç kesiminin yapıldığını biliyoruz.

Toprak pişirmede ise oldukça yol aldıklarını, depolama,taşıma ve pişirme amaçlı çok farklı araç ve gereçler ürettiklerini biliyoruz. Ayrıca temiz ve kirli su taşıma amacı ile yine pişmiş topraktan künkler yaptıklarını Boğazköy'de görmek mümkün. Hititlere ait yazılı belgelerin tamamına yakını ise yumuşak kil üzerine yazılan yazıların, daha sonra pişirilerek kalıcı hale gelmesi sağlanmış. Öyle ki kimi ticari sır içeren mektupların zarfı bile pişmiş topraktan yapılmıştır.

Ancak, kral ve çevresi için yapılan madencilik ile halkın büyük kesimi için yapılan madencilik çok farklılaşmış,sınıfsal bir niteliğe dönüşmüştür.

3.2.3.1 Metal madenciliği

Elbette ki Hitiler denince akla gelen ilk madencilik ürünü bronz. Çatalhöyük de obsidiyenden yapılan her tür alet ve gereç bronzdan yapılmaya başlanmış. Anadolu'da kalay bulunmadığı içinde uzak mesafe ticareti büyük ölçüde kalaya dayanıyor. Kalay ticareti, Asurlular tarafından yapılıyor.Bunun karşılığında altın, gümüş ve işlenmiş bronz takas ediliyor. Boğazköy'de aşağı yerleşmede alışverişin yapıldığı dükkânlar ve maden işliğini düşündüren yapılar var. Altın ve gümüş madenciliği de bütün görkemi ile yapılmakta. Elbette o günün şartlarında altın bugüne göre daha çok

bulunuyor ve nabit halde. Altını, gümüşten ayırmadan elektron ismi ile ürettikleri gibi, altın ve gümüşü ergiterek saf altın ile saf gümüş elde edildiğini biliyoruz. Ancak en büyük sorunlardan biri saf olmayan altının ,saf altınmış gibi ticaretinin yapılmasıdır. Yazılı tabletlerde saf olmayan altının, saf altınmış gibi satıldığına dair söylemler var.

4 KARŞILAŞTIRMA

Her iki medeniyeti çok kaba olarak inceledikten sonra; iki medeniyetin karşılaştırmasına geçebiliriz. Önce ortak yönleri üzerinde durursak, temel ortak yönün değişim ihtiyacı olduğunu teknolojik gelişimin her iki medeniyette de kaçınılmaz olduğunu söylemek zor değil. Farklılıklara gelince, Hititlerde var olan; ancak Çatalhöyük'de olmayanları sıralayacak olursak: İşbölümü, pazar için üretim, artık ürün (kendi ihtiyacından fazlasını üretebilme yeteneği), kişisel mülkiyet, miras, rüşvet, faiz, çok tanrılı din, uzun mesafeli ticaret ve en önemli fark ise savaş. Çatalhöyük'de savaşı hatırlatacak veya insanların birbirine güç kullanımını içeren hiçbir ritüele rastlamadım. Savaşın var olması ise madenciliğe verilen önemi bir kat daha artırmış olmalı. Madencilik açısından da yukarda durulduğu üzere, üretim şekli. Çatalhöyük'de üretim insan ihtiyaçlarını karşılamak üzere yapılıyor. Hititlerde madencilik ise tanrıları memnun etmek, ganimetler elde edip hükümdarlığı yükseltmek amacını güdüyor. Çatalhöyük'de herkes madenci, Hattuşa da ise madenciliğin sınıfsal bir niteliğe büründüğünü görüyoruz. Birincisi saray ve çevresi için yapılan madencilik; ikincisi ise halkın temel gereksinimlerini sağlamak üzere yapılan madencilik.

Elbette ki Çatalhöyük'de yalnızca taş madenciliği varken; Hititlerde bakır, altın, gümüş ve özellikli olarak bronz madenciliği çok ileri. Taş temelsiz evler, günümüzün teknolojisine yakın temeli olan yapılara dönüşmüş. Çatalhöyük'den Hititlere kadar olan Madencilikteki bu büyük değişimin sebebi nedir? Değişkenleri, maden yataklarına yakınlık, pazara yakınlık, demografik yapı, coğrafi ve mevsimsel koşullar, bilim ve teknolojiye yatkınlık, kolay erişilebilir enerji kaynakları olarak, kolay elde edilebilir işgücü (esirler) sayılabilir. Ancak bunların etkileyici değişkenler olduğunu, belirleyici değişkenin üretim güçleri ile mevcut üretim ilişkilerinin uyumundan kaynaklandığını düşünüyorum.

5 SONUÇ

Makalemizin amacına uygun olarak "Ne için;kimin için madencilik ?"sorusuna cevap aradığımızda ,birbirinden farklı iki tip madencilik şeklinin ortaya çıktığını gördük. Aralarında ki 6000 yıllık zaman farkının sonucunda birbirinden kolayca ayırt edebileceğimiz iki farklı toplum tipi, iki farklı düşünce sistemi ve iki farklı madencilik tipini oluşturmuştur Birincisi Çatalhöyük'de ihtiyaç temelli ve sosyal faydaya yönelik madencilik; ikincisi ise ,Hititlerde pazar için ve tüketim üstüne kurulu madenciliktir.

Günümüzün madenciliğini eleştirebilmek ve geleceğimizin madenciliğini oluşturmak için artık elimizde birbirinden ayrı iki tipoloji var.

Bu makalenin, Anadolu'da yerleşik Lidya ve demir çağı medeniyeti Urartu ile devamında fayda görüyorum.

KAYNAKLAR

Aktüre, S,1997,*Anadolu'da Bronz Çağı Kentleri*, Tarih Vakfı Yurt Yayınları

Brandau, B,Schickert, H,2011,*Hititler* Bilinmeyen Bir Dünya İmparatorluğu, Arkadaş Yayınevi

http://www.archatlas.org/ObsidianRoutes/ObsidianRoutes.php, Aralık,2014

Childe, G,2006, *Tarihte Neler Oldu*, Kırmızı Yayınları, İstanbul

Eğilmez,M, *http://www.mahfiegilmez.com/p/hititler.html* ,Aralık,2014

Hodder, I,2014,*Çatalhöyük Leoparın Öyküsü,* Yapı Kredi Yayınları, İstanbul

Koç, İ,2006,*Hititler*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara

MacQuenn, J,G,2013,*Hititler ve Hitit Çağında Anadolu*, Arkadaş Yayınevi,

Sahlins, *M,2010,Taş Devri Ekonomisi,* bgst Yayınları, İstanbul

Şenel, A, 2013.*Siyasal Düşünceler Tarihi,* Bilim ve Sanat Yayınevi, Ankara

Madencilik Uygulamalarının Yasal Zemininde İyileştirme Beklentileri

Expectations of Legal Improvement in Mining Applications

T.Tufan
Tufan Madencilik ve Mühendislik, Aydın

ÖZET: Maden Kanunu değişikliklerinde sektörün; sektöre yön veren proje üreticileri ve mühendislerin maden üretim işkolunda daha çok söz sahibi olması ve üretimden pay alabilmesi sağlanmalıdır. Bunun için proje üreten Maden Mühendisleri, İşletme projelerinde ve temdit projelerinde, projelendirdikleri maden işletmelerinin üretime geçmesinden itibaren yapılan yıllık üretim karşılığında şirketlerin devlete ödedikleri devlet hakkının %10 oranında bir payı her yıl haziran ayı sonunda alabilmelidirler. Madencilik projeleri gerçek anlamda sürekli güncellenmeli ve proje uygunluk konusunda proje üreticileri ilk onayı vermeli ve gerektiğinde revize projeler ile düzeltmeler yapmalıdır. Maden sahaları her madene göre tekrar boyutlandırılmalı gerektiğinde kömür veya mermer sahaları pano veya ayna uzunluklarına göre üretim miktarları öngörülmelidir. Devletin maden sahalarındaki üretim miktarlarını sadece beyan esasına göre değil, projeler üzerinden de proje üretenlere pay ayırarak yaklaşması doğal kaynaklarımızın daha doğru değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Maden kanunu, yasal iyileştirme, işletme projesi

ABSTRACT: While making changes in Mining laws, the sector and the engineers. Who make projects leading the sector should have more voice in mining production.The sector and the engineers should get their share of the production.Mining engineers making the product should be paid 10 % of the government's share from the annval production.Soon after the Project is put into effect.The payment should be made till the end of June.(İn the first half of the year)The mining projects should be updated,the compliance with the codes/laws should be retified first by the Project producers.Project should be revised and changes aremade if/when necessary.Mining fields should be classified according to their size and kinds.Coal mines and marble mines should be planned on the basis of dashboard or mirror.The productions units should be determined as metre cube or tone.The quantity of production should be predicted according to the lenght of the dasboardor mirror.The Government should not consider only the declared quantity of production.Our natural resourcescan be ascurately utilized by giving shares to project producers.

Keywords: Mining laws, legal improvement, mining process

1 MADEN KANUNU

1.1 Beklenen Düzenlemeler

Yasal düzenlemeler yapılırken sektöre yön verenlerin korunması birinci öncelikli amaç olmalıdır. Burada Madencilik sektörünü düzenlerken sadece sahalarda hesapsız üretim yapan ve hiç sorgulanmayan yatırımcıların mali gelişimleri gözönüne alınarak bu kadar kısa sürede bu kadar büyüme nasıl sağlanır sorgulaması yapılmalıdır.Maden Kanunu ;madenlerimizin güvenli,ekonomik,rantabl,yeterli teknik altyapı ve donanımla ,sosyal fayda esas alınarak üretilebilmesini kolaylaştırmalı ve maden gruplarına göre tekelleşme yaratmadan,küçük-orta-büyük işletmeler şeklinde faaliyet yapılabilmesini sağlayacak

unsurları taşımalıdır.Maden Kanunlarının taslak halinde değişik kurumların görüşlerinin sorgulandığı süreçte buraya tesir edebilen sektör temsilcileri madencilik yatırımlarını küçük sermayeye ve orta ölçekli sermayeye kapatmıştır.Tek avantajları madencilik işine önceden başlamış olmak bu yatırımcıları geçmişteki başıboş ve kamu denetiminin yeterli olmamasından dolayı hızlı büyümelerini sağlamıştır.Rekabet unsurunu kendi içlerinde en aza indirerek,beyan esasından dolayı karlılık marjlarını yüksek tutmuşlar ve denetlenmemek isteklerinden dolayı lobi faaliyetleri ile ruhsat alma ve işletmeye açma şartlarının ağırlaştırılmasını sağlayıp az sayıda şirket-olabildiğince büyük sermaye yapıları ile tekel oluşturmuşlardır.Bu yapı madenciliği küçültmüş fakat benzer sektörlerde satılabilir madene sahip şirketleri çığ gibi büyütmüştür.

Bu şekilde kamunun mevcut yasalarla bu şirketleri teknik, mali,iş güvenliği anlamlarında yeterli denetimi sağlayamaması sonucunda doğal kaynaklarımızın özel şirketlerce üretilmesinde kamuya yeterli kaynak aktarılamamaktadır.Şirketlerin denetimsiz çalışması sonucu kaynak israfı meydana gelmekte,yetersiz işgücünün çoğu zaman eğitimsiz ve mevsimlik yöre işçilerinin temini ile iş kazaları artmaktadır.

Gündemdeki son Maden Kanunu değişikliği ile, madenlerimizin özel-kamu sektörünce işletilmesi,yetersiz-deneyimsiz-yetkisiz, işverenin emri altındaki daimi nezaretçilerin kontrolü ile ve yeni oluşturulacak bürolarla proje kontrolunun yapılması endişe verici sonuçlara yol açacaktır. Madencilik sektörü ne mali müşavirliğe benzer,ne de şehirlerde yapı denetim işine benzer.

Bu sektörü yeniden düzenlemek adına temel ve köklü değişiklikler yapmak sektöre çok büyük zarar verecektir. Teknik Nezaretçi, madencilik işkolunun olmazsa olmazıdır.

Yeminli mali müşavirlik sistemi gibi madencilik büroları çalışırsa, şimdiye kadar madencilik adına geliştirilen teknik altyapı ve deneyimin sektöre aktarılmasından vazgeçilecektir. Yeni düzenlemeler ile sadece madenciye ceza yazmak için ve madenciyle yetkili büroları birbirine düşürecek bir sistem yaratılacaktır.

Teknik Nezaretçilik yeniden düzenlenerek; madencilik projeleri, proje üretim safhasından sonra ,her maden sahası için o projeyi üreten Teknik nezaretçi-maden mühendisi tarafından üretime geçiş anından itibaren takip edilmelidir. Mühendislik eğitimi almış proje kontrol yetkisi ile donanımlı Teknik Nezaretçi sahanın üretim sürecinde Teknik altyapıya sahip olmasını, yeterli donanımın bulunmasını kontrol ederek çalışmayı başlatmalıdır.Açık işletme veya yeraltı işletmesi ise mevcut güvenlik yönetmeliklerine uyumlu çalışarak üretimin, uygun yönetilmesini,kademe yüksekliği,şev açısı,yol meyili,iş makinaları dizaynı ve sahada yerleşimi; kapalı işletme ise,havalandırma,su atımı,tahkimat,nakliye gibi temel konularda mühendislik deneyimlerini kullanılmasını sağlamalıdır.

Madencinin sattığı yarı mamul ve mamul incelenmeli, çalıştırdığı işçi sayısı, kullandığı elektrik, motorin, araç-gereç takip edilerek projenin uygunluğu konusunda doğrulayan unsurlara dikkat edilmelidir. Sadece yetki verilmiş bürolara sorumluluk vermek ruhsat verme yetkisine sahip kamu kurumunun sorumluluğunu ortadan kaldırmaz. Tam aksine projelerin kontrolsüz ve hesapsız yürümesini sağlar. Yapılan üretimi madenci yeterli üretim araçlarını kullanarak yapmalı ,kontrol edilebilmeli ve üretim miktarlarını ve kalite sınıflarını bilançolarında doğru ifade etmeli,devlet hakları doğru belirlenmelidir. Mühendisin özel sektörce düşük ücret ödemek ön görüsüyle tecrübesiz tercih edilmesinin önüne geçilmelidir.Proje yönetimi belirli tecrübe kazanıldıktan sonra yapılabilmeli,genç yeni mezun mühendis arkadaşlar vardiya mühendisliği veya büro mühendisliği ile çalışma alanlarında deneyim kazanmalıdır.Özel şirketlerin çalışmaları halen yürürlükteki kurumların hiyerarşik yapısı ve durumu yeniden yapılacak yasal düzenlemeler ile belirlenmelidir.

Maden İşleri Genel Müdürlüğü tüm Büyükşehirlerde Bölge Müdürlüğü açarak ve tüm illerde valilikler bünyesinde örgütlenerek tüm maden işletmeleri bu Bölge Müdürlüklerince ve illerdeki şube müdürlüklerince yakın takibe alınmalıdır.

Madenlerin teknik-idari-mali bölgesel denetimi

Yetkisi yasayla belirlenen ve yasanın yürürlüğünü denetlemeden tamamen madencinin ücretini ödeyerek hizmet alacağı özel yetkilendirilmiş bürolar mevcut madencilik sistemine uygun değildir.Mevcut sistemde şirketler kendi bünyelerinde mühendis çalıştırırken, proje üretimi ve Teknik Nezaret konularında hizmet almaktadırlar.

Maden Mühendislerinin serbest çalışma hakları sürekli bulunmalıdır.Bu serbest çalışma yasayla kaldırılmamalıdır.

Kamuda Çalışma Bakanlığı tüm illerde İşKur adıyla örgütlendiği halde ,İş Güvenliği konusunda OSGB'ler abartılı ölçülerde yaratılmış ve işverenlerin çalışma barışını sorgulamalarına neden olunmuştur.

Konu AB normlarına uyum süreci ile bağlansada ülke gerçekleri açısından yapılan düzenlemeler uygun olmamıştır. Tüm işkolları, büyüklüklerine göre yeniden değerlendirilmeli ve tehlike sınıfları yeniden belirlenmelidir.Böylece gerçek anlamda denetlenmesi gereken işyerleri belirlenecek ve maliyetlerin artmasına neden olan ve çoğu iş kolunda zaman kaybı yaratarak kağıt üzerinde denetim sektörü yaratılmasının önüne geçilecektir.Kurulan yeni İSG sisteminde yeni bir rant sektörü ortaya çıkmıştır.

Aynı olumsuz deneyimi madencilik sektörüne uyarlamayı planlayan yeni Maden Kanunu; ağırlıklı olarak cezalar ve mali konularda madenciden orantısız ve adil olmayacak şekilde daha çok ücret ödemesini sağlayacak ve Teknik Nezaretçiliği kaldıracak düzenlemeler içermektedir.

Kamu; daha önce maliye,inşaat ve işgüvenliği alanlarında yapılan düzenlemeler ile üretim unsurlarında gereksiz evrak ve bürokrasiyi artırmıştır.

Doğru orantılı olarak bu yeni oluşan iş alanlarında haksız zenginlik yaratılmış olup; halen muhasebeci-mali müşavir,yapı denetim,OSGB kuruluşları üretim unsurlarının üzerinde kamunun hantallığından dolayı gözde işkolları olmuşlardır.

Madencilik işkolunda Teknik Nezaretçilik gibi engin bir deneyim kültürü vardır. Madenlerin Teknik denetimi mevcut Teknik Nezaretçilik sistemi içerisinde; yapılacak yeni yasal düzenleme ile; kurulacak MİGEM Bölge müdürlükleri ve Maden Mühendisleri Odası koordinasyonunda , yetkilendirilecek Maden mühendisleri tarafından yapılmalıdır.Teknik Nezaretçi ücretini işverenden değil,oluşturulacak yeni Bölge müdürlüklerinden almalıdır.

Her işkolunda Teknik Nezaretçinin çalışma şartları belirlenmeli,işyerinde yetkileri olmalıdır.

Kurulacak MİGEM Bölge Müdürlükleri yeterli kadro ve ekipmanla donatılmalı,valiliklerin bünyesinde yatırım bakanlıkları ve denetim unsurları görevlendirilmelidir. Ruhsat verme,izinler konusunda illerde ve Bölge Müdürlüklerinde yetki olmalıdır. Ülkemiz gibi geniş bir coğrafyaya sahip bir alanda başkentten tüm madencilik sektörünün yönetilmesi olanaksızdır.1995 yılında Maden kanunu değişikliğine taslakta giren fakat daha sonra iptal edilen bölgesel yönetime acilen geçilmelidir.

Maden Kanunu değişikliklerinde sektörün ; sektöre yön veren proje üreticileri ve mühendislerin maden üretim işkolunda daha çok söz sahibi olması ve üretimden pay alabilmesi sağlanmalıdır.Bunun için proje üreten Maden Mühendisleri, İşletme projelerinde ve temdit projelerinde, projelendirdikleri maden işletmelerinin üretime geçmesinden itibaren yapılan yıllık üretim karşılığında şirketlerin devlete ödedikleri devlet hakkının %10'u oranında bir payı her yıl haziran ayı sonunda alabilmelidirler.Madencilik projeleri gerçek anlamda sürekli güncellenmeli ve proje uygunluk konusunda proje üreticileri ilk onayı vermeli ve gerektiğinde revize projeler ile düzeltmeler yapmalıdır.Maden sahaları

her madene göre tekrar boyutlandırılmalı gerektiğinde kömür veya mermer sahaları pano veya ayna uzunluklarına göre üretim miktarları öngörülmelidir.Devletin maden sahalarındaki üretim miktarlarını sadece beyan esasına göre değil, projeler üzerinden de proje üretenlere pay ayırarak yaklaşması doğal kaynaklarımızın daha doğru değerlendirilmesini sağlayacaktır.

1.1.1. Madenlerin sınıflandırılması

Madenler Maden Kanununda 5 Grup içinde değerlendirilmekte ve bu gruplarla ifade edilerek ruhsatlandırma alan büyüklükleri çok basit ve kontrolsüz şekilde değerlendirilmektedir.

Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği 10.maddeye göre:

" *1(b) grubu madenlerde 50 hektarı, II.Grup madenlerde 100 hektarı,III Grup madenlerde 500hektarı,IV.grupmadenlerde 2000hektarı,V.grup madenlerde 1000 hektarı,VI.grup olarak değerlendirilen yeni düzenlemeyle IV.Gruba eklenen madenler ise 5000hektarı,Tamamı denizlerde yapılan III,IV,VI Grup ruhsat müracaatları 50000 hektarı geçmeyecek şekilde yapılır*" şeklinde ifade edilmekte ve uygulanmaktadır.

Bu alan büyüklükleri ile ruhsatlandırma yapıldığında ve ruhsat hukukunun uzun sürelerle yürümesinden dolayı az sayıda şirketin elinde çok büyük alanı kapsayan maden sahası bulunmakta ve bu da sektörde tekelleşmeyi doğurmaktadır.Büyük maden sahaları uzun yıllar üretim dışında kalmaktadır.Bir başka açıdan baktığımızda yeterli denetim ve proje kontrolü yapılamadığı için rezerv savurganca kullanılıyor.Günümüzde yenilenemeyen kaynaklar arasında bulunan ve oluşumu milyonlarca yılla ifade edilen maden kaynaklarımızı işletmek ve değerlendirmek; yürürlükteki yasalarla ve kamu denetim sistemiyle plansız,hesapsızca yapılmaktadır.

1.1.2 Maden gruplarının ve çalışma-ruhsat alanlarının yeniden belirlenmesi

Yapılacak yasal düzenleme ile ;1 –a grubu madenler 10 Hektar,1-b Grubu Madenler 20 Hektar,II.Grup madenler 40 Hektar,II.Grup Madenler 100 Hektar,IV Grup Madenler 100 Hektar,V Grup madenlerde 100 hektara düşürülerek 1 yıllık intibak süresi verilmelidir.Bu süre içinde tüm ruhsatlar yeni belirlenen alan büyüklüğüne getirilmeli ve mevcut çalışan sahalar yeniden değerlendirilmeli,kaynak israfından vazgeçilmeli ve kontrol sağlanmalıdır.

5995 sayılı kanunla değişik 3213 sayılı Maden Kanunu ile daralan ve orta ve küçük ölçekli Madencilik faaliyetleri yeniden canlandırılmalıdır. Rekabet unsuru yaratılmalı, madenciye ara eleman ve ara üreticiler sağlayacak işletmeler oluşmalıdır.

Ruhsat alanları mevcut ruhsatlı sahalarda da küçültmeye gidilmelidir. Şirketlerin hali hazırda gruplara göre büyük olan ruhsatları daha önceki yıllarda uygulandığı gibi yeni büyüklüklere bölmek suretiyle çalışacakları alanlar belirlenmelidir. Ruhsat devirleri zorlaştırılmamalı,aksine kolaylaştırılmalıdır.

Kontrolsüz bir yapı oluşturulmuş ve mevcut yapıyı daha karmaşık ve çözümsüz hale getirerek Madenciliği tek elden yönetilir bir sektör olmaktan kurtarmak gereklidir. Maden İşleri Genel Müdürlüğü yeterli teknik kadroya ve bilgi birikimine sahiptir.

1.1.3 Madenlerin teknik-idari-iş güvenliği konularında yönetilmesi

1.1.3.1 Madenlerin Teknik Yönetimi

Madenlerimiz Teknik anlamda proje sahibinin kontrolunda olmalıdır. Teknik Nezaretçinin proje üreticisi olması halinde, proje ömrü süresince madencinin her yıl ödeyeceği devlet hakkının yıllık tutarının %10 oranında projeden gelir elde etmelidir.Maden Mühendisi projeden aylık Nezaret ücretinin yanında yıllık alacağı %10 Devlet Hakkı payı ile maden sahasının daha yeterli denetimi sağlanabilir.Sadece işverene bağlı deneyimsiz daimi nezaretçi işyerinde maden çavuşluğundan öte bir hizmet vermesi beklenemez.

1.1.3.2 Madenlerin İdari Yönetimi

Her madencilik işkolunda en az 5 yıl deneyimi olmak koşulu ile daimi nezaretçilik

ve maden mühendisliği eğitimi almış kişiler madencilik işyerlerinde her vardiyada 20 işçiye 1 daimi nezaretçi olmak kaydıyla çalıştırılması yasayla düzenlenmelidir.Daimi nezaretçilerin ve Teknik Nezaretçilerin görev yapması ve ücretleri Maden İşleri Bölge Müdürlüklerince takip ve kontrol edilmelidir.

1.1.3.3 Madenlerin İş Güvenliği Yönetimi

Maden işletmelerinde çalışma alanları her 20 işçi için 1 işgüvenliği uzmanı olmak üzere sorumlu ve yetkili olarak çalışmalıdır.Madenler projeye uygun çalışmalı,kapasitesi,işçi sayısı,çalışma alan boyutları,çalışma alan yeterliliği incelenerek güvenlik şartları sağlanmalıdır.Maden işletmelerinde İSG koruyucu ve güvenlik malzemeleri yeterli miktarda olmalı ,personelin bu İSG malzemelerini kullanması sağlanmalıdır.

1.2 Çalışanların Sektörel Kaydı

Her maden işletmesinde çalışan tüm personelin sadece SGK kayıtları yeterli değildir.İş ve İşçi Bulma kurumları sorumluluk alanlarındaki tüm işletmelerde çalışan işçilerin mesleki gelişimlerini sürdürmelerini takip ve kontrol etmeli,kayıtlarını tutmalıdır.Kamu idareleri çalışan işçilerin sağlık,güvenlik,eğitim konularında işyerlerinde yasal çalışmalarını takip ve kontrolunu yapmalıdır.

1.2.1 Üretim faktörleri bilgi bankası

Çalışma Bakanlığı bünyesinde tüm ticari işletmeler envantere alınarak bu işletmelerin üretimleri ve üretim araçları kayıt altına alınmalıdır.Kamuda Çalışma Bakanlığı ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tüm illerde birimler açarak Madencilik işkolunda ve diğer işkollarında koordinasyon sağlanmalıdır. Yine Orman bakanlığı ve Çevre Bakanlığı ile Valiliklerde Yatırım İzleme birimlerinde Maden Mühendisleri görev alarak sektörün gelişmesi sağlanmalıdır.Kamuda koordinasyon sağlanmalı ve bürokrasi –zaman kaybı azaltılmalıdır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Maden İşleri Genel Müdürlüğü Büyükşehirlerde Bölge Müdürlüğü açarak,tüm illerde ve şubelerle örgütlenmeli,Madencilik Ankara tekelinden kurtarılmalıdır.

1.2.2 Mühendislerin Sektörde Söz Sahibi Olabilmesi

Her maden işletmesi mevcut yasalar gereği İşletme Projesi olmadan üretime geçemiyor.Halen mevcut uygulama İşletme Projelerinin sektörde bire-bir uygulanabilmesini sorgulamadığı için sadece işin başında projeye bakılıyor.10 yıllık işletme projesinde üretime başlayan madenci 10 yıl boyunca sadece şikayet veya kendi talebi olursa denetleniyor.Bunun yerine Maden Mühendisinin yaptığı projeyi saha çalışırken sürekli takip etmesi ve 10 yıllık sürelerde ,madencinin ödediği her yıla ait devlet hakkının % 10 oranında pay alması sağlanırsa Maden Sektörü gerçek anlamda yağmadan kurtulmanın,kaynakların verimli kullanılmasının başlangıcına gelebilir.

Maden Mühendisi,Teknik nezaretçi tüm maden sahasındaki üretimi aylık raporlarla takip ve rapor etmelidir.

Üretim miktarları madencilikte tüvenan ve işlenmiş yarı mamul,mamul ,nihai ürün gibi soyut ifadelerle değil ocaktan çıkış anında değeri doğru ve gerçek tesbit edilerek,fiyatlandırılarak belirlenmelidir.

Burada mühendise gerek vardır.Mühendis yetkilendirilmiş,deneyimli,projeye hakim olmalıdır.Çalışan ve boyutlandırılan maden sahası,çalışma şartları projeyi kontrol eden mühendisçe sürekli izlenmelidir.

2 MADENCİLİK PROJELERİNDE DENETİM

Maden sahalarının ruhsatlandırma aşamasında büyüklüklerinin yeniden değerlendirilmesi ve projelerin üretim sürecinde sürekli kontrol edilebilmesi sağlanarak madencilik yatırımları kontrol altına alınabilir.

Özellikle yeraltı madenciliğinde Projelerde aynı bölgede daha önceki yıllarda

yapılan üretimler,oluşturulan imalatlar sahanın yeni sorumlularına bildirilmelidir.Bu konuda Maden İşleri Genel Müdürlüğü tüm işletmelerin verdiği imalat haritalarını gerektiğinde erişime açmalıdır.

Madencilik uygulamalarında sektörler arasında farklı uygulamalarolmamalıdır.

Örneğin Jeotermal yatırımları hesapsızca teşvik edilirken; mermer,kömür ocak yatırımları olabildiğince engellenmeye çalışılmamalıdır.

Yeraltı kaynağı olan Jeotermal Enerji için özel yasa hazırlanırken ve mülkiyet dışında tüm yatırım ve izinler valiliklerce hızla çöümlenirken,diğer madencilik yatırımları için her bakanlıktan ayrı izinler alınması ve uzun bürokratik süreç madencilik yatırımcılarını çok üzmektedir.

2.1 Maden işleri bölge müdürlüğü

Bölgelerde Maden İşleri Genel Müdürlüğü büyükşehirlerde yetkili birimler açarak Madencinin zaman kaybını önlemelidir. Yerel Yönetim yasası ile Büyükşehir olan illerde Bölge Müdürlükleri açılarak idari,teknik,mali denetim sağlanmalıdır. Maden İşletmelerinin izin,ruhsat,Teknik ve Daimi nezaretçilerin yönetimi ve atanması,projelendirme çalışmaları Bölge Müdürlüklerinin yetkisinde olmalıdır.Teknik ve daimi Nezaretçiler için Bölgelerde Madencilerin ödeyeceği fonun yönetimi Bölge Müdürlükleri mali işlerince yerine getirilmelidir.

Böylece Teknik ve Daimi Nezaretçiler yarı resmi kimlikle çalışmalarına devam edeceklerdir.

Teknik Nezaretçiler ve daimi nezaretçiler Maden Mühendisleri odasınca atamaları onaylanıp ,Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca yetkilendirilip sorumlu olarak işletmelerde çalışmalıdır.

3 SONUÇ

Maden Kanunu ve Maden Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde yapılacak ve art niyetsiz kamu yararına olacağına inanılan düzenlemeler çok fazla müdahale olmazsa problemsiz olarak yönetilir.

Bunun için ilgili kurumların görevlerine siyasi iradece müdahale edilmemelidir.

Tüm işletmelere eşit mesafede yaklaşılmalı,yasalar herkese ve her kuruma eşit uygulanmalıdır.

Madenlerimiz doğru ve yerinde yönetilmeli,üretimin en temel unsuru çalışanların can güvenliği en önemli değer kabul edilmelidir.

Bu madenlerin yarı ve nihai ürün haline gelmesinde en büyük emeği olan Maden Mühendisleri hak ettikleri gelire ve yaşam biçimine kavuşturulmalıdır.

Yüksek Öğrenim ve Milli Eğitim kurumları yeniden incelenmeli gereksiz Mühendislik bölümleri kapatılarak mesleki enflasyonun önüne geçilmelidir.

Yine Milli Eğitim Bakanlığınca ara işgücü yetiştirmeye yönelik Teknik Liselerde farklı madencilik kollarına yönelik mesleki bölümler açılmalıdır.

Madenlerimiz proje üzerinde sürekli imalatlar işlenerek ve gerçek değerlerle aylık raporlar düzenlenerek yönetilmelidir.

Bu inceleme ile; Maden Kanunu ve Uygulama Yönetmelikleri ;ülke yararına ve çalışanlar yararına,kamu yararına tüm unsurlar göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Burada herhangi bir kişi veya kurum görüşü ön plana alınmamış tamamen yaşanan Maden Kanunu süreci son 25 yıllık zaman diliminde gözlenmeye çalışarak öneriler belirtilmiştir.

Umarım yasal düzenlemeler ülke ve çalışanların lehine yapılır,sektörde bu güne kadar hakkı olan,emeği geçen Maden Mühendislerinin mağduriyetine yol açmaz .

En önemlisi art niyetsiz,ideal çalışma şartlarını belirleyen belirli bir kesime hizmet etmeyen adil kamu düzenini sağlayacak şekilde olmasıdır.

KAYNAKLAR

TUFAN T. Maden Mühendisi (Derleme)
TUFAN Madencilik-Mühendislik, Nazilli-Aydın

Madencilikte Ne Kadar Dışa Bağımlıyız ?
How Dependent Are We on Mineral Imports?

M. Köse
Madencilik Araştırma Merkezi Derneği

V. Oygur
Maden Jeologları Derneği

ÖZET Türkiye; doğal gaz ihtiyacının %98'ini, petrol ihtiyacının %93'ünü, kömür, asfaltit ve petro kok ihtiyacının %58'ini (petrol eşdeğeri bazında), metal tüketiminde ise alüminyum ihtiyacının %99'unu, bakır ihtiyacının %90'ını, krom, antimuan, kurşun, çinko, nikel ihtiyacının %100'ünü ve altın ihtiyacının %80'ini ithal etmektedir.

Demir Çelik Üreticileri Birliği'nin rakamlarına göre, demir cevheri ithalatında %65, hurda ithalatında %65 ve paslanmaz çelik ithalatında ise yaklaşık %97 oranında dışa bağımlıyız.

Sanayimiz maalesef 1 dolarlık ihracat yapabilmek için 1,2 dolarlık ara mal ithal etmektedir. Sanayimizin ihtiyaç duyduğu madenciliğe dayalı ara malları, her geçen yıl artan oranlarda yurt dışından ithal etme yerine kendi kaynaklarımızdan karşılayabilir miyiz?

Bu bildiri, yukarıdaki soruya cevap aramak amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, ithalat, Türkiye'de madencilik

ABSTRACT Turkey imports 98% of its natural gas, 93% of its oil, 58% of its coal, asphaltites and petro-coke needs (in terms of oil equivalent); in metal terms,99% of its aluminum, 90% of its copper, 100% of its chrome, antimony, lead, zinc and nickel needs; and 80% of its gold needs from other countries.

According to the Iron and Steel Producers Association, Turkey is dependent on foreign countries for 65% of its iron ore import, 65% of its scrap metal import and about %97of its stainless steel import.

Unfortunately, in order to export $ 1 worth of goods we must import $ 1.2 worth of intermediate goods. Can we meet the mineral-based intermediate goods needed by our industry from our own resources rather than importing from abroad?

This paper aims to seek answers to this question.

Keywords: Mining, import, mining in Turkey

1 GİRİŞ

1995 yılında gerçekleştirilen 14 üncü Madencilik Kongresi'nde sunulan "Türkiye'de Madencilik Sektörünün Geleceği[1]" başlıklı bildiride Türkiye ekonomisinin ihtiyaç duyacağı mineral talebinin nasıl karşılanacağı ve madencilik sektörünün durumunun ne olacağı sorgulanmış ve aşağıdaki değerlendirme yapılmıştır:

"*Türkiye'nin madencilik politikası iki eksenli olmalıdır. Birinci eksen; üretim imkanlarının geliştirilmesine yönelik faaliyetler olup, hangi madensel potansiyelin hangi jeolojik ortamda bulunabileceğini tespite yönelik olarak, Türkiye'nin detay jeolojisine, jeofiziğine ve jeokimyasına ışık tutacak bilgi bankasının oluşturularak arama riskini azaltacak alt yapı faaliyetleri başta olmak üzere, araştırma, eğitim ve uzman*

yetiştirmeye ağırlık verilmesi esasına oturmalıdır. İkinci eksen ise; Türkiye'nin madencilik modelinin dünyadaki mevcut yapıya uygun olarak Devletin madencilik sektöründeki rolünü işletmeci olarak değil, denetleyici olarak sürdürmesidir."

Aradan geçen 20 sene sonra, 2015 yılına girildiğinde, Devletin madencilikten tamamen çekilmediği ama önemli ölçüde küçüldüğü görülmektedir.

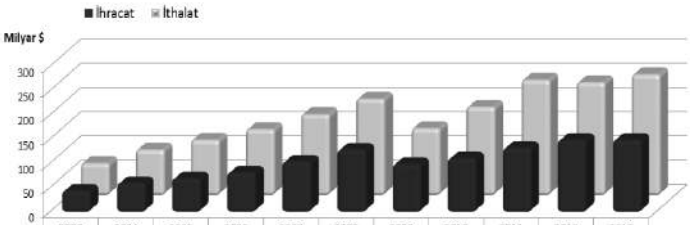
İthalat ve ihracat rakamlarına bakıldığında Türkiye devamlı cari açık veren bir ülke konumundadır.

Türkiye'nin dış ticaret, ithalat içinde ara mal ithalatının değeri ve ithal ettiğimiz enerji ve metallerle ilgili veriler Çizelge 1, 2 ve 3'te verilmiştir [2,3,4].

Türkiye'nin 2013 yılı toplam ithalatı 252 milyar ABD dolar olup bunun %73'ü yani 184 milyar doları ara mal ithalatıdır.

Çizelge 3'ün incelenmesinden de görüleceği gibi; 2001 yılında Türkiye'nin enerjideki ihracat ve ithalat dengesi arasındaki fark 8 milyar dolar aleyhine iken, 2013 yılında bu fark yaklaşık altı kat artarak eksi 49 milyar dolara çıkmıştır. Mineral ve metaldeki ihracat ve ithalat dengemizde ise 2001 yılındaki fark eksi 0,9 milyar dolar iken bu fark 2013 yılında yaklaşık 24 kat artarak eksi 21,3 milyar dolara çıkmıştır. Bu durum daha fazla dışa bağımlı bir yapıya dayalı sanayileşme süreci yaşadığımızı göstermektedir. Bu çizelgede dikkat çeken en önemli husus, mineral ve metal ithalat artış oranının yüksekliğidir.

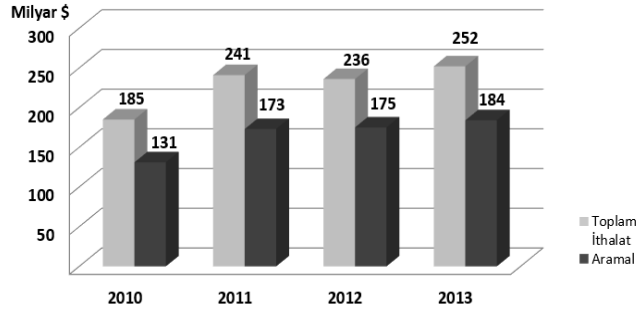
Çizelge 1. Yıllara Göre Dış Ticaret



	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
İhracat	47	63	73	85	107	132	102	114	135	152	152
İthalat	69	97	117	139	170	202	141	185	241	236	252

Kaynak: TÜİK

Çizelge 2. İthalatımız İçinde Ara Mal İthalatının Payı.



Aramal	131 (%71)	173 (%72)	175 (%74)	184 (%73)
Toplam İthalat	185	241	236	252

Kaynak: TÜİK

Çizelge 3. Enerji ve Metal İthalatımızın Değeri (2001-2013).

ENERJİ VE METAL İTHALAT- İHRACAT DEĞERLERİ (2001-2013) (10^3 $)							
	İhracat 2001	İthalat 2001	Fark		İhracat 2013	İthalat 2013	Fark
Ham Petrol, Doğalgaz,Yağlar	444,700	8.339.366	-8.338.921	Ham Petrol, Doğalgaz,Yağlar	6.724.803	55.917.155	-49.192.352
Mineraller & Metaller				*Mineraller & Metaller*			
Demir-Çelik	2.069.932	1.797.367	272.565	Demir-Çelik	9.921.244	18.690.888	-8.769.644
Bakır ve Bakırdan Yapılan Parçalar	201.846	320.232	-118.386	Bakır ve Bakırdan Yapılan Parçalar	1.456.673	3.709.972	-2.253.299
Alüminyum ve Alüminyumdan Yapılan Parçalar	321.041	417.912	-96.871	Alüminyum ve Alüminyumdan Yapılan Parçalar	2.263.510	3.236.691	-973.181
Demir-Çelik Parçaları	975.727	844.630	131.097	Demir-Çelik Parçaları	6.148.743	2.757.736	3.391.007
Çinko ve Çinkodan Yapılan Parçalar	7.383	80.374	-72.991	Çinko ve Çinkodan Yapılan Parçalar	19.385	520.797	-501.412
Kurşun ve Kurşundan Yapılan Parçalar	2.657	24.890	-22.233	Kurşun ve Kurşundan Yapılan Parçalar	13.919	221.662	-207.743
Nikel ve Nikelden Yapılan Parçalar	689	20.706	-20.017	Nikel ve Nikelden Yapılan Parçalar	21.750	172.926	-151.176
Diğer Baz Metaller	1.270	10.597	-9.327	Diğer Baz Metaller	14.471	134.567	-120.096
Altın	26.284	989.358	-963.074	Altın	3.349.044	15.129.167	-11.780.123
Toplam	3.606.829,00	4.506.066,00	-899.237	Toplam	23.208.739,00	44.574.406,00	-21.365.667

http://www.trademap.org/tm_light/Product_SelCountry_TS.aspx

Gelişmiş bir toplum olabilmek için daha çok enerji, mineral ve metal tüketmek zorundayız. İhracatımızın lokomotifi olan sektörlerimizin üretimleri çok büyük oranda ithalata bağımlıdır.

Bu durumun ne kadar sürdürülebilir olduğunu veya olabileceğini tartışmamız gerekmektedir. Zira sanayimiz maalesef 1 dolarlık ihracat yapabilmek için 1,2 dolar ara mal ithal etmektedir[5].

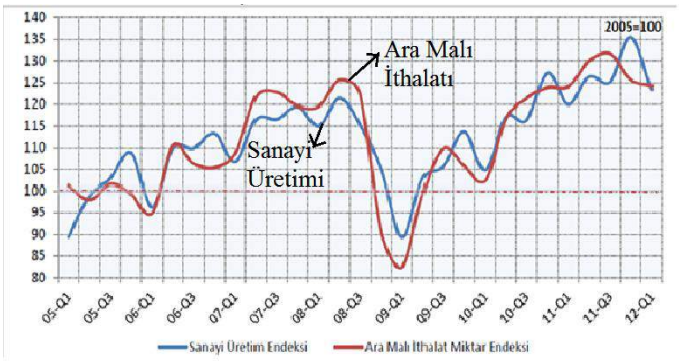
Kendi otomobilini, otobüsünü, kamyonunu, tankını, uçağını, beyaz eşyalarını, elektronik araç ve gereçlerini kendisi üretme iddiasında olan bir ülke söz konusu araç ve gereçlerin yapılmasında kullanılan metallerin ülke içinde aranmasını ve üretimini teşvik ederek, bu alanlarda büyük yatırımların yapılmasını gerçekleştirecek akılcı politikalar izlemek zorundadır.

Sanayileşme sürecindeki Türkiye ; kömür ve metal madenleri üretiminde ne yazık ki ABD, Almanya ve İngiltere gibi sanayileşmiş ülkelerin 100 yıl önceki üretim değerlerinin bile çok gerisinde kalmıştır.

Örneğin, 1910 da, Almanya 2,9 ton, ABD 5,5 ton, İngiltere 6,7 ton kişi başına yıllık kömür üretimine sahipken[5], aradan geçen 104 yıl sonraki teknolojik gelişmişlik avantajlarına rağmen, 2014 yılında Türkiye'nin kömür üretimi kişi başına yaklaşık 0.8 tondur. Maalesef metal üretimlerinde durumumuz daha da kötüdür.

İmalat sanayinin kullandığı hammaddelerin ve ara mal ürünlerinin Türkiye'de üretilmesini teşvik edecek bir siyasi irade olmaz ise sürdürülebilir bir kalkınmayı gerçekleştiremeyiz.

Çizelge 4. Sanayi Üretimimiz ile Ara Mal İthalatımız Arasındaki İlişki



Kaynak: Asoform Tem/Agustos 2011

Çizelge 4 ten de görüleceği gibi Türkiye'nin yabancı katma değer ithalatı, yani ara mal ithalatı, arttıkça büyüme oranı da artmaktadır[6].

Mevcut durumun devam ettirilmesi halinde sanayi üretimimiz arttıkça ara mal ithalatımız daha çok artacak ancak katma değeri yüksek ürün üretmede yetersiz olduğumuz için cari açık vermeye devam edeceğiz.

2 MADEN ÜRETİMİMİZ

2013 yılında üretilen yaklaşık 15 milyar dolarlık maden üretiminin 5 milyar doları ihraç edilmiştir. İhracatın %44'ünü mermer ve traverten, %36'sını metalik cevherler, %16'sını ise endüstriyel hammaddeler oluşturmaktadır.

Çizelge 5. 2013 yılında üretilen madenlerin ekonomiye katkısı sıralaması (Milyar $).

	Maden	Milyar $	(%)
1	Mermer & Traverten	3,1	20,7
2	Linyit	2,5	16,7
3	Altın & Gümüş*	1,6	10,7
4	Agrega	1,5	10
5	Taş Kömürü	1,1	7,3
6	Bor	0,9	6,0
7	Bakır, Kurşun, Çinko	0,9	6,0
8	Krom & Ferro Krom	0,7	4,6
9	Demir Cevheri	0,3	2,0
10	Soda Külü	0,2	1,3
11	Diğerleri	2,2	14,7
Toplam		**15**	**100**

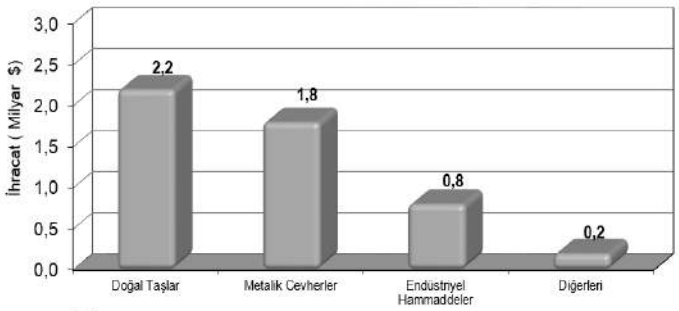
**Metal*

Kaynak: Yetkililerle Kişisel Görüşmelerle Elde Edilen Verilerdir

3 MADEN İHRACATIMIZ

2013 yılı maden ihracatımız yaklaşık 5 milyar dolardır. İhracatımızın dağılımına baktığımızda %44'ü (2,2 milyar $) mermer ve traverten, %35'i (1,8 milyar $) metalik cevherler, %15'i (0,8 milyar $) endüstriyel hammaddeler ve %5'i ise diğer madenlerdir.

Çizelge 6. 2013 Yılı Maden İhracatının Sektörlere Göre Dağılımı.



Kaynak: İMİB, DTM

4 MADENCİLİKTE NE KADAR DIŞA BAĞIMLIYIZ?

Türkiye; doğal gaz ihtiyacının %98'ini, petrol ihtiyacının %93'ünü, kömür, asfaltit ve petro kok ihtiyacının %58'ini (petrol eşdeğeri bazında), metal tüketiminde ise alüminyum ihtiyacının %99'unu, bakır ihtiyacının %90'ını, krom, antimuan, kurşun, çinko, nikel ihtiyacının %100'ünü, altın ihtiyacının %80'ini ithal etmektedir[7].

Demir Çelik Üreticileri Birliği'nin rakamlarına göre, demir cevheri ithalatında %65, hurda ithalatında %65 ve paslanmaz çelik ithalatında ise yaklaşık %97 oranında dışa bağımlıyız.

Çizelge 7. 2013 Yılı İthalat Kalemleri.

2013 Yılı İthalat Kalemleri	Milyar $
Kömür	3,6
Demir çelik	18,6
Altın	15,1
Bakır	3,7
Alüminyum	3,2
Gübre hammaddeleri	1,5
Çinko, kurşun, nikel ve diğerleri	1,0
Ara Toplam	**46,7**
Ham Petrol & Ara Ürünler& Akaryakıt & doğalgaz	56,0
GENEL TOPLAM	**102,7**

Kaynak: http://www.trademap.org/tm, TÜİK

Ara mal ithalatına çözüm üretebilmemiz için önce madencilikte yatırım ortamının gözden geçirilmesi ve bu alana sermaye girişini arttıracak bir güven ortamının yaratılması çok önem arz etmektedir. Ciddi sermaye girişi olmadan hiçbir sektör gelişemez.

Sanayimizin kullandığı yakıtlar, işlem görmemiş veya işlem görmüş hammaddeler ile yatırım mallarının aksam ve parçalarını daha çok oranda yurt içinde üretebilmemiz için, enerji mineralleri ve metal madenciliğinde arama ve üretime yönelik yatırımların ciddi şekilde teşvik edilmesi gerekmektedir.

5 MADENCİLİKTE ANA SORUNUMUZ NEDİR ?

Türkiye'de madencilik sektöründe ana problem, uluslararası seviyelerde maden aramalarına harcanan risk sermayesinin çok yetersiz olmasıdır.

Kanada'da 822 şirket, 2012 yılında yakıt mineralleri hariç maden aramalarına toplam 3.1 milyar Kanada doları harcamıştır.

Türkiye'de 2012 yılında 6698 iş yeri, 12945 maden arama ve 13068 işletme olmak üzere toplam 26013 ruhsat bulunmaktadır.

2012 yılında yakıt mineralleri hariç aramalara harcanan risk sermayesi ise yaklaşık 160 milyon dolar seviyesindedir. Bunun da yaklaşık %75'i altın aramaları için harcanmıştır. (2012 yılı sağlıklı bir kıyaslama yapılabilmesi için seçilmiştir. Zira Haziran 2012 de yürürlüğe giren Başbakanlık Genelgesi ile izinlerin alınmasında yaşanan sıkıntılardan dolayı 2013 ve 2014 yıllarında arama bütçeleri harcanamamıştır.)

Çizelge 8. Türkiye'de Maden İş Yeri Ve Ruhsat Sayıları.

TARİH	ARAMA	İŞLETME	TOPLAM	İŞ YERİ SAYISI
31.12.2008	36.098	9.802	45.900	4933
31.12.2009	33.407	10.935	44.342	5412
24.6.2010*	31.562	11.604	43.166	5939
31.12.2011	18.417	13.323	31.740	6456
31.12.2012	12.945	13.068	26.013	6698
31.12.2013	9.984	13.382	23.366	6912

** Kanun Yürürlük Tarihi*

Kaynak: MİGEM

Ruhsat sayısı ve aramalara harcanan risk sermayesi göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılırsa, ruhsat ve şirket başına en az para harcanan ülkelerden biri olduğumuz ortaya çıkmaktadır[8].

Ülkemizdeki her bir maden işyeri arama projelerine yılda 500 bin dolar harcamış olsa idi ülkemizde maden arama projeleri için yılda 3,5 milyar dolar risk sermayesi harcanması gerekirdi. Oysa ülkemizde maden arama projelerine harcanan risk sermayesinin yılda yaklaşık 200-250 milyon dolar seviyesinde olduğu tahmin edilmektedir.

Madencilikte gelişmiş ülkeler, yıllara göre yapılan maden arama harcamalarını ve birim alana düşen arama maliyeti verilerini, ana maden gruplarına ait her türlü istatistiksel bilgileri yayınlayarak aramalara yön vermekte ve bu sürecin ülke çapında organizasyonunu başarıyla yönetmektedir. Ülkemizde ise MİGEM hiç bu konulara girmeyerek süreci kendi haline bırakmaktadır.

Maden aramacılığında durumumuz bu kadar vahim iken, 2012/15 Sayılı Başbakanlık Genelgesinden sonra, madencilik faaliyetleri için zorunlu izinlerin alınmasında yaşanan sıkıntılar nedeniyle madencilikte yeni arama faaliyetleri ve yatırımlar yapılamaz hale gelmiştir.

Madencilik sektöründeki aktörler bilirler ki "madencilik sektörünün en riskli dönemi arama dönemidir"[9,10]. Bir ülkede maden arama dönemi ne kadar iyi yönetilirse madencilikte başarı o oranda artmaktadır.

Başarılı bir madencilik politikası için, maden gruplarının ayrı ayrı yönetilmesi gerekmektedir.

Bunun nedeni; yerkabuğunda milyarda bir, milyonda bir veya yüzde bir mertebesinde bulunan madenlerin arama süreleri, ruhsat alan büyüklükleri, ruhsat bedelleri, teşvik mekanizmaları aynı olamaz. Yerkabuğunda daha az bulunan minerallerin aranması için daha fazla arama süresi, daha büyük ruhsat alanı ve daha uygun ruhsat bedeli alınması gerekir ki bu alanda bir başarı sağlanabilsin.

Madencilikte dışa bağımlılığımızın azaltılabilmesi için ithalatına her sene milyarlarca dolar ödediğimiz madenlerin yurt içinde üretilmesine yönelik olarak yürütülen arama çalışmaları ve entegre yatırımlara yönelik projelere teşvik edici tedbirler alınabilir.

Çizelge 9a ve 9b den de görüleceği gibi dünya maden istatistiklerine göre, enerji ve metal madenciliğinde yüzlerce arama sahasından bir veya ikisi madene dönüşebilmektedir. Bu bakımdan madencilikte arama sürecini doğru yönetemez, yatırım ortamını uluslararası standartlara kavuşturamaz isek dışa bağımlı olduğumuz metallerdeki maden üretimimiz daha da azalacaktır. Metal madenciliğinde uluslararası maden arama kriterlerine göre, bir maden arama projesinde kaynak belirleme çalışmasından sonra, bir başka ifade ile jeolojik ve jeofizik çalışmalarından sonra ciddi bir mühendislik ve ekonomik değerlendirme çalışması yapılarak projenin fizibilitesinin yapılması gerekmektedir.

Keşfedilen bir kaynağın ekonomik olarak işletilip işletilemeyeceği; madenin kalitesi, büyüklüğü ve pazardaki fiyatı ile doğrudan ilgilidir.

Fizibilite çalışması döneminde; kaynağın bulunduğu yerden hangi yöntemle çıkarılacağı, açık veya kapalı ocak tasarımının yapılması, bölgenin hidrojeolojik özelliklerinin tespiti, çıkarılacak cevherin nasıl zenginleştirileceği, zenginleştirmede hangi ekipmanların kullanılacağı, bunların nereden nasıl temin edileceği, zenginleştirme veriminin ne olacağı araştırılmaktadır.

Ayrıca bu dönemde belirlenen akım şemasına uygun olarak yapılacak yatırım için gerekli sermayenin nereden nasıl temin edileceği, projenin detay mühendislik hizmetleri, özel mülkiyetli alanlarındaki araziler için uzlaşmanın nasıl sağlanacağı, uzlaşma sağlanamadığı takdirde arazilerin kamulaştırmasının nasıl gerçekleştirileceği , yol, su, elektrik vb altyapı projeleri ile maliyetlerin ne olacağı, projenin karlılığının ne olacağına ilişkin çalışmaların yapılması gerekmektedir.

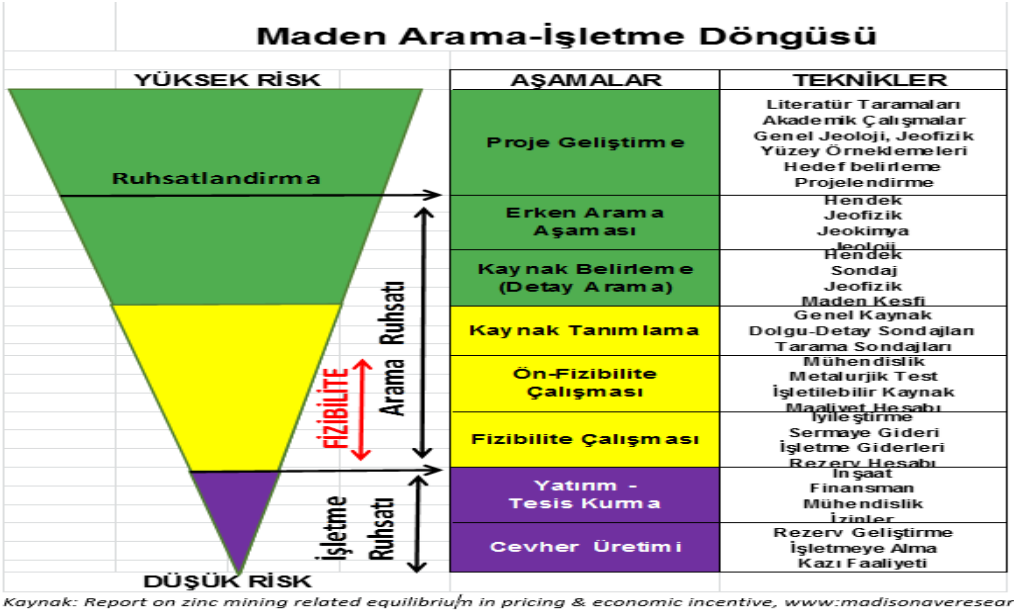
Uluslararası standartlarda fizibilite çalışması yapılmadan maden rezervinden bahsedilemez. Ülkemizde maden kanununda kanunumuza göre arama döneminin bitiminde hemen işletme projesinin verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle eksik ve yetersiz bilgilerle maden projeleri yapılmaktadır. Madencilik sektöründe en büyük sorunlardan birisi eksik ve yetersiz bilgilerle yapılan maden işletme projeleridir.

Türkiye'de madencilik sektörünün istenen seviyeye çıkarılabilmesi için maden aramalarına her yıl 1- 5 -10 milyon dolar risk sermayesi harcamayı taahhüt eden/edecek firmalara özel teşvik fizibilite dönemine yer verilmediği için maden projeleri uluslararası standartlara uygun yapılamamaktadır. Maden mekanizmaları ve güvencelerin uygulanması gerekir.

Enerji ve metal madenciliğinde yaklaşık %90 oranında dışa bağımlı kalmamızın altında yatan neden, 10-15 yıl sonra ancak geri dönecek riskli bir alanda Türkiye'de ciddi yatırımcı bulunamamasıdır.

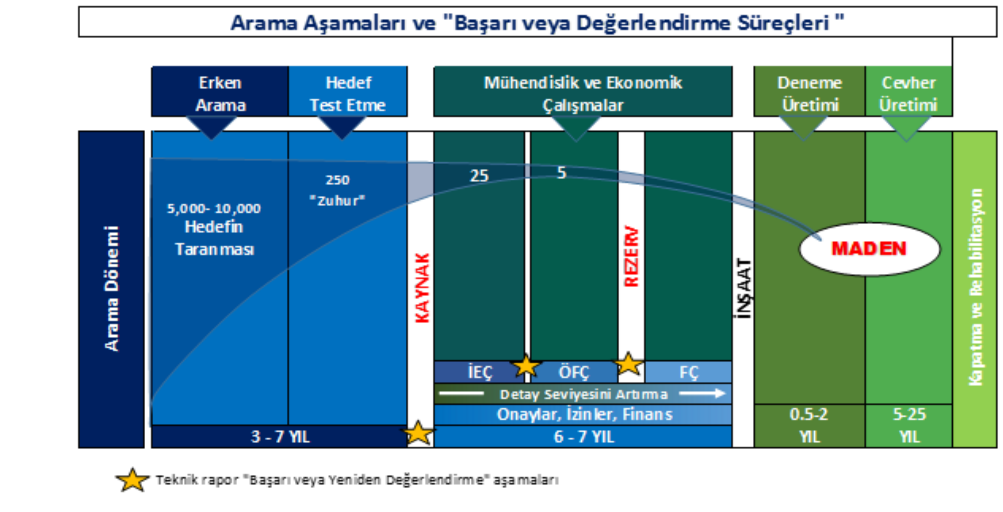
Ciddi bir yatırımcı, geri dönmesi garanti olmayan bir alana yüz milyonlarca liralık bir yatırım yapmadan önce bu alandaki risklerin ne kadar öngörülebilir ve yönetilebilir olup olmadığına bakmak zorundadır.

Çizelge 9a. Maden Projesinin Safhaları



Kaynak: Report on zinc mining related equilibrium in pricing & economic incentive, www:madisonaveresearch.com

Çizelge 9b. Maden Projesinin Safhaları

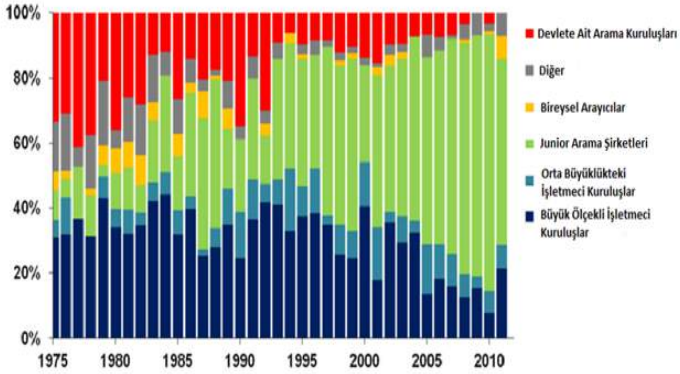


Kaynak: OSC SME Institute, Nov,2014

Ruhsat güvencesi yoksa, haksız rekabet söz konusu ise, izinlerin alınmasında tarife dışı engeller uygulanıyorsa, hukuki güvence yetersiz ise o ülkede madencilikte ciddi bir gelişme olması beklenemez.

Dünyadaki istatistikler incelendiğinde metal madenciliğinde yeni kaynakların keşfinde devlete ait arama kuruluşlarının payının giderek azaldığı ve günümüzde % 5'lerin altına düştüğü görülmektedir[11].

Çizelge 10. Dünyada Maden Arama Şirketlerinin Profili



Kaynak: Köse,M; Uluslararası Madencilik Göstergelerinin Neresindeyiz? Madencilik Türkiye Dergisi, Ocak

6 ARAMALARDA NE DURUMDAYIZ?

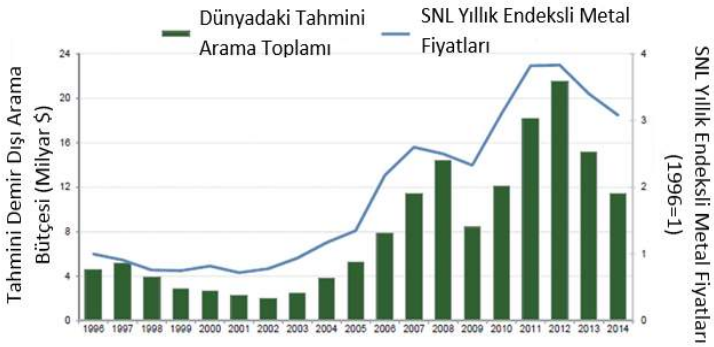
Maden aramacılığında nerede olduğumuzu rakamlar ortaya koymaktadır. Çizelge 11 den de görüleceği gibi dünyada 2013 yılında demir dışı metal aramalarına yaklaşık 15 milyar $ harcanmıştır[12].

Avusturalya'da 2013 yılında maden aramalarına 3,1 milyar dolar risk sermayesi harcanmış ve toplamda 8 milyon 400 bin metre; Kanada'da ise 2013 yılında 2,3 milyar Kanada doları harcanmış ve 6,6 milyon metre maden sondajı yapılmıştır[13,14].

2013 yılında Dünyada demir dışı metal aramalarına harcanan risk sermayesinin yaklaşık binde altısı ülkemizde harcanmıştır.

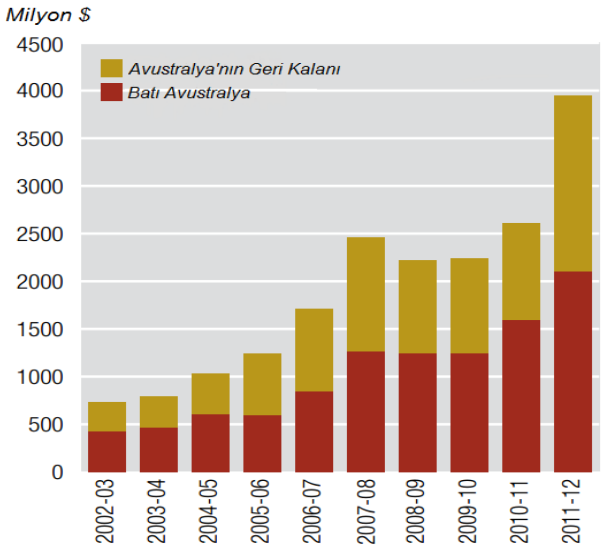
Metal madenleri arama projelerine de petrol ve doğal gazda olduğu gibi çok ciddi risk sermayelerinin harcanması gerekmektedir.

Çizelge 11. Dünyada Demir Dışı Metal Aramalarına Harcanan Risk Sermayesi



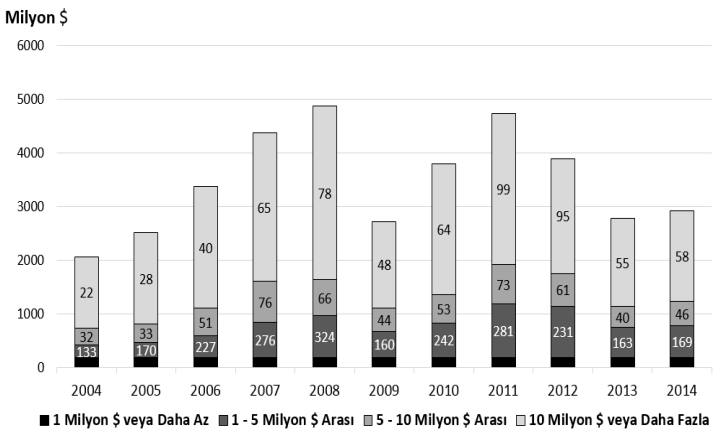
Kaynak: World Exploration Trends 2014, SNL Metals & Mining

Çizelge 12. Avustralya'da Maden Aramalarına Harcanan Risk Sermayesi



Kaynak:Western Australia Mineral &Petroleum Statistics Digest ,2012-2013

Çizelge 13. Kanada'da Maden Aramalarına Harcanan Risk Sermayesinin Sermaye Yapısına Göre Dağılımı



Kaynak: Canadian Mineral Exploration Information Bulletin, 2014

Bu güne kadar metal madenleri aramalarına baktığımızda, son 20 yılda, altın madeni aramaları hariç ciddi bir risk sermayesinin harcanmadığını görüyoruz. O kadar ki Türkiye'nin 75 yılda gerçekleştirdiği maden arama sondajını Kanada bir yılda gerçekleştirmektedir[15].

Ülkemizde maden aramalarına harcanan risk sermayesini yılda 2- 3 milyar dolar seviyesine çıkaracak bir güven ortamı ve başarılı bir maden endüstrisi yönetim modeli yaratılamaz ise madencilikte istenen başarı gerçekleştirilemez.

Ülkemizde maden aramalarına yılda 1- 5- 10 milyon dolar ve daha fazla risk sermayesi harcayabilecek şirket sayısını arttırabildiğimiz oranda madencilikte gelişme sağlayabiliriz.

Günümüzde mostra madenciliği artık bitmiştir. Derinlerde gömülü maden kaynaklarını keşfedebilmemiz için daha çok bilime, teknolojiye, uzmanlığa ve risk sermayesine ihtiyacımız var.

Türkiye'de maden işletmeciliğinde henüz ortalama 150 metre derinliklerdeyiz. Dünyada 4000 metre derinlikteki madenler işletilmektedir. Biz de madencilikte teknolojiye daha fazla ağırlık vermek zorundayız.

Dünyada demir dışı metal aramalarına harcanan risk sermayesi (geri dönüşü garanti olmayan para) son 10 yılda %600'lük bir artış göstererek 2012 yılında en yüksek seviyeye 21,5 miyar Dolar'a ulaşmıştır.

2012 yılından itibaren dünyada maden arama fonlarında ciddi düşüşler yaşanmaya başlamış ve yeni maden aramalarına harcanan risk sermayesi 2013 yılında 15,2 milyar Dolara, 2014 yılında ise yaklaşık 11,5 milyar Dolara düşmüştür.

2012 yılındaki Başbakanlık Genelgesi'nden sonra maden arama ve ruhsat izinlerinde yaşanan sıkıntıdan dolayı arama bütçeleri harcanamadığından maden arama faaliyetleri özellikle metal madenciliğinde durma noktasına gelmiştir. Demir dışı metal aramalarına 2013 yılında yaklaşık 100 milyon Dolar, 2014 yılında ise yaklaşık 60 milyon Dolar harcanmıştır.

7 STRATEJİK MADEN YATIRIMLARI

Bu konuda 2010 yılında Ekonomi Bakanlığı koordinasyonunda yürürlüğe konan GİTES (Girdi Tedarik Sistemi) çok önem arz etmektedir.

GİTES'in 2013-2015 Eylem Planında sanayinin ihtiyaç duyduğu temel madenlerin büyük bir kısmında yurtiçi arzın, talebin oldukça gerisinde kaldığı; yurt içi kaynakların daha etkin kullanılması ve ülkemiz madencilik potansiyelinin değerlendirilmesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir[16].

ETKB'nın 2015-2019 Stratejik Plan Çalışması'nda ise madencilikle ilgili şu konular ön plana çıkarılmıştır[17].

- Arama faaliyetlerinin arttırılması
- Uluslararası rezerv raporlama sistemlerinin tamamlanması
- Arama ve işletmeye yönelik izin süreçlerinin kolaylaştırılması
- Çevre ihtilaflarını azaltacak tedbirlerin alınması
- Kritik hammaddelerin belirlenmesi ve bunların aranmasının teşvik edilmesi

Gerek GİTES gerekse ETKB'nın eylem planları ara mal ithalatının azaltılmasında madenciliğin ve madenciliğe dayalı sanayilerin ne kadar önem arz ettiğinin altı çizilmektedir.

Sektöre sermaye girişinin önündeki engellerin kaldırılması ve maden üretimimizin artırılabilmesi için uluslararası standartlarda maden aramalarının teşvik edilmesi amacıyla kamu otoritesinin sektördeki aktörler ile birlikte bir eylem planı hazırlayıp bir an önce uygulamaya koyması gerekmektedir.

Çizelge 14. Metal Madenciliğinde Yatırımların Ülkelere Göre Dağılımı, 2013

Ülke	Toplam Yatırım (Milyar ABD $)	Payı (%)	2012 Yılında Sıralamadaki Yeri
Kanada	117	15	2
Avustralya	100	13	1
Rusya	74	9	5
Şili	69	9	3
Brezilya	57	7	4
Peru	49	6	6
ABD	45	6	7
G. Afrika	25	3	8
Meksika	18	2	11
Filipinler	17	2	10
Toplam	**571**	**72**	

Kaynak: 2014 Annual Survey of Global Mining Investment, Intierra RGM

Çizelge 15. Metal Madenciliğindeki Yatırımların Metallere Göre Dağılımı, 2013

	Toplam Yatırım (Milyar ABD $)	Payı (%)	2012/2013 Kıyaslaması
Demir Cevheri	261	33	↓
Bakır	228	29	↑
Altın	131	17	↔
Nikel	62	8	↔
Uranyum	24	3	↔
Kurşun/Çinko	17	2	↔
Platin Grubu	16	2	↔
Elmas	8	1	↔
Gümüş	9	1	↔
Diğerleri	35	4	↔
Toplam	**791**	**100**	

Kaynak: 2014 Annual Survey of Global Mining Investment, Intierra RGM

Dünyada metal madenciliğindeki yatırımlarda[18] Türkiye'nin payının yok denecek kadar az olması metal madenciliğinde neden çok büyük oranda dışa bağımlı olduğumuzu açıklamaktadır.

Madencilik sektöründe sık sık mevzuat değişikliği yatırımcıların en istemediği şeydir. Bu nedenle maden aramasına başlandığı andaki mevzuat koşullarının kazanılmış hak olarak ruhsatın ilerideki dönemlerinde de yatırımcı lehine sürdürülmesi yatırım ortamı için en büyük güvencedir.

Maden Kanununda değişiklik yapılarak maden gruplarının ayrı ayrı yönetimine , denetimine ve teşvik edilmesine imkan verilmelidir. Her bir maden grubu ayrı ayrı yaptırımlara ve haklara tabi olmalıdır. Ruhsat bedelleri, ruhsat iptalleri, cezaları, teşvikleri, projeleri farklı müeyyidelere tabi olmalıdır.

Enerji ve metal madeni aramalarında yatırımcı arama döneminde 10-15 yıl hiç para kazanmadan sürekli cebinden para harcayarak arama projelerini yürütmek zorundadır. Aramalara harcanması gereken paraların izin bedelleri adı altında bürokrasi çarkları içinde heba edilmesinin önüne geçilmelidir.

Sektöre ciddi yatırımcıların girişinin hızlandırılması için madencilik faaliyetlerinin 2012/15 sayılı Genelge kapsamından çıkarılması gerekmektedir. Madencilik faaliyetleri ile ilgili izinlerin alınmasında yaşanan belirsizliklerin ve tarife dışı engellerin ortadan kaldırılması, yatırımcılara hukuki güvence, ruhsat güvencesi, yatırım güvencesi, vergi güvencesinin sağlanması ve ÇED olumlu görüşü alınan projelerin tek kanun ve tek merciden alınacak izinle yatırımının gerçekleşmesine imkan sağlayacak bir yatırım ortamının oluşturulması ile madencilikte ciddi bir atılım sağlayabiliriz.

8 SONUÇ

Sanayideki büyümesi tamamen ara mal ithalatına bağımlı bir ülke konumundayız.
Ne kadar ara mal (katma değer) ithal edersek, o kadar büyüyebiliyoruz. Sürdürülebilir bir sanayi için ara mal ithalatını azaltacak adımları süratle atmalıyız.

Ara mal ithalatına neden olan enerji ve metal üretiminde yaşanan sorunun çözümü için ithalatına her sene milyarlarca dolar ödediğimiz, mineral ve metalleri stratejik maden yatırımları kapsamına alarak bunların yurt içinde aranmasını ve üretimini teşvik etmeliyiz.

Madencilik sektöründe en önemli sorun maden arama projelerine yeterli kaynağın bulunamaması yatmaktadır. Yerkabuğunun derinlerde gömülü maden kaynaklarının keşfedilebilmesi için maden aramacılığına harcanan risk sermayesini yılda 200-300 milyon dolardan yılda 2-3 milyar dolar seviyesine çıkaracak bir yatırım ortamı yaratmak zorundayız.

Madencilikte uluslararası klasmanda yeni kaynaklar keşfedilmesini ve bunları katma değeri yüksek ürünlere dönüştürecek yatırımları teşvik edemez isek madencilik sektörü cılız kalır bunun faturasını da ara mal ithalatı olarak ödemeye devam ederiz.
Madencilik faaliyetleri ile ilgili düzenlemeler yatırımcıya güven verdiği ölçüde madencilikte bir başarı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Köse, M., Oygür,V., Çetinel, G., Yiğit,E. 1995. The Future of Mining Sector of Turkey, *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, 327-334 s.
2. TÜİK, Yıllara göre dış ticaret istatistikleri, 2000-2014
3. TÜİK, İthalat içinde ara malın payı, 2010-2013
4. Türkiye'nin enerji ve metal ithalat & ihracat değerleri, 2001-2013, *http://www.trademap.org/tm*
5. Köse,M., 2013, Neden 1 USD İhracat İçin 1,6 USD İthalat Yapmak Zorundayız? *Madencilik Türkiye Dergisi*, Mart Sayısı
6. Sak, G., 2011. Cari açığın birinci sorumlusu üretim yapımızdır., Ara malı ithalatı ve sanayi üretimi arasındaki ilişki, *ASO Form*, Temmuz/Ağustos 32-35
7. İthalat kalemleri, 2013. *http://www.trademap.org/tm*
8. MİGEM, Türkiye'de maden iş yeri sayısı ve ruhsat sayıları
9. Life cycle of a mining, Case study, Abcourt Mines Inc, Report on zinc mining related equilibrium in pricing & economic incentive, *www.madisonaveresearch.com*
10. Drug discovery and development process, Technical Report "Sucess or Revision", *OSC SME Institute*, November,2014. 46-49 sf.
11. Köse, M., 2013. Uluslararası madencilik göstergelerinin neresindeyiz*? Madencilik Türkiye*, Ocak
12. World exploration trends, 2014. *SNL metals & mining*
13. Westrern Australian mineral & petroleum statistics digest, 2012-2013
14. Canadian mineral exploration information bulletin, 2014
15. Üzer M. , 2010, MTA Genel Müdürü, *TBMM Madencilik Araştırma Komisyonu Raporu,* 347 s.
16. Türkiye Ekonomi Bakanlığı, *Girdi tedarik sistemi eylem planı*, 2013-2015
17. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Stratejik plan çalışması*, 2015-2019
18. Annual survey of global mining investment, 2014, *Interra RGM*

Şırnak Asfaltitlerinin Önemi
The Importance of Sirnak Asphaltites

Ö. Bilgin, S. Kantarcı
Şırnak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Asfaltik maddeler; petrolün zaman, sıcaklık ve basıncın etkisi altında uğradığı metamorfoz olayı sonunda oluşmakta olup, bu nedenle petrol kökenli oldukları bilinmektedir. Genellikle ısınma amaçlı kullanılmasının yanı sıra asfaltitler, boya, vernik, oto lastiği, elektrik yalıtımı, batarya koruyucuları, genleştirilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kabloların yapımı ve benzer çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Şırnak'ta ve Silopi ilçesinde yer alan asfaltitler 12 filon halinde olup, fay ve çatlak dolguları biçiminde oluşmuş, toplam rezervleri yaklaşık MTA' nın 1978 verilerine göre 82 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu miktar az sayıda yapılmış sondaj verilerine ve eski kaynaklara dayandığından, Şırnak'ta daha yüksek asfaltit rezervleri olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada; Şırnak ve çevresinde faaliyet gösteren asfaltit yataklarının özellikleri ve önemi hakkında bilgiler verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şırnak asfaltit kömürü , asfaltit filonları

ABSTRACT Asphaltic materials; when oil is formed at the end of metamorphosis event suffered under the influence of temperature and pressure, so it is known that petroleum origin. Usually used for heating as well as asphaltites, paint, varnish, tires, electrical insulation, battery saver, expanded rubber, floor tiles, made of waterproof cable and is used in a similar variety of fields. Sirnak and Silopi case is situated in the district of asphaltites 12 fleet, faults and cracks formed in the form of filler, the total reserves of about MTA 's are determined as 82 million tons, according to the 1978 data. This amount is made of a small number of drilling data and based on earlier sources, it is known that higher asphaltite reserves in the province of Sirnak. In this study, coaches and around Şırnak asphaltites are given information about the features and the importance of the bed.

Keywords: Şırnak asphaltite ,asfaltite fleet

1 GİRİŞ

Asfaltit sahasında daha önceki yıllarda MTA tarafından asfaltit aramaları, buna bağlı olarak sondaj çalışmaları ve asfaltitin ekonomikliği araştırılmıştır. Asfaltit sahası ve çevresinde yapılan etüdler değerlendirilirken lşıganer (1985) tarafından hazırlanan "Mardin-Silopi-Harbul (Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına ait Jeoloji Raporu"ndan yararlanılmıştır. Bu çalışmaya göre asfaltit sahasında yapılan etüt çalışmaları hakkında bilgi aşağıda verilmiştir. (lşıganer,1985) tarafından çalışma yapılan alan, Silopi (Şırnak) ilçesine bağlı Çalışkan, Görümlü, Koyunören köylerinin kuzeyinde yer alır. Bu alan içindeki Üçkardeşler ve Harbul (Aksu) asfaltit filonlarında, rezerv belirleme aşamasında, sondajlı çalışmalar yapılmıştır. Bölge içinde, Üst Paleozoyik-Üst Senezoyik zaman aralığında çökelmiş kayaçlar, kabaca doğu- batı doğrultusunda uzanırlar. Paleozoyik, Permiyen yaşlı kireçtaşı ile temsil edilmektedir. Mesezoyik, Alt-Orta Triyas (Goyan grubu), Üst Triyas-Jura-Kretase (Cudi Grubu) yaşlı kireçtaşı ve dolomatik kireçtaşından oluşur. Mesozoyik-Senezoyik geçişinde, Üst Kretase-Paleosen yaşındaki Germav formasyonu çökelmiştir. Bu formasyon, başlıca marn, killi kireçtaşı ve

kum taşından meydana gelir. Gercüş formasyonu Paleosen-Alt Eosen yaşındadır. Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kil gibi kırıntılar ile jips anhidrit gibi evaporitlerden oluşur. Asfaltit filonları bu formasyon içinde yer almaktadır. Midyat formasyonu, Lütesiyen yaşındaki kireçtaşları ile temsil edilir. Çalışma alanı güneyinde yayılım gösteren Şelmo formasyonu Üst Miyosen yaşında olup, konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kil ardalanmasından meydana gelir. Kuvaterner, eski alüvyon, vadi tabanlarındaki yeni alüvyonlar ve çoğunlukla bloklu yamaç molozu, selinti malzeme karmaşığıyla temsil edilmiştir. Çalışma sahası kenar kıvrımları bölgesinde yer almakta olup, Arap blokunun Anadolu levhası ile çarpışması sonucunda şekillenmiştir. Kuzeyde yer alan Cudi antiklinaryumunun eksen doğrultusu N 75°-80°W'dir. Antiklinoryumun güney kanadında, eksene paralel olarak gelişen bindirme (şariyaj) ile, Üst Kretase öncesi birimler, güneye doğru, daha genç formasyonlar üzerine itilmiştir (Işıganer, 1985; Cineer Çed Raporu, 2010).

2 ŞIRNAK-SİLOPİ ASFALTİTLERİNİN ÖNEMİ

Şırnak İli Silopi İlçesinde, en önemli maden ve fosil yakıt kaynağı asfaltittir. Asfaltit, petrol kökenli bir kayaç olup, derinlerde bulunan sıvı veya yarı sıvı durumdaki asfalt maddesinin hidrostatik basınç, gravitasyon, sıcaklık gibi etkenlerle taşınarak yarık, çatlak ve boşluklara yerleşmesiyle oluşmuştur (İlhan v.d., 2010, Çakır vd., 2013). Petrol önce yumuşak tabiî asfaltlara, bunların daha sert asfaltlara, sonra asfaltitlere ve en son asfaltik pirobitümlere dönüşerek oluşmaktadır (Gündoğdu, 2009, Kural, 1991). Asfaltitin kalori değeri 3.000-6.000 Kcal/kg arasında değişmektedir. Asfaltit; %1,2 su, %4-7 kükürt, %35-40 arasında kül içermektedir (Çakır v.d., 2013). Asfaltitler; hidrokarbonlardan meydana gelen, oksijenli bileşikleri içermezler veya çok içerirler, ısıtılınca erimezler ve karbon sülfürde çözünmezler (URL-1, Gündoğdu, 2009). Asfaltit, kükürt içeriğinin yüksek olması sebebiyle yakıt olarak kullanımı çevre açısından istenmemektedir (Sezer, 2007).Türkiye'de asfaltit yatakları geniş olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şırnak ve Silopi civarında filonlar halinde yeralmaktadır. Asfaltit ısıl değeri yüksek, içinde nadir mineraller bulunan ve katı yakıt olarak kullanılmakla birlikte, sentetik petrol üretimine elverişli hammadde durumundadır.

Asfaltit, Silopi, Harbul filonundan sağlanmaktadır. Sondajlı aramalar sonucunda, Harbul filonunda (A Sektörü) 850 m. kotuna kadar; 21.825.000 ton görünür, 3.935.000 ton muhtemel olmak üzere toplam 25.760.000 ton rezerv hesaplanmıştır. Harbul B (Silip) filonunda rezerv belirleme çalışmaları henüz tamamlanmamıştır. Bu filonda günümüze kadar yapılan sondajlı aramalar sonucunda,

Görünür rezerv 1.725.000 ton, Muhtemel rezerv 1.375.000 ton olmak üzere toplamda 3.100.000 ton rezerv hesaplanmıştır. Yukarıdaki Harbul (A) ve (B) filonlarının muhtemel rezerv toplamı 28,86 milyon tondur (Işıganer, 1985). Silopi Elektrik Üretim A.Ş. proje grubunun yaptığı çalışmalar neticesinde Micromine madencilik programı kullanılarak muhtemel rezervin + 850 kotuna göre 31,6 milyon ton civarında olduğu hesaplanmıştır (Cineer Çed raporu, 2010). Şırnak asfaltit kömürü örnek bir stok sahası Şekil 1' de gösterilmektedir.

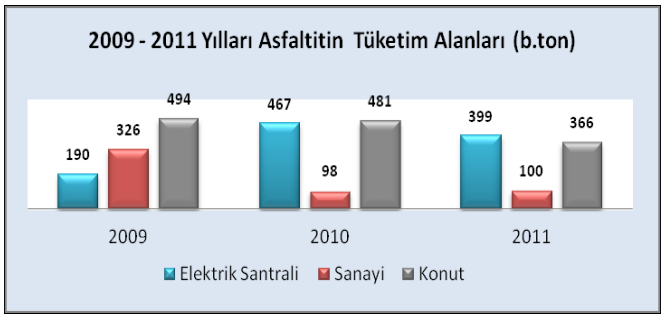
Şekil 1. Şırnak Asfaltit Kömürü Stok Sahası

Şırnak yöresinde yapılan etüt ve sondaj çalışmaları sonucunda 82 milyon ton asfaltit rezervi olduğu belirlenen asfaltit rezervinin yaklaşık 45 milyon tonu görünür niteliktedir (DPT, 2006). Asfaltitte bulunan kükürt oranının (% 4,3-7,9) yüksek olması çevre

kirliliğine neden olduğundan birçok şehir merkezinde yakacak olarak kullanımı yasaklanmıştır. (Kök v.d., 2012). TKİ 2011 Yılı verileri, Şırnak İli'nde, tahmini (görünür + muhtemel + mümkün) 72,9 milyon ton asfaltit madeni rezervi bulunduğunu gösterirken, 2012 yılsonu verileri yeni keşfedilen alanlarla rezervin 104,6 milyon tona yükseldiğini ortaya koymuştur (DİKA, 2013). Uzun yıllardır bölgedeki terör sorunları nedeniyle atıl durumda kalan asfaltit madenleri Sekizinci Plan döneminin son yıllarında yeniden üretime açılmış ve gerek bölge ekonomisine ve ülkenin enerji dengesine katkı sağlamaktadır (DPT,2007). 2010 yılında Türkiye toplam asfaltit üretimi 1293 bin ton' dur (MMO, 2012).

2.1 Asfaltitin Kullanım Alanları

Asfaltit rezervlerinin dünya üzerinde sınırlı oluşu ve bulunduğu yerlerde de yakıt olarak kullanılışı yüzünden yakın zamana kadar dünya ekonomisinde önemli bir yeri olmamıştır. Dünyadaki kömür ya da petrol kökenli, bitüm ve pirobitüm içeren oluşumların, alternatif sıvı/gaz yakıt ve kimyasal hammadde üretimine yönelik kullanım imkanlarının araştırılmasıyla birlikte asfaltitlerin tanınması ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır (Baran, 2008).



Şekil 2. 2009-2011 Yılları Arası Asfaltit Tüketim Alanları (b.ton) (DİKA, 2013)

Türkiye'de asfaltitler genellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde kullanılmakta olup yörenin ihtiyacını karşılayabilecek başka bir enerji kaynağı bulunmadığından bu bölgelerde ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Asfaltite alternatif olarak kullanılabilecek linyit kömürlerinin rezervleri ve kalorileri düşüktür. Isınma amaçlı kullanılmasının yanı sıra asfaltitler, boya, vernik, oto lastiği, elektrik yalıtımı, batarya koruyucuları, genleştirilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kabloların yapımı ve benzer çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Şekil 2'de 2009-2011 Yılları Arası Asfaltit Tüketim Alanları (b.ton) gösterilmektedir. Ayrıca asfaltit, son yıllarda sentetik ham petrol kaynağı olarak da önem kazanmıştır. Asfaltitler termik santrallerde yakılarak elektrik üretiminde kullanılabildiği gibi kalan küllerinden de ender metaller (nikel, molibden, vanadyum ve uranyum gibi) elde edilebilir(URL-2).

3 ŞIRNAK ASFALTİT SAHALARI

3.1 Harbul Filonu

Aşağı doğu batı istikametinde, Harbul kasabasının hemen güneyinde uzanır. Doğu kısmı yamaç molozları altında Irak sınırında kaybolur. Gercüş formasyonu kumtaşı tabakalarının sınırına çok yakında, kırmızı renkli, yumuşak killi tabakalar arasında zuhur eder. Filon ile ilgili çalışmalara 1940 yıllarında başlanmış ancak sondajlı çalışmalara 1976 yılında geçilmiştir. 1976-84 yılları arasında sığ, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.387.30 m olan 46 adet sondaj yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ortalama 300 m derinliğe kadar olan kesim içintoplam 2 5.765.000 ton (görünür+muhtemel) rezerv hesaplanmıştır. Görünür uzunluğu 1680 m dir. Yamaç molozu ile örtülü doğu kısmında muhtemelen takriben 1675 m kadar devam etmektedir. 70-85° eğimli tek bir çatlak dolgusu halindedir. Kimyasal bileşimi şöyledir : % 3.21 su, % 33.37 kül, % 6.85 kükürt. Ocak çıkışı alt ısı değeri 5300 Kcal/kg dır (Şengüler, 2007, Nakoman, 1980).

3.2 Silip Filonu

Harbul filonunun 1 km doğusunda yer alan filonda 1982-86 yılları arasında dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 5.112.70 m olan 22 adet sondaj yapılmıştır. Diğer filonlardan farklı bir yataklanma şekli olan

Silip filonunda toplam 4.406.314 ton (görünür +muhtemel) rezerv belirlenmiştir (Şengüler, 2007).

3.3 Üçkardeşler Filonu

Harbul filonunun 4 km batısında yer alan filonda 1980-84 yılları arasında sığ, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.584.10 m olan 54 adet sondaj yapılmıştır. 1985-86 yıllarında yapılan 5 adet eğik sondaj ile filonda yapılan sondaj derinliği 11.527.50 m ye ulaşmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda filonda toplam 20.352.000 ton (görünür+muhtemel) rezerv belirlenmiştir (Şengüler, 2007).

3.4 Avgamasya Filonu

Şırnak ilçesinin güneyinde güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda uzanır. Asfaltit filonu üzerindeki çalışmalar, 1964-1983 yılları arasında kesikli olarak sürdürülmüştür. Bu yıllarda toplam 208 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlı çalışmaların 137 adedi (1677.85 m) sığ sondaj olup; asfaltit ön aramaları, işletme vb. amaçlara yönelik olarak yapılmıştır. Diğer 71 adeti (dik, eğik, derin; 11.060.95 m) arama ve rezerv amaçlı olarak yapılmıştır. Rezervi 8.154.000 tondur.

Bilinen uzunluğu 2600 m.'dir. Genişliği 8 ilâ 50 m. Arasında değişir (ortalama olarak 17 m.'dir). En geniş yerinde 80 m. Kalınlık ölçülmüştür. Huni şeklinde çoğunlukla dike yakın eğimlidir. Yatımı kuzeybatıya doğrudur. Filon çeperlerine doğru asfaltîk madde hemen hemen daima sert ve parça dahilindedir. Buna karşılık filonun geniş kısımlarının içlerinde çok kırılgan bir hal alır. Bu nedenle işletilme sırasında toz haline gelir. Kalitesi şöyledir:Su % 1, kül % 38.81, kükürt % 6.70, orijinal alt ısıdeğeri 4620 Kcal/kg dı (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.5 Milli Filonu

Şırnak'ın güneydoğusunda Biryan ve Milli yerleşme merkezlerinin güneyinde yer alır. Üst Şırnak formasyonunun tabakaları içinde güneybatı- kuzeydoğu doğrultusunda uzanır. Filon üzerindeki çalışmalara 1964 yılında başlanmış ve aralıklarla çalışmalar 1974 yılına kadar sürmüştür. Bu sürede filon üzerinde 23 yarma ve 10 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 6.500.000 tondur. Bilinen uzunluğu 3500 m., genişliği ise 0,30-13 m.dir. (ortalama 7.50 m). Yatımı güneydoğu yönünde 75-80° olarak ölçülmüştür. 750 m. Uzunlukta, 1.20 - 2.50 m. Genişlikte bir yan filonu vardır. Cudi şariyarının tavanında yer alan bu filonun kimyasal bileşiminde % 2.13 su, % 47-38 kül, % 4.00 kükürt bulunmuştur. Orijinal alt ısı değeri 3400 kcal/kg dır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.6 Anılmış-Karatepe Filonu

Anılmış yerleşme merkezinin civarında, kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda yer alır. Filon üzerindeki çalışmalar 1972-74 yılları arasında aralıklı olarak yapılmıştır. 24 adet yarma ve toplam derinliği 307,3 m olan 4 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 5.000.000 tondur. Uzunluğu 2950 m., genişliği ise 1,50 -12,00 m. (ortalama 5,50 m.) Dir. 80-85° meyilli tek bir çatlak dolgusu şeklindedir. % 27,55 su, % 27,53 kül, % 3,07 kükürt içerir. Ocak çıkışı ait ısı değeri 2600 kcal/ kg dır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.7 Seridahli Filonu

Şilerut yerleşme merkezinin güneyinde, Geffane'ye doğru, güneybatı-kuzeybatı istikâmetinde yer alır. Filon üzerindeki çalışmalar 1972-86 yılları arasında yapılmıştır. Bu süre içerisinde 23 adet yarma ve toplam derinliği 1452,8 m olan 9 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 6.067.000 tondur. Yatımı güneydoğu yönünde 74 - 88° olarak ölçülmüştür. Bilinen uzunluğu 2520 m.dir Ortalama 5 m. Olan genişliği yer yer 0.40 m.ye inebilir. En geniş yeri 14,30 m. olarak bulunmuştur. Tek bir çatlak dolgusu halindedir. % 27,55 su, % 27,53 kül, % 3,07 kükürt içerir. Orijinal alt ısı değeri 2600 kcal/kg dır. Cudi şarıyarının tavanında yer alır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.8 Nivekara Filonu

Milli filonuna aşağıyukarıparalel olarak Nivekara yerleşme merkezînin kuzeyinde uzanır. Çalışmalar 1972-74 yılları arasında yapılmıştır. Bu süre içerisinde 22 adet yarma ve toplam derinliği 529.6 m olan 6 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 2.000.000 tondur. Uzunluğu 4,30 m. Genişliği İse 0,40 – 11,80 m.'dir {ortalama 4,50 m.). Güneydoğu yönünde, 77 - 88° meyilli tek çatlak dolgusu halindedir. Kimyasal özellikleri şöyledir: Su % 8.33, kül % 34.10, kükürt% 6.29. Ocak çıkışı alt ısı değeri 4500 Kcal/kg dır. Cudi şarıyajının tavanında yer alır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.9 İspindoruk Filonu

Aşağı yukarı Milli, Nivekara ve Seridahli filonlarına paralel olarak Anılmış yerleşme merkezinin civarında yer alır. Filonda 1972-74 yılları arasında 11 adet yarma ve 2 adet eğik sondaj yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda 100 m derinlik için toplam 1.100.000 ton (görünür + muhtemel + mümkün) rezerv belirlenmiştir. Görünür uzunluğu 1250 m.'dir. Yamaç molozları altında kalan mümkün uzunluğunun ise 1750 m. Olacağı tahmin olunmaktadır. Ortalama 7 m. olan genişliği 4 ila 15 m. arasında değişebilir. 60-70° meyilli tek bir çatlak dolgusu halindedir. % 3,60 su, % 42,12 kül, % 4,40 kükürt içerir. Orijinal alt ısı değeri 4000 Kcal/kg. dır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.10 Segürük Filonu

Cizre - Şırnak yolu üzerinde, Şırnak'ın hemen güneyinde yer alır. Filona ait çalışmalar 1964-1965 yıllarında prospeksiyon ile başlamıştır. 1966-1967 yıllarında 1/2000 öçlekli harita alımı, yarma (10 adet), sığ sondaj (25 adet) (554,85 m), dik sondaj (3 adet) (285,5 m) ve eğimli sondaj (4 adet) (442,9 m) çalışmaları ile devam etmiştir. 1988 yılında TKİ Kurumu adına ücretli olarak 12 adet sondaj (1177,3 m) gerçekleştirilerek toplam sondaj sayısı 44’ e ve toplam derinlik 2460,55 m ye ulaşmıştır. Rezervi 1.000.000 tondur. Uzunluğu 800 m., genişliği ise 0,50 – 10,00 m. (ortalama 6,00 m.) Dir. Ağaç yapısında çatlak sistemlerine yerleşmiştir. % 1,20 su, % 38,80 kül, % 6,36 kükürt içerir. Orijinal alt ısı değeri 6500 Kcal/kg dır (Şengüler, 2007, Gündoğdu, 2009, Nakoman, 1980).

3.11 Rutkekurat Filonu

Silopi’ nin kuzeyinde Cudi dağında yer alan filonda sondajlı çalışma yapılmamıştır. Yapılan 7 adet yarma ile 800 m yayılım ve 50 m derinlik için 1.000.000 ton mümkün asfaltit rezervi belirlenmiştir (Şengüler, 2007).

3.12 Uludere Ortasu Filonu

Filondaki çalışmalar 1982 yılında prospeksiyon ile başlamıştır. 1984 yılında dik ve eğik olmak üzere 12 adet sondaj ve 12 adet yarma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda toplam 604.985 ton asfaltit rezervi belirlenmiştir (Şengüler, 2007).

4 SONUÇLAR

1964 yılına kadar fiilen ekonomik değeri bulunmayan asfaltitler, bugün Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin en önemli yakıt ve enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Evlerde ısınma ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan asfaltit son dönemlerde önemli bir sanayi madeni haline gelmiştir. Özellikle Şırnak İli’nde asfaltite dayalı çalışan 135 MWe kurulu gücünde Silopi Termik Santralı kurulmuş olup, STS Kapasite Artışı Projesi ile birlikte bölgede 3 yeni santralın daha kurulması planlanmaktadır. Bu tesisler, hem yerli enerji kaynakların kullanılarak enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca termik santralde yakılan asfaltit külleri içerisinde kadmiyum, vanadyum ve molibden gibi kıymetli elementler bulunmaktadır. Bu elementler çeşitli kimyasal ve zenginleştirme yöntemleri ile elde edilebilir. Örneğin kadmiyum; elektrik, elektronik, otomotiv ve uzay sanayisinde, uçak, gemi, boya endüstrisi gibi

alanlarda kullanılmaktadır.Vanadyum ve molibden ise en çok çelik endüstrisi gibi sektörlerde kullanım alanı bulmaktadır. Şırnak ve yöresinde önemli rezervlere sahip olan asfaltit madeni genellikle açık işletme yöntemi ile üretilip, herhangi bir zenginleştirme yöntemi uygulanmadan, kırma-eleme den sonra talep edilen boyutlarda satışa sunulmaktadır. İçeriğinde yer alan %S miktarının azaltılmasına ve nadir elementlerin kazanılmasına yönelik zenginleştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Ayrıca bölgenin geçim kaynağı olan asfaltitin farklı sektörlerde kullanımına yönelik geniş çaplı projeler ve deneylere destekler sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Baran, D., 2008, *Avgamasya Asfaltitinden Karbon Köpük Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi*, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81 s.

Cineer Grup, 2010, "Şırnak-Silopi Termik Santrali, santrale yakıt sağlayan asfaltit sahası ve kireçtaşı sahaları kapasite artışı projesi Çed raporu", Silopi elektrik üretim Aş, Ppm kirlilik önleme ve yönetimi ltd şti, Şırnak.

Çakır, B., Kılıç, M., Kahraman, E., 2013, Silopi (Harput-Üç Kardeşler) asfaltit filonunun micromine madencilik tasarım programı kullanılarak açık işletme dizaynının yapılması, *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, , Adana, Türkiye, 28(2), 99-111

DPT, 2006, Linyit ve Taşkömürü Çalışma Grubu Raporları, *Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu*, Ankara, Türkiye, 149 s. http://plan9.dpt.gov.tr/oik41_madencilik/41madencilik_linyit.pdf.

DPT, 2007, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), *Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, Türkiye,* http://www.daka.org.tr/panel/files/files/belgeler/planlama/madencilik.pdf

DİKA, 2013, *TRC3 Mardin – Batman – Şırnak – Siirt 2014-2023 Bölgesel gelişme Planı*, Dicle Kalkınma Ajansı

Gündoğdu C., 2009, *Asfaltit Asfaltının Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Geleneksel Rafineri Asfaltı İle Karşılaştırılması*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 67 s.

Işıganer, T., 1985, Mardin-Silopi-Harbul (Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına ait Jeoloji Raporu, MTA, Radyoaktif Mineraller ve Kömür Daire Başkanlığı

İlhan, Y., Aytekin, M., 2010, Asfaltitin Sıvılaştırılması Sonucu Elde Edilen Ham Petrolün Değerlendirilmesi Ve Diğer Ham Petrol Örnekleriyle Karşılaştırılması, Ciner Grubu, Enerji Ve Madencilik Bölümü, Çevre Departmanı, Türkiye

Kök, B.V., Yılmaz, M., Kuloğlu, N., 2012, Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, *İMO Teknik Dergisi*, s. 5813-5826.

Kural, O., *Kömür*, Kurtis, Matbaası, stanbul, Ocak-1991.

MMO, 2012, Türkiye'nin Enerji Görünümü, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu*, Ankara, Türkiye

Nakoman, E., 1980, Güneydoğu Anadolu Asfaltik Hadde Zuhurları.

Sezer, M. K., 2007, *Şırnak-Silopi Asfaltiti ile Polietilenin Eşpirolizi ve Piroliz Ürünlerinin Değerlendirilmesi*, Ankara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 141 s.

Şengüler, İ., 2007, *Asfaltit Ve Bitümlü Seylin Türkiye'deki Potansiyeli Ve Enerji Değeri*, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye Gerçeği, S.186-195, Ankara, Türkiye.

URL-1, http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/bdt/kutuphane/mtadergi/72_7.pdf.

URL-2, http://www.parkelektrik.com.tr/asfaltitin_kullanim_alanlari.php.

Uludere Asfaltitlerinin Değerlendirilmesi
Evaluation of Uludere Asphaltites

R. Kocaman
Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Üretim Mühendisi, Ankara

B. Bilgen, B. Kocaman
Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Mühendisi, Ankara

ÖZET Ülkemizde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerjiye olan ihtiyaç insanları yeni kaynak arayışına itmiştir. Ülkemiz açısından yerli enerji kaynaklarının kullanılması ise ayrı bir önem taşımaktadır. Ülkemizin enerjide dışa bağımlı olması, cari açığımızın büyük bir bölümünü enerji (doğalgaz) ithalatının oluşturması nedeniyle yerli kaynaklarımızın kullanımı büyük önem kazanmıştır. Söz konusu yerli kaynaklarımızdan birisi de asfaltit olup MTA verilerine göre Asfaltit madeninin ülkemizde yaklaşık 80 milyon ton rezerve sahip olması, asfaltitin termik santrallerde kullanılmaya başlaması ile enerjiye dönüşmesi ayrı avantaj sağlamaktadır. Asfaltit rezervlerinin büyük kısmı Şırnak ve civarındadır. Harbul, Silip, Avgamasya ve üçkardeşler asfaltit filonu bulunmaktadır. MİGEM verilerine göre Uludere ilçesinde toplam 12 adet işletme ruhsat sahası bulunmakta olup 7 adet saha faal şekilde çalışmaktadır. 16 adet de arama ruhsatı bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğünün bölgede yapacağı sondajlarla rezervlerin artması muhtemeldir. Mevcut verilere göre ülkemizde sadece Şırnak ve civarında bulunan asfaltit kaynağımızı en verimli şekilde değerlendirmemiz, hem istihdam yaratma açısından bölge ekonomisinin gelişmesine hem de ülkemizin cari açığının azaltılmasına büyük katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, Şırnak ili Uludere ilçesinde bulunan asfaltit sahaları ve ülkemizde asfaltit madenine dayalı elektrik enerjisi üreten tek santral olan Silopi Termik Santrali ve santrali besleyen üretim yapılan asfaltit sahaları incelenerek civarda bulunan bakir asfaltit kaynaklarımızın da benzer şekilde kullanılıp kullanılamayacağına yönelik çalışmalar yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, asfaltit, Uludere

ABSTRACT Increasing energy needs of our country, is it the other day. Need people with and energy has led to new resources. The use of indigenous energy sources in our country in terms of ISE carries a special importance. Being dependent on external energy in our country, the current account deficit to a large portion of our energy (natural gas) for use of our domestic resources is the import has gained great Importance. One question our domestic resources in is asphalted, our country 's Asphalted by MTA data Approximately 80 million tons of reserves has become of The onset for use in asphalted thermal power plants with the conversion of energy into separate advantages provided . Large part of Şırnak asphalted reserves and its vicinity. Harbul, Silip, Avgamasya and Üçkardeşler are the asphalted fleet. According to data Uludere district is located MIGEM course of 12 business license has been working in the field 7 active way. Intensive program for the 16 exploration licenses. MTA Headquarters of the increase in reserves by drilling in the region is likely to be made. According to available data, only in our country and around Şırnak asphalted source we have found the most efficient way possible, as well as the development of the economy in terms of job creation and will make a major contribution to reducing the country's current account deficit. In this study, the province of Şırnak Uludere single plants with Silopi Thermal Power Plant and plant feeds the production of our virgin asphalted sources in being examined made asphaltedfields in studies could be used in a similar way that produces asphalted pitches and electricity based on asphalted our country in the district will be made.

Keywords: Energy, asphalted, Uludere

1 GİRİŞ

Asfaltit, petrol kökenli katı bir yakıt olup yüksek yumuşama noktasına sahip doğal asfalt benzeri bir maddedir. Asfaltit maddelerin yerleşimi petrolün göçüne neden olan; hidrostatik basınç, gaz basıncı, kapilarite, gravitasyon ve sıcaklık gibi etkenlere bağlıdır. Hareket halindeki sıvı veya yarı sıvı asfalt, çeşitli kırık ve çatlakları izleyerek yüzeye kadar çıkabilir. Doğada bulunuş şekilleri çeşitli olan asfaltit, Şırnak ve Silopi bölgesinde fay ve çatlak dolguları biçimindedir. Asfaltit terimi birçok isimle birlikte eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bunlar çoğunlukla; migrabitümen, doğal katı petrol bitümü, pitch ve tar'dır. Asfaltitler; teshinde, boya, vernik, oto lastiği, elektrik yalıtımı, batarya koruyucuları, genleştirilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kabloların yapımında ve benzeri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ülkemizdeki asfaltitlerden sentetik petrol ile yan ürün olarak amonyak ve H2S; küllerinden nadir minerallerin (V, Ni, Mo, U3O8, Ti) eldesine yönelik teknolojik çalışmalar MTA Genel Müdürlüğünde gerçekleştirilmiş olup laboratuvar ölçeğinde olumlu sonuçlar alınmıştır. Şırnak ve Silopi bölgesinde bulunan asfaltitler genellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yöre asfaltitlerinin kurulacak bir termik santralde katı yakıt olarak kullanılması da araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar, ülkemizde yüksek oranda petrol içeren asfaltitlerin, petrolü alındıktan sonra geriye kalan artığının da katı yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Asfaltitler 12 filon halinde olup Harbul, Silip, Üçkardeşler, Avgamasya, Milli, Karatepe, Seridahli, Nivekara, İspindoruk, Segürük, Rutkekurat ve Uludere Ortasu olarak adlandırılmıştır. Asfaltik petrolün doğal artıklarıdır. Yada başka bir deyimle petrolün tektonik hareketler sonucu kendi yatağından ayrılarak çevredeki yarık ve çatlaklarda yerleşmesinin sonucu oluşan maddelerdir. Bunların yataklarının birincil ya da ikincil olabildiği şeklinde bir görüş de var. Ayrıca bunlar herhangi bir şekilde mineral bir madde ile birleşmiş veya kimyasal bir değişikliğe uğramış olabilirler. Burada zaman, ısı, basınç ve karmaşık kimyasal reaksiyonlarla belli bir metamorfizmaya uğramışlık sozkonusu olabilir. Değişimde şu sıralama düşünülmektedir: Petrol önce yumuşak doğal asfaltlara, bunlar daha sert asfaltlara, daha sonra asfaltitiere ve en son asfaltik pirobitümlere dönüşmüştür. Söz konusu yörede bu oluşum sırasına göre bizi en çok asfaltik pirobitümler ye kısmen asfaltitler ilgilendiriyor. Asfaltik pirobitümler hidrokarbonlardan oluşmuş olup oksijenli bileşikleri pek bulundurmazlar, ısıtılınca ergimezler ve ülkemizdeki asfaltik pirobitümlerin hemen hepsi mineral maddelerle birleşmiş durumdadır. Siyah renkli, parlak veya donuk parlak, 1-1,1 yoğunlukta, 2-3 sertliktedirler.[1]

2 ASFALTİTLERİN ÜLKEMİZDE BULUNUŞU

Bilinen yataklar Siirt ve Mardin yöresinde yayılmıştır. Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nce yapılmış olan araştırmalarda ince çatlaklar içindeki oluşumlar pek önemli görülmemiştir. Bunun yanında Cudi Şariyajı olarak adlandırılan ters fayın İçinde ve altında 6 tane filon (Harbol, Beşiri, Kasrok, Kalük - Şivit, Gercüş ve Teffi adı verilen filonlar) saptanmıştır. Aynı ters fayın tavanında da 10 filon saptanmış (Avgamasya, Segürük, Milli Herbiş, Seridahli, Ceffane, Nivekara, Gündüküremo, Dergül, Navyan adı verilen filonlar.) Bu adlarla anılan filonlardan bazıları bir dizi filonlar şeklindedir. Ayrıca faylarla parçalanmış sahalarda yapılan araştırmalarda da Şikeftikan adı verilen filon önemli görülmüştür. Teorik olarak bu filonların 1500 metre derinliğe kadar indiği kabul edilir. Ancak tam ayrıntılı bir çalışma yapılmadığından kesin rezervler, hatta jeolojik rezerv •dahi belli değildir. Bu konuda aynı yörenin asfaltik madde varlığı üzerine değişik görüşler olup aynı derinlik kabulü ile {150 -200 m.) 20-50 milyon ton arası değişen asfaltit madde varlığından söz ediliyor. Kesin gerçek şudur ki, yapılacak

ayrıntılı bilimsel araştırmalar sonucu bu değerlerin çok üstünde bir kaynak varlığı saptanacaktır.

Yine M.T.A. tarafından yapılan yoğun laboratuvar araştırmaları sonucu bu asfaitik maddelerin öncelikle yakıt olarak değil, geniş bir sanayi hammaddesi olarak ele alınması gereğini ortaya koyuyor. Bu laboratuvar çalışmalarının bazı sonuçlarını basit ortalama değerlere indirgeyerek söylemek gerekirse; her ton asfaltik maddeden (söz konusu bölgelerdekiler) elde edilebilenler ağırlık olarak şöyle sıralanabilir.

% 19,6 Sıvılaştırılmış gaz (5000 kcal/m3 ısıl değerli)

% 11,8 Petrol

% 65 Asfalt koku (4000 kcal/kg. ısıl değerli)[2]

Ayrıca bu kokun yakılması ile elde edilen külün yapısında nadir elementler bulunur. Nikel, Molibden, Vanadyum, Kadmiyum, Kobalt, Uranyumv.b ve bunların hepsinin değerlendirilebilirliği ekonomik sınırlar içinde kalıyor. Yukarıdaki oranlardan da görüldüğü gibi ancak % 4 dolayında bir artık oranı vardır. Doğada bu oranda değerlendirilebilen kaynak hemen hemen yoktur denebilir.[2]

Tablo 1. Türkiye asfaltit rezervleri [3].

Bulunduğu Bölge	Mümkün Rezerv (Bin Ton)	Muhtemel Rezerv (Bin Ton)	Görünür Rezerv (Bin Ton)	Hazır Rezerv (Bin Ton)	Toplam Rezerv (Bin Ton)
Şırnak	6300	13260	10997	1556	32113
Silopi	1000	16210	31803	626	49639
Toplam	7300	29470	42800	2182	81752

3 ASFALTİTİN KULLANIM ALANLARI

Asfaltitin içerisinde kıymetli elementler bulunmaktadır. Kadmiyum bunlardan birisidir Bunun dışında molibden, nikel ve vanadyum gibi kazanılabilir pahalı elementler de vardır. Bölge halkı ısınmak için evlerinde tek tek yakınca bu elementler elde edilmiyordu ama termik santral gibi merkezi bir sistem sayesinde bu elementler elde edilebilir hale gelmiştir. Küllerin biriktirilip daha sonra bu işlem yapılabilir. Uzun yıllar bu elementlerin ekonomiye kazandırılması için çalışmalar yapılmış fakat rezervler yatırım yapacak büyüklükte bulunmadığı için değerlendirilememiştir. Günümüzde yakıt olarak kullanılmakta ama asfaltit yakıttan ziyade kimyasal hammaddedir. Bundan başka şeylerde üretilebilir. Kömürden petrol üretildiği gibi asfaltitten de petrol üretilebilir. Tabi Şırnak Silopi Termik Santrali 135 megavat (MW) gücünde 3 ünite olmak üzere toplamda 405 MW gücünde termik santral projesini hayata geçirilmiştir. Santralin diğer iki ünitesinin inşasının ise devam ettiği belirtilmiştir. Asfaltitin içinde yer alan kadmiyum, vanadyum ve molibdenin kullanım alanları, şu şekildedir.

3.1 Kadmiyum

Kadmiyum, özellikle deniz ve alkali ortam korozyonuna karşı mukavemeti nedeniyle demir, çelik, pirinç ve alüminyum kaplamasında kullanılıyor. Kadmiyum kaplamalarını elektrik, elektronik, otomotiv ve uzay sanayisinde sıklıkla görmek mümkün. Kadmiyumun en önemli kullanım alanı Ni-Cd, A-Cd ve Hg-Cd pilleri. Boya endüstrisinde de kullanılan element, stabilizör olarak plastik ve sentetik elyaf sanayinde, televizyon tüpleri ile nükleer reaktör kontrol sistemleri ve alaşımlarında tercih ediliyor.

3.2 Vanadyum

Vanadyum, en çok çelik endüstrisinde tüketilmekte. Otomobil endüstrisi, uzay araçları ve uçak sanayinde titanyumlu alaşımlarla birlikte kullanılan element, kıyı ötesi petrol sondajları borularının yapımından, gözlük camları ile gökdelen camlarının ultraviyole ışıklara karşı filtrasyon malzemesi olarak tercih ediliyor.

3.3 Molibden

Molibden, özel çeliklerde, pik demirlerde, nikel, kobalt ve titanyum bazlı alaşımlarda kullanılan çok yönlü bir alaşım maddesi. Molibden alaşım elementi olarak pekiştirmede, sağlamlık ve sertlik özelliği vermede, aşınmaya dayanıklı çeliklerde, döküm demirlerinde, demirsi metallerde kullanılıyor. Molibden ihtiva eden alaşımlar, paslanmaz çelik, tüp ve boru şeklindeki aletlerin yapımında, süper ısıtıcılarda, çelik rezistanslarında, petrol ürünlerinin elde edilmesinde ve kimyasal işlemlerde yaygın olarak kullanılıyor.[4]

4 ŞIRNAK ASFALTİT SAHALARINDAKİ FİLONLAR

4.1 Harbul Filonu

Filon ile ilgili çalışmalara 1940 yıllarında başlanmış ancak sondajlı çalışmalara 1976 yılında geçilmiştir. 1976-84 yılları arasında sığ, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.387,30 m olan 46 adet sondaj yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ortalama 300 m derinliğe kadar olan kesim için toplam 25.765.000 ton (görünür+muhtemel) rezerv hesaplanmıştır. [1] Aşağı doğu batı istikametinde, Harbul kasabasının hemen güneyinde uzanır. Doğu kısmı yamaç molozları altında Irak sınırında kaybolur. Gercüş formasyonu kuımtaşı tabakalarının sınırına çok yakında, kırmızı renkli, yumuşak killi tabakalar arasında zuhur eder. Görünür uzunluğu 1680 m dir. Yamaç molozu ile örtülü doğu kısmında muhtemelen takriben 1675 m kadar devam etmektedir. 70-85° eğimli tek bir çatlak dolgusu halindedir. Kimyasal bileşimi şöyledir : % 3.21 su, % 33.37 kül, % 6.85 kükürt. Ocak çıkışı alt ısı değeri 5300 Kcal/kg dır.. [6]

4.2 Silip Filonu

Harbul filonunun 1 km doğusunda yer alan filonda 1982-86 yılları arasında
dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 5.112,70 m olan 22 adet sondaj yapılmıştır. Diğer filonlardan farklı bir yataklanma şekli olan Silip filonunda toplam 4.406.314 ton (görünür +muhtemel) rezerv belirlenmiştir.

4.3 Üçkardeşler Filonu

Harbul filonunun 4 km batısında yer alan filonda 1980-84 yılları arasında sığ, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.584.10 m olan 54 adet sondaj yapılmıştır. 1985-86 yıllarında yapılan 5 adet eğik sondaj ile filonda yapılan sondaj derinliği 11.527.50 m ye ulaşmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda filonda toplam 20.352.000 ton (görünür+muhtemel) rezerv belirlenmiştir.[1] Üçkardeşler filonunda ve Harbul filonunun A sektöründe, yüzeye yakın kotlarda, kuzeye doğru olan filon eğimi, derinlerde güneye dönmektedir. Bu dönme bindirme hattında uzaklaşıldığı ölçüde belirgin duruma gelmektedir. Hemen hemen tabakalanma doğrultusuna paralel olarak yerleşmiş olan filonun eğim derecesi ve yönü, arasında bulunduğu tabakaların eğim derecesi ve yönü ile dikkati çekecek bir uyum gösterir. Bu uyum nedeniyle, Gercüş formasyonunu etkileyen hareketlerin asfaltit filonunu da etkilediği ileri sürülebilir.[3]

4.4 İspindoruk Filonu

Filonda 1972-74 yılları arasında 11 adet yarma ve 2 adet eğik sondaj yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda 100 m derinlik için toplam 1.100.000 ton (görünür + muhtemel + mümkün) rezerv belirlenmiştir.

4.5 Rutkekurat Filonu

Silopi' nin kuzeyinde Cudi dağında yer alan filonda sondajlı çalışma yapılmamıştır. Yapılan 7 adet yarma ile 800 m yayılım ve 50 m derinlik için 1.000.000 ton mümkün asfaltit rezervi belirlenmiştir.

4.6 Uludere Ortasu Filonu

Filondaki çalışmalar 1982 yılında prospeksiyon ile başlamıştır. 1984 yılında dik ve eğik olmak üzere 12 adet sondaj ve 12 adet yarma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda toplam 604.985 ton asfaltit rezervi belirlenmiştir.

4.7 Avgamasya Filonu

Asfaltit filonu üzerindeki çalışmalar, 1964-1983 yılları arasında kesikli olarak sürdürülmüştür. Bu yıllarda toplam 208 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlı çalışmaların 137 adedi (1677.85 m) sığ sondaj olup; asfaltit ön aramaları, işletme vb. amaçlara yönelik olarak yapılmıştır. Diğer 71 adeti (dik, eğik, derin; 11.060.95 m arama ve rezerv amaçlı olarak yapılmıştır. Rezervi 8.154.000 tondur.

4.8 Segürük Filonu

Filona ait çalışmalar 1964-1965 yıllarında prospeksiyon ile başlamıştır. 1966-1967 yıllarında 1/2000 ölçekli harita alımı, yarma (10 adet), sığ sondaj (25 adet) (554.85 m), dik sondaj (3 adet) (285.5 m) ve eğimli sondaj (4 adet) (442.9 m) çalışmaları ile devam etmiştir. 1988 yılında TKİ kurumu adına ücretli olarak 12 adet sondaj (1177.3 m) gerçekleştirilerek toplam sondaj sayısı 44' e ve toplam derinlik 2460.55 m ye ulaşmıştır. Rezervi 1.000.000 tondur. [1]Cizre - Şırnak yolu üzerinde, Şırnak'ın hemen güneyinde yer alır. Uzunluğu 800 m., genişliği ise 0.50 - 10.00 m. (ortalama 6.00 m.) dir. Ağaç yapısında çatlak sistemlerine yerleşmiştir. % 1.20 su, % 38.80 kül, % 6.36 kükürt içerir. Orijinal alt ısı değeri 6500 Kcal/kg dır. [6]

4.9 Milli Filonu

Filon üzerindeki çalışmalara 1964 yılında başlanmış ve aralıklarla çalışmalar 1974 yılına kadar sürmüştür. Bu sürede filon üzerinde 23 yarma ve 10 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 6.500.000 tondur.

4.10 Karatepe Filonu

Filon üzerindeki çalışmalar 1972-74 yılları arasında aralıklı olarak yapılmıştır. 24 adet yarma ve toplam derinliği 307.3 m olan 4 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 5.000.000 tondur.

4.11 Nivekara Filonu

Çalışmalar 1972-74 yılları arasında yapılmıştır. Bu süre içerisinde 22 adet yarma ve toplam derinliği 529.6 m olan 6 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 2.000.000 tondur.

4.12 Seridahli Filonu

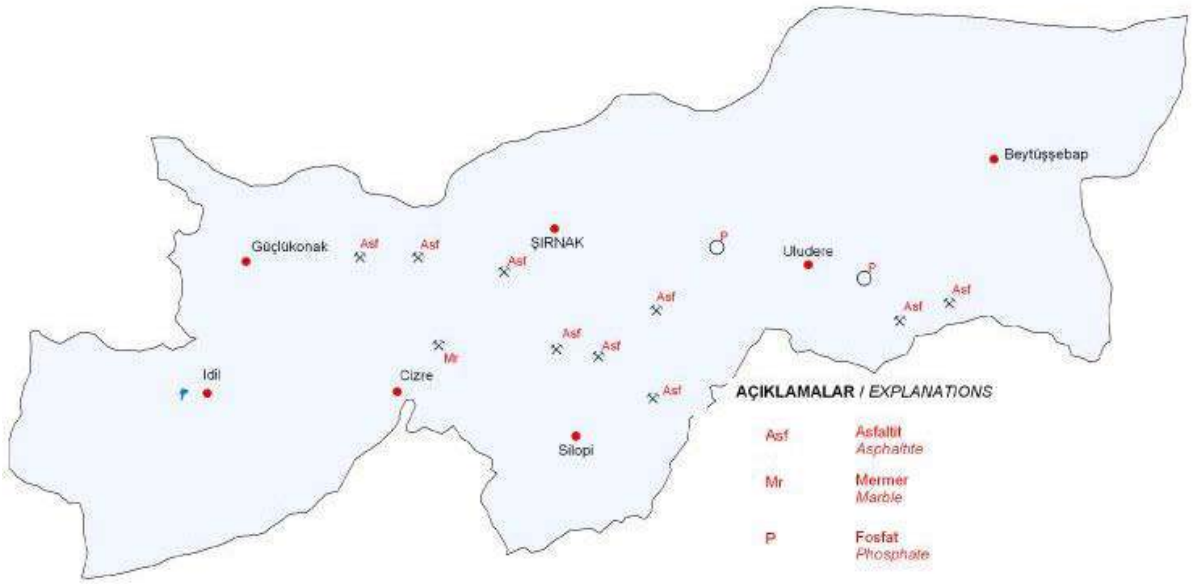
Filon üzerindeki çalışmalar 1972-1986 yılları arasında yapılmıştır. Bu süre içerisinde 23 adet yarma ve toplam derinliği 1452.8 m olan 9 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Rezervi 6.067.000 tondur. [1]

Tablo2. Şırnak Asfaltit kaynakları[5].

Şırnak İli Asfaltit Kaynakları

SAHA ADI	REZERV (1.000 TON)					ANALİZ SONUÇLARI				KULLANIM YERİ	İŞLETME ŞEKLİ
	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	İşletilebilir	Su %	Kül %	S %	AİD Kcal/kg		
Silopi Harbul	17.914	7.851	-	25.765	7.000	0,88	35,93	8,23	5.536	Teshin[18]	Açık Kapalı
Silopi Silip	3.071	1.335	-	4.406	-	1,35	36,25	8,1	5.485	Teshin	Açık Kapalı
Silopi Üçkardesler	9.472	10.881	-	20.352	-	1,21	35,55	7,7	5.474	Teshin	Açık Kapalı
Avgamasya	7.481	673	-	8.154	7.000	0,47	39,68	5,64	4.191	Teshin	Açık Kapalı
Milli	2.000	2.900	1.600	6.500	-	2,13	47,38	4,01	3.400	Teshin	Açık Kapalı
Karatepe	500	2.000	2.500	5.000	-	3,58	42,56	3,48	3.695	Teshin	Açık Kapalı
Seridahli	3.534	1.254	1.279	6.067	-	0,22	46,72	4,92	3.174	Teshin	Açık Kapalı
Nivekara	300	1.000	700	2.000	-	5,4	42.72	5,83	3.400	Teshin	Açık Kapalı
Ispindoruk	100	500	500	1.100	-	0,33	51,93	4,76	3.300	Teshin	Açık Kapalı
Segürük	550	450	-	1.000	-	1,2	38,8	6,36	4.500	Teshin	Açık Kapalı
Rutkekurat	-	-	1.000	1.000	-	3,6	42,12	4,4	3.250	Teshin	Açık Kapalı
Uludere Ortasu	551	53	-	604	-	0,4	46,03	5,08	2.876	Teshin	Açık Kapalı
TOPLAM	**45.473**	**28.897**	**7.579**	**81.949**	**14.000**						

Kaynak: MTA



Şekil 1. Şırnak İli Maden Haritası[5].

5 ŞIRNAK'TAKİ ASFALTİT ÜRETİMİNDE MEVCUT DURUM

Şu an Silopi'de kurulu bir adet termik santral mevcuttur. Santral şu an 135 MW kurulu gücü bulunmaktadır. İlk ünite 09/03/2013 tarihinde açılışı yapılmıştır. Silopi Termik Santralinde bulunan bir adet üniteye ilaveten iki adet daha ünite yapılacaktır. Bu sayede santralin yıllık elektrik üretimi 405 MW'a kapasite artırılacaktır. Firma şu an itibariyle yılda 400.000 ton asfaltit çıkarmakta ve çıkardığı asfaltitin tamamını termik santralde elektrik üretiminde kullanmaktadır. Termik santral haricinde diğer madencilik firmalarının çıkardıkları sanayide ve ısınmada kullanılmaktadır. Şırnak kömürü bölgedeki civar illere satılmaktadır. Sanayisi gelişmiş civar illerde (Urfa, Diyarbakır gibi), çimento, tuğla vb fabrikaların enerji ihtiyacını karşılamakta kullanılmaktadır. Ancak konutların ısınmasında yakacak olarak kullanmaktan genellikle kaçınılmaktadır. Çünkü çevre kirliliğine neden olan yüksek oranda kükürt içermektedir.

Silopi'deki termik santral haricinde Şırnak il merkezinde Şırnak İl Özel İdaresi tarafından işletilmekte olan 17 faal, toplamda ise 27 tane kömür ocağı bulunmaktadır. TKİ'nin bu bölgedeki faaliyetlerine son vermesinin ardından buradaki kömür ocaklarının işletilmesi 2002 yılından itibaren Şırnak İl Özel İdaresine geçmiştir. 2002 yılından itibaren bu firmaların yıllar itibariyle üretim miktarları ve satış tutarları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.[5]

Tablo 3. Şırnak İl Özel İdaresi ve Bağlı İşletmelerin Kömür Üretim Ve Satış Tutarları [5]

Şırnak İli Özel İdaresi'ne Bağlı İşletmelerin Kömür Üretim Ve Satış Tutarları

YILLAR	TOPLAM ÜRETİM MİKTARI(TON)	TOPLAM SATIŞ MİKTARI(TL)
2002	236.235	6.977.686
2003	336.714	10.953.887
2004	721.899	26.948.046
2005	737.703	23.715.418
2006	452.386	16001.396
2007	631.649	21.038.355
2008	630.000	34.927.838
2009	713.827	42.592.737
2010	600.000	37.302.000
2011	394.277	24.445.184
2012	100.000	6.850.000
2013	102.309	7.129.976
TOPLAM	5.656.999	258.882.523

Tablo 3'de 2002 yılından bu yana bir yılda en fazla yaklaşık 737 bin ton üretim yapıldığı görülmektedir. Ancak önemli oranda kaçak üretim yapıldığı ve kaçak üretimi engellemede bugüne kadar başarılı olunamadığı da Şırnak İl Özel İdaresi'nden alınan bilgiler arasındadır.

6 ŞIRNAK İLİ ULUDERE İLÇESİNDE BULUNAN ASFALTİT RUHSATLARI

1- Sicil:39859 sayılı ruhsat özel firma uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 3.150.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir.

2- Sicil:63916 sayılı ruhsat özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 312.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir.

3- Sicil:77043 sayılı ruhsat özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 45.152.900 ton rezerv olduğu belirtilmiştir.
4- Sicil:20061154 sayılı ruhsat özel firma uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 4.748.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir.
5- Sicil:200708600 özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 146.475 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 6- Sicil:200712068 özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 371.562 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 7- Sicil:200803870 özel firma uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 650.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 8- Sicil:200804730 özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 1.050.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 9- Sicil:200805337 özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 1.280.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 10- Sicil:200806380 özel firma uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 140.000 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 11- Sicil:200902678 özel şahıs uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 48.635.280 ton rezerv olduğu belirtilmiştir. 12- Sicil:2008l0775 özel firma uhdesinde bulunmakta olup, işletme projesinde 2.550.000. ton rezerv olduğu belirtilmiştir.

Uludere ilçesinde 12 adet işletme ruhsatı bulunmaktadır. Yedi ruhsatta asfaltit üretim faaliyetleri devam etmektedir. 16 tane de arama ruhsatı bulunmaktadır.

Yukarıdaki verilere göre Uludere ilçesinde, 107.536.217 ton rezerv bulunduğu anlaşılmakta olup, yapılacak rezerv araştırmaları sonucu yeni rezervler ortaya çıkarılarak rezerv miktarı artabilir.

7 SONUÇ

Bu çalışmamızda, öncelikle Bölgede daha önceden yapılan çalışmalardan, Maden Tetkik Arama'nın yaptığı rezerv çalışmalarından ve Maden İşleri Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılmış olup, çalışmamızda Ülkemizdeki enerji ihtiyacına çözüm yolu olarak yerli kaynaklarımızın daha verimli kullanılması hedeflenerek, yerli kaynaklarımızdan olan Uludere ilçesindeki asfaltitlerin değerlendirilebileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu şekilde Uludere ilçesindeki sahalarda üretilen asfaltit için pazar sorunu da kalmayacağı gibi sahaların da daha verimli ve daha aktif şekilde çalışacağı aşikârdır.

Uludere'de ekonomik olarak işletilebilir asfaltit rezervinin fazla olması ve havza teşkil etmesi açısından, Uludere asfaltitleri önemlidir. Nakliyat durumu da göz önünde bulundurulduğunda rezervlerin beli bir yerde toplanmış olması da termik santral kurulabilmesine olanak sağlamaktadır. Söz konusu rezervlerin de değerlendirilmesi için termik santral kurulumunun önemi ortaya çıkmaktadır. Üretilecek elektrik enerjisinin de ülke ekonomisine sağlayacağı katkı büyük olacaktır. Termik santral kurulması durumunda, Asfaltit içinde yer alan kadminyum, vanadyum ve molibden gibi elemenler de elde edilebilecektir. Ayrıca, yöre halkına istihdam açısından yarar sağlayacaktır. Uludere'ye kurulacak bir termik santral konum olarak da önem arz edecektir. Ulaşım olarak asfaltit sahalarının yakın olmasından dolayı

Sonuç olarak, Silopi'deki termik santral ve beslendiği asfaltit rezervleri göz önünde bulundurulduğunda, Asfaltit sahalarının havza oluşturması, ulaşım olarak sahaların yakın olması, yeterli hammadde ihtiyacını karşılayacak rezervin bulunması Uludere'ye de termik santral kurulabileceği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Şengüler, Dr. İ., 2007. Asfaltit Ve Bitümlü Şeylin Türkiye'deki Potansiyeli Ve Enerji Değeri, *TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu - Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye Gerçeğ**i***),(s.1-7),
Ankara
[2] *www.maden.org.tr*. Asfaltitler Üzerine, Ankara
[3] Çakır, B.,Kılıç, A. M., Kahraman, E. 2013, Silopi (Harbul - Üçkardeşler) Asfaltit Filonunun Micromine Madencilik Tasarım Programı Kullanılarak Açık İşletme Dizaynının Yapılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik*

Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 99-111ss Adana

[4] Özbayoğlu Prof Dr.G.,2013, Ne 'Petrol' Ne De 'Kömür' Enerjide Son Gözde Asfaltit!, Ankara

[5] Sugözü, İ., H., Yiğit, M., 2010, Doğal Kaynakların Kullanılabilirliği: Şırnak Ve Çevresinin Doğal Zenginlik Kaynakları Ve Bölge Ekonomisine Etkisi *Uluslararası Şırnak ve Çevresi Sempozyumu*,(s-8-9), Şırnak

[6] Kokoman,E,1978, Güneydoğu Anadolu Asfaltik Hadde Zuhurları, Kömür Kongresi, Zonguldak

Lisansüstü Eğitimde Madenciliğe Yönelik Hazırlanan Ulusal Tezlerin Niceliksel Değerlendirmesi

A Quantified Assessment of the National Theses Prepared for Mining in Graduate Education

İ. Özkan
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya

ÖZET Bu çalışmada, ülkemizde 1923-2015 yılları arasında hazırlanan 1732 adet yüksek lisans tezi ve 471 adet doktora tezi olmak üzere toplam 2203 adet lisansüstü tezine ait; tez konuları, tez yazarları, tez danışmanları, ilgili üniversiteleri, tez hazırlama yılları, tez anahtar kelime bilgileri toplanmıştır. 1984-2015 yılları arasında hazırlanan tezler, YÖK-Ulusal Tez Tarama Merkezi'nden daha önceki yıllara ait tezler ise iki önemli kaynaktan taranmıştır. Hazırlanan veri tabanı kullanılarak üretilen tezlerin niceliksel açıdan bir değerlendirmesi yapılmış, grafiksel sunumlar ile maden işletmesi ve cevher hazırlama bilim dallarında üniversitelerin performansları ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lisansüstü tez çalışmaları, madencilik

ABSTRACT In this paper, a database were prepared for national graduate theses carried out between 1923 and 2015. The prepared database consists of 471 doctoral theses and 1732 master theses. So, it were detected that the total of thesis were 2203. After that, topics of theses, authors of theses, supervisors of theses, keywords of theses, universities preparing theses were noted to data base. The graduate theses produced between 1984 and 2015 were gathered by YÖK- National Thesis Scan Center, and the others were determined utilizing the two important literatures. A quantitative evaluation of graduate theses carried out for mining activities were carried out utilizing the prepared database. The performances of universities in academic branches of sciences which are mining and processing were determined utilizing the graphs and tables based on database.

Keywords: Graduate thesis studies, mining

1 GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcı ile gelişmeye başlayan madencilik faaliyetleri, insanoğlunun ihtiyaçları doğrultusunda gün geçtikçe büyümüş ve çeşitlenmiş ancak bununla birlikte karmaşık birçok teknik sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Bilginin, tecrübenin, zamanın ve yatırım için gerekli olan paranın en iyi şekilde organize edilmesinin ve yönetilmesinin önemi yakın geçmişte çok iyi anlaşılmıştır. Biriken tecrübe ve bilgi birikimlerinin mühendislik formasyonu içerisinde genç kuşaklara aktarılması için ilk mühendislik eğitimi, Avusturya İmparatorluğu Schemnitz'de 1736 yılında verilmeye başlamıştır. Ülkemizde ise 1836 yılında Mekteb-i Tıbbye-i Şahane'de madenler ve yerbilimleri konularında ilk dersler verilmeye başlamıştır. 1839 yılında Sadrazam İbrahim Ethem Paşa, Fransa'daki eğitimini tamamlayarak Osmanlı döneminin ilk maden mühendisi olmuştur. Takip eden 1872 yılında Zonguldak'ta açılan Orman ve Maadin Mektebi'nde ülkemiz için gerekli olan maden mühendisleri yetiştirilmeye başlanılmıştır. Ancak mühendis yetiştirmede yeteri kadar başarılı olunamamıştır. Az sayıda olsa da ilk düzenli maden

mühendisleri, 1928 yılında Zonguldak Yüksek Maadin Mühendisi Mektebi Alisi'yeden mezun olmaya başlamıştır. Ancak Cumhuriyet'in ilanından sonra 1935 yılında MTA, ETİBANK ve SÜMERBANK'ın kurulmasıyla ihtiyaç duyulan çok sayıdaki maden mühendisinin hızla yetiştirilmesi için, yurt dışına birçok öğrenci gönderilmiştir. Bu öğrenciler lisans ve lisansüstü eğitimlerini Almanya, İngiltere, Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde tamamlayarak ülkemize dönmüşlerdir. Ülkemizin madencilik endüstrisini ivmelendiren ve yön veren bu yetişmiş ilk mühendislerden doktora derecesini alanlar üniversitelerin akademik kadrolarını oluşturmaya başlamıştır. 1953 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) - Maden Mühendisliği Bölümü kurulmuş takip eden yıllarda ODTÜ (1960), HÜ (1969), DEÜ (1972) ve diğer Maden Mühendisliği Bölümleri açılmıştır. İTÜ'sinde 1955 yılında göreve başlayan Dr. Cemal Birön, ülkemizde ilk doçent (1962) ve profesör (1971) unvanı alan akademisyen olmuştur.

Bugün ülkemizde, maden mühendisliği bölümü bulunan 24 üniversite bulunmaktadır. Madencilik faaliyetlerinde görev alacak maden mühendislerinin yetiştirilmesi yanında bu bölümlerin 18'inde, lisansüstü eğitimi ile birlikte yüksek lisans ve doktora öğrencileri de yetiştirilmektedir. Lisansüstü öğrencileri, madencilik sektörünü yakından ilgilendiren çeşitli problemleri konu alan tez çalışmalarında bulunmaktadırlar. Bununla birlikte madencilik disiplinine yakın mühendislik alanlarında (jeoloji, inşaat, metalürji ve kimya) az sayıda olsa da madencilik ile ilgili yüksek lisans ve doktora tezleri üretilmektedir. Büyük emek ve finans gerektiren lisansüstü tez çalışmaları, ülke madencilik faaliyetleri için araştırma-geliştirme (AR-GE) niteliğini taşımaktadır.

Bu çalışmada, ülkemiz madencilik sektörünü ilgilendiren lisansüstü tez çalışmalarını içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanını oluşturan tezlerin büyük bir çoğunluğu, üniversitelerin maden mühendisliği bölümleri tarafından üretilmiştir. Bununla birlikte, madencilik sektörünü yakından ilgilendiren jeoloji, inşaat, metalürji ve kimya mühendisliği bölümleri tarafından üretilen tez çalışmaları da dikkate alınmıştır. 2203 adet lisansüstü tezi içeren veri tabanı kullanılarak niceliksel bir değerlendirme yapılmıştır.

2 LİSANSÜSTÜ EĞİTİMİ VEREN ÜNİVERSİTELER

Ulusal ve uluslararası maden endüstrisinde karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik lisansüstü tez çalışmalarını yürüten üniversiteler Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu üniversitelerin ilk 18'inde maden mühendisliği bölümleri bulunurken diğerlerinde bulunmamaktadır.

Maden mühendisliği programları içerisinde madencilik endüstrisinde karşılaşılan problemlerin çözümüne lisansüstü seviyede çözümler geliştirmeye başlayan ilk üniversitenin İTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü olduğu, 2015 yılı itibarı ile bu eğitime katılan en son üniversitenin ise Niğde Üniversitesi-Maden Mühendisliği Bölümü (NÜ) olduğu belirlenmiştir.

3 VERİ TABANININ HAZIRLANMASI

Bu araştırmanın temelini oluşturan veri tabanının hazırlanmasında öncelikle YÖK-Ulusal Tez Tarama Merkezi'ndeki (YÖK-UTTM, 2015) mevcut kayıtlar dikkate alınmıştır. Merkezde 1984 yılından itibaren hazırlanan lisansüstü tezlere internet ortamında ulaşılabilmektedir. 1984-2015 yılları arasında hazırlanan lisansüstü tezleri, YÖK-UTTM tarafından düzenli olarak isimleri, yazarları, danışmanları, anahtar kelimeleri, hazırlandığı yıl, bağlı bulundukları Fen Bilimleri Enstitüsü ve üniversite isimleri ile sistematik kayıt altına alınmıştır. Ancak 1983 yılı ve öncesinde hazırlanan tezler YÖK-UTTM tarafından maalesef kayıt altına alınmamıştır.

Cumhuriyetin 75. yılı çerçevesinde TÜBA tarafından düzenlenen "Cumhuriyetin 75. yılında Bilim Bilançosu:1923-1998" ulusal kongresinde Bilgin (1998) tarafından sunulan bildiride, 1923-1998 yılları arasında ülkemizde hazırlanan doktora tezlerine ait bir

analiz verilmiştir. Bu dokümandan faydalanılarak 1984 yılı öncesine ait doktora tezlerine ulaşılmıştır. Böylece bu çalışma için hazırlanan veri tabanında, ülkemizde hazırlanan doktora tezlerinin tümü kayıt altına alınabilmiştir.

Çizelge 1. Madencilik sektörüne yönelik lisansüstü tez üreten üniversiteler (YÖK-UTTM, 2015)

Sıra	Üniversite	
1	İstanbul Teknik Üniversitesi	İTÜ
2	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	ODTÜ
3	Hacettepe Üniversitesi	HÜ
4	Dokuz Eylül Üniversitesi	DEÜ
5	Osman Gazi Üniversitesi	OGÜ
6	Bülent Ecevit Üniversitesi	BEÜ
7	Cumhuriyet Üniversitesi	CÜ
8	Süleyman Demirel Üniversitesi	SDÜ
9	Çukurova Üniversitesi	ÇÜ
10	Karadeniz Teknik Üniversitesi	KTÜ
11	Selçuk Üniversitesi	SÜ
12	İnönü Üniversitesi	İÜ
13	Dumlupınar Üniversitesi	DÜ
14	İstanbul Üniversitesi	İÜ
15	Dicle Üniversitesi	DÜ
16	Afyon Kocatepe Üniversitesi	AKÜ
17	Yüzüncü Yıl Üniversitesi	YYÜ
18	Niğde Üniversitesi	NÜ
19	Akdeniz Üniversitesi	AÜ
20	Atatürk Üniversitesi	AÜ
21	Ege Üniversitesi	EÜ
22	Gazi Üniversitesi	GÜ
23	Marmara Üniversitesi	MÜ
24	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	OMÜ
25	Celal Bayar Üniversitesi	CBÜ
26	Yıldız Teknik Üniversitesi	YTÜ
27	Firat Üniversitesi	FÜ
28	Trakya Üniversitesi	TÜ
29	Balikesir Üniversitesi	BÜ
30	Okan Üniversitesi	OÜ

ODTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü 50. Yıl Kutlamaları çerçevesinde hazırlanan dokümandan ODTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan tüm yüksek lisans ve doktora tezlerine ulaşılabilmiştir (ODTÜ, 2010). Ancak 1984 yılı öncesinde İTÜ (1953), HÜ (1969), DEÜ (1972) ve OGÜ (1975) üniversitelerinde hazırlanan yüksek lisans tezlerine ait tüm verilere ulaşılamamıştır. Bununla birlikte bölümlerin web sayfalarından özellikle emekliliğini doldurmuş ya da bu aşamaya yakın olan öğretim üyelerinin öz geçmişleri taranarak yüksek lisans derecesini aldıkları üniversiteler belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle İTÜ (1953), HÜ (1969), DEÜ (1972) ve OGÜ (1975)'den 1984 öncesi yüksek lisans derecesi alan kişiler tümüyle olmasa da belirlenmeye çalışılmıştır. Çizelge 1'de sunulan diğer üniversitelerde benzer sorunla karşılaşılmamıştır. Veri tabanının hazırlanmasında karşılaşılan bir başka sorun, ülkemizde yükseköğretiminin ilk yıllarında üniversitelerden kişilerin direkt tez hazırlamadan yüksek mühendis olarak mezun olmaları olmuştur.

Sonuç olarak 1923-2015 yılları arasında ülkemiz üniversitelerinden üretilen doktora tezleri eksiksiz olarak kayıt altına alınmıştır. Yüksek lisans tezlerinde ise 1984-2015 yılları arasında hazırlanan tezler tamamı ile kayıt altına alınmış ancak 1923-1984 yılları arasında kalan yüksek lisans tezleri ODTÜ hariç tamamı ile kayıt altına alınamamıştır.

Ülkemizde şu anda Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ), Osmangazi Üniversitesi (OGÜ) ve Bülent Ecevit Üniversitesi (BEÜ) olarak eğitim hayatına devam eden üniversitelerin isimlerinde yükseköğretim politikaları neticesinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Aslında 1972 yılında Ege Üniversitesi-Maden Mühendisliği Bölümü olarak eğitim hayatına başlayan bölüm, 1982 yılından sonra Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) olarak eğitim hayatına devam etmiştir. Benzer şekilde 1975 yılında kurulan Anadolu Üniversitesi-Maden Mühendisliği Bölümü, 1993 yılından sonra Osmangazi Üniversitesi çatısı altında eğitime devam etmiştir. Bülent Ecevit Üniversitesi-Maden Mühendisliği Bölümü ise ilk önceleri Hacettepe Üniversitesi'ne bağlı çalışmalarına devam ederken takibinde Zonguldak Karaelmas Üniversitesi daha sonra ise bugünkü ismi ile eğitim hayatına devam etmeye başlamıştır. Bu üniversiteler için YÖK-UTTM (2015) tarafından tutulan kayıtlarda, tezler üretildikleri tarih itibarı ile hangi üniversite çatısı altında hazırlanmış ise

o üniversite dikkate alınmıştır. Bu çalışma için hazırlanan veri tabanında ise bu üç üniversitede görev yapan öğretim üyelerinin danışmanlıklarında hazırlanan tezler, çalıştıkları son üniversiteye aktarılmıştır.

Madencilik endüstrisi için lisansüstü çalışmalarda bulunan üniversite sayısının 30 adet olduğu belirlenmiştir. Bu üniversitelerin kısa isimlerinin bazı üniversiteler için benzer olduğu tespit edilmiştir. Buna en iyi örnek İstanbul Üniversitesi (İÜ), İnönü Üniversitesi (İÜ) ile Akdeniz Üniversitesi (AÜ), Atatürk Üniversitesi (AÜ) verilebilir. Hazırlanan çizelgelerde grafiklerde kargaşayı önlemek amacıyla her üniversitenin kısaltması ile üniversitelerin bulunduğu il ayrıca belirtilmiştir (Çizelge 2).

YÖK-UTTM (2015)'inde yapılan tarama yanında, Bilgin (1995) ve ODTÜ (2010) tarafından hazırlanan kaynaklar dikkate alınarak, hazırlanan tezlerin üniversitelere göre dağılımları ve hazırlanan ilk tezlerin kabul edildiği yıllar Çizelge 2'de sunulmuştur.

4 LİSANSÜSTÜ TEZLERİN NİCELİKSEL DEĞERLENDİRMESİ

Lisansüstü eğitim veren üniversitelerimizde 1923-2015 yılları arasında 1732 adet yüksek lisans ve 471 adet doktora tezi hazırlanmıştır. Toplam 2203 adet lisansüstü tezine ait; tez konuları, tez yazarları, tez danışmanları, ilgili üniversiteleri, tez hazırlama yılları, tez anahtar kelimeleri gibi bilgileri toplanmıştır. Hazırlanan veri tabanı kullanılarak aşağıdaki temel çalışmalar yapılmıştır.

1. Ülkemizde üretilen yüksek lisans ve doktora tezlerinin üniversitelere göre sayısal dağılımları için grafiksel sunumlar hazırlanmıştır.

Tez başlıkları dikkate alınan tezler, konular bazında sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma çalışmalarında, Bilgin (1998) tarafından yapılan sınıflama sistematiği temel alınmış ancak gerekli görülen yeni ek sınıflama başlıkları eklenmiştir. Konu sınıflandırması aşağıda sunulan Çizelge 3'de verilmiştir. Seçilen başlıkların 9 tanesi maden işletme (A1-A9), 5 tanesi cevher hazırlama (B1-B5), 2 tanesi bilgisayar uygulamaları (C1-C2), 2 tanesi maden-çevre (D1-D2) ve 1 tanesi genel konuları (E) içermektedir. Belirlenen konu başlıklarına bağlı tez dağılımlarını gösteren grafikler hazırlanmıştır.

Çizelge 2. Madencilik sektörüne yönelik hazırlanan lisansüstü tez adetleri

Üniversite	Yüksek Lisans Tezleri		Doktora Tezleri	
	Adet	Üretilen İlk Tez	Adet	Üretilen İlk Tez
İTÜ- İstanbul	179	1976	65	1965
ODTÜ- Ankara	315	1965	85	1977
HÜ- Ankara	152	1984	47	1992
DEÜ- İzmir	183	1987	73	1984
OGÜ- Eskişehir	197	1985	63	1988
BEÜ- Zonguldak	100	1985	17	1998
CÜ- Sivas	76	1986	22	1995
SDÜ- İsparta	69	1993	16	1998
ÇÜ- Adana	160	1994	26	1997
KTÜ- Trabzon	32	1988	12	2008
SÜ- Konya	60	1996	17	1998
İÜ- Malatya	10	2002	3	2011
DÜ- Kütahya	86	1996	7	2009
İÜ- İstanbul	52	1995	12	1995
DÜ- Diyarbakır	11	2001	1	2008
AKÜ- Afyon	23	1996	1	2011
YYÜ- Van	1	2007	-	-
NÜ-Niğde	6	2010	-	-
AÜ- Antalya	2	1992	-	-
AÜ- Erzurum	-	-	2	2001
EÜ- İzmir	3	1988	1	1993
GÜ- Ankara	5	1989	-	-
MÜ- İstanbul	3	1998	-	-
OMÜ- Samsun	1	1993	-	-
CBÜ-Manisa	1	2003	-	-
YTÜ-İstanbul	2	2004	-	-
FÜ-Elaziğ	1	2013	-	-
TÜ-Tekirdağ	-	-	1	2009
BÜ-Balikesir	1	2012	-	-
OÜ-İstanbul	1	2013	-	-
TOPLAM	1732		471	

2. Üniversitelerin lisansüstü tez üretmeye başladıkları yıl, başlangıçlar itibarı ile farklı yıllara tekabül etmemektedir (Çizelge 2). Karşılaştırma yapabilmek amacıyla her üniversitenin lisansüstü tez üretme faaliyet sürelerine tez sayıları

oranlanarak her üniversite için adet/yıl bazında tez sayıları belirlenmiştir.

3. Yüksek lisans ve doktora tezlerinin üniversitelere göre tez danışmanları başına düşen ortalama dağılımları hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Tez konularının sınıflandırılması

Tanım Kodu	Konu Başlığı
A1	Kaya mekaniği-Tahkimat
A2	Kazı mekaniği-Üretim-Ekipman
A3	Havalandırma-Emniyet-İşçi sağlığı
A4	Delme-Patlatma
A5	Maden planlaması-Ekonomi
A6	Mermer-Yapı taşı
A7	Sondaj-Jeotermal-Petrol-Jeofizik
A8	Metro-Baraj-Karayolu
A9	Endüstriyel hammaddelerin madenciliği
B1	Kömür hazırlama
B2	Metalik cevherlerin zenginleştirilmesi
B3	Endüstriyel minerallerin zenginleştirilmesi
B4	Atıkların değerlendirilmesi
B5	Kırma-Öğütme-Proses tasarımı-Modelleme
C1	Maden işletmede bilgisayar uygulaması
C2	Cevher hazırlamada bilgisayar uygulaması
D1	Maden işletmede çevre
D2	Cevher hazırlamada çevre
E	Eğitim-Özelleştirme-Tarihsel gelişim-İnceleme-Kanunsal değerlendirme-Rekabet

4. 1923-2015 yılları arasında hazırlanan lisansüstü tezlerinin yıllar bazında dağılımları gösterilmiştir.
5. Lisansüstü tez danışmanlığı yapan öğretim üyelerinin tez danışmanlık sayıları veri tabanı yardımıyla çıkarılmış ve en çok danışmanlık yapan öğretim üyeleri belirlenmiştir.

Yukarıda ifade edilen değerlendirmeler yardımıyla hazırlanan grafiksel sunumlar dikkate alınarak maden işletmesi ve cevher hazırlama bilim dallarına ait üniversitelerin performansları ortaya konulmuştur. Takip eden iki bölümde hazırlanan grafikler, çizelgeler ve bunlara ait değerlendirmeler sunulmuştur.

4.1 Yüksek Lisans Tezleri

Çizelge 2'de yüksek lisans eğitimini başarıyla tamamlayan araştırmacıların sayısal dökümü sunulmuştur. ODTÜ (2010) ve YÖK-UTTM (2015) kayıtlarına göre ilk yüksek lisans tezinin 1965 yılında ODTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü'nde Gülhan Özbayoğlu (Gençtan) tarafından hazırlandığı belirlenmiştir.

Lisansüstü eğitiminin ilk aşamasını oluşturan yüksek lisans tez çalışmaları dört yıllık lisans eğitiminin arkasından gelmektedir. Lisans eğitimini tamamlayan genç mühendislerin uzmanlaşmak istedikleri konu üzerinde yüksek lisans programına kayıt yaptırabilmeleri için üniversitelerin açmış oldukları sınavları başarmak zorundadır. Sınavı başaran öğrenciler, en az iki öğretim dönemi tez konularını destekleyici dersler almaktadırlar. Bu ders dönemini takip eden iki öğretim dönemi boyunca tez çalışmaları yürütülmektedir. Genel olarak saha çalışmalarını içeren tez çalışmaları genellikle iki eğitim yılını aşabilmektedir. Tez çalışmaları çoğunlukla üniversitelerin Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü (BAP), TUBİTAK ve Sanayi Bakanlığı (SAN-TEZ) tarafından mali açıdan desteklenmektedir. Tez çalışmalarını tamamlayan mühendisler, tezlerini bir bilim jürisi önünde savunmaktadır.

Yukarıda özetlenen aşamaları başarı ile geçen 1732 adet mühendisin yüksek lisans tezlerini tamamladıkları belirlenmiştir. Bu çalışma için hazırlanan veri tabanı kullanılarak Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5 hazırlanmıştır. Şekil 3, 4 ve Çizelge 4 için tüm veri tabanı dikkate alınmıştır ancak bildirideki sunumlarında sadece maden mühendisliği bölümü olan üniversitelere yer verilmiştir.

Şekil 1'de tezlerin üniversitelere göre dağılımı görülmektedir. En çok tez çalışmasının 315 adet ile ODTÜ tarafından yapıldığı görülmektedir. Toplam yüksek lisans tezlerinin (1732) yaklaşık %18.19'unun sözü edilen üniversite tarafından yapıldığı anlaşılmıştır.

1732 adet yüksek lisans tez başlığına ait sınıflama sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur.

Maden işletme bilim dalında cevher hazırlama bilim dalına nazaran daha çok tez çalışmasının gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Maden işletme bilim dalında çalışmaların yoğunlaştığı konu başlıklarının A1, A5 ve A6 (Çizelge 3) olduğu, cevher hazırlama bilim dalında ise yoğunlaşılan konu başlıklarının B1, B2 ve B3 (Çizelge 3) olduğu Şekil 2'den anlaşılmaktadır. Madencilik çalışmalarına bağlı oluşan çevre kirliliği konusunda çalışmaların çok sınırlı kaldığı görülmektedir. Son zamanlarda çevre konusunda artan toplumsal duyarlılığa karşı madencilik çalışmalarında ciddi bir kamuoyu baskısı oluşmaktadır. Kamuoyunu ikna edici teknik ve bilimsel çalışmaların yetersiz kaldığı görülmektedir. Ayrıca ülkemiz madencilik uygulamaları için yeterince orijinal bilgisayar yazılımlarının geliştirilmediği ve kullanılmadığı anlaşılmaktadır.

Ulusal temelde ortalama toplam tez sayısının yıl bazında 34.64 (adet/yıl) olduğu ve her bir üniversite dikkate alındığında ise Adana ÇÜ'sinin 7.62 adet/yıl tez ortalaması ile ilk sıraya yerleştiği anlaşılmaktadır (Şekil 3). Bu üniversiteyi OGÜ, DEÜ ve ODTÜ' nin takip ettiği görülmektedir.

Ülkemizde faaliyet gösteren ve lisansüstü eğitimi veren üniversitelerde görev alan tez danışmanı öğretim üyesi başına düşen ortalama tez sayıları Şekil 4'de sunulmuştur. Hazırlanan grafikten görüldüğü üzere ÇÜ (10.67 adet/danışman) ve ODTÜ (9.84 adet/danışman) üniversitelerinin açık ara öne çıktıkları görülmektedir.

1923-2015 yılları arasında hazırlanan yüksek lisans tez sayılarının yıllar bazında dağılımları Şekil 5'de görülmektedir. Özellikle 1985 yılından sonra ciddi bir artışın olduğu ancak 2010 yılından sonra endişe verici bir şekilde tez sayılarında bir düşüşün olduğu izlenmektedir.

Hazırlanan Çizelge 4 yardımıyla üniversitelerin sınıflandırılmış tez konu başlıklarında gösterdikleri performansları belirlenmeye çalışmıştır. Çizelge 4'de sunulan sayısal değerler, her bir sınıflandırılmış konu başlığında üniversitelerin hazırladıkları tez sayılarının üniversitelerin yüksek lisans eğitiminde geçirdikleri zamana (yıl) oranlanarak belirlenmiştir (adet/yıl). Ayrıca her bir konu başlığı için ulusal ortalama değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4). Üniversitelerin her bir konu başlığında ürettikleri tezlerin yıl bazındaki değerleri (adet/yıl) ile ortalama ulusal değer (adet/yıl) karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda eğer dikkate alınan üniversitenin değeri, ulusal ortalama değere eşit ya da büyük ise bu veri Çizelge 4'de koyulaştırılarak belirgin hale getirilmiştir. Böylelikle anlamlı bir şekilde her bir üniversitenin performansı belirlenebilmiş ve karşılaştırılabilmiştir. Örneğin İTÜ'nin yüksek lisans tezlerinde A1 konusundaki performansı 0.51 adet/yıl, ulusal ortalama 0.44 adet/yıl değerinden büyük olduğu için Çizelge 4'de belirgin hale getirilmiştir. Sonuç olarak belirginleştirilen konu başlıklarında ilgili üniversitenin daha çok yüksek lisans tezi ürettiği söylenebilir. DEÜ ve OGÜ üniversitelerinin hemen hemen her konu başlığı ile ilgilendiği ve ulusal ortalamanın üzerinde tez ürettiği anlaşılmaktadır. Özellikle C2 ve D2 (Çizelge 3) konu başlıkları ile üniversitelerin hemen hemen hiç ilgilenmediği görülmektedir. Buna karşın A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, D1 ve E konu başlıkları ile yakından ilgilenildiği anlaşılmaktadır. Ulusal ortalamaya bakılırsa (Çizelge 4) en çok A1, A5 ve A6 konu başlıklarında yüksek lisans tezlerinin üretildiği görülmektedir. Ayrıca 354 öğretim üyesi tarafından yönetilen 1732 adet yüksek lisans tezine en çok danışmanlık yapan öğretim üyesinin Dr. Erdal Ünal olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

4.2 Doktora Tezleri

Doktora eğitimini başarıyla tamamlayan araştırmacıların sayısal dökümü Çizelge 2'de sunulmuştur. Tüm mühendislik disiplinleri göz önüne alındığında ilk doktora tezinin 1965 yıllında İTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü'nde Senai Saltoğlu tarafından hazırlandığı tespit edilmiştir.

Yüksek lisans tezini başarı ile veren yüksek mühendisler, lisansüstü çalışmaların ikinci aşaması olan doktora eğitimlerine, üniversiteler tarafından açılan doktora

sınavlarını kazanmaları durumunda başlayabilmektedirler. Doktora eğitimine başlayan doktora öğrencisi, 2 öğretim dönemi ders alırken takibinde 6 öğretim dönemi tez çalışmalarını yürütmek zorundadır. Ancak saha çalışmalarını içeren tez çalışmalarının genel olarak 5 ila 6 yıl sürdüğü görülmektedir.

Endüstri tarafından desteklenen projelere bağlı hazırlanan doktora tez sayılarının yetersiz kaldığı bilinmektedir. Yetersiz kalan bu tip destekler ise tez danışmalarının özverili ve özel gayreti ile gerçekleştirilen endüstri projelerinden sağlanmaktadır. Genel olarak doktora tez çalışmaları üniversitelerin BAP, TUBİTAK ve Sanayi Bakanlığı (SAN-TEZ) tarafından desteklenmektedir.

Lisansüstü doktora programında 471 adet doktora tezinin hazırlandığı tespit edilmiştir. Oluşturulan veri tabanı yardımıyla Şekil 6, 7, 8, 9 ve 10 hazırlanmıştır. Şekil 8, 9 ve Çizelge 6'da sadece maden mühendisliği bölümü olan üniversitelere ait veriler sunulmuştur.

Şekil 6'da tezlerin üniversitelere göre dağılımı görülmektedir. En çok tez çalışmasının 85 adet ile ODTÜ tarafından üretildiği görülmektedir. Toplam 471 adet doktora tezinin yaklaşık %18'inin ODTÜ tarafından yapıldığı anlaşılmıştır.

Çizelge 3'de belirtilen konu başlıklarına göre 471 adet doktora tezine ait sınıflama sonuçları Şekil 7'de sunulmuştur. Maden işletme bilim dalında, cevher hazırlama bilim dalına nazaran biraz daha fazla tez çalışmasının gerçekleştirildiği anlaşılmıştır. Maden işletme bilim dalında çalışmaların yoğunlaştığı konu başlıklarının A1, A2 ve A5 (Çizelge 3) olduğu, cevher hazırlama bilim dalında ise B2, B3 ve B5 konu başlıkları olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Maden-çevre ve madencilikte bilgisayar uygulamaları konusunda tez sayılarının çok sınırlı kaldığı görülmektedir. Özelikle son zamanlarda çevre konusunda artan toplumsal duyarlılığa ve bilgi kirliliğine karşı kamuoyunu ikna edici teknik ve bilimsel çalışmaların yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır.

Ulusal temelde ortalama toplam doktora tez sayısı yıl bazında 9.42 (adet/yıl) olduğu belirlenmiştir. Şekil 8'de DEÜ 'sinin 2.35 adet/yıl ortalaması ile ilk sıraya yerleştiği, OGÜ ve ODTÜ'nin ise bu üniversiteyi takip ettiği görülmektedir.

Çizelge 5. Yüksek lisans tezlerinde 12 ve üstünde danışmanlık yapan öğretim üyeleri

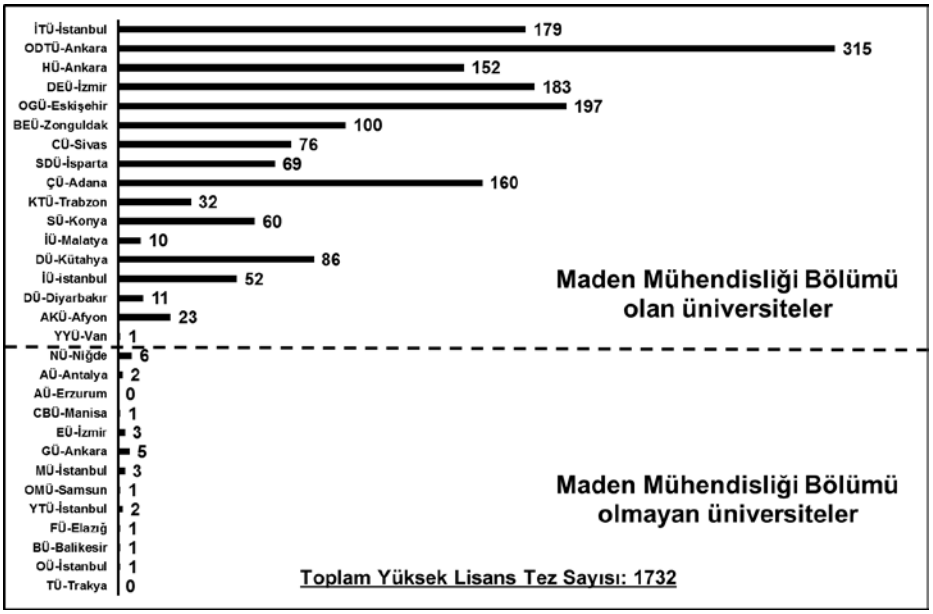
Sıra	Öğretim Üyesi	Üniv.	Tez Sayısı
1	Dr. Erdal Ünal	ODTÜ	23
2	Dr. Mesut Anıl	ÇÜ	20
3	Dr. Seyfi Kulaksız	HÜ	19
4	Dr. M. Sabit Gürgen	DEÜ	19
5	Dr. Güner Önce	OGÜ	19
6	Dr. Oktay Bayat	ÇÜ	19
7	Dr. Neş'e Çelebi	ODTÜ	18
8	Dr. Celal Karpuz	ODTÜ	17
9	Dr. Adnan Konuk	OGÜ	17
10	Dr. Hüseyin Özdağ	OGÜ	17
11	Dr. Nuh Bilgin	İTÜ	16
12	Dr. Ali İhsan Arol	ODTÜ	16
13	Dr. Çetin Hoşten	ODTÜ	16
14	Dr. Tevfik Güyagüler	ODTÜ	16
15	Dr. Hasan Gerçek	BEÜ	16
16	Dr. Yaşar Ergül	ÇÜ	16
17	Dr. Gülhan Özbayoğlu	ODTÜ	15
18	Dr. Vedat Didari	BEÜ	15
19	Dr. Suphi Ural	ÇÜ	15
20	Dr. Bahtiyar Ünver	HÜ	14
21	Dr. Ahmet Dağ	ÇÜ	14
22	Dr. Lütfullah Gündüz	SDÜ	13
23	Dr. Veysel Zedef	SÜ	13
24	Dr. Ali Kahriman	İÜ	13
25	Dr. A. Özgenoğlu	ODTÜ	13
26	Dr. Levent Tutluoğlu	ODTÜ	13
27	Dr. A. Mahmut Kılıç	ÇÜ	13
28	Dr. Mehmet Yıldırım	ÇÜ	13
29	Dr. M. Sabri Çelik	İTÜ	12
30	Dr. Ercüment Yalçın	DEÜ	12
31	Dr. Mete Göktan	OGÜ	12
32	Dr. H. Aydın Bilgin	ODTÜ	12
33	Dr. Muammer Kaya	OGÜ	12
34	Dr. Adem Ersoy	ÇÜ	12
35	Dr. Alaettin Kılıç	ÇÜ	12

Doktora eğitimi veren üniversitelerde tez danışmanı başına düşen tez sayıları incelendiğinde, ODTÜ'nin 4.25 değeri ile öne çıktığı görülmektedir (Şekil 9).

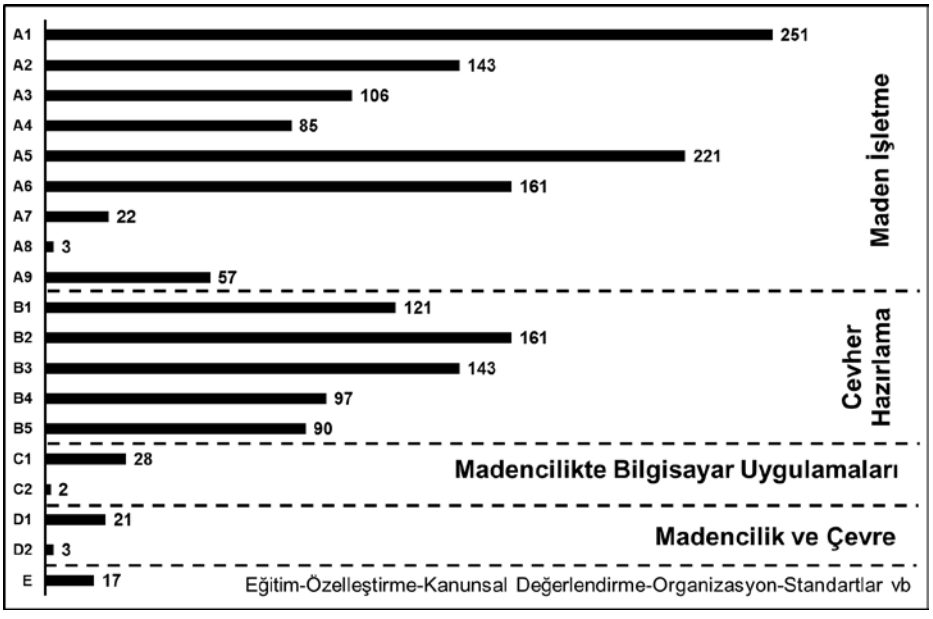
1923-2015 yılları arasında hazırlanan doktora tez sayılarının yıllar bazında dağılımları Şekil 10'da sunulmuştur.

Özellikle 1993 yılından sonra tez sayılarında ciddi bir artışın olduğu ancak 2010 yılından sonra yüksek lisans tezlerinde olduğu gibi doktora tez sayılarında endişe verici bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

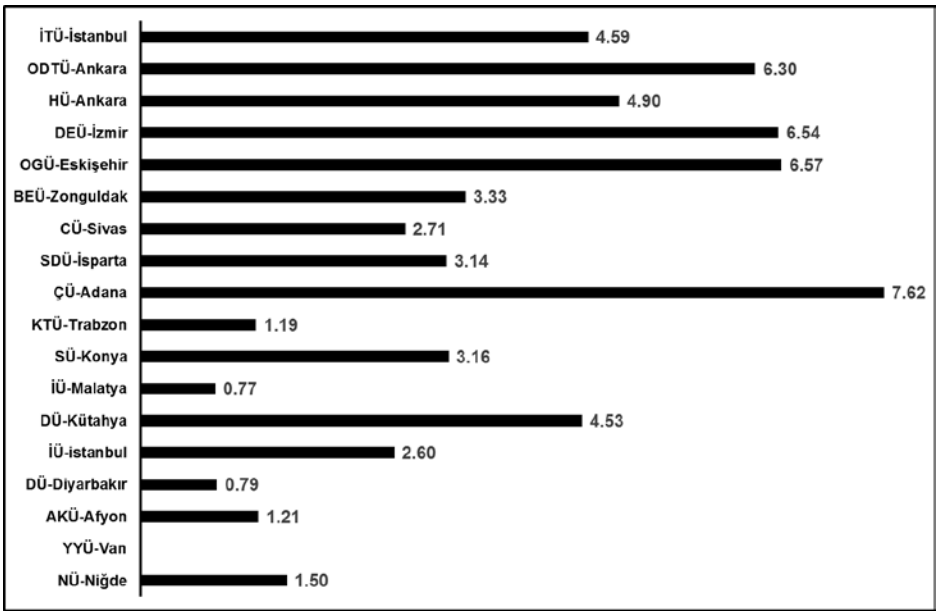
Her bir üniversiteye ait sınıflandırılan tez sayılarının, üniversitelerin lisansüstü eğitimde geçirdikleri zamana oranlanarak (adet/yıl) Çizelge 6 hazırlanmıştır. Ayrıca çizelgede her bir konu başlığına ait ortalama ulusal değerleri (adet/yıl) gösterilmiştir. Üniversitelerin konu başlıklarında ürettikleri tezlerin yıl bazındaki sayısal değerleri ile ortalama ulusal değeri karşılaştırılmıştır.



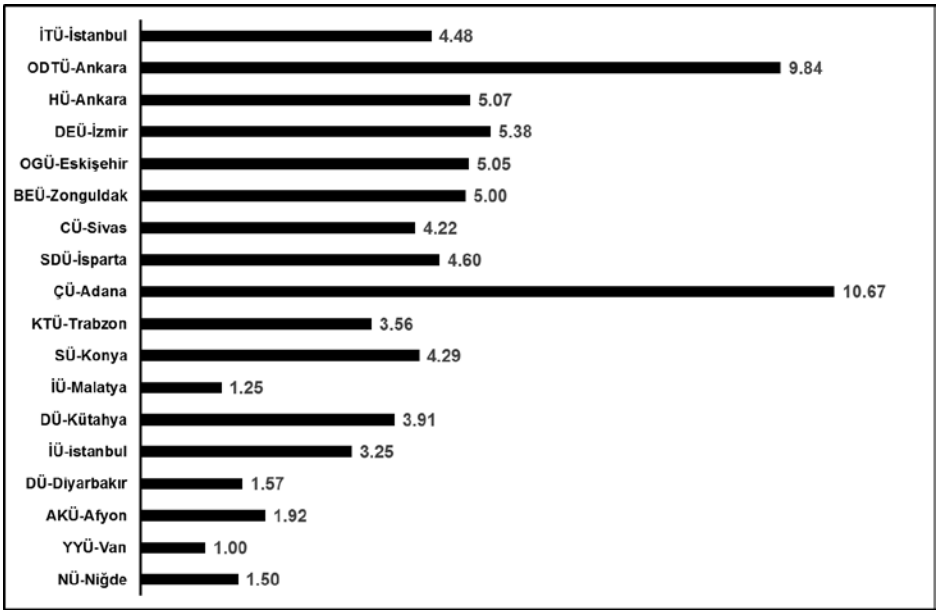
Şekil 1. Yüksek lisans tez sayılarının üniversitelere göre dağılımı



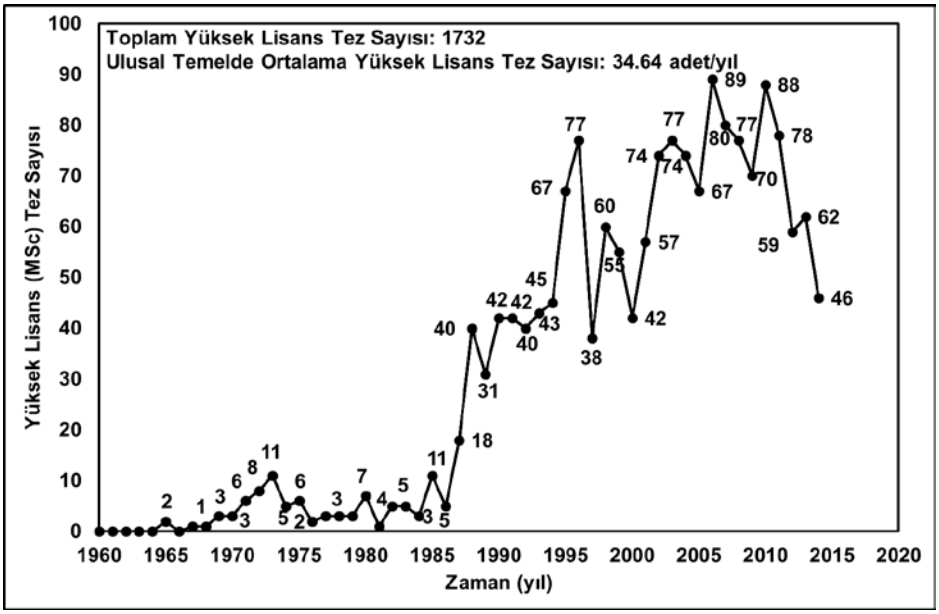
Şekil 2. Yüksek lisans tezlerinin konulara göre sınıflandırması



Şekil 3. Üniversitelerin yıl bazında ürettikleri yüksek lisans tez sayıları (adet/yıl)



Şekil 4. Yüksek lisans tezlerinin üniversitelere göre danışman başına düşen dağılımı



Şekil 5. Yüksek lisans tezlerinin yıllara göre dağılımı

Çizelge 4. Konulara göre sınıflandırılan yüksek lisans tez çalışmalarında üniversitelerin performansı (adet/yıl)

	Konu Başlıkları																		
Üniversiteler	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**C1**	**C2**	**D1**	**D2**	**E**
İTÜ-İstanbul	**0.51**	**0.87**	**0.23**	**0.18**	**0.51**	0.15	0.03	0.00	**0.13**	**0.28**	**0.62**	**0.49**	**0.28**	**0.21**	0.05	0.00	0.03	0.00	**0.03**
ODTÜ-Ankara	**1.66**	**0.30**	**0.32**	**0.32**	**1.12**	0.10	**0.08**	0.00	0.00	**0.60**	**0.80**	**0.30**	0.10	**0.34**	0.04	0.00	**0.12**	0.00	**0.10**
HÜ-Ankara	**0.81**	**0.42**	0.13	0.16	0.45	0.26	0.00	0.00	**0.16**	0.19	**0.74**	**0.68**	0.13	**0.68**	0.03	**0.03**	0.00	0.00	**0.03**
DEÜ-İzmir	**0.61**	**0.64**	**0.36**	**0.43**	**0.79**	**0.54**	**0.07**	**0.04**	**0.21**	**0.61**	**0.46**	**0.89**	**0.29**	**0.21**	**0.11**	0.00	**0.18**	**0.07**	**0.04**
OGÜ-Eskişehir	**0.57**	**0.30**	**0.77**	**0.20**	**0.97**	**0.90**	0.03	0.00	**0.27**	0.17	**0.37**	**0.77**	**0.57**	**0.40**	0.00	**0.03**	**0.07**	**0.03**	**0.17**
BEÜ-Zonguldak	**0.97**	**0.47**	**0.60**	0.03	0.13	0.00	**0.07**	0.00	0.00	**0.50**	0.07	0.17	0.13	**0.20**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CÜ-Sivas	0.18	**0.32**	0.07	0.14	0.39	0.29	0.00	0.00	0.07	**0.32**	**0.36**	0.07	0.14	**0.25**	**0.11**	0.00	0.00	0.00	0.00
SDÜ-İsparta	0.05	**0.32**	0.05	0.14	0.09	**0.91**	0.00	0.00	**0.32**	**0.23**	**0.50**	0.27	0.09	0.09	0.00	0.00	**0.05**	0.00	**0.05**
ÇÜ-Adana	**0.86**	**0.38**	**0.57**	**0.33**	**1.00**	**1.48**	**0.43**	**0.10**	**0.38**	**0.38**	**0.52**	0.10	**0.67**	0.10	**0.29**	0.00	0.00	0.00	**0.05**
KTÜ-Trabzon	0.37	0.07	0.00	0.11	0.04	0.15	0.04	0.00	0.07	0.07	0.07	0.00	0.15	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
SÜ-Konya	**0.74**	0.11	**0.26**	0.05	0.32	**0.47**	0.00	0.00	0.11	0.16	0.26	**0.32**	0.16	0.11	0.05	0.00	**0.05**	0.00	0.00
İÜ-Malatya	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DÜ-Kütahya	0.11	0.26	**0.26**	**0.37**	**1.16**	0.26	**0.11**	0.00	**0.32**	0.11	0.11	0.26	**0.79**	0.11	**0.11**	0.00	**0.11**	0.00	**0.11**
İÜ-istanbul	0.10	0.15	0.05	**0.55**	0.30	0.20	0.00	0.00	0.10	0.10	0.05	**0.45**	0.15	0.05	**0.30**	0.00	**0.05**	0.00	0.00
DÜ-Diyarbakır	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.14	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.14	0.00	**0.07**	0.00	0.00	0.00	0.00
AKÜ-Afyon	0.05	0.11	0.00	0.05	0.16	**0.58**	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.11	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
YYÜ-Van	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NÜ-Niğde	0.00	**0.50**	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	**0.50**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ulusal ortalama	**0.44**	**0.29**	**0.20**	**0.17**	**0.47**	**0.38**	**0.05**	**0.01**	**0.13**	**0.23**	**0.29**	**0.28**	**0.21**	**0.18**	**0.07**	**0.00**	**0.04**	**0.01**	**0.03**

Karşılaştırma sonucunda eğer üniversitenin sayısal değeri ortalama ulusal değere eşit ya da büyük ise bu değer Çizelge 6'da koyulaştırılarak belirgin hale getirilmiştir. Böylelikle aynı temelde üniversitelerin performansı belirlenerek karşılaştırılmıştır. Örneğin ODTÜ'nin doktora tezlerinde A1 konusundaki performansı (0.58 adet/yıl), ulusal ortalama (0.18 adet/yıl) değerinden büyük olduğu için Çizelge 6'da belirgin hale getirilmiştir. Sonuç olarak belirginleştirilen konu başlıklarında ilgili üniversitenin daha çok doktora tezi ürettiği söylenebilir. Genel olarak Çizelge 6 değerlendirildiğinde, bütün konu başlıklarına ilgi duyan üniversitenin olmadığı anlaşılmaktadır. Özellikle A7, A8, C2, D2 ve E (Çizelge 3) konu başlıkları ile üniversitelerin yeteri kadar ilgilenmediği görülmektedir. Buna karşın A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B5, C1 ve D1 konu başlıkları ile yakından ilgilendiği anlaşılmaktadır. Ulusal ortalamaya bakılırsa (Çizelge 6) en çok A1, A2, A5, A6, B2, B3, B4 ve B5 konu başlıklarında doktora tezi üretilmiştir.

Doktora tez danışmanlığı yapan öğretim üyelerinin bireysel tez danışmanlık sayıları ayrıca belirlenmiştir. 471 adet doktora tezine danışmanlık yapan 177 adet öğretim üyesinin ürettiği tez sayıları dikkate alınarak 5 ve üzerinde tez danışmanlığı yapan öğretim üyeleri Çizelge 7'de verilmiştir.

5 SONUÇLAR

1923-2015 yılları arasında tespit edilen 2203 adet lisansüstü tezinin 1732 adetinin yüksek lisans, 471 adetinin doktora tezi olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan veri tabanı yardımıyla yapılan niceliksel değerlendirme sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Ülkemizde ilk yüksek lisans tezinin 1965 yılında ODTÜ'inde Gülhan Özbayoğlu (Gençtan) tarafından, doktora tezinin ise 1965 yılında İTÜ'inde Senai Saltoğlu tarafından hazırlandığı belirlenmiştir.
2. En fazla yüksek lisans tez danışmanlığının Dr. Erdal Ünal, en fazla doktora tez danışmanlığının ise Dr. Halil Köse tarafından yapıldığı tespit edilmiştir.
3. En çok yüksek lisans ve doktora tezinin ODTÜ tarafından üretildiği, bu üniversiteyi sırasıyla yüksek lisans tezlerinde OGÜ, DEÜ ve İTÜ'nin, doktora tezlerinde ise bu üniversiteyi DEÜ, İTÜ ve OGÜ'nin takip ettiği anlaşılmıştır.
4. Maden işletme bilim dalında yüksek lisans tezlerinin A1, A5 ve A6 doktora tezlerinin ise A1, A5, A2 konu başlıklarında yapıldığı tespit edilmiştir.
5. Cevher hazırlama bilim dalı için B2, B3 ve B1 konuları yüksek lisans tezlerinde, B5, B2, B3 konu başlıkları ise doktora tezlerinde daha çok tercih edilmiştir.
6. Madencilikte bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesi, maden-çevre ve eğitim-özelleştirme-kanunsal değerlendirme konu

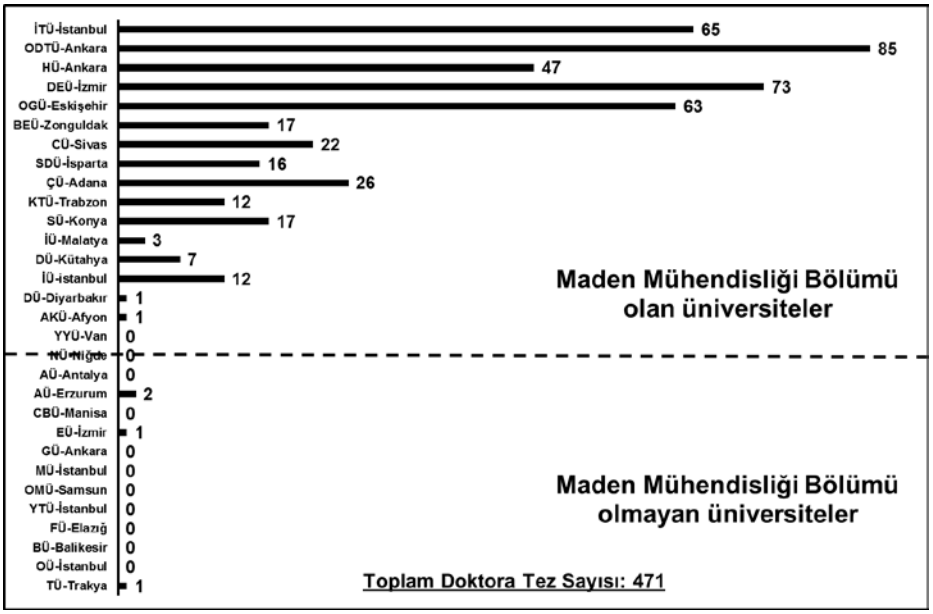
başlıklarında hazırlanan lisansüstü tez sayılarının her iki tez türü için yeterli düzeyde olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 7. Doktora tezlerinde 5 ve üzerinde tez danışmanı olan öğretim üyeleri

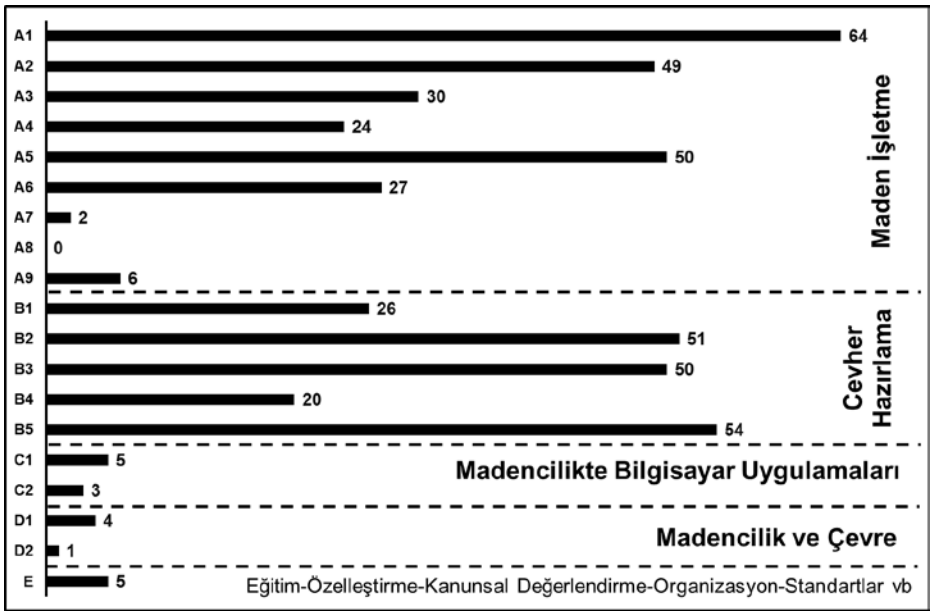
Sıra	Öğretim Üyesi	Üniv.	Tez Sayısı
1	Dr. Halil Köse	DEÜ	16
2	Dr. Celal Karpuz	ODTÜ	12
3	Dr. Hüseyin Özdağ	OGÜ	11
4	Dr. Güven Önal	İTÜ	10
5	Dr. Adnan Konuk	OGÜ	8
6	Dr. Mesut Anıl	ÇÜ	8
7	Dr. Mehmet Sabri Çelik	İTÜ	7
8	Dr. Nuh Bilgin	İTÜ	7
9	Dr. Çetin Hoşten	ODTÜ	7
10	Dr. Gülhan Özbayoğlu	ODTÜ	7
11	Dr. Tevfik Güyagüler	ODTÜ	7
12	Dr. Ercüment Yalçın	DEÜ	7
13	Dr. Muammer Kaya	OGÜ	7

Çizelge 7. Doktora tezlerinde 5 ve üzerinde tez danışmanı olan öğretim üyeleri (Devamı)

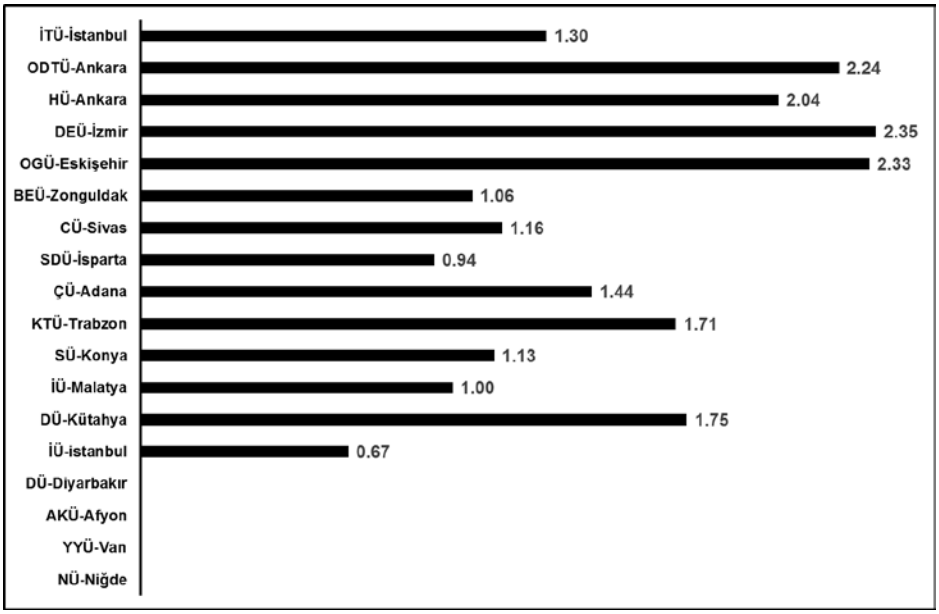
Sıra	Öğretim Üyesi	Üniv.	Tez Sayısı
14	Dr. Şevket Levent Ergür	HÜ	6
15	Dr. Lutfullah Gündüz	SDÜ	6
16	Dr. Mehmet Kemal Gökay	SÜ	6
17	Dr. A. G. Paşamehmetoğlu	ODTÜ	5
18	Dr. Hürriyet Akdaş	OGÜ	5
19	Dr. Bahri Ötekaya	OGÜ	5
20	Dr. Vedat Didarı	BEÜ	5
21	Dr. Ahmet Demirci	CÜ	5
22	Dr. Atilla Ceylanoğlu	CÜ	5
23	Dr. Mehmet Canbazoğlu	CÜ	5
24	Dr. Oktay Bayat	ÇÜ	5
25	Dr. Ali Kahriman	İÜ	5
26	Dr. A. İhsan Arol	ODTÜ	5
27	Dr. M. Ümit Atalay	ODTÜ	5
28	Dr. Neş'e Çelebi	ODTÜ	5



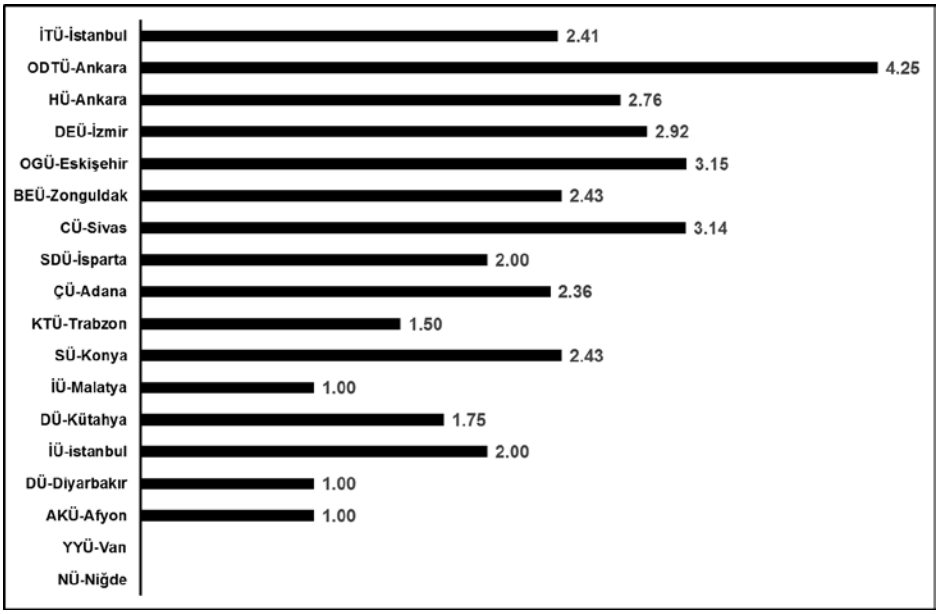
Şekil 6. Doktora tez sayılarının üniversitelere göre dağılımı



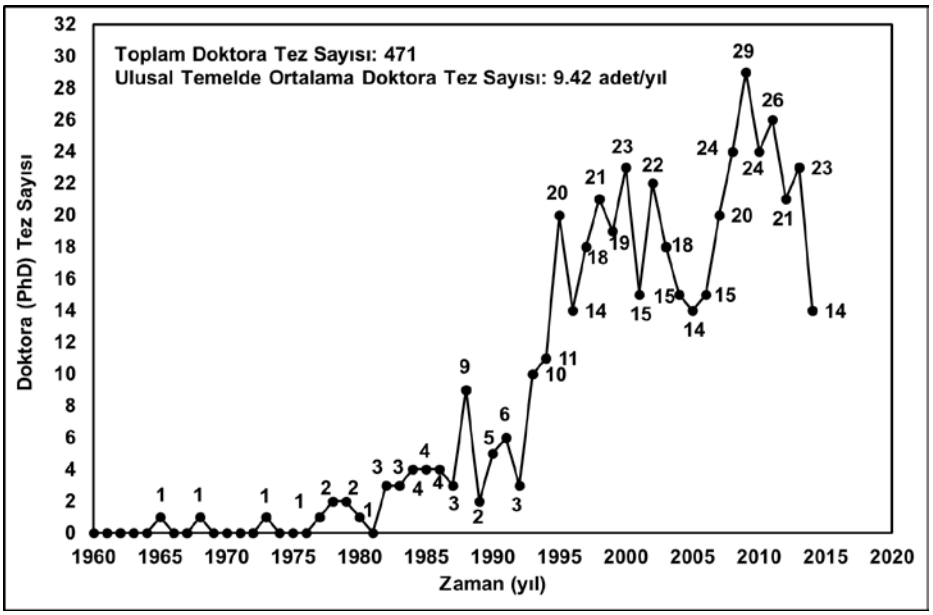
Şekil 7. Doktora tezlerinin konulara göre sınıflandırması



Şekil 8. Üniversitelerin yıl bazında ürettikleri doktora tez sayıları (adet/yıl)



Şekil 9. Doktora tezlerinin üniversitelere göre danışman başına düşen dağılımı



Şekil 10. Doktora tezlerinin yıllara göre dağılımı

Çizelge 6. Konulara göre sınıflandırılan doktora tez çalışmalarında üniversitelerin performansı (adet/yıl)

	Konu Başlıkları																		
Üniversiteler	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**A7**	**A8**	**A9**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**C1**	**C2**	**D1**	**D2**	**E**
İTÜ-İstanbul	0.06	**0.24**	**0.18**	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	**0.26**	**0.20**	0.06	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ODTÜ-Ankara	**0.58**	**0.34**	**0.21**	0.05	**0.16**	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.13**	**0.16**	**0.18**	0.05	**0.26**	**0.03**	**0.05**	0.00	0.00	**0.03**
HÜ-Ankara	0.17	**0.22**	0.00	0.00	**0.26**	0.04	**0.04**	0.00	0.00	**0.09**	**0.30**	0.09	0.09	**0.70**	**0.04**	0.00	0.00	0.00	0.00
DEÜ-İzmir	**0.32**	0.10	0.06	**0.10**	**0.48**	**0.16**	0.00	0.00	**0.03**	**0.26**	**0.32**	**0.26**	0.06	0.03	**0.03**	**0.03**	**0.03**	0.00	**0.06**
OGÜ-Eskişehir	**0.26**	**0.19**	**0.07**	**0.15**	**0.30**	**0.15**	0.00	0.00	0.00	**0.11**	0.11	**0.44**	0.11	**0.41**	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.04**
BEÜ-Zonguldak	**0.31**	**0.19**	**0.31**	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.13**	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CÜ-Sivas	0.16	0.00	0.00	**0.21**	0.11	0.11	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	**0.21**	0.05	**0.21**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SDÜ-İsparta	0.00	0.06	0.06	0.06	0.00	**0.41**	0.00	0.00	**0.12**	0.00	0.06	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	**0.06**	0.00	0.00
ÇÜ-Adana	0.17	0.06	0.06	0.06	0.11	**0.22**	0.00	0.00	**0.11**	**0.11**	**0.17**	0.06	**0.28**	0.00	**0.06**	0.00	0.00	0.00	0.00
KTÜ-Trabzon	**0.57**	**0.29**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.14**	**0.29**	0.00	**0.14**	0.00	0.00	0.00	**0.14**	**0.14**	0.00
SÜ-Konya	**0.20**	**0.13**	**0.13**	0.07	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	**0.20**	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
İÜ-Malatya	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.33**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.33**	0.00	0.00	**0.33**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DÜ-Kütahya	0.00	**0.25**	0.00	**0.25**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.25**	0.00	**0.50**	0.00	**0.25**	0.00	0.00	**0.25**	0.00	0.00
İÜ-istanbul	0.00	0.06	0.00	**0.18**	**0.18**	0.06	0.06	0.00	**0.06**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	**0.06**	0.00	0.00	0.00	0.00
DÜ-Diyarbakır	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AKÜ-Afyon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.00**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
YYÜ-Van																			
NÜ-Niğde																			
Ulusal ortalama	**0.18**	**0.13**	**0.07**	**0.08**	**0.13**	**0.14**	**0.01**	**0.00**	**0.02**	**0.08**	**0.14**	**0.14**	**0.12**	**0.16**	**0.01**	**0.01**	**0.03**	**0.01**	**0.01**

7. Üniversitelerin yıl bazında ürettikleri lisansüstü tez performansları (adet/yıl) incelendiğinde, yüksek lisans tezleri için üniversitelerin sırasıyla ÇÜ (7.62), OGÜ (6.57), DEÜ (6.54) ve ODTÜ (6.30) olarak sıralandığı diğer üniversitelerin ise 0.7-5 değer aralığında olduğu belirlenmiştir. Doktora eğitimde üniversiteler DEÜ (2.35) OGÜ (2.33), ODTÜ (2.24) ve HÜ (2.04) şeklinde sıralanırken diğer üniversiteler için bu değer 1-1.5 aralığındadır.
8. Yüksek lisans tezlerinde danışman başına en çok tez üreten üniversitelerin sırasıyla ÇÜ (10.67) ve ODTÜ (9.84) olduğu görülmüştür. Diğer üniversitelerde bu oran ortalama 1-5 aralığındadır. Doktora tezlerinde ise ODTÜ'nin 4.25 değeri ile öne çıktığı diğer üniversitelerin 1-3 oran değerlerinde tez ürettiği görülmüştür.
9. Yüksek lisans ve doktora tezlerinde yıl bazında ortalama değerlerin (adet/yıl) sırasıyla 34.64 ve 9.42 olduğu hesaplanmıştır. Yüksek lisans tezleri 1923-1985 aralığında yetersiz sayıda kalırken, 1985-2010 aralığında sevindirici bir şekilde tez sayılarının hızla arttığı ancak 2010 yılından sonra endişe verici bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde doktora tezleri için yapılan analizde 1923-1990 yılları arasında sınırlı sayıda tezin üretildiği 1990-2010 aralığında önemli artışların olduğu buna karşın 2010-2015 aralığında tez

sayılarında endişe verice bir azalmanın olduğu anlaşılmıştır.

10. Konu başlıklarına göre sınıflanan tezlerin yıl bazında oranları (adet/yıl), her bir konu başlığı için belirlenen ülke ortalamaları ile karşılaştırılmıştır. Böylece üniversitelerin konu başlıklarına göstermiş oldukları ilgi dereceleri ortaya konmuştur. Yüksek lisans tezlerinde hemen hemen tüm konu başlıklarına ulusal ortalamanın üzerinde ilgi gösteren üniversitelerin DEÜ ve OGÜ olduğu, diğer üniversitelerin belirli konu başlıklarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Genel olarak A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B5, D1 ve E konu başlıklarında tez üretildiği anlaşılmıştır. Doktora tezleri için yapılan benzer analizlerden bütün konu başlıklarına aynı anda üniversitelerin ilgi göstermediği tespit edilmiştir. Ancak üniversitelerin genel olarak A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B5, C1, D1 konu başlıklarına sıklıkla yöneldikleri belirlenmiştir.

Lisansüstü tez çalışmalarının ulusal madencilik sektörü için önemli bir araştırma-geliştirme (AR-GE) niteliği ve potansiyeli taşıdığı bu çalışma ile gösterilmiştir. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi lisansüstü tez çalışmalarına konu olacak problemlerin endüstriden gelmesi beklenmektedir. Ancak ülkemizdeki tez çalışmaları genellikle tez danışmanının bilgi ve tecrübesine dayalı olarak tanımlanan konular üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı tez çalışmaları için gerekli mali destek, sadece üniversitelerin BAP, TUBİTAK ve Sanayi Bakanlığı gibi kamu kuruluşları tarafından sağlanmaktadır. Saha çalışmaları ise çoğunlukla işletmelerdeki mühendisler ile kurulan iyi niyet çerçevesinde yürütülmektedir. Mütevazı bütçeler ile tamamlanan lisansüstü tezlerinden uluslararası indeksli dergilerde yayınlar yapılmaktadır. Sonuç olarak hazırlanan tezlerin önemli bilimsel ve teknik sonuçlar ürettiği, uluslararası otoriteler tarafından teyit edilmektedir. Özverili, istekli ve heyecan dolu birçok genç mühendisin araştırma yapma isteği ile uluslararası bilgi birikimine ve tecrübeye sahip akademik kadroların birlikte oluşturduğu bu üstün vasıflı AR-GE gücünün, maden endüstrisi tarafından yeteri kadar fark edilmesi ve değerlendirilmesi üniversite-sanayi işbirliği açısından önemli olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar, 1984-2010 yılları arasındaki tezlerin derlenmesinde yardımcı olan Burhan Tiryaki ve Seyfettin Yılmaz'a ayrıca, teşviklerinden dolayı Prof. Dr. Nuh Bilgin ve Prof. Dr. Hasan Gerçek'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Bilgin, N, 1998. Türkiye Cumhuriyetinin 75. Yılında Maden Mühendisliği, *Türkiye Cumhuriyeti'nin 75. Yılında Bilim "Bilanço 1923-1998", Ulusal Toplantısı*, TÜBA, I. Kitap, II. Cilt, 353-377s.

ODTÜ, 2010. ODTÜ-Maden Mühendisliği 50. Yıl töreni, *ODTÜ-Maden Mühendisliği Bölümü,80*s.

YÖK-Ulusal Tez Tarama Merkezi, 1 Ocak 2015, *(https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/)*

Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitiminin Analitik Serim Süreci ile Analizi

Analysis of Mining Engineering Education in Turkey by Using Analytic Network Process

M. Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Bu çalışmada, ülkemizdeki Maden Mühendisliği eğitimi tarihsel geçmişi ile birlikte incelenmiş ve dünyadaki diğer ülkelerle karşılaştırılmıştır. Maden Mühendisliği eğitimindeki sorunlar ve çözümleri araştırılmıştır. Maden Mühendisliği eğitiminde dünya ile bir bütünleşme sağlanması için ihtiyaç duyulan çözüm önerileri sıralanmıştır.

Analitik Serim Süreci kullanılarak "Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitiminde Uzlaşma" bir karar verme problemi olarak incelenmiştir. Karar verme sürecinin sonunda en uygun seçenek (Maden Mühendisliği Eğitim Politikası) belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik serim süreci, maden mühendisliği eğitimi

ABSTRACT In this study, Mining Engineering education in Turkey was investigated with the historical background and compared other countries in the world. Problems and solutions in Mining Engineering Education was examined. In order to ensure integration with the world in the Mining Engineering education, the needed solutions were listed.

By using Analytic Network Process, "Reconciliation in Mining Engineering Education in Turkey" was investigated as a decision-making problem. The best alternative (Mining Engineering Education Policy) was determined at the end of the decision-making process.

Keywords: Analytic network proses, mining engineering education

1 GİRİŞ

Ülkemizde Maden Mühendisliği eğitimi en fazla 150 yıllık bir geçmişe sahiptir. Günümüzde gelişmiş batılı ülkelerle karşılaştırıldığında modern ve bilimsel madencilik geçmişimizin çok da eski olmadığı görülecektir. Bizden en az 100 – 150 yıl önce Maden Mühendisliği eğitimi vermeye başlamış ülkelerin her alanda gösterdiği gelişim modern madencilik eğitiminin ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Cumhuriyetin kuruluşundan hemen sonra Maden Mühendisliği eğitimine başlanması, yeni devletin geleceğe bakışını gösteren bir gösterge ve modern madencilik açısından da önemli bir aşamadır. Ancak, 90 yılı aşan bir zaman aralığında süregelen ülkemiz Maden Mühendisliği eğitiminin ne kadar verimli olduğu ve dünyadaki diğer ülkelerle ne kadar paralellik gösterdiği ise ayrı bir tartışma konusudur.

Maden Mühendisliği eğitiminin önemini kavrayan Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Maden Mühendislileri Odası (MMO) bu amaçla bir sempozyum ve bir dizi çalıştay düzenleyerek bu alana katkı koymaya çalışmıştır. TMMOB MMO tarafından düzenlenen "Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu" 13-14 Nisan 2001 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenmiştir. TMMOB MMO tarafından düzenlenen çalıştaylar ise sırasıyla; I. Eğitim Çalıştayı (24-25 Ekim 2003) Ankara'da; II. Eğitim Çalıştayı (11 Aralık 2004) Ankara'da; III. Eğitim Çalıştayı (11-12

Kasım 2005) Zonguldak'ta; IV. Eğitim Çalıştayı (7 Nisan 2007) İstanbul'da; V. Eğitim Çalıştayı (14 Kasım 2008) İzmir'de; VI. Eğitim Çalıştayı (21 Kasım 2009) Adana'da; VII. Eğitim Çalıştayı (10 Aralık 2011) Eskişehir'de ve VIII. Eğitim Çalıştayı (8 Kasım 2014) İstanbul'da düzenlenmiştir.

Düzenlenen bu sempozyum ve çalıştaylar sonrasında ise alınan kararlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Çalıştaylar devam etmeli,
2. Yeni bölümlerin açılması önlenmeli
3. İkinci öğretimler kapatılmalı, yenilerinin açılmaları engellenmeli,
4. Öğrenci kontenjanları ülke gerçeklerine göre belirlenmeli,
5. Ders içerikleri yenilenmeli, güncel yeni dersler açılmalı, akreditasyon sağlanmalı,
6. Staj sorunu çözülmeli,
7. Oda – Üniversite işbirliği geliştirilmeli, iletişim arttırılmalı,
8. MMO Sürekli Eğitim Merkezi çalışmaları desteklenmeli,
9. Maden işletmelerinde görev alacak İş Güvenliği Mühendisleri Maden Mühendisi olmalı,
10. Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarında sektörün ihtiyaçları göz önüne alınmalı.

Ülkemizde Maden Mühendisliği eğitiminin başlangıcı İbrahim Ethem Paşa tarafından 1872 yılında kurulan Orman ve Maadin Mektebi'ne dayanmaktadır. Cumhuriyet döneminde ise 1924 yılında Zonguldak Yüksek Maadin Mühendisi Mekteb-Alisi açılmıştır (Avşaroğlu, 2000).

Bünyesinde Maden Mühendisliği bölümü açan ilk üniversite İstanbul Teknik Üniversitesi (1953) olmuştur ve bunu Orta Doğu Teknik Üniversitesi (1960), Hacettepe Üniversitesi (1969) ve Dokuz Eylül Üniversitesi (1971) takip etmiştir. 1975 yılında Eskişehir Devlet Mimarlık ve Mühendislik Akademisi (DMMA) bünyesinde açılan Maden Mühendisliği bölümü kuruluşundan sonra Anadolu Üniversitesine bağlanmış ve isim değişikliğiyle de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi adını almıştır. Aynı yıl Zonguldak DMMA bünyesinde açılan bölüm sonradan Hacettepe Üniversitesine bağlanmış ve yine isim değişiklikleriyle Karaelmas ve sonunda Bülent Ecevit Üniversitesi isimlerini almıştır. Yüksek Öğretim Kurumu kurulduktan sonra ise diğer bölümler açılmıştır (Avşaroğlu, 2007).

Günümüzde ise 18 Maden Mühendisliği Bölümü, 8 İkinci Öğretim Maden Mühendisliği Bölümü, 1 Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, 1 İngilizce Maden Mühendisliği Bölümü ve yeni açılacak birkaç Maden Mühendisliği Bölümü ile Maden Mühendisliği eğitimi ülkemizde devam etmektedir.

Yurdumuzda mevcut maden mühendisliği bölümü ve eğitim programından yılda yaklaşık 700 maden mühendisi mezun olmaktadır (Özbayoğlu, 2011). VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planına göre (DPT, 2000), Maden ve Petrol Mühendisleri için 2000 yılı arzı 8.700 olarak gerçekleşmiş ama ihtiyaç 7.400'de kalmıştır. Benzer şekilde 2005 yılı arzı 10.600 olarak gerçekleşmiş ancak ihtiyaç 9.800 olmuştur.

Maden Mühendisliği eğitimine dünya ölçeğinde bakılırsa, Afrika ve Ortadoğu'da 15 bölüm, Asya'da 65 bölüm (Çin: 11 bölüm, Hindistan: 13 bölüm), Avustralya ve Yeni Zelanda'da 7 bölüm, Avrupa'da 63 bölüm (Fransa: 7 bölüm, Rusya: 7 bölüm), Kuzey Amerika'da 31 bölüm (ABD: 19 bölüm, Kanada; 10 bölüm) ve Orta ve Güney Amerika'da ise 35 bölüm bulunmaktadır.

ABD üzerinden bir detaylı analiz yapılırsa, 1900 yılında 45 programda 2400 kayıtlı öğrenci bulunuyorken, 1980 yılında 22 programdan 570 Maden Mühendisi mezun olmuştur. 1990 yılında 20'den az programdan 148 mezun verilmişken 2004 yılında 15'den az programdan 87 Maden Mühendisi mezun olmuştur. Günümüzde 18 programdan 150-200 arası mezun verilmekte olup en fazla öğrencisi bulunan okulda yaklaşık 150 öğrenci öğrenim görmektedir.

Dünya üzerindeki durumu da kısaca değerlendirdikten sonra Türkiye'de Maden Mühendisliği eğitimi konusunda bir sorun olduğu, bu sorunun özellikle rakamlara bakılırsa bölüm sayısı ve kontenjan fazlalığından kaynaklandığı oldukça açık bir şekilde görülmektedir.

2 ANALİTİK SERİM SÜRECİ

Analitik Serim Süreci (ASS) sonlu sayıda seçeneği olan karar problemlerini, kararı etkileyen faktörleri ve seçenekleri hiyerarşik bir düzende ele alarak çözen ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) olarak bilinen tekniğin genelleştirilmiş halidir. Problemler her zaman hiyerarşik bir yapıyla ifade edilemezler. Problemde yer alan ölçütler ve seçenekler birbirleriyle karşılıklı etkileşim halinde olabilirler. Bu durumda, bileşenlerin ağırlıklarını (göreli önem vektörlerini) bulmak daha karmaşık bir sürecin analizini gerektirir. ASS bu tür problemlerde kullanılabilen bir tekniktir.

ASS'de AHS' de olduğu gibi ikili karşılaştırma esasına dayanır. İkili karşılaştırmalarda Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılır. ASS uygulamalarında, birden fazla karar verici söz konusu olduğunda ikili karşılaştırma değerlerini birleştirmede ancak geometrik ortalama, tekniğin teorik temelleriyle tutarlı bir sonuç verebilmektedir (Saaty, 2005). Örnek olarak ilk karar verici A seçeneğinin B'den 7 kat, ikinci karar verici ise 4 kat daha önemli olduğunu belirtmiş olsun. 7 ve 4 değerlerinin geometrik ortalaması 2√7'dir. Her iki karar verici için B seçeneğinin A'ya göre değerlendirmesi ise sırasıyla 1/7 ve 1/4'tür. Bu iki değerin geometrik ortalaması ise 1/2√7'dir. Geometrik ortalamanın bu özelliği ASS problemlerinde kullanılabilirliğini sağlamaktadır (Saaty, 2005).

ASS'de problemin tüm bileşenleri ve olası ilişkiler tanımlandıktan sonra ilişkilerin tek yönlü mü yoksa çift yönlü mü olduğuna karar verilir. Daha sonra bir bileşene etki eden tüm diğer bileşenler için ikili karşılaştırmalar yapılarak etkideki üstünlükleri analiz edilir. Çift yönlü etkileşimler göz önünde bulundurulduğundan, sistemin bütünü içerisinde doğrudan bağlantılı görünmeyen elemanların da birbirleri üzerindeki etkileşimleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle yöntem geri bildirime izin verir. ASS'de temel olarak üç tip sorgulama vardır (Sağır, 2003):

1. Bir ölçüt ve iki bileşen verildiğinde, bileşenlerden hangisinin ilgili ölçüte göre etkisinin daha çok olduğu,

2. Bir seçenek ve iki bileşen verildiğinde bileşenlerden hangisinin ilgili seçenek üzerinde etkisinin daha çok olduğu,

3. Bir ölçüt, A, B ve C bileşenleri verildiğinde, B ve C'den hangisinin verilen ölçüt acısından A bileşeni üzerinde daha çok etkisinin olduğu sorgulanabilmektedir.

ASS'de ağırlıklandırılmamış matris (Unweighted Matrix-UM), ağırlıklandırılmış matris (Weighted Matrix-WM) ve limit matrisi (Limit Matrix-LM) olmak üzere üç tür matris kullanılarak analizler yapılır. UM, ikili karşılaştırmalar sonucu her bileşenin göreli önem vektörünü veren matristir. WM, bu değerlerin, ilgili bileşenin içinde yer aldığı kümenin ağırlığı ile çarpılması sonucu elde edilen değerlerin yer aldığı matristir. Limit matris ise, problemin geri bildirim içermesi nedeniyle WM'in limiti alınarak bileşenlerin göreli önem değerlerinin yakınsadıkları değerlerin elde edildiği matristir. Problemin sonuç değerleri bu matristen okunur.

ASS'de değerlendirmelerin ilgilenilen konuda uzman olan kişilerce yapılması, tutarlılık testinin olması ve özellikle bir probleme etki eden tüm bileşenlerin ve ilişkilerin irdelenebilmesi elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırır. Son yıllarda özellikle, negatif yargılar (Saaty ve Sağır, 2003), dışarıda kalan "diğer" ölçütlerin probleme etkisi (Sağır ve Saaty, 2006) gibi çeşitli konularda araştırmalar sürmektedir.

ASS, özellikle sonlu sayıda seçeneğin bulunduğu problemlerde en iyi seçeneğin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, diğer seçenekler için de birer göreli önem değeri elde edildiğinden bu değerler, bir bütçenin elde edilen ağırlıklar oranında seçeneklere dağıtılması gibi kararlar da kullanılabilir. ASS tekniği, Amerika Ulusal Savunma Sistemine geçme veya geçmeme kararı, Çin'in ticari statüsü (Saaty, 2001), İsrail-Filistin probleminde eniyi politikanın bulunması (Sağır, 2002), Pazar payı tahmini, en iyi tesis yeri secimi, Türkiye için en uygun enerji kaynağının belirlenmesi (Saaty ve Sağır, 2005), en iyi tedarikçinin secimi ve siparişlerin tahsisi (Demirtaş ve Üstün, 2004; 2005a; 2005B), Kıbrıs sorununun çözümünde eldeki seçeneklerin değerlendi-

rilmesinde (Üstün vd., 2005) ve Türkiye demir madenciliğinde en uygun madencilik politikasının belirlenmesi (Yavuz ve Özer, 2010) gibi pek çok karar probleminde uygulama olanağı bulmuştur.

Karmaşık ASS problemlerinde, her seçeneğin doğurabileceği fayda ve zararlarla birlikte fırsat (gelecekte ortaya çıkması olası fayda) ve riskler (gelecekte ortaya çıkması olası zarar) de değerlendirilir. Böylece tüm seçenekler potansiyel artı ve eksileriyle birlikte değerlendirilmiş olurlar. Bu noktada dikkat edilmesi gereken konu, bir problemde faydalar, zararlar, fırsatlar ve risklerin eşdeğer öneme sahip olmayabileceğidir. Savaşta bir bölgeye ilaç veya cephane ulaştırma, salgın hastalık durumunda ilaç dağıtımı gibi konularda ekonomik faktörler arka planda kalabilmektedir. Bazı durumlarda ise risk çok önemlidir. Kopya insan yapma konusundaki deneysel çalışmaların taşıdığı riskin, böyle bir uygulamayı başarmanın getireceği faydaların çok üzerinde olabilmesi bu duruma bir örnektir. Fayda (**B**enefit), fırsat (**O**pportunity), maliyet (**C**ost) ve riski (**R**isk) önceliklendirme işlemine BOCR analizi denir. Bu işlem için, stratejik ölçüt denen, problemin ana ölçütlerinden farklı bir dizi ölçüt kullanılmaktadır (Üstün vd., 2005).

3 MADEN MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ İÇİN EN UYGUN POLİTİKANIN ASS İLE BELİRLENMESİ

Türkiye'de Maden Mühendisliği eğitimi konusundaki eniyi politikayı belirlemek amacıyla, problemin ASS modeli kurulmuştur. Bu konuda izlenecek politikaların öncelikleri BOCR ölçütlerine göre değerlendirilerek belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerek stratejik ve alt ölçütlerin belirlenmesi gerekse ölçüt ve alternatiflerin karşılaştırılması aşamalarında uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla bir anket formu tasarlanmıştır.

Çalışmada izlenen aşamalar aşağıda listelenmiştir:

1. Stratejik ölçütler yardımıyla BOCR önceliklerinin belirlenmesi,
2. Seçenek politikalarının belirlenmesi, BOCR'nin her birisi için ölçüt ve alt ölçütlerin belirlenmesi, tek yönlü ve/veya karşılıklı ilişkilerin tanımlanması,
3. Uzman kişilerden alınan görüşler doğrultusunda ikili karşılaştırmaların yapılması,
4. Sonuçların yorumlanmasıdır.

3.1 Stratejik Ölçütlere Göre BOCR Önceliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, aşağıda listelenen stratejik ölçütler kullanılmıştır.

1. Gelişmişlik ve Refah Düzeyi,
2. Madenciliğin Geleceği,
3. Mesleki Prestij,
4. Ülke Ekonomisi.

BOCR önceliklerini elde etmek için; düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dörtlü bir derecelendirme ölçeği kullanılmıştır. Daha sonra uzman kişiler, bu ölçeği kullanarak her bir stratejik ölçütün ilgili modele katkısını değerlendirmiştir. Bu çalışmada stratejik ölçütler eşit ağırlıklı kabul edilmiş ve BOCR öncelikleri aşağıda Çizelge 1 ile verilmiştir.

Çizelge 1. BOCR öncelikleri.

Fayda	Fırsat	Maliyet	Risk
0.345	0.203	0.250	0.202

3.2 Seçenek Politikaların Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında dört farklı politika örneği belirlenmiştir. Karar verme sürecindeki değerlendirme belirlenen ve aşağıda verilen seçeneklere göre yapılmıştır. Bunlar;

1. Bölüm kontenjanlarının azaltılması,
2. İkinci öğretimlerin kapatılması,
3. Bazı bölümlerin kapatılması,
4. Mevcut durumun korunmasıdır.

3.3 Ölçüt ve Alt Ölçütlerin Belirlenmesi

En uygun Maden Mühendisliği eğitimi politikasının belirlenmesi için BOCR analizine göre oluşturulan ölçüt ve alt

ölçütler Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk başlıkları altında aşağıda verilmiştir.

3.3.1 Faydalar

1. Ekonomik
   1.1. Kişisel
      1.1.1. Kişi başına gelir artışı
      1.1.2. İş olanaklarının artışı
      1.1.3. Mesleki tatmin sağlanması
   1.2. Toplumsal
      1.2.1. Dünya standartlarına ulaşma
      1.2.2. Yatırım ve projelerde nitelik
      1.2.3. İş sağlığı ve güvenliği
      1.2.4. Sosyal güvenlik kurumu
   1.3. Politik
      1.3.1. Ülke yönetiminde söz sahibi olma
      1.3.2. Meslek örgütü saygınlığını arttırma
      1.3.3. Diğer odalarla olan ilişkilerin geliştirilmesi
   1.4. Sosyal
      1.4.1. Çalışma koşullarını iyileştirme
      1.4.2. Teknik nezaretçi kurumunun etkinliğinin arttırılması
      1.4.3. Çevre duyarlılığı artışı

3.3.2 Fırsatlar

1. Ekonomik
   1.1. Mühendis ücretlerinde artış
   1.2. Öğretim üyeleri için proje gelirlerinde artış
2. Politik
   2.1. Mezunlar arasında huzur ortamının sağlanması
   2.2. Başka meslek disiplinleri gözünde saygınlık artışı
   2.3. Uluslararası ortama açılma
3. Sosyal
   3.1. Dünya standartlarına uyum

3.3.3 Maliyetler

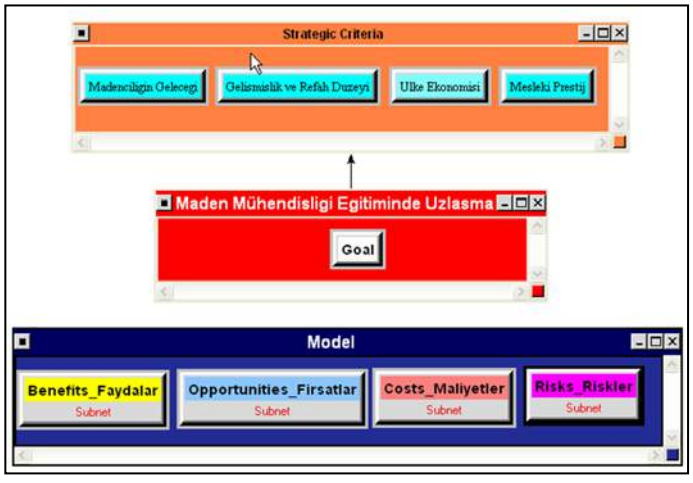
1. Ekonomik
   1.1. Öğretim üyeleri açısından
   1.2. Maden mühendisleri odası açısından
   1.3. İşverenler açısından
2. Politik
   2.1. Politikacılar için oy kaybı
   2.2. İşverenler açısından
   2.3. Ticaretin daralması
3. Sosyal
   3.1. Halkın bilgilendirilmesi.

3.3.4 Riskler

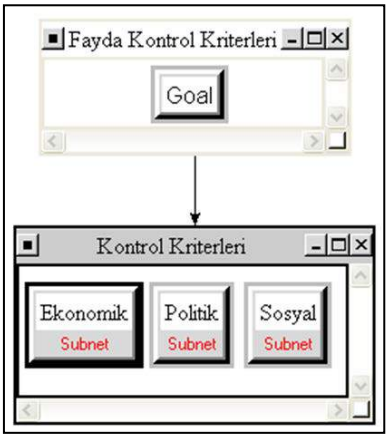
1. Ekonomik
   1.1. Öğretim üyelerinin maddi kaybı
   1.2. İşverenlerin maden mühendisi bulamaması
   1.3. Yabancı mühendis çalıştırılması
2. Politik
   2.1. Siyasilerin oy kaybı
   2.2. Siyasilerin olası durumu kullanması
   2.3. Maden Mühendisleri Odasının politik gücünün zayıflaması
3. Sosyal
   3.1. Maden Mühendisleri arasında uyumsuzluk
   3.2. Öğrenci velilerinin tepkisi
   3.3. Sisteme başkaldırı.

3.4 Modelleme Çalışmaları

Problem öncelikle tanımlanıp seçenekler ve ölçütler belirlenip karar verme yapısı oluşturulduktan sonra hazırlanan anket formlarından geri dönüş sağlananlar incelenmiş ve "Super Decisions" isimli yazılım yardımıyla değerlendirilmiştir. Modelin yazılıma girilen ana yapısının ekran görüntüsü aşağıda Şekil 1 ile ve Fayda kümesinin ekran görüntüsü ise Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 1. Modelin ana yapısı.



Şekil 2. Modelin fayda kümesi.

3.5 İkili Karşılaştırmalar, UM, WM'nin Hesaplanması ve Karar

ASS modeli kurularak kümeler ve ölçütler arasındaki ilişkiler tanımlandıktan sonra gerekli ikili karşılaştırmalar için uzman görüşlerine başvurulmuştur. İkili karşılaştırmalar geometrik ortalama ile birleştirilerek hesaplamalarda kullanılmıştır. Tüm matrislerde tutarsızlık oranı, kabul edilebilir oran olan 0.10'un altında çıkmıştır.

Bu işlemler sonucunda elde edilen UM matrisi, küme ağırlıkları matrisi (Cluster Matrix-CM) ile çarpılarak WM elde edilmiştir. WM'nin limiti alınarak LM'ye ulaşılmıştır.

Oluşturulan karar verme yapısının Fayda Modelinde, "Ekonomik" ana ölçütünün "Politik" alt ölçütü için örnek UM aşağıda Şekil 3 ile ve aynı modelin örnek WM ise Şekil 4 ile verilmiştir.

Cluster Node Labels		Alternatives				Ideals		
		Bazi Bolumlerin Kapatilmasi	Bolum Kontenjanlarinin Azaltilmasi	Ikinci Ogretimlerin Kapatilmasi	Mevcut Durumun Korunmasi			
Alternatives	Bazi Bolumlerin Kapatilmasi	0.000000	0.285714	0.285714	0.250000			
	Bolum Kontenjanlarinin Azaltilmasi	0.000000	0.000000	0.571429	0.500000			
	Ikinci Ogretimlerin Kapatilmasi	0.000000	0.571429	0.000000	0.250000			
	Mevcut Durumun Korunmasi	0.000000	0.142857	0.142857	0.000000			
Kriterler		1.000000	1.000000	1.000000	0.000000			
		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000			
		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000			

Şekil 3. Örnek ağırlıklandırılmamış matris (UM).

Cluster Node Labels		Alternatives				Ideals		
		Bazi Bolumlerin Kapatilmasi	Bolum Kontenjanlarinin Azaltilmasi	Ikinci Ogretimlerin Kapatilmasi	Mevcut Durumun Korunmasi			
Alternatives	Bazi Bolumlerin Kapatilmasi	0.000000	0.190476	0.190476	0.250000			
	Bolum Kontenjanlarinin Azaltilmasi	0.000000	0.000000	0.380952	0.500000			
	Ikinci Ogretimlerin Kapatilmasi	0.000000	0.380952	0.000000	0.250000			
	Mevcut Durumun Korunmasi	0.000000	0.095238	0.095238	0.000000			
Kriterler		1.000000	0.333333	0.333333	0.000000			
		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000			
		0.000000	0.000000	0.000000	0.000000			

Şekil 4. Örnek ağırlıklandırılmış matrisi (WM).

"Super Decisions" paket programında Çizelge 1 ile verilen stratejik ölçütler kullanılarak BOCR öncelikleri hesaplanmış ve her bir politikanın ilgili Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk kümelerinden aldığı değerler normalleştirilerek bB+oO-cC-rR bağıntısı kullanılarak politika öncelikleri Şekil 5'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Bölümlerin kontenjanının azaltılması 0.62 ağırlık değeri ile bu analizde tercih edilmesi gereken seçenek olarak bulunmuştur.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Bazi Bolumlerin Kapatilmasi		0.149679	0.093020	0.686041
Bolum Kontenjanlarinin Azaltilmasi		1.000000	0.621464	4.583418
Ikinci Ogretimlerin Kapatilmasi		0.394254	0.245015	1.807029
Mevcut Durumun Korunmasi		0.065170	0.040501	0.298701

Şekil 5. Politika Öncelik Değerleri.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada "Maden Mühendisliği Eğitiminde Uzlaşma" konusu Çok Nitelikli Bir Karar Verme Problemi olarak değerlendirilmiş ve bu problemin çözümü ASS yöntemi ile araştırılmıştır. Tasarlanan karar verme süreci doğrultusunda uzman görüşlerine göre "Bölüm Kontenjanlarının Azaltılması" en uygun seçenek olarak bulunmuştur.

Anca bilindiği gibi, bütün Karar Verme problemlerinde olduğu gibi son karar Karar Vericilere aittir. Bu konuda Karar Verici durumunda olan Yüksek Öğretim Kurumu tarafından 2014 yılı öğrenci

yerleştirmelerinde ülkemizdeki bütün Maden Mühendisliği bölümlerindeki ikinci öğretim programları kapatılmış ve bölüm kontenjanları azaltılmıştır. Bu aslında sektörün beklentilerinin üzerinde alınmış olumlu bir karardır. Özellikle son yıllarda Maden Mühendisliği bölümlerinin kontenjanlarının boş kalması, öğrenciler tarafından tercih edilmeyen bir bölüm olarak topluma yansımasının bir sonucu olarak bu karar alınmıştır. Ancak, öğrencilerin tercihleri de daha çok bölümlerdeki eğitim kalitesinden ya da program içeriklerinden ziyade bölümün yer aldığı ilin konumu, sosyal ve ekonomik olanakları ile doğru orantılı olarak gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, kontenjanlardaki azalma ile birlikte dolması hedeflenen, tercih edilmeyen, Maden Mühendisliği bölümlerinin kontenjanları yine boş kalmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada değinilmeyen akreditasyon konusu da son derece önem taşımaktadır. Ülkemizde iki bölüm ABET, üç bölümün ise MÜDEK tarafından akredite edilmiştir. Diğer bölümlerinde akreditasyon süreçlerine dâhil olmaları, eğitim programlarının kapsam, nitelik ve nicelik açısından tarafsız değerlendirme kurulları tarafından incelenmesi ülkemizdeki Maden Mühendisliği eğitimine büyük katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, daha doğru kararların verilebilmesi ve Maden Mühendisliği Eğitiminde gerçek bir uzlaşmanın sağlanabilmesi için Madencilik sektörünün tüm bileşenlerinin katılımıyla geniş kapsamlı bir çalışma yapılmalı ve sonuçlar uygulayıcılar ile paylaşılmalıdır. Elde edilen sonuçlara göre Maden Mühendisliği bölümlerinin programlarının yenilenmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Avşaroğlu N., 2000. Türkiye'de Maden Mühendisliği Eğitimi Tarihçesi, Yayınlanmamış Rapor, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Kütüphanesi.

Avşaroğlu, N., 2007, Türkiye'de Mühendislik Eğitimi ve Maden Mühendisliği Eğitimine Genel Bir Bakış, Yayınlanmamış Rapor, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Kütüphanesi.

Demirtaş, E.A. ve Üstün, Ö., 2004. Tedarikci Secimi ve Sipariş Tahsisinde Analitik Serim Surecleri ve Hedef Programlama Yaklaşımı, *YA/EM 24. Ulusal Kongresi*, Adana.

Demirtaş, E.A. ve Üstün, Ö., 2005. *An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation*, Omega. The International Journal of Management Science.

Demirtaş E.A. ve Üstün Ö., 2005. Analytic Network Process And Goal Programming Approach For Multi-Period Lot-Sizing With Supplier Selection, *35. Uluslararası Bilgisayar ve Endustri Muhendisliği Konferansı*, İstanbul Teknik Universitesi, İstanbul, Turkiye.

DPT, 2000. Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık (2000-2005) Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, 243 s.

Özbayoğlu, G., 2011. *Maden Mühendisliği Eğitiminde Eğilimler ve Sorunlar*, Yükseköğretim ve Bilim Dergisi, 3, 156-160.

Saaty, T.L., 2001. *Decision Making with Dependence and Feedback: Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburg, 370 s.

Saaty, T.L., 2005. *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburg, 352 s.

Saaty, T.L. ve Sağır, M., 2003. *Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process*. Mathematical and Computer Modelling, 37,1063-1075.

Saaty, T.L. ve Sağır, M., 2005. *The Encyclicon: A Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh, 292 s.

Sağır M., 2002. The Most Hopeful Outcome in the Middle East Conflict: The Analytic Network Process. *Mideast Regional Security Dilemmas: Searching for Solutions*, October 5-8, Athens, Greece

Sağır, M., 2003. Karmaşık Ortamlarda Karar Verme: Analitik Hiyerarşi ve Serim Süreçleri, *IV. Endüstri İşletme Mühendisliği Kurultayı Bildiriler Kitabı*, s.205-213.

Sağır M. ve Saaty, T.L., 2006. *The unknown in decision making*, European Journal Of Operational Research, 174, 1, 349-359.

Üstün, Ö., Sağır, M. ve Demirtaş, E., 2005, *Kıbrıs Sorunu Çözüm Önerilerini Değerlendirmede Analitik Serim Süreci Yaklaşımı*, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt 16, Sayı 4, s.2-13.

Yavuz, M. ve Tezcan, M., 2010. Determination of Optimum Iron Ore Mining Policy in Turkey by Using Analytical Network Process, *SME Annual Meeting*, Phoenix, 1–4, SME Preprint, Littleton.

Yer Altı Madenciliğinde Simülasyonla Eğitim Verilmesi: Yer Altı Maden Eğitim Simülasyonu

Simulations Provide Training in Underground Mining: Underground Mining Training Simulation

M.O. Kaya, M. Aktaş, A. Sağır
Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi, Soma/Manisa

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürü, Ankara

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu İşletme Daire Başkanı, Ankara

ÖZET Bu çalışmada maden mühendisliği öğrenimine destek olabilmesi, sahada ise mühendis, tekniker ve işçiler için acil durum eylem planlarının uygulamalı olarak gösterilerek eğitim verilebilmesine imkan sağlamak maksadıyla geliştirilen bir bilgisayar programı tanıtılmaktadır. *Yeraltı Maden Eğitim Simülasyonu* adı verilen bu program, kullanıcının kolayca kullanabilmesi için Visual Basic 6 kullanılarak geliştirilip derlenmiştir. Görselliği üçüncü boyuta taşımak için OpenGL(Open Graphics Library) kullanılmıştır. Yazılım üzerinde bulunan bir pencerede yer altı maden ocağının üç boyutlu (3D) görüntüsü oluşturulmaktadır. Kullanıcı bu görüntü üzerinde her türlü eğitimi gerçekleştirmektedir. Kullanıcının, olabildiğince fazla sayıda senaryo uygulayabilmesi ve hatta kendi senaryolarını üretebilmesi olanağı sağlanmıştır. Bu sayede daha gerçekçi ve çok sayıda eğitim verilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Maden eğitim simülasyonu, Visual Basic, OpenGL, yeraltı maden eğitim

ABSTRACT In this study; a computer program, which was developed with the intention to provide facilities to support mining engineering training and practical training of emergency action plans for tecnicians and workers in the field, is being presented. This program which is named *Underground Mining Training Simulation* is compiled and developed by using Visual Basic 6 to provide simplicity in use. OpenGL is used to move visualization into the third dimension. A 3D image of the mine is builded up in a window of the software. The user carries out any kind of training on this image. The user is provided with the opportunity to apply maximum number of scenerios and even to create their own scenarios. Thus, more realistic and larger number of training can be provided.

Keywords: Mining training simulation, Visual Basic, OpenGL, underground mining education

1 GİRİŞ

1.1 Bilgisayarın Eğitimde Kullanılması

Oldukça hızlı gelişme gösteren bilgisayar teknolojisinin bir sonucu olarak, bilgisayar programları ve internet, eğitim-öğretim çalışmalarında her geçen gün biraz daha fazla kullanılmaktadır (Pinto vd., 2000).

Birçok üniversite klasik öğretim faaliyetlerine ek olarak internet üzerinden sürdürdüğü dersler ile hem kendisi için, hem

de öğrencileri için düşük maliyetli fakat etkili çalışmalar yapmaktadır (Anon, 2003).

Eğitimde bilgisayarların kullanım biçimleri; İdari amaçlı, Bilgisayarları Öğretme - Öğrenme amaçlı ve Bilgisayar aracılığı ile Öğrenme - Öğretme amaçlı olmak üzere üç grupta toplanabilir. Hangi amaçla olursa olsun bilgisayar teknolojisinin yeri ve öneminin anlaşıldığı günümüzde en önemli konu ise bilgisayarın etkin ve verimli kullanımıdır. (Arıcı ve Dalkılıç, 2006)

Günümüzde bilgisayar hızları oldukça artmış durumdadır. Bununla paralel olarak yaptıkları görsel işlemler çok daha gerçekçi olmaktadır. Bu durum ise bilgisayarı görsel eğitim için kullanmamıza fırsat vermektedir.

1.2 Animasyon ve Simülasyon

Animasyon "bir nesneyi hareket halinde gösteren bir çok durağan görüntü oluşturmak ve bu görüntüleri hızla arka arkaya oynatarak nesnenin gerçekten hareket ettiğini düşünmemizi sağlamak" şeklinde tanımlanmıştır. (Elliot ve Miller, 1999).

Simülasyon ise benzetim demektir. Benzetim kullanım amacına göre iki sınıfa ayrılır. Deneyim amaçlı benzetim ve deney amaçlı benzetim (Ören,2006). Bu çalışmada deneyim amaçlı benzetim kullanılmıştır.

Madencilikte alışılagelmiş eğitim yöntemleri, harita, fotoğraf ve video kaydı üzerinde anlatmaktır. Simülasyon ise saydığımız bu üç materyali bünyesinde barındırmakla kalmaz animasyon ile ortamı daha gerçekçi kılar. Böylece deneyim amaçlı simülasyon çok daha etkili bir eğitim şekli olur.

1.3 Yeraltı Madenciliğinde Simülasyonla Eğitim Verilmesi

Madencilik insan gücünün oldukça yaygın kullanıldığı iş kollarından biridir. Yeterli eğitimin verilmesi hayati önem arz etmektedir. Personel sayısının oldukça fazla olması nedeniyle eğitimlerin çok daha pratik ve akılda kalıcı olması şarttır. Bu nedenle eğitimlerin bilgisayar ortamında verilmesi çok daha faydalı olacaktır.

Bilgisayarın eğitimde kullanılması, madencilik gibi riskli bir iş dalında birçok fayda sağlayacaktır. Bunlardan birkaçı şöyle sıralanabilir;

- Kazaların önlenerek azaltılması.
- Oluşabilecek kazalarda, daha bilinçli personelin olaylara reaksiyon göstermesi.
- Sahada oluşturulması mümkün olmayan senaryoların kolayca oluşturulup uygulanabilmesi.
- Oluşturulan durumun gerekirse personelin kendisine uygulatılıp geri dönüş sağlanabilmesi.
- Tahlisiye ekiplerine ocağa girmeden önce bilgi verilmesi.

1.3.1 Kazaların önlenerek azaltılması

Kazalar kaybedilen iş gücü ve üretim kaybı gibi etkilerle insanlara, şirketlere ve devletlere maddi ve manevi külfet oluşturmaktadır.

Eğitimlerin senaryolar dâhilinde verilerek kaza anında ve sonrasında yapılacakların öğretilmesi bir yana, kazanın oluşma nedenleri de personele anlatılmalıdır. Kazaların önlenebilmesi ancak bu şekilde yetiştirilen personel ile mümkün olacaktır.

YER ALTI MADEN SİMÜLASYONU ile maden ocağında meydana gelebilecek kaza riskleri değerlendirilip görsel olarak personele anlatmak suretiyle kazalar önlenebilir. Örneğin program içerisinde bir patlatma uygulayarak patlatma öncesi ve sonrasında dikkat edilmesi gereken hususlar personele etkili bir biçimde aktarılabilir.

1.3.2 Oluşabilecek kazalarda daha bilinçli personelin olaylara reaksiyon göstermesi

İş kazalarının %2'si önlenemeyen kazalardır. Alınan tüm tedbirlere rağmen kazaların meydana gelme olasılığı vardır. Önemli olan bu kazalarda personelin soğukkanlı olup gerekli reaksiyonu gösterebilmesidir. Aksi halde çok hafif atlatılacak bir kaza, faciaya dönüşebilir.

Simülasyon ile eğitim verilmesi, oluşabilecek kazalarda personelin nasıl tepki vermesi gerektiğinin eğitici tarafından

gösterilmesiyle, kaza esnasında panik ve bilgisizlik nedeniyle oluşabilecek sıkıntıların önüne geçilmesine yardımcı olacaktır. Böylece personel olay anında daha soğukkanlı ve ne yapılması gerektiğini bilerek hareket edecektir.

1.3.3 Saha da oluşturulması mümkün olmayan senaryoların kolayca oluşturulup uygulanabilmesi

Yer altı gibi çalışma koşullarının ağır ve herhangi bir olumsuz duruma müsaade etmeyen ortamlarda, çalışanlara verilebilecek eğitim sadece sözlü eğitimdir. Ayrıca personeli bir araya getirip yeraltında eğitim vermek zordur. Tüm personeli bir araya getirip eğitim vermek istesek dahi bu sefer de yeraltı maden ocağında yangın, göçük vb. olayların oluşturularak ilgili tatbikatların yapılması mümkün değildir.

YER ALTI MADEN EĞİTİM SİMÜLASYONU programı sayesinde ocağın birebir benzeri oluşturularak, akla gelebilecek her türlü senaryo kolaylıkla uygulamalı olarak eğitici tarafından gösterilebilir. Böylece sahada uygulanabilirliği mümkün olmayan senaryolarda personele ne yapmaları gerektiği detayları ile gösterilmek suretiyle aktarılır.

1.3.4 Oluşturulan durumun gerekirse personelin kendisine uygulatılıp geri dönüş sağlanabilmesi

Yapılan araştırmalar insanların hayatları boyunca öğrendiklerinin %80'inin görerek, %10'unu işiterek öğrendiklerini göstermektedir. Bu durumda görsel eğitim, sözlü eğitime göre personelin hafızasında daha çok yer edecektir. Buna rağmen eğitim esnasında personelin, senaryoyu tam olarak anlayıp anlamadığını tespit edebilmek için gerekirse personele yapması gerekenler yaptırılabilir. Böylece eğitim alan personelin, konuyu ne ölçüde kavradıkları anlaşılmış olur. Bir diğer husus ise öğrendiklerinin davranışa dönüşüp dönüşmediği de görülmüş olur.

1.3.5 Tahlisiye ekiplerine ocağa girmeden önce bilgi verilmesi

Maden ocağında meydana gelebilecek kazalarda yardıma gelen tahlisiye ekiplerine YERALTI MADEN EĞİTİM SİMÜLASYON programı yardımıyla hızlı ve etkili şekilde bilgi verilebilir. Böylece kazazedelere vakit kaybetmeksizin, *daha etkili yardım edilmesi mümkün olur.*

2 GELİŞTİRİLEN YAZILIMIN TANITILMASI

Bu çalışmada, yeraltı madenciliği eğitimlerinde kullanılabilecek bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Yazılım, gerçek bir yer altı maden ocağının ana unsurlarının benzetimini yaparak, personele daha gerçekçi eğitim sunulması, eğitimin daha kalıcı olması ve daha etkili eğitim verilmesini sağlamak gibi bir amacı vardır.

2.1 Kullanılan Araçlar

Maden Eğitim Simülasyonu, görsel bir dil olan Visual Basic 6 ile geliştirilip derlenmiştir. Windows işletim sistemi ile mükemmel bir uyum içerisinde çalışan yazılımların başında gelen Visual Basic 6, kullanıcı tarafından da kolaylıkla kontrol edilebilen yazılımlar geliştirmeye imkân sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

Üç boyutlu ortamın oluşturulması OpenGL(Open Graphics Library) ile sağlanmıştır. 1992 yılında ilk taslağı yaratılan bu kütüphane günümüzde 4.4 sürümüne ulaşmış ve 700'ün üzerinde fonksiyona sahiptir. (Khronos Group, 2014)

Üç boyutlu çizimlerin oluşturularak programa aktarılması 3D Studio Max programı ile yapılmaktadır.

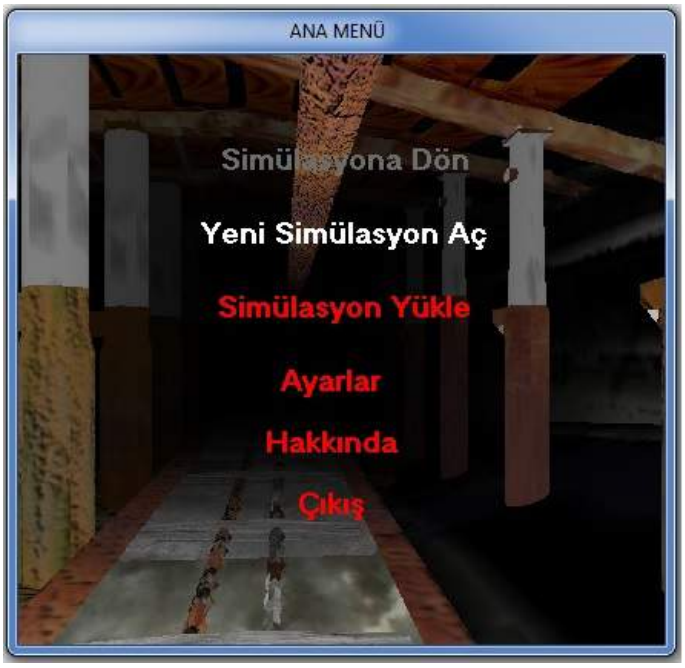
Kaplamalar genellikle gerçek nesnelerin resimleri çekilerek oluşturulmuş ve üç boyutlu objelere giydirilmiştir.

2.2 Yazılımın Genel Yapısı

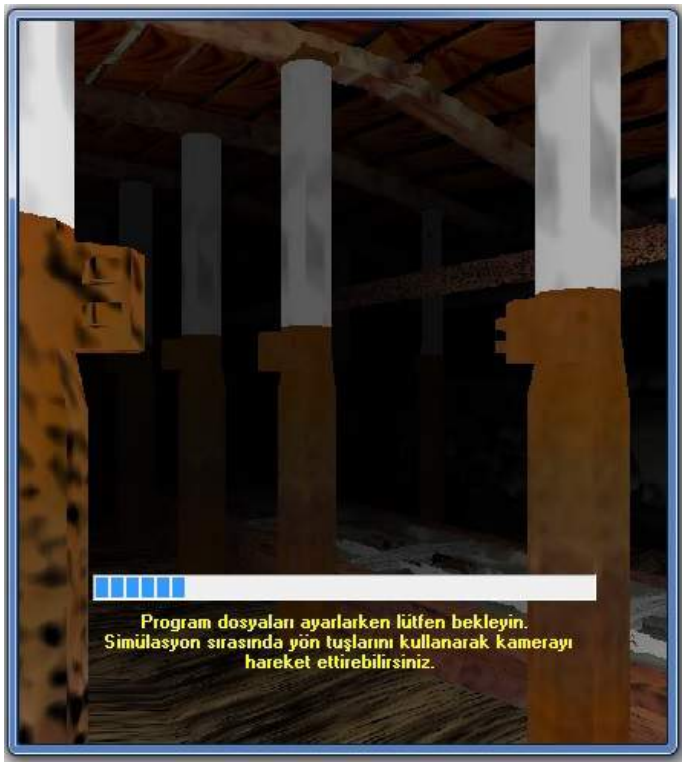
Yazılım bir ana form ve iki yardımcı formdan oluşmaktadır. Ana pencere üzerinde çizim olayı gerçekleşmektedir (Şek. 1).

Eğiticinin programı kullanabilmesi için bir "Ana Menü" formu(Şek. 2) ve simülasyonun yüklenme durumunu gösteren bir form bulunmaktadır (Şek. 3).

Şekil 1. Yazılımın ana penceresi



Şekil 2. Yazılımın ana menü penceresi



Şekil 3. Yazılımın yüklenme penceresi

Ana menü formu, kullanıcının imleç yardımıyla seçerek "Simülasyona dönmesine", "yeni simülasyon açmasına", "simülasyon yüklemesine", "ayarları yapmasına", "program hakkında bilgi almasına" ve "programı sonlandırmasına" yarayan penceredir.

Simülasyona Dön seçeneği; Açılmış simülasyon duraklatılarak ana menü formu çağırılmış ise simülasyona geri dönmek için kullanılır.

Yeni Simülasyon Aç seçeneği; Program çalıştırıldığında simülasyonu başlatmak için kullanılır.

Simülasyon Yükle seçeneği; Programa başka simülasyon dosyası yükletmek için kullanılır.

Ayarlar seçeneği; Programın ses, görüntü ve dil ayarlarını yapabilmek için kullanılır. Programın desteklediği diller Türkçe, İngilizce ve İspanyolcadır.

Hakkında seçeneği; Program hakkında bilgi almak için kullanılır.

Çıkış seçeneği; Programın sonlandırılması için kullanılır.

Yazılım, yaklaşık 11374 satır kod ile tanımlanan maden ocağını işler halde ekrana getirir ve kullanıcının her türlü senaryoyu uygulayabilmesine imkân sağlayarak çalışır.

Kullanıcı "W", "A", "S", "D" tuşları ile kamerayı ilerletip döndürebilir. Ayrıca "Q" ve "Z" tuşları ile bakış açısını değiştirebilir. "E" ve "C" tuşları ile kameranın yüksekliğini ayarlayabilir. Böylece eğitici maden ocağının neresinde eğitim verecekse, kamerayı o bölgede ve uygun pozisyonda konumlandırabilir. Eğitici eğitim esnasında senaryo gereği yapılacakları ilgili yere gitmek suretiyle göstererek anlatır.

Yazılımın çalışabilmesi için minimum sistem gereksinimi 2GB Ram ve 512Mb ekran kartı olan Windows işletim sistemine sahip bir bilgisayardır. Günümüz bilgisayarlarına baktığımızda oldukça makul bir sistem gereksinimi olduğu düşünülmektedir.

2.3 Yazılımın Çalışma Şekli

Maden Eğitim Simülasyonu yazılımının genel çalışma şekli Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

Şekil 4. Yazılım Genel Çalışma Şekli

Kullanıcı simülasyonu yükledikten sonra, yazılım ilgili maden ocağının gerçeğe yakın benzetimini üç boyutlu olarak ana pencerede oluşturur. Çizimler detaylı ve gerçeğine yakındır. Üretim, nakliye ve havalandırma gibi ana unsurlar gerçeğine yakın şekilde gösterilir. Örneğin bandın veya zincirli konveyörün üzerinden malzeme akar. Ayak içerisinde ki üretim yöntemine göre çalışan işçi ve makineler hareketlendirilir. Tam mekanize çalışılan bir ayakta tamburlu kesici ve tahkimatlar hareket ettirilir. Böylece ortamın gerçekçiliği arttırılır. Bu aşamalardan sonra kullanıcı yön tuşlarını kullanarak istediği yere, programın sol üst köşesinde yer alan harita yardımıyla gidip eğitim verebilmektedir (Şek. 5).

Şekil 5. Yazılımın Sol Üst Köşesinde Harita

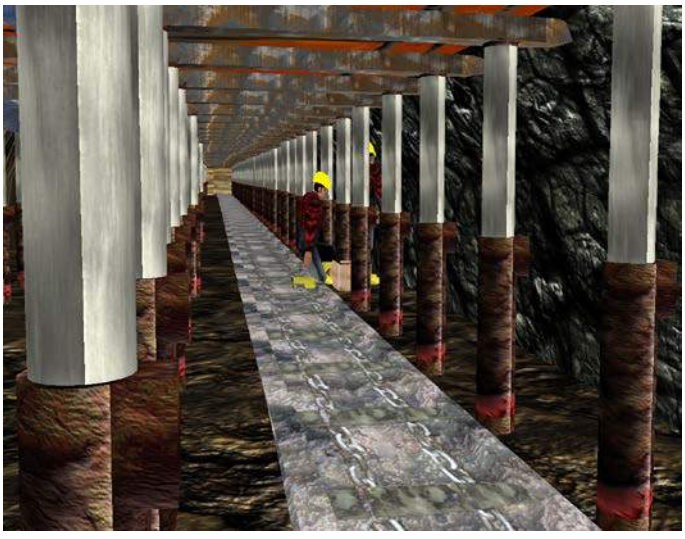
Sol üst köşeye konumlandırılan harita üzerinde, kameranın bulunduğu konumu gösteren kırmızı bir yuvarlak mevcuttur. Bu kırmızı yuvarlak kamera hareket ettirildikçe harita üzerinde hareket ederek kullanıcı ve eğitilen personele ilgili maden ocağının neresinde olduklarına dair bilgi verir. Böylece eğitilen personelin zihninde olayın meydana geldiği yer daha net canlanır.

Ayrıca harita üzerinde yeşil kutucuklar bulunmaktadır. Bu kutucuklar sensörlerin bulunduğu yerleri göstermektedirler. Kutucuk renkleri sensör değerlerine göre renk değiştirmektedir. Eğer sensör değerleri yasal sınırın üzerine çıkmış ise kutucuk rengi yeşilden sarıya dönüşmektedir (Şek. 6).

Şekil 6. Sensörün Renk Değiştirmesi

Kutucukların yani sensörlerin üzerine fare yardımıyla tıklandığında sensör değerleri ekranda gösterilmektedir. Bu sayede senaryo gereği yangın çıkmış ise ne kadar zamanda sensör değerlerinin ne şekilde değiştiği gözlenebilir ve böyle bir olayın vuku bulması durumunda yaklaşık ne kadar zamanları olduğu personele daha iyi anlatılabilir.

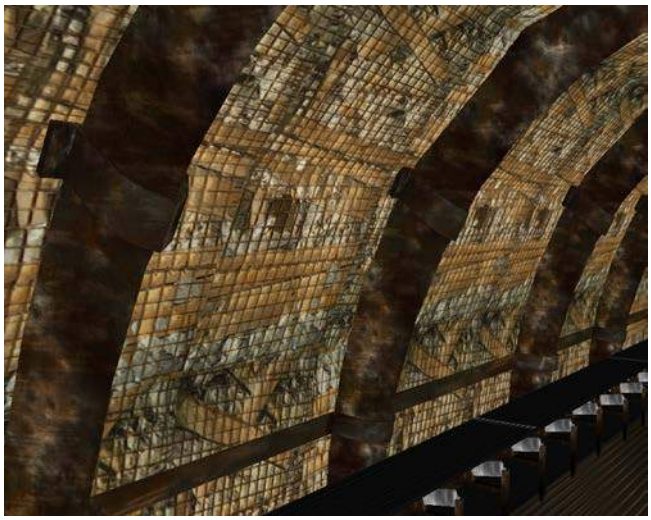
YER ALTI MADEN SİMÜLASYONU senaryolarla oluşabilecek kazaların eğitimini vermekle beraber, madencilikle ilgili olayları da canlandırabilir. Örneğin program yardımı ile bir patlatma canlandırılarak, patlatma öncesinde ve sonrasında dikkat edilmesi gereken hususlar görseller yardımı ile personele öğretilebilir (Şek. 7).



Şekil 7. Patlatma Simülasyonu

3 ÖRNEK EKRAN GÖRÜNTÜLERİ

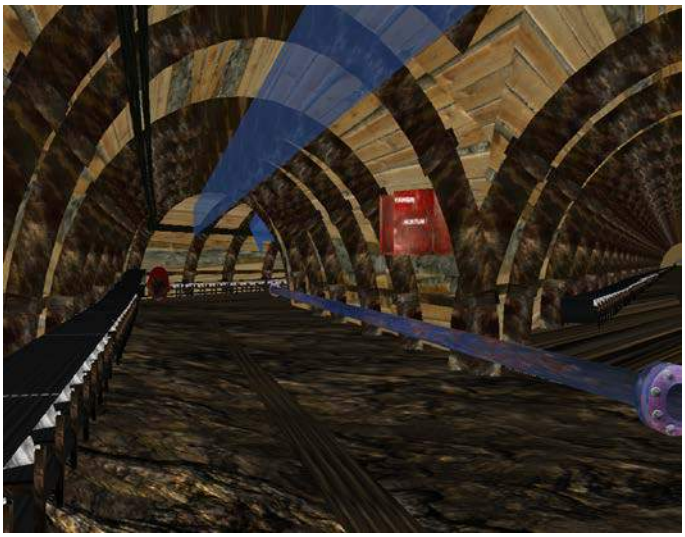
Sahada yapılan çalışmalardan bazılarının ekran görüntüleri. Şekiller 8-12'de verilmektedir.



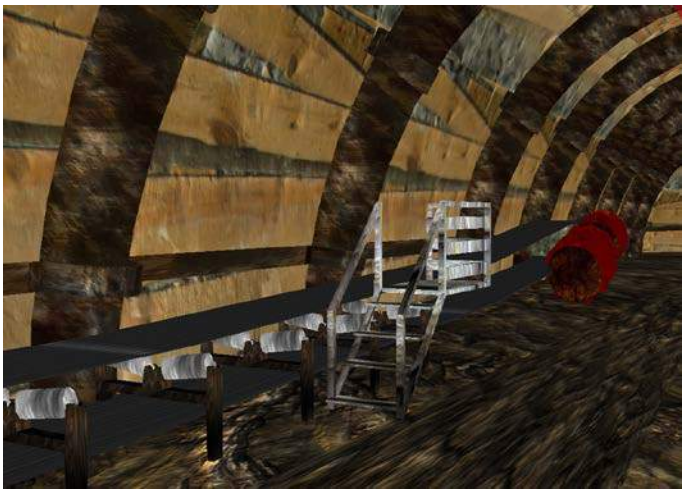
Şekil 8. Örnek Görüntü 1

Şekil 9. Örnek Görüntü 2

Şekil 10. Örnek Görüntü 3



Şekil 11. Örnek Görüntü 4



Şekil 12. Örnek Görüntü 5

4 SONUÇ

Bu çalışmada, yer altı madenciliğinde acil durum eylem planları başta olmak üzere her türlü planı üç boyutlu olarak oluşturabilecek ve eğitim vermeye imkân sağlayacak bir yazılım tanıtılmıştır. YER ALTI MADEN EĞİTİM SİMÜLASYONU sahada uygulanmış ve faydalı olabileceği görülmüş bir çalışmadır. Personel eğitimlerinde acil durumlarda yapılacakların öğretilmesinin yanı sıra, öğrenilen bilgilerin davranışa dönüşmesini kolaylaştıran ve bu davranışları ölçebilen bir yazılımdır. Sahada uygulanamayacak senaryoların sanal olarak uygulanmasına ve eğitim verilebilmesine olanak sağlar. Bilgisayar ortamında uygulanan senaryolar gerçek hayatta tatbik edilebilir ve personelin eksik ve yanlışları program yardımıyla düzeltilebilir. Bu yönüyle yeraltı işletmelerinde personelin bilinçlendirilmesi ve eğitilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Uygulanan senaryolar video formatında kaydedilip personele her ortamda, örneğin yemekhane, soyunma odaları vb. yerlerde izletilebilir ve doğal olarak iş güvenliği alışkanlık haline getirilebilir.

Ayrıca tahlisiye ekiplerine, YER ALTI MADEN EĞİTİM SİMÜLASYONU ile olayın meydana geldiği maden ocağı hakkında hızlı ve etkili bir şekilde bilgi verilebilmesi mümkündür.

Bir diğer husus ise maden mühendisi ve maden teknikeri yetiştiren üniversitelerde yer altı derslerinde eğitim yardımcı malzemesi olarak kullanılabilir. Böylece sahaya daha aşina mühendis ve teknikerler yetiştirilebilmesine imkân sağlanabilir.

Daha bilinçli personelin yetiştirilmesiyle madencilik gibi ağır ve tehlikeli bir iş kolunda, kazaların oluşturduğu maddi ve manevi kayıpların azaltılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Arıcı N., Dalkılıç E., 2006, "Animasyonların Bilgisayar Destekli Öğretime Katkısı:Bir Uygulama Örneği", *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14, (2), 421-430

Elliot, S & Miller, P. (1999), "3D Studio Max 2. Sistem Yayıncılık Mat.San. ve Tic. A.Ş.", *İstanbul*, S.44

Anon, 2003, "Web 3D Consortium", www.web3d.org

Pinto V., Rivero L, Casas A., 2000; "Teaching Oriented Geophysical Software", *Computers & Geosciences*, 26,(7), 809-814. Ören, T.I. (2006 - Basımda). Benzetim: Temel

Kavramlar ve İlerlemeler.. *Türkiye Bilişim Ansiklopedisi*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Karagülle İ., Pala Z. (2004). Visual Basic 6.0 Pro, 1, (1 s. – 948 s.), Türkmen Kitapevi, İstanbul.

Fox B. ,Al K., 2004 3ds max 6 ile CG Film Yapımı, ALFA Yayınları, İstanbul,(100 s. – 413 s.)

www.opengl.org

www.khronos.org

Yeraltı Mekanize Metal Madenciliği Uygulamalarında Vardiya Amiri Eğitimi

Underground Shift Supervisor Education of Underground Mechanized Metal Mining

İ.Türkmen
Tüprag Metal Madencilik Efemçukuru Altın Madeni İşletmesi, Eğitim ve Kalite Kontrol Yöneticisi, İzmir

ÖZET Biz, Tüprag Efemçukuru Altın Madeni İşletmesi olarak, kes-doldur metodu ile yeraltı madenciliği yaparak altın üreten bir kuruluşuz. Yeraltı madencilik sektörü için genç denilebilecek bir ekibe sahibiz. Ülkemizin çeşitli bölgelerinde farklı üretim yöntemleriyle madencilik yapmış, farklı kültürleri beraberinde İzmir'e getiren bir grubun, İzmir'in Efemçukuru Köyü'nde yıllardır yaşamını üzüm bağlarında kazanmış başka bir grup ile harmanlanması ile oluşmuş bir çalışan kitlesine sahibiz.

Türkiye'nin farklı yeraltı madenlerinde kazandıkları deneyimleri, alışkanlıkları beraberinde işletmemize getiren işçilerimizin, yeraltı operasyonlarına sağladıkları katkı kadar, oluşturdukları bilgi ve uygulama farklılıkları bizim için çözülmesi gereken bir problemdi. Bu bilgilerin, deneyimlerin derlenip filtrelendikten sonra şirket kültürü ile beslenerek yazılı dökümanlara ve daha sonra eğitim modüllerine dönüştürülmesi, kurulum aşamasındaki bir işletme için çok önemliydi.

Anahtar Kelimeler: Vardiya amiri eğitimi, yeraltı mekanize metal madenciliği

ABSTRACT As Tuprag Efemcukuru Gold Mine, we are an operation producing gold via underground operations using cut and fill method. We have a young crew when underground mining operations are considered. Our manpower blend consist of various miners coming from different mining operations background from various regions of Turkey harmonized with local crew from Efemcukuru Village of İzmir who has years of experience only in vineyard and grape cultivation.

Difference in knowledge, practical applications, work habits and experience brought by our manpower coming from different mining backgrounds was not only an important contribution to our underground operation but also an important problem for us to solve. It was of utmost importance for a freshly established operation to collate and filter all these knowledge and experience and convert them into written procedures followed by training modules by feeding in the company culture.

Keywords: Education of shift supervisor, underground mechanized metal mining

1 VARDİYA AMİRİ EĞİTİM MODÜLÜ

1.1 Eğitim Modülü

Çalışanlarımızın yarısından fazlasının tarım kökenli olduğunu düşündüğümüzde eğitim modüllerinin hazırlanması, sunulması, geri dönüşlerin değerlendirilerek önlemlerin alınması bizlerin öncelikli hedefleri olmuştu.

Bu doğrultuda öncelikli olarak yeraltı operasyonlarını yöneten, yönlendiren ve verimliği ana unsur olarak görmek zorunda olan vardiya amirlerimizin eğitilmesini öncelikli hedef olarak planladık. Bu doğrultuda yeraltı operasyonlarının ana kalemleri olan; Delme-Patlatma-Nakliye-Tahkimat-Dolgu-Servis konularını

detaylarıyla içinde barındıran "Mekanize Madencilik Yeraltı Vardiya Amiri Eğitim Modülü"nü hazırladık. Aynı zamanda bu modülü, Yeraltı havalandırma ve su atımı gibi teknik konular ile destekledik.

Bu eğitim modülünün yeraltı metal madenciliği sektöründe ilk ve öncü olduğunu düşünmekteyiz. Eğitimin içeriğinde yukarıda bahsettiğim yeraltı madenciliğinin tüm aşamalarına ilave olarak, çalışanların hak ve sorumlulukları, Efemçukuru'nun jeolojisi ve bu sektörle ilgili bilinmesi gereken kanunlar ve yönetmelikler de yer almaktadır.

İşletmemizde çalışan vardiya amirlerimize yönelik olarak uyguladığımız bu eğitim programının yasal bir zorunluluğu yoktur. Program, meslek içi geliştirme programı olarak gereksinimlerden doğmuştur. Ülkemizde son yıllarda uygulamaya başlayan mekanize yeraltı metal madenciliği konusunda kaliteyi, verimliliği hedefleyen, işçi sağlığı ve güvenliğini ön planda tutan, ocak gazları, modern tahkimat yöntemlerini bilen ve uygulayan, amirler-nezaretçiler yetiştirilmesi amacıyla eğitim modülü oluşturulmuştur.

Eğitim modülümüz altı gün teorik, iki gün uygulamalı olmak üzere sekiz gün sürmektedir (09.00-16.30 saatleri arasında. Katılımcılara eğitim öncesi ve eğitim sonrası altmış beş sorudan oluşan sınav uygulanmaktadır. Katılımcıların eğitim öncesi aldıkları notların ortalaması yetmiş iken, eğitim sonunda uygulanan sınavda aldıkları notların ortalaması doksansekizdir.

Eğitimin uygulamalı olarak verilen iki günlük kısmında; derslerde işlenen konuların yeraltında uygulamaları kontrol edilmekte ve uygulamada yapılan hataların niçin yapıldığı değerlendirilmektedir.

Eğitim modülümüzde şirket bünyesinde yer alan Jeoloji, İşçi Sağlığı ve Güvenliği ve İnsan Kaynakları bölümlerinden yöneticiler de eğitmen olarak rol almışlardır.

Eğitim modülü, işletme içersinde yeni üretim metodlarının uygulamaya alınması, yeni ekipmanların katılması, ciddi kaza yada olaylar sonunda elde edilen deneyimlerin vardiya amirlerimize aktarılması noktasında sürekli güncellenmektedir.

Şirket içerisinde şu ana kadar dört kez tekrarlanan bu eğitimlere on dokuz ilk ve orta kademe yöneticisinin katılımı gerçekleşmiş olup, eğitim sonunda yapılan sınavda başarı göstermişlerdir. İşletmemize katılan genç mühendislerimiz, yeni vardiya amiri adaylarımız ve uygulamaya aldığımız eğitimci operatör adaylarımızda eğitim modülünden yararlanacaklardır.

1.2 Eğitimin İçeriği

-Şirketin Misyonu
-Çalışanların Hak ve Sorumlulukları
I. Maden Kanunu ve Yönetmelikler
II. Türk Borçlar Kanunu
III. İş Kanunu
IV. İş Sağlığı ve Güvenliği
-Şirket İçi Disiplin ve Davranış Düzeltici Faaliyetler Prosedürü

1.3 Şirket İçi Eğitim, Sağlık, Çevre ve İş Güvenliği Bölümünün (OHSE) Organizasyonu ve Faaliyetleri

1.3.1 Çevre

-Su Yönetimi
-Atık Yönetimi
-Çevresel İzleme ve Risk Değerlendirme
-Yasal Yükümlülükler
-ISO 14001
-Denetimler
-Doğaya Yeniden Kazandırma ve Peyzaj
-Çevre Eğitimleri

1.3.2 İş güvenliği

-Kazaların Önlenmesi
-Kaza Araştırmaları
-Risk Değerlendirmeleri
-Yasal Yükümlülükler
-Acil Durum Yönetimi
-Yol Güvenliği
-OHSAS 18001
-İSG Eğitimleri

1.3.3 Mesleki sağlık / endüstriyel hijyen

-Meslek Hastalıkları İzleme Programı
-Kişisel Maruziyet ve Ölçümler

-Mesleki Sağlık Eğitimleri

1.3.4 Eğitim

-Özel İzin Gerektiren Eğitimler

2 JEOLOJİ BÖLÜMÜ

2.1 Maden Jeolojisi

-Yeraltı Sondajları
-Tenör Kontrolü
-Cevher Stok Yönetimi
-Jeolojik Modelleme

2.2 Araştırma Sondajları

3 PLANLAMA VE MADENCİLİK TALİMATLARI

-Sondaj Verileri, Tenör Atanması, Blok Model Oluşturulması
-Yıllık Üretim Hedeflerinin Oluşturulması
-Blok Modele Göre Üretim Metodunun Belirlenmesi
-Minimum Pasa Kazısı
-Minimum Kirlenme
-Termin Planlarının Oluşturulması
-Uzun, Orta ve Kısa Dönem Planlarının Oluşturulması
-Madencilik Talimatları
-Havalandırma Planları (Fan Seçimleri)
-Drenaj Planları (Pompa Seçimleri)

4 YERALTI OPERASYONLARI

4.1 Delme

-Jumbo İle Tavan Civatası Çakma
-Jumbo İle Ayna Delme
-Doğrultu ve Paralellik
-Delik Kalitesi
-Delik Dizaynları
-Paralel Kat Delgi
-Ekipmanda Otonom Bakım
-Tabanca Çalışma Mantığı
-Delici Takımlar
-Simba İle Delik Delme
-Delgide Sapmalar ve Sonuçları
-Shank Yağlama
-Delici Takım Ömrüne Etki Eden Faktörler
-Operatörden Beklentiler
-Bit Bileme
-Operasyon Hataları ve Fazla Kazı
-Vardiya Amirinden Beklentiler

4.2 Havalandırma

-Havalandırma Elemanları
-Ekipmanların Hava İhtiyaçları
-Havalandırma Ölçümleri
-Gazlar
-Tozun Sebep Olduğu Meslek Hastalıkları
-Tozla Mücadele ve Tozdan Korunma Yöntemleri

4.3 Yükleme ve Nakliyat

-Yeraltı Trafik Kuralları
-Yeraltı Park Kuralları

4.4 Tahkimat

-Tahkimat Elemanları
-Kaya Sınıflarına Göre Tahkimat Dizaynı ve Yeraltındaki Uygulanışı
-Püskürtme Beton ve Püskürtme Betonda Kullanılan Kimyasallar

4.5 Geri Dolgu

-Macun Dolgu
-Pasa Dolgu
-Çimentolu Pasa Dolgu

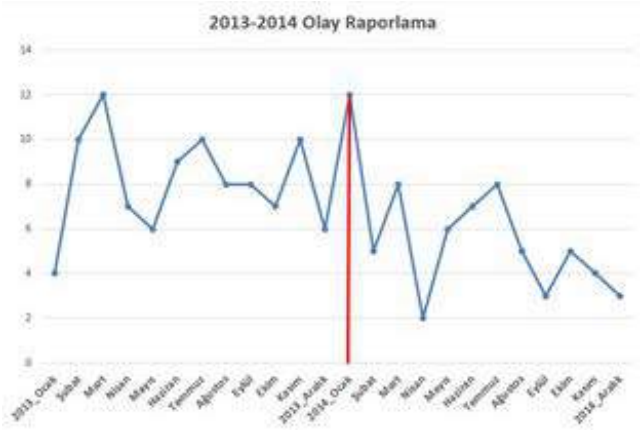
4.6 Servis İşleri

-Hava, Su, Drenaj, Macun Dolgu Hatları
-Fan Asma, İndirme

-Elektrik, Telsiz, Ateşleme Kablosu Hatları
-Çamur Havuzlarının Temizliği
-Tertip, Düzen

5 SAHAYA YANSIMALARI

5.1 Standartlar

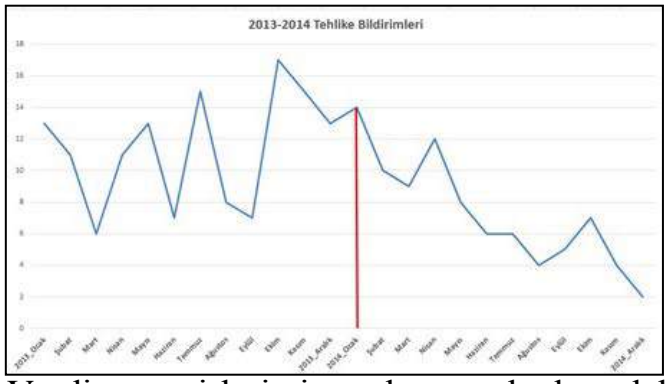


Operasyonların standartlar çerçevesinde yapılma oranı artmıştır. Bunun sonucunda operasyonlardaki kalite artarken zaman kayıplarının azaldığı gözlenmiştir.

5.2 Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımı

Güvenlik gözlüğü, kulak koruyucusu ve toz maskesi gibi koruyucu donanımlar eksiksiz kullanılmakta ve çalışanların bu konudaki hassasiyeti artmıştır.

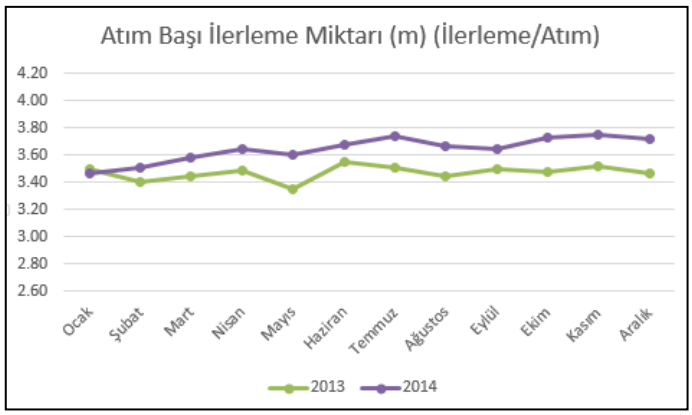
5.3 Tehlikeyi Algılama / Farkındalık



Vardiya amirlerimiz çalışma alanlarındaki tehlikeleri daha iyi görebilir ve önlemleri alabilir düzeye gelmişlerdir.

5.4 Atım Başı İlerleme

Aynalarda atım başı ilerleme miktarı 3.50m den 3.70m seviyesine yükselmiştir.



5.5 Risk Değerlendirme

Vardiya amirleri risk değerlendirmelerine operatörleri de dahil ederek iş güvenliği kültürünün oluşturulmasında ve geliştirilmesinde önemli yol almışlardır.

5.6 İnsiyatif Kullanma

Vardiya amirlerinde, problemlem çözme / insiyatif kullanma / karar alma noktasında gelişmeler gözlemlenmiştir.

5.7 Planlı İş

Planlanan ve gerçekleşen işler arasındaki farklar azalmıştır. Yeraltında çalışanların tamamında, ‘planlaması yapılmayan bir işin yapılmayacağı’’ bilinci oluşmuştur.

Hazırlık	
2013 Eğitim Öncesi İlerleme Mikatarı	2.720 metre
2014 Eğitim Sonrası İlerleme Miktarı	3.667 metre
Üretim	
2013 Eğitim Öncesi Üretim Mikatarı	398.687 ton
2014 Eğitim Sonrası Üretim Miktarı	433.802 ton

5.8 Üretim-Hazırlık

Üretim ve hazırlık miktarlarında planlanan hedeflere ulaşılmıştır.

5.9 Vardiya Organizasyonları

Vardiya başında işlerin planlaması ve işçilere tahsisinin, daha kaliteli ve ulaşılabilir hedefler doğrultusunda yapıldığı gözlemlenmiştir.

6 SONUÇLAR

İşletmemizde çalışan vardiya amirlerimize yönelik olarak uyguladığımız bu eğitim programının yasal bir zorunluluğu bulunmamaktadır. Program meslek içi geliştirme programı olarak gereksinimlerden doğmuştur. Ülkemizde son yıllarda uygulanmaya başlayan mekanize yeraltı metal madenciliği konusunda kaliteyi, verimliliği hedefleyen, işçi sağlığı ve güvenliğini ön planda tutan, havalandırma, ocak gazları, modern tahkimat yöntemlerini bilen ve uygulayan, amirler-nezaretçiler-yetiştirilmesi amacıyla eğitim modülü oluşturulmuştur. Gelişmiş ülkelerde faaliyet gösteren firmaların bu konularda eğitimler verip vermedikleri yada sonuçları konusunda herhangibir araştırmamız bulunmamaktadır.

İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı

Bir Mermer Ocağında Güvenlik Kültürü Matrisi Çalışması
Study of Safety Culture Matrix in a Marble Quarry

A.R. Ergun, S. Gürler, M. Çobanoğlu
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET Madencilik, en fazla risk içeren sektörlerin başında gelmektedir. Değişen çalışma ortamında, risk seviyelerinin kabul edilebilir düzeye indirilebilmesi için güvenlik kültürünün benimsenmesi önemlidir.

Yapılan araştırmalar, işletmelerdeki mevcut, güçlü ve işin her aşamasında özümsenmiş güvenlik kültürünün iş güvenliğine ilişkin performansı olumlu etkilediğini göstermektedir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile getirilen önleyici yaklaşım konusunda farkındalık yaratmak için işletmelerde güvenlik kültürünün oluşturulması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu geliştirilirken öncelikle işletmelerdeki mevcut durumun analiz edilmesi ve duruma göre öneriler getirilmesi ihtiyaçtır.

Bu sebeple The Manchester Patient Safety Framework (MaPSaF) rehberi bir mermer ocağında çalışanların katılımı ile işletmenin güvenlik kültürü seviyesini tespit etmek üzere uygulanmış, sonucunda "İşletme Güvenlik Kültürü Matrisi" oluşturulmuş, işletmenin genel itibariyle reaktif güvenlik kültürü algısına sahip olduğu görülmüştür. Bu matrisin güvenilirliğini tespit etmek için işletmede meydana gelen bir kaza balık kılçığı modellemesi kullanılarak incelenmiştir. Matriste ve modellemede ortaya çıkan sonuçların uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar doğrultusunda, işletmeye güvenlik kültürü seviyesini iyileştirecek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik kültürü matrisi, mermer ocağı, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT Mining is one of the most dangerous activities consisting many risks. In the changing working environment, adoption of safety culture is important in order to decrease risks to acceptable level.

Conducted researches show that available and internalized safety culture positively affects the performance of occupational safety. It is necessary to constitute and develop a safety culture in organizations for creating awareness of preventive approach handed by Law of Occupational Health and Safety. While developing this culture, first of all, analysis of present conditions and suggestions for these conditions are main requirements.

Therefore, having applied The Manchester Patient Safety Framework (MaPSaF) guidance to workers in a marble quarry, it is studied to determine an organization's safety culture level. In the result of study, "Safety Culture Matrix of Organization" is generated and it is seen that the organization generally has reactive perception. In order to confirm reliability of this matrix, an accident occurred in the organization is analyzed by root cause analysis-fish bone model. Results of both matrix and model are confirmed. In accordance with results, reformatory measures are advised to the organization.

Keywords: Safety culture matrix, marble quarry, occupational health and safety

1 GİRİŞ

Günümüzde klasik mermer üretim yöntemleri yerini modern yöntemlere bırakmış, bununla beraber üretim kapasitemiz de artış göstermiştir. Yıllardır blok mermer olarak yapılan ihracatımız artık büyük oranda sayısı ve kapasitesi artan işleme tesislerimizde mamul hale getirilerek yapılmaktadır T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2014).

Sektördeki gelişmelere rağmen özellikle ocak işletmeciliğine özgü zorlu koşullar sebebiyle hala iş kazaları meydana gelmekte ve meslek hastalıkları tespit edilmektedir. Çalışma hayatında meydana gelen bu sorunların önlenmesi adına, geçmişten günümüze kadar birçok yasal düzenleme yapılmıştır. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) nin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi amacıyla 30/06/2012 tarihli, 28339 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bu Kanun ile İSG kavramına önleyici bir yaklaşım getirilmiştir.

Çağdaş İSG yaklaşımında risk değerlendirmesi yaparak çalışma ortamında bulunan veya muhtemel tehlikelerden doğan risklerin tespiti, bunlara yönelik önleme, koruma ve bu kaynakları sürekli gözetim altında tutma çalışmalarının yapılması, aynı zamanda bu hususlar belirlenirken çalışanların da değerlendirmeye katılması ve bilgilendirilmesi gerekmektedir İSGGM (2011). Ancak mevzuatımıza kazandırılan bu anlayışın ve diğer yasal düzenlemelerin sonrasında yaşanan iş kazalarının, mevzuatın özümsenmemesi, sadece zorunluluk olarak görülmesi ve iş kazalarına sadece teknik bir problem olarak yaklaşılmasının sebep olduğu görülmektedir.

Çalışma hayatında gelişen teknoloji ile insan faktörü bir adım gerilemiş gibi görülse de üretimdeki en önemli faktör hala insandır. Çalışanların İSG algılarının tespit edilmesi, gerekli iyileştirmelerin yapılması ve bu iyileştirmelerin sürekliliğinin sağlanması, meydana gelen iş kazalarının büyük bölümünün güvensiz davranış kaynaklı olduğu bir ortamda yadsınamayacak bir önceliğe sahiptir. Gerek işverenlere gerekse çalışanlara güvenlik kültürünün yaşam biçimi haline getirmesi yönünde davranış değişikliği sağlanmalıdır.

2 MERMER MADENCİLİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

Mermer ocakçılığı, 26/12/2012 tarihli ve 28509 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği"ne göre çok tehlikeli sınıfta yer alan, ağır çalışma şartları olan bir iş koludur. Mermer ocakları genelde açık alanda çalışılan tozlu ve gürültülü ortamlardır. Birçok iş makinesinin bulunduğu ortamda gerek doğa şartlarından gerekse bu iş makinelerinden kaynaklı çok sayıda risk bulunmaktadır.

Mermer üretiminde en temel güvenlik sorunları mermer bloklarının ana kütleden kesilmesinde ve sayalama işlemi sırasında oluşmaktadır. Ülkemizde, üretimde genellikle elmas boncuklu mermer blok kesici makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerin kesme boncukları yüksek devirde dönmektedir Safety and Health Commission For The Mining and Other Extractive Industries (1999). Bu elmas telin blok kesimi sırasında sıkışıp kopması sonucu kopan telden çıkan elmas boncuklar ocak içinde tabancadan çıkan kurşunlar gibi hareket ederler Urhan ve Şişman (1993). Etrafta bulunan çalışanlara yüksek hızda çarpması ile yaralanmalara ve hatta ölümlere varan iş kazalarına neden olmaktadır. Gümüş ve Akkoyun (2006), "Mermer Ocak İşletmeciliğinde Sık Karşılaşılan İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme" başlıklı çalışmasında Diyarbakır bölgesindeki 16 mermer ocağında meydana gelen iş kazalarını incelemiş ve bu kazaların %43 oranında tel kopması sonucunda yaralanmaya neden olduğunu tespit etmiştir.

Yapılan çalışmada, mermer ocaklarında sıklıkla görülen bu kazanın yaşandığı işletmenin güvenlik kültürü seviyesi MaPSaF rehberi uygulanarak tespit edilmeye çalışılmış ve bu seviyenin doğruluğunun kıyaslanabilmesi için söz konusu kazanın sebepleri kök neden analizi, balık kılçığı yöntemi ile araştırılmıştır.

3 MERMER OCAĞINDA GÜVENLİK KÜLTÜRÜ SEVİYESİNİN TESPİTİ

3.1 Güvenlik Kültürü

Kişisel ve toplumsal gelişmişliğin en önemli öğelerinin başında sağlık ve güvenliğin geldiği genel olarak kabul edilmiştir. Nitekim Maslow (1943)'un ihtiyaçlar hiyerarşisi bu iki kavramın ne denli önemli olduğunu ortaya koymuştur Gürcan (2014).

Şekil 1. Maslow'un İhtiyaç Hiyerarşisi Şeker (2014).

Söz konusu hiyerarşi piramidi göz önüne alındığında, güvenlik gereksiniminin insanların yaşamlarını sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu besin, uyku, nefes gibi gereksinimlerden hemen sonra geldiği görülmektedir. Bu durum aynı zamanda İSG nin de gerekliliğini ve ehemmiyetini ortaya koymaktadır.

Yapılan birçok araştırma, İSG nin kurumlarda, işletmelerde vs. en etkin biçimde yer almasının ancak tepe yönetimin de yer aldığı ve desteklediği bir güvenlik kültürü ile mümkün olabileceğini vurgulamaktadır.

Güvenlik kültürü tanımı henüz bir standarda kavuşmamış olsa da Reason (2000)'a göre "Kişilerin veya işletmelerin, zarar veya kayıplardan kaçınmak ve hedeflerinin gerçekleştirebilmek için tehlike ve risklerle başa çıkabilme yeteneği"dir Parker ve Lawrie (2007).

Güvenlik kültürünün yerleşmesi uzun süre almasına ve başka faktörlerden (toplumsal kültür, sosyal kültür vb.) etkilenmesine rağmen en üst yönetim tarafından benimsenmiş olması bu süreci olumlu yönde etkileyecek ve güvenlik kültürünün yerleşmesini sağlayacaktır Sungur ve Şerifoğlu (2007).

3.2 Manchester Patient Safety Framework (MaPSaF)

MaPSaF, Manchester Üniversitesi Ulusal Birinci Basamak Tedavi Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nin desteği ile işletmelerin güvenlik kültürü seviyesinin nerede olduğunu belirlemek için geliştirilmiş rehberdir.

Birinci basamak tedavi hizmetlerinden sonra genel sağlık hizmetlerinin tamamına uygulanan bu rehber, sağlık sektörü dışındaki diğer sektörlere de uygulanabilmektedir (Örn: Shell International-Petrol Endüstrisi) National Patient Safety Agency (2006).

Bu rehberle güvenlik kültürü seviyesinin çalışan güvenliği üzerindeki etkisini ortaya

koyarken, yönetimin performansını değerlendirme ya da suçlu bulma amacı güdülmemektedir National Patient Safety Agency (2006).

Bu rehber, ABD'li sosyolog R. Westrum (1992)'un oluşturduğu, P. Hudson ve D. Parker (2001)'ın geliştirdiği işletmelerin çeşitli süreçlere ayrılan güvenlik kültürü tipolojisi üzerine kurulmuştur. Bu süreçler özetle;

Patolojik Süreç: Güvenlik algısı oluşmamıştır. İşin yürütümü her şeyden önce gelmektedir. Güvenlik, gereksiz ve zaman kaybı olarak görülmektedir.

Tepkisel (Reaktif) Süreç: Güvenlik konusu kaza veya ramak kala yaşanmadıkça gündeme gelmemektedir. Önlemler veya çalışmalar ancak kaza sonrası göstermelik önlemler alınmaktadır.

Bürokratik Süreç: Kanuni gerekliliklerin özümsenmeden yapıldığı, işletme ile ilgili güvenlik bilgilerinin önemsenmediği, yeniliklere kapalı, kaza olduktan sonra suçlu bulmaya odaklı, kazadan ders çıkarmaya çalışılmayan bir süreçtir.

Önleyici (Proaktif) Süreç: İşletme belirlenebilen tehlikeler üzerine odaklanmaktadır. Kaza olmaması için veya olduktan sonra tekrar yaşanmaması için bütün tedbirler alınmaktadır.

Üretken Süreç: Güvenlik konusu faaliyetlerden bağımsız bir konu olarak görülmemekte aksine işin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bütün çalışanlar ve yönetim güvenlik bilincinin farkında olup çalışmalarda birlikte yer almaktadır Parker ve Lawrie (2007).

Bahsedilen süreçlerin yanında, işletmelerin faaliyetine göre temel boyutlar oluşturulmakta ve her boyut ayrıca değerlendirilerek işletmenin bu boyutlarda hangi güvenlik kültürü seviyesinde yer aldığı çalışanlar ve yönetim ile birlikte belirlenmektedir. Bu belirleme aşamasından sonra, işletme kendi durumunu inceleyip her boyut için bir üst seviyeye ulaşmayı sağlayacak hedefler ortaya koymakta ve seviye üretken sürece ulaşana kadar devam etmektedir Parker ve Lawrie (2007).

Kazanın gerçekleştiği işletmede, işletmenin güvenlik kültürü seviyesini belirlemede önemli rol oynan beş temel boyut seçilmiştir. Bunlar Tablo 1. den görüleceği üzere; Çalışan Güvenliği, Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği ve Mesleki Eğitimleri, Ramak Kalaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler, Kazaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler, Kaza Sonrası İşletmenin Çıkarımı'dır.

Matrisin boyut ve süreç bileşeninden meydana gelen çerçevesi oluşturulduktan sonra, kıdemli çalışanlarla birebir yapılan görüşmelerde bileşenler hakkında gerekli bilgilendirme yapılmıştır. Ardından tekrarlanan görüşler gelene kadar çalışanlardan tüm süreçler için fikirler alınmakta ve bunlar değerlendirilerek matris oluşturulmuştur.

Matris oluşturulduktan sonra her boyut katılımcılar haricindeki çalışanlara dağıtılıp kendi işletmelerinin nerede gördükleri sorulmuş, çıkan sonuçlar ışığında işletmenin her boyut için mevcut güvenlik kültürü seviyesi belirlenmiştir.

Bu işletmede, "Çalışan Güvenliği", "Kazaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler" ve "Kaza Sonrası İşletmenin Çıkarımı" için tepkisel (reaktif), "Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği ve Mesleki Eğitimleri" için bürokratik, "Ramak Kalaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler" için patolojik süreç çıkmıştır.

Tablo 1. Güvenlik Kültürü Matrisi

	Patolojik Süreç	Tepkisel(Reaktif) Süreç	Bürokratik Süreç	Önleyici(Proaktif) Süreç	Üretken Süreç
Çalışan Güvenliği	Bu gibi işyerlerinde "çalışan" değil "iş" önceliklidir. Böyle bir işyerinde çalışan güvenliği ile ilgili herhangi bir uygulamadan bahsedilemez. Çünkü işveren için sadece kazanmak ve işin yetiştirilmesi önemlidir.	Sadece göstermelik güvenlik önlemleri alınır. Bir kaza olmadığı sürece çalışanın güvenliği ikinci plana atılır ve sadece kaza olduğu zaman hatırlanır.	Çalışanın güvenliği ile ilgili kanunun gerektirdiği ölçüde prosedürler yerine getirilir. Güvenli çalışma koşulları kağıt üzerinde belirtilmiş olsa dahi asıl amaç denetimlerde sıkıntı yaşamamaktır.	Çalışan güvenliği ön planda tutulur. Çalışanlarda güvenlik kültürü oluşmuştur ve güvenlik uygulamalarına uymakta bir sıkıntı yaşamazlar.	Yapılan iş ile güvenlik etmenlerini birbirinden ayrı tutmak mümkün değildir. Çalışanın güvenliği işin yürütümü kadar önemlidir. Yönetimin bu tavrı çalışanlara da yansımıştır ve güvenli çalışma prensipleri tüm çalışanlar tarafından benimsenmiştir. Yönetim bir düzenleme yapılacağı zaman çalışanların da fikrine başvurur ve ortak bir karar almaya özen gösterir. Yönetim tarafından çalışan güvenliği motivasyon ve verim kaynağı olarak görülmektedir.
Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği ve Mesleki Eğitimleri	Hem yönetim hem de çalışanlar tarafından çalışanların bu eğitimlerine gereken önem verilmez ve eğitimler zaman kaybı olarak görülür.	Sürekli eğitimler söz konusu değildir. Sadece bir kaza veya olay olduğunda günü kurtarmalık eğitimler verilip işten sıyrılma düşüncesi mevcuttur.	Kanuni zorunluluk olarak görülen eğitimlerin içeriği güncel olmayıp katılımcıların beklenti ve seviyeleri göz önüne alınmamaktadır. Çalışanların eğitime katılıp katılmadığı takip edilmemektedir.	Mevzuat gerekliliğine, çalışanların kapasitesine ve tecrübesine uygun eğitimler belirli periyotlar halinde verilmektedir. Uygulanabilir ve güncel bilgilere dayalı bu eğitime çalışanların katılımının yüksek olması öngörülmektedir.	Eğitim programı her yılın başında ve gerekli durumlarda planlanır ve en üst kademeden en alt kademeye kadar her çalışana kadar uygulanır. Eğitimde geçen zaman kesinlikle boşa geçen zaman olarak görülmez. Eğitimlere katılmak zorunludur. Hem yönetim hem de çalışan tarafından eğitimin ne kadar önemli olduğu bilinmektedir.
Ramak Kalaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler	Sorumluluk sadece belirli kişilere yüklenir. Ramak kala durumlarından ders çıkarılmaz aksine soruşturmak ve önlem almak göz ardı edilir.	Problem sadece ramak kalalar yaşandıkça gündeme alınır. Önlemler sadece belirli problemlerin bir daha olmaması için alınır. Diğer risk ve tehlikeler göz önüne alınmaz.	Ramak kala sonrasında yapılan soruşturma sadece bir sorumlu tespit etmek için yapılır. Bir sorumlu bulunduktan sonra kalıcı çözüm aranmaz ve olay kapatılır.	Gerekli soruşturmalar yapıldıktan sonra, ramak kalanın tekrar yaşanmaması için yaptırımlar uygulanır.	Ramak kala ayrıntılı bir şekilde soruşturulur. Bu soruşturma sonucunda risk değerlendirmesi kısmen veya tamamen güncellenir ve tekrar etmemesi için gerekli tedbirler alınır. Suçlayıcı bir yaklaşım yoktur. Çalışanlara bu konu hakkında gerekli bilgilendirmeler yapılır.
Kazaların Soruşturulması ve Alınan Önlemler	Kaza bu işin doğasında var denilerek önemsenmez ve soruşturmaya gerek duyulmaz. Olayların üstü kapatılmaya çalışılır.	Kaza olmadan önce iş yerinde yer alan risk ve tehlikeler hakkında herhangi bir araştırma yapılmaz. Ancak bir kaza sonrasında göstermelik önlemler alınır.	Kaza ile ilgili kanunun gerektirdiği şekilde kayıtlar tutulur ve ilgili birimler bu kayıtlardan haberdar edilir. Kalıcı önlemler yerine geçici basit önlemler alınarak kazalar hemen unutulur.	Çalışma ortamında mevcut bulunan tehlike ve riskler belirlenir ve herhangi bir kazaya veya olaya neden olmaması için gerekli tedbirler alınır. Kazadan ders çıkarılarak tekrarlanmaması için çaba gösterilir.	Kazaların olası nedenleri ve ne gibi sonuçlara yol açabileceği uzman bir ekip tarafından araştırılır ve gerekli önlemler alınır. Alınan önlemler tüm işletmeye bildirilir. Güvenlik kültürü en üst seviyededir.
Kaza Sonrası İşletmenin Çıkarımı	Ders çıkarmaya yönelik herhangi bir teşebbüs yoktur. İşletme sadece kendini korumaya odaklanır. Dolayısıyla mevcut durumda bir değişiklik söz konusu olmaz.	Bütün çıkarımlar kazaya yöneliktir. Bu nedenle işletmede küçük çaplı değişiklikler olur ve kazanın tekrar etmesi tam olarak engellenemez.	Kaza çıkarımı tüm işletmeye yayılmaz. Sadece kazayla bağlantılı lokal değişiklikler yapılır.	Güvenlik kültürü işletme için önceliktir. Çalışanların, işletmede değişiklik ihtiyacı doğduğunda bu değişikliklerin belirlenme aşamasında fikirlerine başvurulur. Kaza sonrasında öğrenilenler ilerleyen planlama için kullanılır.	İşletme bütün olan kazalardan ders çıkarır ve bunları durumu iyileştirmek için bir fırsat olarak görür. Kazaların oluşumunu tüm engellemelere karşın kaçınılmaz ise en azından tekrar edilme sıklığını azaltmak hedeflenir.

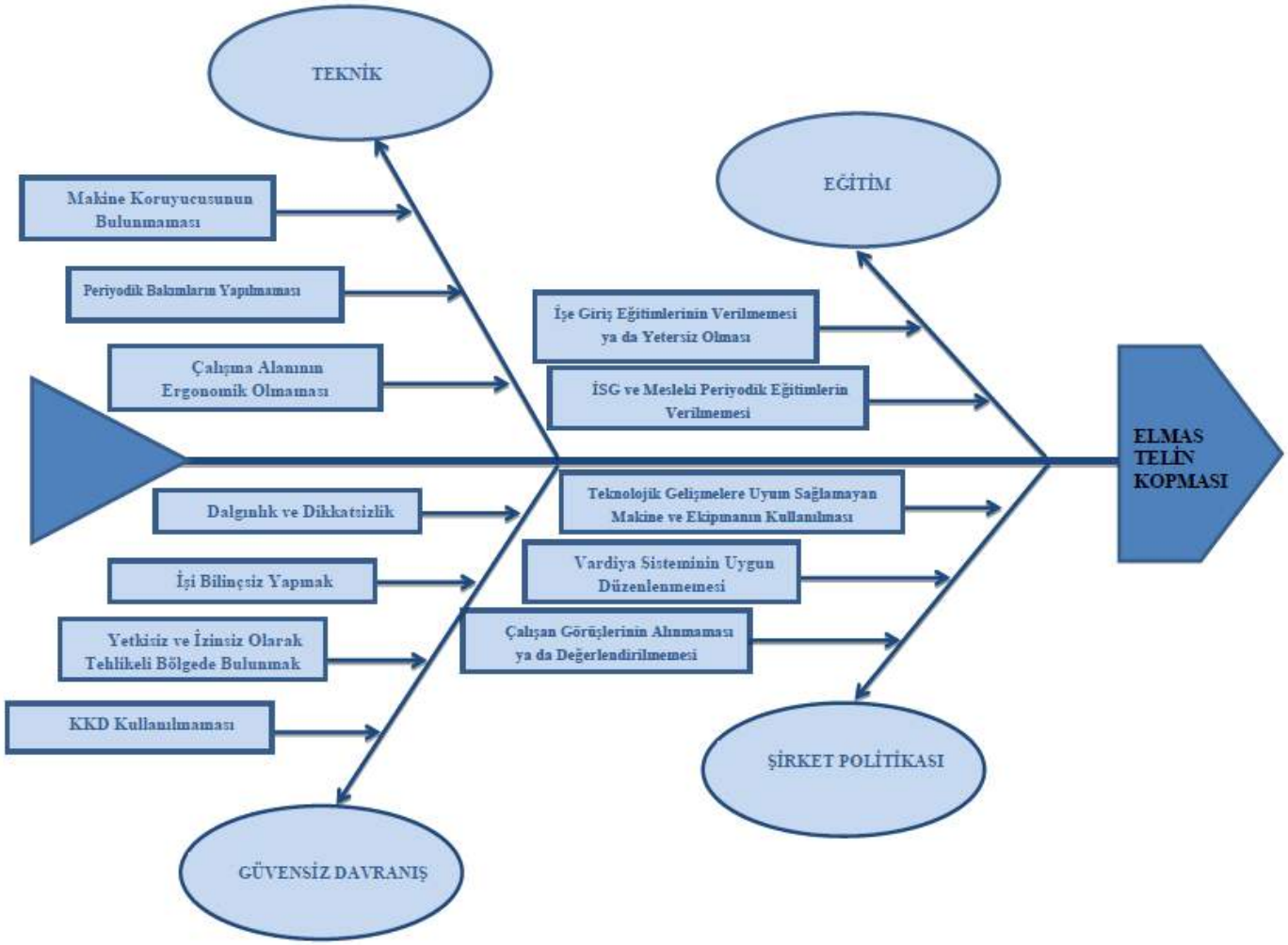
4 KÖK NEDEN ANALİZİ (ROOT CAUSE ANALYSIS) YÖNTEMİ

Kök neden analizi; herhangi bir sorunun nedenlerini bularak bunları ortadan kalıcı olarak kaldırma için "neden" e dayalı analiz biçimidir. Çeşitli kök neden analizi araçları bulunmaktadır. Balık kılçığı (fish bone) veya diğer bir adıyla Ishikawa diyagramı kök neden analizlerinde en fazla kullanılan modelleme şeklidir Sungur ve Şerifoğlu (2007). Sürecin ana elemanları; insan, makine, yöntem, malzeme olabileceği gibi kaza ile ilgili olan diğer temel unsurlar da ele alınabilir.

Bu metot ile tarafsız bir şekilde, suçlu aramadan sorunun temel nedeni ya da nedenleri tespit edilmeye çalışılır. Yapılan analizler sonucunda iyileştirme planlanıp gerçekleştirilmelidir Armada (2014).

İncelenen iş kazasında; mermer ocağında sayalama işlemi yapılırken kullanılan makine telinin kopması sonucunda, serbest kalan elmas boncukların makinenin arkasına park etmiş araca isabet ettiği görülmüştür. Bu kaza balık kılçığı modellemesi ile irdelendiğinde Şekil 2 deki diyagram ortaya çıkmıştır.

Kaza sonrası işletmenin almış olduğu önlemlere bakıldığında; kesme makinesine koruyucu eklenmiş, periyodik bakımların düzeni sağlanmış ve çalışma alanına yetkisiz kişilerin girmesi engellenmiştir. Alınan bu tedbirler işletme tarafından yeterli görülmüş ve diğer sebeplere çözüm getirilmemiştir.



Şekil 2. Balık Kılçığı Diyagramı

5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

MaPSaF rehberi ile işletmenin güvenlik kültürü matrisi beş boyut, beş süreç şeklinde 9 kıdemli çalışan ile yapılan mülakatlarla oluşturulmuş, ardından 14 farklı çalışan ile işletmenin her boyuttaki mevcut seviyesi belirlenmiştir. Tablo 1 den görüleceği üzere boyutların büyük bir bölümünün tepkisel (reaktif) süreçte olduğu ortaya çıkmıştır. Bu süreçte kaza yaşanmadıkça mevcut tehlikeler gündeme gelmemekte, kaza sonrasında göstermelik önlemler alınmaktadır.

Yapılan çalışmada, mermer ocaklarında sıklıkla görülen bu kazanın yaşandığı işletmenin güvenlik kültürü seviyesi MaPSaF rehberi uygulanarak tespit edilmeye çalışılmış ve bu seviyenin doğruluğunun kıyaslanabilmesi için söz konusu kazanın sebepleri kök neden analizi, balık kılçığı yöntemi ile araştırılmıştır.

Ardından aynı işletmede meydana gelen iş kazası incelendiğinde; elmas telin kopması olayının sebebi olarak dört ana neden görülmüştür; teknik, eğitim, güvensiz davranış, şirket politikası. Alınan önlemlere bakıldığında kaza genel olarak teknik bir problem gibi algılanıp, derinlemesine inceleme yapılmadan önlemler alınmıştır. Matristen de görüleceği üzere işletmenin mevcut süreç tanımı ile incelenen kaza için alınan tedbirlere bakış açısının örtüştüğü görülmüştür.

Değerlendirme sonrasında, işletmeye en az teknik önlemler kadar güvensiz davranış, şirket politikası ve eğitim konularının da önem arz ettiği, İSG hedeflerinin bir üst seviye için belirlenip yerine getirilmesi gerektiği konularında önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile sağlık sektörü için hazırlanmış, petrol endüstrisinde de uygulanan rehberin, mermer sektöründe de uygulanabileceği görülmüştür. İşletmelerin en az yılda bir kez güvenlik kültür seviyesini belirlemesi adına bu rehberi tatbik etmelerinin güvenlik kültürü algısının bir üst seviyeye çıkmasında yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Armada Eğitim Danışmanlık Münedislik , Kök Neden Analizi (Root Cause Analysis) Nedir?, Erişim Tarihi: 12.10.2014 URL:http://www.seveso2.com/index.php/2014-04-12-09-33-17/risk-degerlendirme/rca.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İSGGM, (1), 2011. Meslek Hastalıkları Rehberi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, (11 s.).

Gümüş, A, Akkoyun, Ö, 2006. Mermer Ocak İşletmeciliğinde Sık Karşılaşılan İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme Mersem 2006, Türkiye Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyon.

Gürcan T, 2014. Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi, Erişim Tarihi: 05.12.2014, URL: http://www.evrimagaci.org/fotograf/73/4816.

National Patient Safety Agency, 2006. Manchester Patient Safety Framework (MaPSaF), The University of Manchester.

Parker, D, Lawrie, M, Hudson, P, 2006. A Framework for Understanding the Development of Organisational Safety Culture, Safety Science, 44, (552 s.).

Safety and Health Commission For The Mining and Other Extractive Industries, 1999. Guidance For Carrying Out Risk Assessment at Surface Mining Operations, Erişim Tarihi: 12.11.2014 URL: http://www.hse.gov.uk/quarries/q-risk.pdf.

Sungur, E, Şerifoğlu, U K, 2007. İşletmelerde Sağlık ve Güvenlik Kültürünün Oluşturulması Tepe Yönetimin Rolü ve Kurum İçi İletişim Olanaklarının Kullanımı, Yönetim, 58, (s. 41-42).

Şeker, S E, 2014. Dijitalleşme, YBS Ansiklopedi, 1(1), (s. 6-8).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Web Sitesi, Erişim Tarihi: 03.02.2014, URL: www.enerji.gov.tr/tr/inc_mermer.php.

Urhan S, Şişman N, 1999. Blok Mermer Üretiminde Elmaslı Tel Kesme Kullanımı, Uygulaması ve Kesme Veriminin Optimizasyonu, Madencilik, 32 3-4, (s. 23-30).

Cenne Kömür İşletmeleri Tahlisiye Merkezi ve Eğitim Çalışmaları

The Rescue Center and Training Activities in Cenne Lignite Corporation

A. H. Özdeniz
S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden mühendisliği Bölümü, 42079 Konya

S. Alemdar
Cenne Kömür İşletmesi, Ermenek, Karaman

ÖZET Açık ocak ve yeraltı işletmelerinde çalışanlar, işçi sağlığı ve güvenliği yönünden birçok tehlikelere maruz kalmaktadırlar. Yeraltı ocaklarındaki tehlikeler; yangın, su basması, göçük, zehirleyici ve boğucu gazlara maruz kalınması şeklinde olabilir. Çalışanların bu tür tehlikelere karşı kendilerini koruyabilmeleri ve önlem alabilmeleri için birtakım eğitimler almaları gerekmektedir. Bu çalışmada, Cenne Kömür İşletmesi Tahlisiye Merkezi faaliyetleri ve bu faaliyetlerde kullanılan cihazlar tanıtılıp, eğitim çalışmaları, ekiplerin oluşturulması ve yetiştirilmesi konularında bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tahlisiye, ocak atmosferi, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT Working in open and underground mines are exposed to many dangers in terms of occupational health and safety. These hazards; fire, flooding, exposure to toxic and suffocating gases, etc. may be. Employees are required to take in order to get some training and precautions can protect themselves against such hazards. In this study, Cenne Lignite Corporation rescue center and the apparatus used have been described and information concerning the formation and training of teams have been given.

Keywords: Rescue, atmosphere underground mines, occupational health and safety

1 GİRİŞ

Yeraltı maden ocaklarında yapılan hazırlık ve üretim çalışmalarında gerekli olan iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınması son derece önemlidir. Gerekli her türlü tedbir alınmasına rağmen, hala birçok işletmelerde iş kazaları olmaktadır. Yangın, gaz seviyelerinin artması, göçük ve su baskını gibi tehlikeli olaylar, iş kazalarında can ve mal kaybına yol açmaktadır. Bunun en son örnekleri Soma ve Ermenek felaketleridir. Bu tür kaza olaylarında yapılacak kurtarma çalışmalarının başarılı olması için, maden ocaklarında bir tahlisiye merkezinin bulunması önem kazanmaktadır. Ayrıca bu yasal bir zorunluluktur.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği gereğince, Ermenek'te bulunan Cenne Kömür İşletmesi(CKİ) bir Tahlisiye Merkezi kurmuştur (Resim 1).

Resim 1. Cenne tahlisiye istasyonu

Tahlisiye merkezi, Cenne Kömür İşletmesinin içinde kurulmuş olup, CKİ 'ne bağlı diğer işletmelerin de ihtiyacı olan tahlisiye ekiplerinin yetiştirilmesine yönelik eğitim çalışmaları yapmaktadır. O bölgede kendisine bağlı 4 adet daha işletme vardır. Ayrıca Cenne sahası dışında olan, fakat yakınlardaki 4 adet maden ocakları da tahlisiye hizmetlerinden faydalanmaktadır.

2 TAHLİSİYE MERKEZİ

CKİ ruhsat sahası içinde kurulan Tahlisiye Merkezi aşağıda verilen birimlerden oluşmaktadır.

- Cihazların bulunduğu yer,
- -Tamir ve bakım odası,
- -İdareci odası,
- - Oksijen tüpü doldurma odası,
- - Cihaz temizleme odası,
- - Soyunma odaları, wc, banyo,

Cki tahlisiye istasyonunda Polonya'nın Faser firmasına ait, 10 adet W2000 model kapalı devre solunum cihazları, buna bağlı yedek parça ve ekipmanları ve ayrıca oksijen dolumunun yapılabilmesi için 1 adet 5'li oksijen dolum tulumbası mevcuttur.

8 adet ekipten oluşan tahlisiye organizasyonu için gerekli koruyucu malzeme ve teçhizatların cinsi ve miktarları Çizelge 1 'de, cihazların genel görünümü ise Resim 2'de verilmektedir.

Resim 2. Cihaz odası

Çizelge 1. Mevcut Malzeme ve Teçhizatlar

TEÇHİZAT	ADET
Oksijen solunum cihazı(W-2000 marka)	10
Yüz maskesi	16
Solunum cihazı test aleti	1
Oksijen tüpü doldurma tulumbası ve kontrol panosu	1
Yedek oksijen tüpü	6
Oksijen dolum tüpü	5
Gaz ölçüm cihazları	12
Yedek malzemeler	Yeteri kadar
Yangınla mücadele için gerekli malzeme	Yeteri kadar
Battaniye, ilkyardım çantası, sedye____	Yeteri kadar

İşletme Müdürlüğü'ne bağlı olarak çalışan Tahlisiye Merkezi'nde görev dağılımı yapılmıştır. Yapılan bu dağılım, Çizelge 2' de verilmektedir. Muhtemel olabilecek tehlikeli durumlarda ve mevcut bir iş kazası olayında, mevcut durum tahlisiye istasyonuna bildirilir. İstasyon sorumlusu, cihaz bakımcısı, cihaz ve ekipmanların test ve çalışabilirliğini kontrol ettikten sonra, lazım olabilecek her türlü yedek parça ve ekipmanı alarak, tahlisiye aracına da yükleyerek, mümkün olan en kısa sürede olay yerine hareket edecek şekilde hazırlıklarını yapmaktadırlar. Eğitim gereği olay yerine giderken aynı zamanda da mevcut durum hakkında tahlisiye yöneticisi ve şirket yöneticileri de haberdar edilmektedir.

Çizelge 2. Tahlisiye merkezinde görev dağılımı

GÖREVİ ÜNVANI	SAYISI
Tahlisiye yöneticisi (Maden Müh)	1
Tahlisiye sorumlusu (Maden Teknikeri)	1
Cihaz bakımcı tekniker	1
Cihaz bakımcı teknisyen	1
Cihaz bakımcı İşçiler	3
Ekip Seti (Teknik Eleman)	6
Kurtarıcı (İşçi)	112

Tahlisiye istasyonunda yapılan tatbikat ve eğitimlerden bir örnek Resim 3'te gösterilmektedir. Tahlisiye eğitimi alan personel, eğitimden sonra cihaz kuşandırılarak tatbikat yaptırılarak ve mümkün olabilecek olaylarda hazır olmaları sağlanmaktadır.

Resim 3. Eğitim sırasından bir enstantane

Yönetmelik gereği tahlisiyeci (kurtarıcı) yetiştirilmek üzere seçilen işçi ve teknik elemanların bu görevi yapabilmeleri için sağlıklı olmaları gerekmektedir. Bu nedenle, işçilerin tam teşekküllü bir hastanede sağlık muayenesinden geçirilmeleri gerekmektedir. Tahlisiyeci adaylarının bu görevi yapmaya mani bir rahatsızlığı yoksa eğitimlere kabul edilirler. Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) beden gücü yönetmeliğini göre tahlisiyeci olacaklarda şu şartlar aranır:

1. Yaş:

İlk kez Üretim Nezaretçisi Tahlisiyeci olacaklar, 40 veya daha küçük yaşta olmalıdır.

2. Görme:

a) Çıplak görme; Bilateral 8/10'dan aşağı olmamalıdır.
b) Periferik Görme tam olmalıdır. Daltonizm, Diplopi, Nistagmus-Strabismus, Anopsi, vs.Ektropiyon–Entropiyon ve gece körlüğü olmamalıdır.

3. İşitme:

a) İnternal ve/veya eksternal cihazı kullanılmadan; her iki kulakta işitme; konuşma frekanslarında (500–1000–2000 Hz.) Ortalama 30Db (A) ve daha küçük şiddetlerde olmalıdır.
b) Tinnitus, Vertigo gibi, denge ve dikkat üzerine olumsuz etkisi olan arızaları olmamalıdır.

4. Hareket Sistemi:

a) Baş iskeletinde baret giymeye engel olacak veya baret giyildiğinde dahi tam korunamayacak, kemik defemti veya çıkıntıları olmamalıdır.
b) Üst ve alt Ekstremite büyük eklemlerinde; kısmi dahi olsa fonksiyon kısıtlılığı yapmış; Kırık, Kollajen doku hastalığı, Lüksasyon, yumuşak doku yırtılma veya zedelenmesi gibi olaylara bağlı sekel olmamalıdır.
c) Bir veya iki elde 1. ve 2. parmaklar tam sağlamken, diğer parmaklarda tek veya multiple, Distal Falanks Ankilozu veya Kısmı Ampütasyonu dışında noksanlık olmamalıdır.
d) Uzun kemiklerin ve Pelvis kemiklerinin kırık vs. sonucu hafif Malunionla kaynaşmış hallerinde yürüyüş ve postür bozukluğu ve 3 cm'den fazla kısalık olmamalıdır.
e) Herhangi bir nedenle oluşmuş Stabil dahi olsa 7 cm'den fazla Adele Atrofisi olmamalıdır.
f) Toraks Kemiklerinin, Travmatik ve/veya doğumdan, Restriktif ve/veya Obstrüktif SFT bozukluğu yapmış patolojisi olmamalıdır.
g) Kolumna Vertebralisin; Kemik, Kıkırdak ve disklerinin süregen ve/veya opere HNP (disk hernisi), kırık, ankiloz, spondilo lizis veya liztezis gibi Patolojileri olmamalıdır.

5. Genel Cerrahi:

a)Apandektomi, Kolesistektomi, Tiroidektomi, İnguinal Herni operasyonları, Anal fissür, Fistül Pylonidal sinüs ve Rektal polip operasyonları dışında, iç organ hastalık veya noksanlığı olmamalıdır.
b) Varisektomi ile tedavisi yapılmışlar dışında, Arteriel ve/veya Venöz hastalığı olmamalıdır.

6. Dâhiliye:

a) Diğer sistemleri etkilememiş olup tedavisi mümkün Endokrinopatiler dışında endokrin bozukluğu olmamalıdır.
b) Fonksiyonel Corbovis, Paroksismal Taşikardi (PAT), fizyolojik suft dışında kardiolajik patolojileri olmamalıdır.
c) 100/60 mmHg'dan aşağı Hipotansif ve 150/90 mmHg'dan yukarı Hipertansif olmamalıdır.
d) Tedavi ile iyileşmiş GİS Ülserleri ve Kolitler dışında GİS hastalığı olmamalıdır.
e) Sisürit dışında Parankim lezyonu, solunum fonksiyonlarını etkilememiş tedavisi tamamlanmış, Sedim 20 mm'den az Plevral veya Pulmoner hastalıklar dışında Akciğer hastalığı ve herhangi bir kategoride mesleki Pneumokonyaz olmamalıdır.
f) Vücut kitle indeksi (BMI) = 18-32 arasında olmalıdır.
g) Tam şifa bulmuş Nefropatiler, Üreter ve Mesane hastalıkları, Epispadias-Hipospadias Ürolitiazis, Testis Atrofisi, BPH, Varikosel – Hidrosel ve Epididimitler dışında Uro-Genital Sistem hastalığı olmamalıdır.

7. Nöro-Psikiyatrik Sistem:

a) Merkezi veya Periferik sinir sistemi ile ilgili Nörolojik ve/veya Psikiyatrik Sekel bırakan hastalık geçirilmiş olmamalı. IQ > 60 olmalıdır.
b) Epilepsi, Psikoz, Nöroz, Psikonöroz, Toksikomani, Psikopati ve Madde Bağımlılığı gibi Psikiyatrik Hastalık olmamalıdır.

8. Tedavisi yapılmış veya konuşma ve solunum güçlüğüne yol açmayan Sinüzitler, Larinks ve Nazofarenks hastalıkları ve septum Deviasyonları dışında burun ve boğaz Patolojileri olmamalıdır.
9. Nevüsler, hafif ve Epiderm işle ilgili Nedbe ve keloidler, yüzeysel Mikozlar Lokal atrofiler, Liken Planus ve Vitiligo dışında deri hastalığı olmamalıdır.

Tahlisiyeci adaylarına 2 tür eğitim verilmektedir. Birincisi, hiç eğitim almamış tahlisiyeci adaylarına, 1 hafta (40 saat) verilen ilk eğitimdir. Sabah verilen 4 saatlik eğitim şunlardan oluşmaktadır:

1. Ocak gazları, özellikleri ve tespit edilmeleri ile ilgili bilgi tekrarları.
2. Kurtarıcıların müdahalesini gerektiren olaylarda hareket tarzları. Geçici istasyonlarda alınacak tedbirler ve kurtarıcıların çalışma usulleri. Kurtarıcıların karşılaştıkları olayların incelenmesi.
3. Oksijen solunumlu suni teneffüs cihazının, parçaları, kullanılması, bakımı ve ekip hazırlığı üzerine bilgi tekrarı. Cihazın kullanılması yedek vana vs.
4. Suni ocakta dumanlı ortamda cihaz kullanma tatbikatı.

Öğleden sonra verilen 4 saatlik eğitim ise şunlardan oluşmaktadır:

1-Tatbikat sonrası cihazların sökülmesi, temizlenmesi, dezenfekte edilmesi, oksijen tüpü ve soda lime değiştirilerek cihazın yeniden hazırlaması.
2-Kurtarıcılar tarafından sorulacak soruların cevaplandırılması. Kurtarma tekrarlama kurslarına katılanlar ve değerlendirme sonuçları belgelerine yazılır. İş yerine bildirilir.

İkinci tür verilen eğitim ise daha önce eğitim almış personele yılda en az bir kez verilen, 1 gün (8 saat) tekamül (tekrar) eğitimidir (Çizelge 3). Her ikisinin de programı ve anlatılan konular tabloda mevcuttur.

Çizelge 3. Tekrar eğitim proğramı.

	Sabah (4 saat);	***Öğleden sonra(4 saat)***
1.Gün	1- Yoklama ve şahıslar hakkında bilgi. 2- Kurtarıcılığın tarifi ve görevi 3- Kurtarma cihazının ve ana parçalarının tanıtılması, işlevlerinin anlatılması. Oksijen tüpü, soda lime, redüksiyon ventil, nefes torbası, nefes hortumları, manometre ve takviye düğmesi tek tek gösterilerek tanıtılacak ve işlevleri anlatılır (Resim 4).	1-Bir veya birkaç öğretmen nezaretinde her kurtarıcı tarafından cihazın sökülmesi, takılması ve muayenesi en az iki defa tekrarlanır
2.Gün	1-Ocak gazları, özellikleri, tespit edilmeleri ve ocak yangınları hakkında bilgi verilecektir. 2- Yangınla mücadele ve yangın barajları, kil, beton ve şok baraj yapımı, baraj yapılmasında sızdırmazlığın önemi anlatılacaktır.	1- Kurtarma ekiplerinin hazırlanması 2-Olaylara müdahale etmek. 3- Gidiş ve dönüş zamanlarının ayarlanması. 4- Kullanılan işaretleşmeler.
3.Gün	1-Cihaz arızaları ve alınacak önlemler. 2-Kurtarma ekibinin cihaz kuşanması (Resim 5). 3- Açık havada en az 10 dakika çalıştırılacak. 4- Eğitim ocağında cihaz kullanım süresi kadar uygulama.(Rahatsızlananlar istirahate alınıp dinlendirilir, rahatsızlığı devam edenler kurtarıcı olamazlar (Resim 6).	1-Uygulama sonucu cihazın kursiyerlerce sökülüp temizlenmesi, dezenfekte edilmesi ve oksijen tüpü ve soda lime değiştirilerek yeniden monte ettirilmesi. 2- Montajı yapılan cihazların, test ve kontrolu (öğretmenler tarafından) yapılır.
4.Gün	1-Kapalı bir alanda teneffüs edilemeyecek bir gazlı ortamda, kursiyerlere cihaz taktırılarak tatbikat yaptırılacaktır. 2-Duman içinde zor şartlarda ekibin çalışması izlenecektir. (Rahatsızlananlar istirahate alınıp dinlendirilir, rahatsızlığı devam edenler kurtarıcı olamazlar.)	1-Tatbikat sonrası cihazlar sökülerek temizlenip bakımı yapılarak yeniden monte edilecektir.
5.Gün	1-Eğitim alan tahlisiye ekiplerinin anlayamadığı yada sormak istediği sorular karşılıklı soru cevap şeklinde cevaplandırılır.	1-Tahlisiye eğitimi alan personele eğitimle ilgili yazılı imtihan yapılır. Yazılı imtihanı geçen her adaya, İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı tarafından kurtarıcı ehliyeti verilir.

Resim 4. Cihaz İç Parçaları

Resim 5. Sedye kullanımı tatbikatı

Resim 6. Cihaz Kuşanılması

2.1 EKİPLERİN OLUŞTURULMASI

Tahlisiye ekipleri en az üç en fazla altı kişiden oluşmaktadır. Ekip başı, teknik eleman ya da nezaretçi, yardımcısı ise işçiden meydana gelmektedir. Ekip içerisinde ekip şefi, ekip şef yardımcısı ve kurtarıcılar bulunur. Ekip şefi ekibin başında, ekip şef yardımcısı ise ekibin sonunda durarak birlikte ekibin koordinasyonunu sağlarlar. Ekip üyelerinin haberleşmesi birtakım sesli ışıklı işaretlerle olur. Kurtarıcılar olaylara giderken tam

tekmil cihaz ve teçhizatlarını kuşanıp kontrol ve testlerini yapmalıdırlar. Kurtarıcının kuşandığı cihaz ve teçhizatlar şunlardır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kurtarıcının Kullandığı Cihaz ve Teçhizatlar

CİHAZ VE TEÇHİZATIN İSMİ	ADET
Oksijen solunum cihazı (W-2000)	1
Yüz maskesi	1
Ekip şefi çantası	1
Takım çantası	1
Tahlisiye bakımcı çantası	1
Gaz ölçüm cihazı	1
Yedek tüp ve ekipmanlar	Yeteri kadar

Olaylara müdahalede ekip şefinin kritik bir konumu vardır. Kurtarma çalışmalarını koordine eden ve ekibe yön veren ekip şefleridir. Bu nedenle ekip şefleri gerekli olacak tüm malzemeleri yanında bulundurmalıdır. Kurtarma çalışmalarında ihtiyacı olan malzemeler, ekip şefi çantasına yerleştirilir. Çantada şu malzemeler bulunur. Anahtar, metre, bant bıçağı, cep saati, gaz tüplerine uygun malzeme, sayaç, defter ve kalem, tebeşir, gazlı bez paketi ve gaz ölçüm aletleri kullanma talimatıdır.

Ekip şefi olayın her aşamasında kurtarma operasyonuna hakim ve ekip üyelerini yönlendirici olmalıdır. Dolayısıyla bu konuda eğitim almış teknik eleman, nezaretçi ya da şeflerin ekip şefi olmaları olayın gidişatı bakımından önemlidir(Alemdar, 2014).

Her ekibin çalışmaları için gerekli malzemeler takım çantasına yerleştirilir. Takım çantası ekip ve kurtarma işlemi için hayati önem taşımaktadır. Olayda hali hazırda olabilecek tüm aksilikler için takım çantasına çeşitli el aletleri ve ekipmanlar yerleştirilmelidir. Takım çantasında olması gerekenler ise şunlardır: Gerekli çeşitlerde düz ve yıldız anahtarlar, keski, boru pençesi, demir testere ve yedeği, mevcut boru çaplarına uygun keçeler, cıvata, metre, çivi ve çeşitli ebatlarda çekiçlerden oluşmaktadır. Ayrıca her ekibin en az 1 cihaz bakımcısı olmak zorundadır. Cihaz bakımcılar kurtarma operasyonlarında kilit roldedir. Cihazların sökülüp takılması, bakımlarının ve testlerinin yapılması, cihaz bakımcının sorumluluğundadır. Cihaz bakımcıların da mevcut arıza ve olumsuzluklara karşı hazırlıklı olmalı ve buna mukabil malzemeleri takım çantası ile birlikte yanında bulundurması gerekmektedir. Cihaz bakımcının takım çantasında bulundurması gerekenler Çizelge 5'da belirtilmiştir.

Çizelge 5. Cihaz Bakımcı Takım Çantasında Bulunan Malzemeler

MALZEMENİN İSMİ	ADET
Keçeler	Gerekli çeşitlerde
Yüz maskesi silme sıvısı	1 Şişe
Cihaz anahtarları	1 Takım
Bıçak	Gerekli çeşitlerde
Tornavida	Gerekli çeşitlerde
Pense	1
Cihaz bakım izahatı	1
Temizlik bezleri	5
Not defteri ve kalem	1
Saat (kronometreli)	1
O_2 tüpü ölçüm manometresi	1
Tebeşir ve çivi	1

Beş günlük bilgi ve beceri eğitimi sonunda kurtarıcı adayları toplam 20-25 kg ağırlığındaki teçhizatı kuşanarak, kömür ocağında uygulamaya katılırlar. Kömür ocağındaki tatbikatta gerçek bir olayda önlerine çıkabilecek olası tehlikeleri birebir görerek olaylarda nasıl hareket edilmesi gerektiği hakkında tecrübe sahibi olurlar(Aydın, 2013).

İşçilere eğitim uygulaması yaptırılmasının amacı, kurtarıcının cihaza uyum, güç ve kondisyon değerlendirilmesidir. 120 dakika süren uygulamada ocak içerisindeki tatbikat eğitiminden sonra, açık arazide ocakların etrafında 2 tur attırılmaktadır (Resim 7). Bu eğitimler aynı zamanda kimin ne kadar hazır olduğunun da bir göstergesidir. Tatbikat esnasında ekip üyeleri gözetmenler tarafından gözlenir ve durumları ile ilgili not tutulur. Bu notlardaki bilgiler değerlendirilerek başarı gösterenlere ve eğitim sonunda yapılan sözlü sınavda başarılı olanlara TTK Merkez Tahlisiye İstasyonu tarafından tahlisiyeci karnesi verilmektedir. Karnede kişilerin kimlik bilgileri, çalıştığı kurum, eğitimin çeşidi, eğitim tarihi ve eğitimin geçerlilik süresi

gibi bilgiler verimektedir. Karneler eğitici mühendisler tarafından imzalanır ve kaşelenirler.

Resim 7. Kondisyon Ölçme Tatbikatı

9. SONUÇLAR

Madencilik sektörü Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığınca çok tehlikeli sektörlerin başında ilan edilmiştir. Ülkemizde Maden, İnşaat gibi tehlikelerin çok yaşandığı işletmeler iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine çok önem vermelidirler. Özellikle yeraltı ocaklarında iş kazaları sonucu, çalışanları kurtarmak için yapılan çalışmalar çok önemlidir. Herhangi bir kaza gelmeden, çalışanlara kurtarma eğitimlerinin verilmesi gerekmektedir.

Cenne Kömür İşletmesine ait Tahlisiye İstasyonu Cenne ruhsatlı kömür sahasında mevcut ocaklarına ve civar sahalara, iş kazası durumunda hizmet vermek üzere planlanmıştır. Cenne sahasındaki kurtarıcı eğitimi almış personel, yıl içinde en az bir kere olmak üzere Türkiye Taş Kömürlerine ait Merkez Tahlisiye İstasyonu yetkilileri tarafından Ermenek'te eğitimler verilmektedir. 2012 yılında 109 kişi, 2013 yılında 125 kişi ve 2014 yılında 116 kişi TTK tarafından tahlisiye eğitimleri almıştır. Yapılan bu eğitimler ve eğitim alan personel listesi, her bir işletmeye ait dosyalarda muhafaza edilmekte ve her yıl güncellenmektedir. Ayrıca eğitimler ve eğitim alan personel listesi düzenli olarak her yıl AFAD Karaman şubesi ve onların vasıtasıyla Başbakanlık Afet ve Koordinasyon Merkezi'ne bildirilmektedir. Ocaklarda olan olaylar anlık olarak AFAD yetkilileri ile paylaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Alemdar, S., 2014, CKİ Tahlisiye eğitim dokümanları.

Aydın, R., 2013, TTK Eğitim dokümanları.

Maden işyerlerinde iş sağlığı ve Güvenliği yönetmeliği, 19.09.2013 tarihli ve 28770 sayılı Resmi Gazete.

Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) Beden Gücü Yönetmeliği, 2007, Zonguldak.

Elmeri Yönteminin Mermer Fabrikalarında Uygulanabilirliği
Applicability of Marble Factory Method of Elmer

H. Sarıkaya
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksek Okulu, Uşak

R. Altındağ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Türkiye'de, sanayileşme ve teknolojik ilerlemeye paralel olarak, işyerlerindeki çalışanların güvenliği ile ilgili ortak sorunlar gündeme gelmeye başlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte çalışanlar, daha önce karşılaşmadıkları yeni risk ve tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. Başlangıçta fazla önemsenmeyen bu sorunların işletmelerin çalışmasını tehlikeye sokması ve iş verimini olumsuz etkilemesi sonucu, sağlık ve güvenlikle ilgili tedbirlerin alınması gündeme gelmiştir. Her geçen gün iş kazalarıyla maddi ve manevi kayıpların büyük boyutlara ulaşması, konunun önemini daha da arttırmaktadır. Bu çalışmanın amacı; Aydın ilindeki büyük ölçekli bir mermer fabrikasında iş güvenliği açısından ortaya çıkabilecek tehlike ve riskleri analiz ederek bunları kabul edilebilir düzeylerde tutabilmek için alınması gereken önlemleri belirlenmesinde Proaktif gözlem (Elmeri) uygulanarak işletmenin, genel güvenlik endeksi bulunmuş, Fabrikanın iş güvenliği kapsamında genel durumu belirlenmiş, tespit edilen eksiklikler konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Elmer yöntemi, mermer

ABSTRACT In Turkey, in connection with the industrialization and technological development, common problems about the workers' security in workplaces have started to become a current issue. With the developing technology, the workers face some new risks and dangers they haven't met before. Those problems weren't considered important at the very beginning. Because their endangering the work of business enterprise and affecting the efficiency of work negatively, the precautions to be taken about health and security have become a current issue. Because of the work related accidents, material and psychological loss has reached to great amounts day by day and this increases the importance of the subject. The purpose of this study Proactive monitoring to determine large-scale marble factory in the occupational hazards that may arise in terms of security and risk analysis by measures to be taken in order to keep the level which is acceptable in Aydın (Elmer) by applying the business, found the overall security index, Determined under the general condition of the plant's safety, suggestions have been made about the deficiencies identified.

Keywords: Elmer method, marble

1 GİRİŞ

Dünyada (İSG) iş sağlığı ve güvenliği, hastalığın daha evrensel olması ve iş kazalarını yapılan işin gereği olarak kabul edip hafife alınması nedenleriyle hastalıklara duyulan ilginin geçmişi daha eskidir. Meslek hastalıklarına olan ilgi, antik Yunan'dan başlar. Hipokrat (MÖ 460-370) madenlerdeki kurşun zehirlenmesi üzerinde durmuş ve Romalı Pliny (MS 23-77) kurşun ve kükürdün zehirli etkilerini ele alarak, ilk kişisel korunma aracı olan deri maskeleri yapmıştır. MS 2. yüzyılda, Yunanlı doktor

Galen kurşun zehirlenmelerinin patolojisini ve bakır ocaklarındaki asit buharlarının zararlarını incelemiştir (Çetindağ, 2013).

Türkiye'de, sanayileşme ve teknolojik ilerlemeye paralel olarak, işyerlerindeki çalışanların güvenliği ile ilgili ortak sorunlar gündeme gelmeye başlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte çalışanlar, daha önce karşılaşmadıkları yeni risk ve tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. Başlangıçta fazla önemsenmeyen bu sorunların işletmelerin çalışmasını tehlikeye sokması ve iş verimini olumsuz etkilemesi sonucu, sağlık ve güvenlikle ilgili tedbirlerin alınması gündeme gelmiştir. Her geçen gün iş kazalarıyla maddi ve manevi kayıpların büyük boyutlara ulaşması, iş sağlığı ve güvenliğinin önemini daha da arttırmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği konusu tüm dünyada önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Her yıl azımsanmayacak sayıda insan çok rahatlıkla engellenebilecek ve hukuken de engellenmesi zorunlu olan iş kazaları ve meslek hastalıklarından yaşamını yitirmekte veya engelli hale gelmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)' nun 2009 yılı açıklamalarına göre dünyada her yıl yaklaşık 2 milyon 300 bin insan iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle yaşamını yitirmektedir. Dünyada her yıl 270 milyon iş kazası gerçekleşmekte ve 160 milyon insanda çalışmadan kaynaklı hastalık meydana gelmektedir (TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2010).

2012 yılında meydana gelen iş kazlarından 9.209'u (%12,3) inşaat sektöründe meydana gelirken, 8.828′si (%11.79) kömür madenciliğinde, 7.045'i metal ürünleri imalatında meydana gelmiştir (SGK, 2012).

Türkiye'de her saat 80 iş kazası oluyor. Yılda 706 bin işçi ise iş kazası gerçeği ile yüzleşiyor (TÜİK 2013). Her on iş kazasından yalnızca bir tanesi SGK kayıtlarına yansıyor. Son yayınlanan SGK istatistiklerinde 2012 yılı için iş kazası sayısı sadece 74 bin 871 iken TÜİK 2013 verilerine göre bu rakam 706 bin olarak görülüyor (SGK 2012, TÜİK 2013). İki veri arasında zamansal uyumsuzluk bulunsa da aradaki devasa fark kayıt dışı iş kazalarının ne kadar yüksek olduğunu ortaya koyuyor.

TÜİK verilerine göre iş kazalarının sayısı SGK verilerinin yaklaşık 9,5 katı. Aynı veriye göre her 100 kayıtlı iş kazasının yaklaşık 1'i ölümlü olarak gerçekleşiyor. Söz konusu oran TÜİK verilerine yansıtıldığında 2002 yılı için iş cinayetinde kaybettiklerimizin sayısı 7 bine ulaşıyor. Buna göre her gün 20, yaklaşık her saat bir işçi hayatını kaybediyor. 2002-2005 yıllarında ortalama kayıtlı iş cinayeti sayısı 898 iken 2006-2012 yıllarında bu sayı 3'te 1 oranında artarak 1223'e ulaşmıştır. Her üç kayıtlı iş cinayetine bir yenisi eklenmiş durumda (TBMM 2012, SGK 2012).

Günümüzde bir bilim dalı haline gelen is sağlığı ve güvenliği, üretim sürecindeki ve toplum yaşamındaki değişimlere bağlı olarak gelişim göstermiştir. İnsanlığın doğa ile savaşı ile başlayan ve değişik aşamalardan geçen çalışma yaşamındaki gelişmeler, iş sağlığı ve güvenliği sorunlarının da gündeme gelmesine yol açmıştır. Üretim araçlarında ve üretim yöntemlerindeki değişim ve dönüşümler sonucunda çalışanların sağlık ve güvenlik sorunları da çoğalmış ve giderek önem kazanmaya başlamıştır (Fişek, 1999).

Bir toplumda gerçek anlamda iş güvenliğinin sağlanabilmesi için her şeyden önce iş güvenliği bilincinin oluşması gerekir. Anayasada, yasalarda ve tüm iş güvenliği mevzuatında getirilen hukuki güvence mekanizmaları ne kadar iyi düzenlenmiş olurlarsa olsunlar, ilgili tüm çevre ve kişilerde bu güvenceleri korumak ve işletmek konusunda yeterli bir bilinç oluşturulamamışsa, kâğıt üzerindeki temennilerden başka bir anlam taşımazlar. O halde, gerçek güvence bu konuda tüm ilgililerde bir istek ve inanç yaratılabilmesinde saklıdır (Sarıkaya, 2014).

Son yıllarda doğal taş sektöründe ihracatta büyük bir gelişim kaydeden, mermer ocak işletmeciliği ve mermer üretim fabrikaları ülkemizde ön sıralarda yer almaktadır. Madencilik faaliyetlerinin çoğunun insan gücüne dayanarak yapıldığı bu alanların iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenli hale getirilebilmesi için kazalar

olmadan risk analizi yapmak, gerek çalışan sağlığı gerekse işveren açısından büyük önem arz etmektedir (Sarıkaya, 2014).

Bu çaılşma aydın ilindeki büyük ölçekli bir mermer fabrikasındaki üretim makineleri için uygulanan risk değerlendirme metodu dışında proaktif izleme (Elmeri) yöntemi de uygulanarak işletmenin genel güvenlik endeksi hesaplanmış, iş güvenliği kapsamında işletmenin genel durumu belirlenmiştir.

Elmeri yöntemi 1990' larda Finlandiya'da geliştirilmiş olup imalat sanayinin farklı sektörlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Elmeri imalat sanayii için güvenilir bir iş sağlığı ve güvenliği izleme aracıdır. Sanayii sektöründeki, her büyüklükteki, her türlü işyeri için kullanması kolay ve hızlı bir araçtır. Bu yöntem atölyedeki koşulların gözlemini esas almaktadır. Gözlemi yapılan unsurlar, kişisel koruyucu donanımların kullanımı, temizlik ve düzen, makine güvenliği, endüstriyel hijyen ve ergonomi gibi iş sağlığı ve güvenliği konuların tamamını içermektedir (Laitinen vd., 2011).

Yöntem uygulanırken, herbir atölyedeki ya da gözlem için seçilen diğer alanlardaki tüm unsurlar gözlemlenir. Gözlemlenen unsurlar ya "doğru" ya da "yanlış" olarak değerlendirilir. Gözlemlenen unsurun yasaların ve Elmeri gözlem kurallarının iyi işyeri uygulamaları olarak belirlediği asgari iş güvenliği koşullarını karşılaması durumunda bu unsur "doğru" olarak değerlendirilir; aksi takdirde "yanlış" olarak değerlendirilir (Laitinen vd., 2011).

Eğer izleme turu esnasında puanlanamayan bir unsur varsa ya da gözlemci herhangi bir unsuru nasıl puanlayacağı konusunda emin olamıyorsa, "gözlem yapılmadı" diye belirtilir. Endüstriyel hijyen ölçümleri gibi özel tetkikler gerektiren kimi durumlarda değerlendirme yapılmadan önce ihtiyaç duyulabilir (Laitinen vd., 2011).

Elmeri yöntemi, işyerinin mevcut iş güvenliği standardını göstererek bir güvenlik endeksi oluşturur. Güvenlik endeksi % 0 ila 100 arasında değişebilir. Örneğin %60'lık bir endeks; gözlenen her 100 unsurdan 60'ı iş güvenliği standartları ve iyi işyeri uygulamalarıyla uyum içinde olduğu anlamına gelmektedir. Elmeri endeksi olumlu geribildirim verir ve gelecekte iş güvenliğiyle ilgili atılacak adımları teşvik eder (Laitinen vd., 2011). Elmeri güvenlik endeksi, seçilen tüm gözlem alanlarında gözlemlerin tamamlanmasının ardından hesaplanabilir. Güvenlik endeksi doğru unsurların, gözlemlenen tüm unsurlara yüzde olarak oranı şeklinde hesaplanır.

$$\text{Elmeri endeksi} = \frac{\text{doğru gözlemler}}{\text{doğru + yanlış gözlemler}} \times 100(\%)$$

İşletmede kullanılan Elmeri yöntemi risk değerlendirme yönteminin bir parçası olarak görülmekte ve var olan risk değerlendirme metoduna çok büyük katkı sağlamaktadır. Bu yöntem daha çok tehlikeleri en ince ayrıntısına kadar belirlemekte ve daha çabuk önlem alınmasını sağlamaktadır. Böylelikle işletme, iş sağlığı ve güvenliği açısından konumunun ne olduğunu bilerek sürekli kendini iyileştirmektedir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyaller

Elmeri, iş güvenliği performansının ölçülmesinde geçerli bir proaktif izleme yöntemidir. Gelecekte yaşanabilecek kazaların potansiyel nedenlerine işaret eden Elmeri, İSG yönetim sisteminin ne kadar etkin olduğuna dair sayısal bilgi sağlar. Gelişmeye yönelik ihtiyaçların belirlenmesine, hedeflerin konulmasına ve iş güvenliği alanında atılmış adımların sonuçlarının ölçülmesine yardımcı olur.

İşletmedeki üretim hatlarında kullanılan makine ve ekipmanların mevcut durumu analiz edilerek olası riskler iş güvenliği izleme aracı olan Elmeri yöntemiyle, iş güvenliği performansı ölçülmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Elmeri yöntemine gore gözlem sonuçları

Konular	Doğru	Toplam	Yanlış	Toplam
1.GÜVENLİK DAVRANIŞI KKD kullanımı				
1.1.Çizme	≠≠≠≠≠≠≠≠=	31		0
1.2.Baret	≠≠≠≠≠	20	≠≠=	11
1.3.Eldiven	≠≠≠≠≠≠≠≠=	31		0
1.4.Gözlük		0	≠≠≠=	15
1.5.Önlük	≠==	20	=	3
1.6.Kulaklık	≠≠≠≠≠≠≠≠=	31		0
1.7.Maske	≠−	5	≠≠=	10
2.DÜZEN ve TEMİZLİK 2.1.Yürüme, araç kullanma ve malzeme taşıma işleri düşünüldüğünde zemin ve platformlar düzenli ve temizdir	≠≠≠−	13	=	3
3.MAKİNE GÜVENLİĞİ 3.1.Makinelerin hareketli aksamları uygun koruyucular ile muhafaza edilmiş veya korunmuştur	≠≠≠≠	16		0
3.2.Makinenin konumu, durumu üzerindeki işaret ve ikazları İSG' ye uygunluğu	≠≠≠≠	16		0
3.3.Makine bakımlarının periyodik zamanda yapılıması	≠≠≠≠	16		0
4.ENDÜSTRİYEL HİJYEN 4.1.Gürültü	≠≠	8	≠≠	8
4.2.Hava kalitesi	≠≠≠=	14	=	2
4.3.Kimyasallar		0	−	1
4.4.Titreşim		0	≠≠≠≠	16
5.ERGONOMİ 5.1.Kas iskelet sistemine binen yükler	≠≠≠=	14	=	2
6.ZEMİN VE GEÇİŞ YOLLARI 6.1.Zemin ve geçiş yollarının yapısı	≠≠≠=	14	=	2
7.ELEKTRİK ve YANGIN GÜVENLİĞİ 7.1.Mevcut erişimi ve kullanımı kolay, işaretlenmiş denetimi yapılmış yangın söndürücüler	≠≠≠≠	16		0
7.2. Makine panolarının ön kısımlarında yalıtkan paspas bulunması	≠≠≠≠	16		0
7.3.Makine kontrol panosunun açık olması	≠≠≠≠	16		0
7.4.Makine topraklama tesisatının bulunması	≠≠≠≠	16		0
	Toplam	**313**	**Toplam**	**73**

doğru gözlemler 313

ELMERİ endeksi = ---------- x 100 (%) = ---------- x 100 = % 81,08

doğru + yanlış gözlemler 386

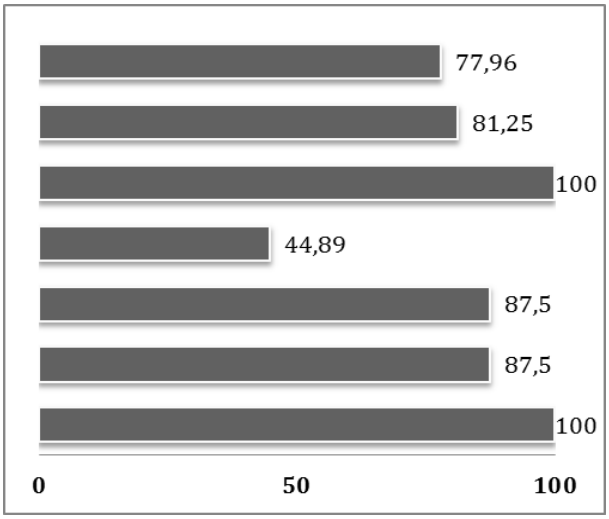
3 BULGULAR

Bu çalışma kapsamında üretim makineleri iş sağlığı ve güvenliği konularıyla ilgili proaktif izleme (Elmeri) yapılmıştır. Bu izleme sonuçlarına göre hem mevcut iş güvenliği standardı gösteren işletmenin genel güvenlik endeksi hesaplanmış, hemde İSG konularının kendi içinde iş güvenliği standardını gösteren güvenlik endeksi hesaplanarak Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. İş sağlığı ve güvenliği konularına ait gözlem sonuçları

İşletmenin Mevcut Durum Endeksi	**% 81,88**

KONULAR	Gözlem Sayısı
1. GÜVENLİK DAVRANIŞI	177
2. DÜZEN ve TEMİZLİK	16
3 MAKİNE GÜVENLİĞİ	48
4 ENDÜSTRİYEL HİJYEN	49
5 ERGONOMİ	16
6 ZEMİN VE GEÇİŞ YOLLARI	16
7 ELEKTRİK VE YANGIN GÜVENLİĞİ	64



İşletmedeki katrak, ST, plaka kalibre ve cila makinesi, plaka dolgu makinesi, köprü kesme makinesi, köprülü tavan vinci, kafa kesme makinesi, yarma makinesi, kalibre ve cila makinesi, dolgu makinesi, fayans ebatlama makinesi, alın pah cila, forklift, arıtma ve dış vinç olmak üzere makineler İSG yönünden proaktif izlenerek analiz edilmiştir. Tüm çalışma alanlarının gözlenmesi sonucu işletmede toplam 386 gözlem yapılmış bunlardan 313 gözlemi "doğru" olarak değerlendirilirken, 73 gözlemi ise "yanlış" olarak değerlendirilmiştir. İşletmedeki gözlem alanlarında gözlemlerin tamamlanmasının ardından Elmeri güvenlik endeksi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda işletmelerin mevcut durum endeksi % 81,08 çıkmıştır. % 81,08' lik bir endeks, gözlenen her 100 unsurdan 81'i iş güvenliği standartları ve işyeri uygulamalarıyla uyum içinde olduğunun bir göstergesi olarak görülmektedir. Ancak her ne kadar işletmenin mevcut endeksi yüksek çıksada endüstriyel hijyen kategorisine giren konulardaki endeksi % 44.89 çıktığı görülmektedir. Yapılan gözlem sonucunda; endüstriyel hijyen konuları üzerinde biraz

daha durularak gerekli önlemlerin alınması gerektiği görülmektedir.

Kişisel koruma donanımlarından çizme, eldiven ve kulaklık bütün makinelerde çalışan personel tarafından kullanılmakta olup, işletmenin temin etmesine karşılık bazı makinelerde ise önlük, baret ve maske kullanılmadığı gibi özellikle ana kesim makinaları ve ebatlama makinalarında kullanılması zorunlu olan gözlük ise hiçbir çalışan tarafından çeşitli bahaneler ile (sıcaklık, çalışmamı engelliyor, kafamı sıkıyor, kulaklık takınca duymuyorum vb.) kullanılmadığı görülmüştür.

İşletmedeki bazı makinaların bulunduğu alanın çevresinde gereksiz nesneler söz konusu olup takılma sonucu düşme riski bulunmaktadır.

Makinaların hareketli aksamları uygun koruyucular ile muhafaza edilerek herhangi bir kazaya sebebiyet vermemek için önlem alındığı görülmüştür. Ayrıca bütün makinaların üzerinde uyarı ve güvenlik işaretleri açıkça görülecek şekilde sembollerin konulduğu gözlenmiş ve makina bakımlarının periyodik olarak yapıldığı görülmüştür.

Fabrika içerisindeki makinelerden kaynaklanan titreşim ölçüm analizleri yapılmamıştır. Titreşim ölçümleri yapılarak ölçüm sonuçlarına göre mevcut önlemler alınmalıdır. Bu önlemler; titreşim olan kısımlardaki hareketi veren bölgenin gücünü azaltmak, titreşim yapan kısmın titreşim yayılım miktarını azaltarak o kısmın emme kapasitesini artırıp bağlı olduğu bölgeyi sağlamlaştırmak, çalışılan makine ve materyali sabit tutacak uygun sistemler tasarlamak makinenin yerleşimini duvar ve zeminden izole etmek gibi ölçüm sonuçlarına göre kaynağında önlem alınmalıdır. Ayrıca bunun yanında idare tarafından da bazı tedbirler alınarak çalışanın titreşimden daha az etkilenmesi sağlanabilir. Örneğin günlük çalışma süresinin kısaltılması, titreşime maruz kalan kişinin soğukdan korunması gibi önlemlerin alınması için eksiklikler işletmeyle paylaşılmış ve bu eksikliklerin giderilmesi konusunda görüşülmüştür.

Fabrika makine parkuru bölümünde genel olarak gürültü seviyeleri, ölçümler sonucunda yönetmelikte belirtilen maruziyet sınır değerine göre yüksek çıkmıştır. Çalışma sahası içerisinde makinelerden kaynaklanan gürültü ölçüm analizleri yapılmış olup ölçüm sonuçlarına göre, makinalarda çalışan personele kulaklık, tıkaç gibi Kişisel koruma donanımı (KKD) lerden temin edildiği ve kullanılması sağlanarak gürültüden kaynaklanan tehlike ve riskleri azda olsa düşürülmeye çalışıldığı gözlenmiştir. KKD lerin yeterli olmadığı bölgelerde örneğin ST makinalarının arasına kabin yerleştirilerek çalışanın gürültüden daha az etkilenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu bölgede personelin gürültüye olan maruziyetinin daha aza indirilmesi için yedek kalifiye personel bulundurularak 4 saatte bir dönüşüm yapıldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte en önemli sorunlardan birisi olan gerekli bölgelerde doğru kişisel korucuların sürekli kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Gürültünün insan sağlığına etkileri ve çalışanların sağlıklarını nasıl koruyacakları konusunda işletme içi eğitim çalışmaları sağlanarak kişisel koruyucuların kullanımı özendirilmelidir.

Kullanılan kimyasal madde paketleri ve kutuları hasarsız olup her kullanımdan sonra ağzı kapatılmaktadır. Epoksi ile kimyasal mermer yapıştırma, tamir bölümünde kullanılan tüm kimyasallar için personele KKD verilmiştir. Ancak özellikle epoksi buharına karşı özel bir maske olmayıp, normal bez maske kullanıldığı görülmüştür.

Ana kesim makinalarından olan ST makinasında 2 veya 3 cm kalınlığında kesilen merdiven basamaklarının silim makinasına verilmesi aşamasında, işin niteliğine bağlı olarak bel ve sırt yaralanması riski doğuran fiziksel güç kullanarak taşındığı görülmüştür. Ana kesim makinalarında plakaların taşınmasında vinç ve vakumlu sistem mevcut olup fiziksel güç ile taşınması söz konusu değildir. Çalışma alanı ise, işçinin işini yaparken rahatça hareket etmesine ve pozisyon değiştirmesine olanak sağladığı görülmüştür.

İşletme içerisinde forklift kullanım alanları içerisinde forklift yol çizgileri belirgin olmadığı gözlenmiştir.

İşletme sulu ortamda çalışıldığı için kaygan zemin söz konusudur. Fakat işletme tarafından, kaymaz çelik burunlu çizme kullanımı sağlandığı tesbit edilmiştir.

Arıtma havuzlarının etrafı olası bir tehlikeye karşı korkuluk ile çevrildiği görülmüştür. Bununla birlikte yürüyüş ve erişim yolları yeterli genişlikte olduğu gözlenirken, epoksi bölümünde çalışma esnasında gereksiz neslelerle makine önü kapatılarak bu erişim yollarına ulaşmayı kısıtladığı gözlenmiştir.

Özellikle yangın riskinin yüksek olduğu mamul stok sahası, ambalajlama (kasalama) bölümü ve kimyasalların kullanıldığı epoksi bölümünde işin niteliğine uygun yangın söndürücü cihazları bulunduğu görülmüştür.

İşletmedeki bütün makinelerin topraklanması mevcut olup, makine panolarının önünde yalıtkan paspas bulunmakta ve pano kapaklarının kapalı bir şekilde muhafaza edildiği gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Elmeri yöntemi gözlem yapılan andaki durumu değerlendiren, bir süre sonra değişen bir ölçüttür. Bu nedenle proaktif izleme aylık veya üç aylık periyotlarla tekrarlanmalıdır. Bu uygulama tüm işçilerin devamlı iyileştirme sürecine müdahil olmalarını sağlamak adına oldukça faydalı olmaktadır. İşçilere, yöntemi anlamaları ve "doğru" puanlama kriterlerini bilmeleri için bilgi ve eğitim verilmelidir. İzleme turlarında elde edilen ana sonuçlar büyük bir çizelge halinde panoya asılmalı ve bu sayede herkes mevcut güvenlik endeksi ile birlikte Daha önceki endeksleri görmeleri sağlanmalıdır. Aynı zamanda işletme, önüne gerçekçi endeks hedefleri koyarak bunun karşılığında personeli ödüllendirebilir.

Bu çalışmanın, diğer çaşışmalara yol göstermesi açısından iş güvenliği seviyesinin değerlendirilmesinde kullanımı kolay ve güvenilir bir yöntem olan, Elmeri yöntemini Türkiyedeki mecut olan mermer fabrikalarında kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Çetindağ, Ş., 2013. İş sağlığı ve Güvenliği Tarihsel Gelişimi ve Mevzuattaki Mevcut Durum, İş Sağlığı ve Güvenliği Kurs Notları (Yayınlanmamış).

Fişek, A.,G., 1999. İsçi Sağlığı İş Güvenliğinde Güncel Değerlendirme. Çalışma Ortamı Dergisi, Sayı 44, Ankara.

Laitinen, H., Ersan, E., Birgören, B., Özesen, M., 2011. Türkiye' de İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliğini İyileştirme Projesi, EuropeAid/127926/D/SER/TR.

Sarıkaya, H., 2014. Özçelik Mermer Fabrikasında İş Güvenliği ve Risk Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 139s, Isparta.

SGK 2012, SGK İstatistik Yıllıkları 2012, http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler, Erişim tarihi: [10/11/2014]

TBMM 2012, İzmir Milletvekili Alaattin Yüksel'in 7/2970 esas nolu soru önergesine verilen cevap, http://www2.tbmm.gov.tr/d24/7/7-2970 sgc.pdf, Erişim tarihi: [10/11/2014]

TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, 2012, İş Sağlığı ve Güvenliği Türkiye Mimarlar Mühendisler Odası Birliği, Makine Mühendisleri Oda Raporu, 126 s, Ankara.

TÜİK, 2013, İş Kazaları ve İşe Bağlı Sağlık Problemleri Araştırma Sonuçları, Hane halkı İşgücü Anketi ile Birlikte Uygulanan Modüler Anketler, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1007, Erişim tarihi: [10/11/2014]

Geçmişten Günümüze Madenlerde Kazalar ve İş Güvenliği

Accident and Occupational Safety in Past and Present of Mine

Y. Yiğiter
Maden Mühendisi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı. Eğitim Kurumları Eğiticisi

ÖZET Madencilik dergisindeki iş kazaları ile ilgili makaleler, ülkemizde yapılmış iş kazaları ve iş sağlığı ve güvenliği kavramlarını içeren yayınlar tarandığında, geçmiş deneyimler ve güvenlik araştırmaları bazı sonuçları işaret ediyor;

- 1975-79 yılları arasında ciddi bir çalışma güvenliği ve kaza araştırması çalışmaları var, daha sonraki yıllardan 2005 yılına iş kazaları ve önleme konulu çalışmalar yaygın değil.
- Ağırlıklı olarak sadece madencilik sektöründe ilgilenildiği ortaya çıkıyor.
- Reaktif bir anlayışla bilhassa büyük kazalardan sonra konuya ilgi artmış ve zamana bağlı olarak risk algısı azalmış.
- Meslek hastalıkları konusu ise hala gereken oranda ilgiyi görmemektedir.
- Oysa "iş sağlığı ve güvenliği kültürünün en büyük göstergesi meslek hastalığının hak ettiği ilgiyi görmesidir.
- "Maden endüstrisinde çalışma tekniğinin geliştirilmesine ve görevleri sadece iş güvenliğini sağlamak olanların kişisel gayretlerine rağmen, yaralanma ve ölüm olaylarının yine de yüksek bir oranda cereyan ettiğini görmekteyiz.
- Yüksek kaza oranının en üzücü yönlerinden birisi de maden endüstrisi ilgililerinden birçoğunun kazaları yeraltı çalışmalarının normal neticesi olarak kabul etmeleri ve kazalara önlenemez gözüyle bakmalarıdır."

Kaza Sebeplerinin Analizi: Kazanın ileride tekrar meydana gelmesini önlemek maksadıyla "Kaza önlenebilir miydi" sorunun sorulması gerekmektedir.

Kazaları Önleme: İş_güvenliği ile ilgili kişinin görevi; kazalarda iş yerindeki şartlar veya davranışlardan hangilerinin kazaya sebebiyet verdiğini ortaya çıkarmak ve idarî kademedeki amirleri durum düzeltilinceye kadar uyarmaktır.

Pek çok kaza raporu kişinin davranışlarını «dikkatsiz» diye nitelendirmektedir. Gerçekte bu, araştırıcının **kazanın ana sebeplerini keşfedemediği** anlamına gelmektedir.

Esas çözüm, sistem dizaynını kişinin dalgınlık anlarında kontrolden çıkmasını önleyecek tarzda yapmaktır.

Öğretim ve eğitim: Madenlerde çalışmaların verimli ve başarılı yönde yürütülmesi için ilgili kişilerin gerekli bilgi ve beceri ile donatılmış olmaları ön şarttır.

Öğretim ve eğitim, nezaretçi ve ehliyetli kişiler için de tatbik edilmelidir, çünkü emir verip çalışmaları idare etmek de ancak öğrenmekle mümkündür.

Anahtar Kelimeler: İş kazaları, faktörler, güvenlik.

ABSTRACT Articles related to occupational accidents in the mining magazine, when our country made of occupational accidents and occupational health and safety publications, including the concept of screening, previous experience and safety research suggests some results;

- Serious work safety accidents in the 1975-79 year and research work, work-related accidents in 2005 and subsequent years of study on prevention is not common.
- Mainly just turns out that interest in the mining sector.
- A reactive approach, especially after major accidents increased interest and perception of risk decreased with time.

- Occupational diseases are seeing the interest rate issue is still needed.
- However, "the biggest indicator of occupational health and safety culture is the attention it deserves occupational diseases.
- "Development and technical tasks of the work in the mining industry, despite the personal efforts of those who provide the only safety, we see that the injuries and deaths still occurred at a high rate.
- The high accident rate at one of the sad aspects of many of the mining industry related accidents are not considered to be a normal result of the underground work and look through the eyes are unavoidable accident. "

Analysis of the accident because the accident from happening again in the future in order to avoid "Was it an accident can be avoided" should be asked the question.

Accident Prevention: The task of the person about job security; behavior in the workplace conditions or accidents reveal what the cause of the accident and the chief administrative steps to stimulate the condition until they are fixed.

Many accident report people's behavior "reckless" he is describing. In reality this means that researchers can not discover the main causes of the accident.

Main solutions, system design is to understand the person's thoughtfulness in a manner to prevent the out of control.

Education and training: to be equipped with the necessary knowledge and skills of the persons concerned to be carried out in an efficient and successful aspects of the work in the mines is a prerequisite.

Education and training, supervisory and should be applied for qualified persons, as well as to manage work orders, but whether it is possible to learn.

Keywords: Occupational accident, factors, safety.

1 GİRİŞ

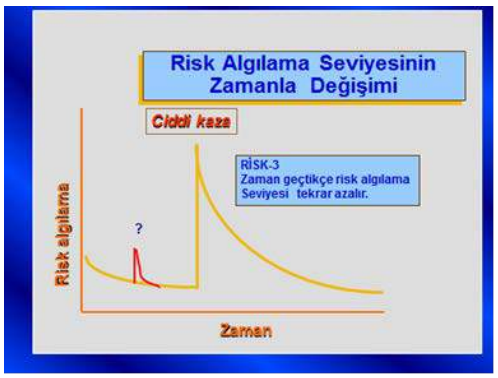
Madenlerde, Mühendis, yönetici, ISG uzmanı olarak yaşadığım geçmiş 30 yıllık deneyimler; yangın, göçük, grizu patlaması, iş kazaları, bilirkişilikler ve İSG araştırmalarından ülkemiz madenlerinde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının geçmişi üzerine bazı değerlendirmeler yapmaya çalıştım. Başta "Madencilik Dergisi" olmak üzere, ülkemizde iş kazaları, iş sağlığı ve güvenliği kavramlarını içeren yayınları, kitap, makale vb. taranıp incelemeye çabaladım.

1975-79 yılları arasında ciddi bir iş güvenliği ve kaza araştırması çalışmaları başlatılmış, daha sonraki yıllarda iş kazaları ve önleme konulu çalışmalar biraz yavaşlamış. İstatistik vb. bilgilere ulaşmak görece olarak zor, bunda internet ortamının henüz yaygın olmadığı da etkendir.

Medyada ise ağırlıklı olarak madencilik sektöründeki çoklu ölümlü kazalarla daha fazla ilgilenildiği ortaya çıkıyor.

Var olan çalışmalar "sistematik iş güvenliği" çalışması değil biraz "temenniler" kapsamında kalmış (kazaların önlene bilirliği ve eğitimin önemi pek önemsenmemiş).

Reaktif bir anlayışla bilhassa büyük kazalardan sonra konuya ilgi artmış ve zamana bağlı olarak risk algısı azalmış (Şekil 1.).

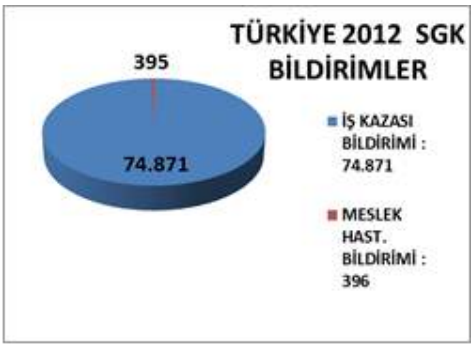


Şekil 1.

2003 ve bilhassa 2006 yılında Çalışma Bakanlığı önemli çalışmalar yaptı, yönetmelikler yayınladı. Uzman yetiştirmeye ağırlık verdi.

Şekil 2.

Meslek hastalıkları konusu ise hala gereken oranda ilgiyi görmemektedir. Oysa "iş sağlığı ve güvenliği kültürünün en büyük göstergesi meslek hastalığının hak ettiği ilgiyi görmesidir.



Şekil 3.

Ancak ülkemiz verileri 2012 yılı için :**74.781** İş kazası bildirimine karşılık **396** Meslek hastalığı vakası tespiti var. Dünya oranları olan "Meslek Hastalığı % 60; İş Kazası % 40 beklenme oranlarını uygularsak yıllık bildirimi beklenen : "112.225" Meslek hastalığı bildirimi olması gerekirdi.

Şekil 4.

Ayrıca "T.C. Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Politika belgesi II. (2009 – 2013)" meslek hastalıkları teşhis sayısında % 500 artış hedeflemişti, oysa 2011 yılında 697 olan sayı, 2012 yılında 396 MH teşhisine düşmüştür. Gerçekte iş yerlerinin tüm iş kazalarını bildirmediğini düşünürsek durumun daha da kötü olduğu ortaya çıkar…

2 GEÇMİŞTE 1970'Lİ YILLARDA MADENCİLİKTE İŞ GÜVENLİĞİ;

1974 yılında (CİLT:XII SAYI: 4) Madencilik dergisinden yapacağım alıntıyla devam ediyorum.

"Maden endüstrisinde çalışma tekniğinin geliştirilmesine ve görevleri sadece iş güvenliğini sağlamak olanların kişisel gayretlerine rağmen, yaralanma ve ölüm olaylarının yine de yüksek bir oranda olduğunu görmekteyiz. Bahsedilen yüksek kaza oranının en üzücü yönlerinden birisi de maden endüstrisi ilgililerinden birçoğunun kazaları yeraltı çalışmalarının normal neticesi olarak kabul etmeleri ve kazalara ***önlenemez*** *gözüyle bakmalarıdır."*

"Kömür çıkarmada Türkiye'de karşılaşılan gayet güç jeolojik koşulların kaza durumlarıyla çok yakından bağlantılı olduğu sık sık iddia edilmektedir. Muhakkak ki jeolojik güçlükler önemli bir faktördür ve bu sebepten tabiatın kömür rezervlerinin durumları açısından daha müşfik (uygun) olduğu ülkelerdeki kaza istatistikleri ile mukayese etmek insaflı olmayabilir. Dolayısıyla, eğer yüksek kaza oranına hakikî bir sebep bulmak istiyorsak, jeolojik koşullardan başka faktörleri de hesaba katmamız gerekmektedir.

Genellikle halk arasında çoğunluk madencilerin ölüm veya yaralanmalarına en fazla sebebiyetin infilaklardan-patlamalardan ileri geldiğine inanmaktadırlar. Aslında, her maden mühendisinin bildiği gibi kazaların büyük bir kısmı (% 50) tavanın veya ayna'nın göçmesi neticesi olmaktadır. İkinci büyük kazalara yeraltı nakliyatında rastlanmaktadır. (% 25 - 30) Geriye kalanlar (% 25 - 20) ateşleme-patlatma, elektrik, malzeme aktarması, grizu

patlaması gibi çeşitli kazaları ihtiva etmektedir".

1974 te yazılmış bu güzel çalışmanın her kelimesi hala geçerlidir. En çok dikkatimi çeken de bugün bile pek çok ilgilinin, mühendisin, uzmanın *"İkinci büyük kazalara yeraltı nakliyatında rastlanmaktadır"* gerçeğini gözden kaçırabilmesidir.

3 GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE MADENCİLİK VE İŞ GÜVENLİĞİ İLE İLGİLİ MEVZUAT

Madenciliği ilgilendiren ilk mevzuat "Ereğli Havzai Fahmiyesi Maden Amelesinin Hukukuna Müteallik Kanun (8 Muharrem 1340 - 10 Eylül 1337)" 1921 yılında yayınlanmış, bu kanun daha çok maden işçilerinin çalışma şartlarını düzenleyen hükümler içermekteydi. Ancak, daha sonra madenciliği düzenleyen "6309 sayılı MADEN KANUNU" 11.03.1954 yılında yayınlandı. Bu kanunun mühendislik ve iş güvenliği ile ilgili maddelerinden bazıları şöyledir;

*"**Fennî nezaret***

Madde 32 — Maden arama faaliyetinin bir maden mühendisinin veya bir maden teknisyeninin veya bir jeologun direktifi altında yapılması şarttır.

Emniyet ve işçi sağlığını koruma tedbirleri

Madde 91 — Bir madende arazinin ve işletmenin emniyeti veya işçinin sağlığı veya hayatı tehlikeye mâruz kaldığı takdirde Ekonomi ve

Ticaret Vekâleti gerekli tedbirlerin alınmasını maden arama veya işletme hakkı sahibine emreder. Tehlikenin büyük veya âni olması halinde Vekâletin salâhiyetli maden mühendisi lüzumlu talimatı maden arama ve işletme hakkı sahibine verir. Ve keyfiyeti derhal Vekâlete bildirir."

2010 yılına kadar madenleri ilgilendiren toplam 16 yasa çıkarıldı. Bunlarda 14 yasa kısmen değişiklik getirdi. Yazımızın hazırlandığı tarihte son maden kanunu ise 15.05.1985 te yayınlanan "3213 sayılı Maden Kanunu "dur.

Halen TBMM de bulunan taslağın yürürlüğe girmesi ile Teknik (Fenni) Nezaretçilik görevi 2016 yılı yürürlükten kaldırılacaktır. "Teknik Nezaretçilik" madenlerin bilim, teknik ve ülke çıkarlarına uygun işletilmesini devlet adına gözetmek için kurulan bir kurumdu. Yeni yürürlüğe girecek mevzuat ile "Daimi Nezaretçilik" ağırlıklı olarak madenlerin işletilmesini üstlenecek, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı da işletmenin sağlık ve güvenliğe uygun çalışmasına rehberlik edecektir.

İş Kanunu konusunda gelişmeler; Çalışma hayatında iş sağlığı ve güvenliğini doğrudan konu alan 6331 sayılı İş Sağlığı ve güvenliği yasasına kadar ilgili **31 yasa** yayınlanmıştır. Bunlardan 26 yasa sadece değişiklik getirmiştir. İlk İş Kanunu 15.06.1936 yılında yayınlanan 3008 sayılı İş Kanunudur. Daha sonra 931 sayılı yasa, 1475 ve son olarak yürürlükte olan 4857 sayılı yasa yayınlanmıştır. 6331sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği yasasına yapılan iyileştirme ve değişiklikler halen devam etmektedir.

Tablo 1.

TABLO-1				
	Kanun/ Karar No	**Konusu (Maden Kanunları ve değişiklikleri)**	**Tarih**	**Sayı**
1	6309	**Maden Kanunu**	11.03.1954	8655
2	6662	DEĞİŞİKLİK	24.02.1956	9242
3	6688	DEĞİŞİKLİK	03.03.1956	9249
4	7125	DEĞİŞİKLİK	11.06.1958	9929
5	7199	DEĞİŞİKLİK	12.02.1959	10133
6	7426	DEĞİŞİKLİK	13.02.1960	10431
7	271	DEĞİŞİKLİK	20.07.1963	1145
8	**3213**	**Maden Kanunu**	15.06.1985	18785
9	3382	DEĞİŞİKLİK	25.06.1987	19498
10	4424	DEĞİŞİKLİK	05.08.1999	23777
11	3382	DEĞİŞİKLİK	25.06.1987	19498
12	4424	DEĞİŞİKLİK	05.08.1999	23777
13	4683	DEĞİŞİKLİK	26.06.2001	2444
14	5177	DEĞİŞİKLİK	05.06.2004	25483
15	5446	DEĞİŞİKLİK	04.01.2006	26043
16	**5995**	DEĞİŞİKLİK	**24.06.2010**	27621

Tablo 1.A.

TABLO -1 A				
	Kanun Karar No	Konusu ; (İş Kanunları ve değişiklikleri)	Tarih	Sayı
1	3008	**İş Kanunu**	15.06.1936	3330
2	3516	DEĞİŞİKLİK	15.07.1938	3960
3	5518	DEĞİŞİKLİK	31.01.1950	7420
4	5868	DEĞİŞİKLİK	13.02.1952	8033
5	6298	DEĞİŞİKLİK	08.03.1954	8652
6	7284	DEĞİŞİKLİK	01.06.1959	10219
7	7285	DEĞİŞİKLİK	01.06.1959	10219
8	931	**İş Kanunu**	12.08.1967	12672
9	1061	DEĞİŞİKLİK	18.07.1968	12953
10	1225	DEĞİŞİKLİK	11.02.1970	13423
11	1248	DEĞİŞİKLİK	11.04.1970	13469
12	1475	**İş Kanunu**	01.09.1971	13943
13	1926	DEĞİŞİKLİK	12.07.1975	1529
14	1927	DEĞİŞİKLİK	12.07.1975	15293
15	2184	DEĞİŞİKLİK	28.02.1979	16564
16	2320	DEĞİŞİKLİK	23.10.1980	17140
17	2319	DEĞİŞİKLİK	23.10.1980	17140
18	2457	DEĞİŞİKLİK	08.05.1981	17334
19	2762	DEĞİŞİKLİK	11.12.1982	17895
20	2869	DEĞİŞİKLİK	30.07.1983	18120
21	2965	DEĞİŞİKLİK	30.11.1983	18237
22	3199	DEĞİŞİKLİK	22.05.1985	18761
23	3493	DEĞİŞİKLİK	11.11.1988	19986
24	3528	DEĞİŞİKLİK	20.04.1989	20145
25	4382	DEĞİŞİKLİK	24.10.1998	23503
26	4447	DEĞİŞİKLİK	08.09.1999	23810
27	4773	DEĞİŞİKLİK	15.08.2002	24847
28	4857	**İş Kanunu**	10.06.2003	25134
29	4884	DEĞİŞİKLİK	17.06.2003	251
30	5763	DEĞİŞİKLİK	26.05.2008	26887
31	6552	DEĞİŞİKLİK	11.09.2014 Mükerrer	29116
	6331	**İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu**	**30.06.2012**	**28339**
TABLO -1-A				

Tablo 2.

TABLO-2 İş Kazası, Meslek Hastalığı, Sürekli İş Görmezlik ve Ölümlerin Sektörlere Göre Dağılımı (1998-2004)								
Faaliyet Grubu	İş Kazası		Meslek Hastalığı		Sürekli İş görmezlik		Ölüm	
	1998	2004	1998	2004	1998	2004	1998	2004
Metalden Eş. İm.	10.957	11.584	50	14	198	132	31	37
İnşaat	12.355	8.106	20	10	613	3	380	263
Dokuma Sanayi	8.415	6.839	4	1	192	75	18	14
Kömür-Maden	**6.837**	**5.788**	**586**	**132**	**1.390**	**309**	**151**	**49**
Nakil Araç İmali	6.141	5.871	448	108	85	55	19	12
Gıda San.	3.702	3.074	20	1	98	67	32	19
Diğer	43.488	42.568	272	118	1.274	1.052	621	449
Toplam	**91.895**	**83.830**	**1.400**	**440**	**3.850**	**1.693**	**1.252**	**843**

İş kazası yaralanma ve ölümlerinin istatistikleri yıllara göre incelendiğinde ekonomide ağırlık kazanan sektör, kazalarda da öne çıkmaktadır 2006 yılında metalden eşya üretimi kazalarda birinci durumdadır inşaat sektörü 2007 den sonra kazalarda hep ön sıradadır. (TABLO -2) Madencilik ise bilhassa kömür madenciliğindeki çoklu ölümlerle dikkati çekmektedir. Son büyük kazaların özel sektörde olması ve kazaların niteliği nedeni ile özel analizi gerekmektedir.(TABLO-3) (TABLO-4) Güvensiz ortamların tekrarlamaması için ciddi iyileştirmeler, köklü değişiklikler gerekmektedir. Bu ayrı bir çalışma konusu olacaktır.

Ancak madenler için özel bir eğitim gerekir bu eğitim mühendis, nezaretçi usta ve yeni giren işçi için ayrı ayrı hazırlanmalıdır. Eğitimin içeriği genel İş Sağlığı ve Güvenliği ve iş yerine özgü tehlikeler ile detaylandırılmalıdır. Deneyimli mühendis ve nezaretçilerden de yararlanılmalıdır. Özellikle iş yerinde, çalışırken yapılacak denetim ile yapılması muhtemel hatalar, gözden kaçırılan önemsenmeyen kurallar ve iş körlüğü incelenmeli, hangi konunun öncelikli olduğu belirlenmeli ve yaptığı çalışma üzerine güvenli alışkanlıklar kazandırılmalıdır. Çalışanlara yaptığı iş ile ilgili dinamik risk değerlendirmesi yapma alışkanlığı kazandırılmalıdır. Çalışan kendisine gelebilecek zararı ön görmeli bu zararın boyutuna göre önceden proaktif önlem almalıdır.

Tablo 3.

TABLO-3 BÜYÜK MADEN KAZALARI				
		YIL	**NEDEN**	**ÖLÜ SAYISI**
1	**TTK/ ARMUTÇUK/KÖMÜR**	7 MART 1983	**GRİZU**	**103**
2	**TTK/ KOZLU/KÖMÜR**	10 NİSAN 1983	**GRİZU**	**10**
3	**YENİ ÇELTEK/AMASYA/KÖMÜR**	14 TEM.1983	**GRİZU**	**5**
4	**TTK/ KOZLU /KÖMÜR**	31 0CAK 1987	**GÖÇÜK**	**8**
5	**TK/ AMASRA/KÖMÜR**	31 OCAK 1990	**GRİZU**	**5**
6	**YENİ ÇELTEK/AMASYA/KÖMÜR**	7 ŞUBAT 1990	**GRİZU**	**68**
7	**TTK/ KOZLU/KÖMÜR**	3 MART 1992	**GRİZU**	**263**
8	**YOZGAT/SORGUN/KÖMÜR**	26 MART 1995	**GRİZU**	**37**
9	**ERZURUM/ AŞKALE/KÖMÜR**	8 AĞUS. 2003	**GRİZU**	**8**
10	**KARAMAN/ERMENEK/KÖMÜR**	22 KAS 2003	**GRİZU.**	**10**
11	**ÇORUM/ BAYAT/KÖMÜR**	9 AĞUS. 2004	**GRİZU**	**3**
12	**KASTAMONU / KÜRE/ METAL**	8 EYLÜL 2004	**YANGIN.**	**19**
13	**KÜTAHYA/ GEDİZ /KÖMÜR**	21 NİSAN 2005	**GRİZU**	**18**
14	**BALIKESİR/DURSUNBEY/KÖMÜR**	2 HAZ. 2006	**GRİZU**	**17**
15	**BURSA/M.KEMAL PAŞA /KÖMÜR**	10 ARALIK 2009	**GRİZU**	**19**
16	**BALIKESİR/ DURSUNBEY /KÖMÜR**	23 ŞUBAT 2010	**GRİZU**	**13**
17	**TTK/ KARADON/KÖMÜR**	17 MAYIS 2010	**GRİZU**	**30**
18	**EDİRNE/KEŞAN/ KÖMÜR**	7 TEMM.2010	**YANGIN.**	**3**
19	**ZONGULDAK/KOZLU/**	8 OCAK 2013	**GRİZU**	**8**
20	**MANİSA /SOMA/ KÖMÜR**	13 MAYIS 2014	**YANGIN**	**301**
21	**KONYA/ ERMENEK/KÖMÜR**	28 KASIM 2014	**SU BASKINI**	**18**

Tablo 4.

	ÖLÜMCÜL VAKALAR	ÖLÜMCÜL VAKALAR MADEN	TOPLAM ÖLÜMCÜL OLAN OLMAYAN OLGU	ÖLÜMCÜL OLMAYAN YARALANMA 100.000 DE	TOPLAM ÖLÜMCÜL OLAN OLMAYAN OLGU MADEN
1971	941		150.170	10,69	
1972	900		163.204	11,56	
1973	1.048		177.004	10,73	
1974	1.117		180.375	10,02	
1975	1.038		182.601	10,01	
1976	1.113		196.341	9,73	
1977	1.309		199.961	9,12	
1978	1.178		193.998	8,79	
1979	1.448		186.089	8,65	
1980	1.320		169.600	7,24	
1981	1.173		165.101	7,4	
1982	988		147.118	6,5	
1983	1.324		145.296	6,24	
1984	1.097		152.650	6,25	
1999	1333	378	4740	68	1375
2000	1291	93	3139	35	453
2001	1008	96	3191	45	478
2002	878	69	2965	40	387
2003	811	82	2407	28	280
2004	843	68	2536	27	402
2005	1096	121	2735	24	435
2006	1601	80	3868	29	528
2007	1044	77	3000	23	558
2008	866	66	72963	3,1	6516
2009	1071	20	64.016	2,76	9091
2010	1444	131	62.903	2,46	9081
2011	1700	117	69.227		10.543
2012	744	44	74781	2,43	9.956
2013	1235	83			
2014	1886	386			

Tablo 5.

Tablo 6.

Müfettişlerce (2012 yılında) yapılan bir tarama çalışmasında madenlerde; 283 adet mevzuata aykırılık tespit edilmiş, bu aykırılıklar tehlike türlerine göre ele alınmıştır. Aykırılıkların %60'ı "tehlikeli durum" olarak, %38' i ise "tehlikeli hareket" olarak sınıflanmıştır. (TABLO- 6). Detaylı müfettiş raporlarından çıkartılan bu sonuçlar beklenenin aksine, ülkemizdeki yer altı kömür ocaklarında gerçekleşen iş kazalarının temelinde yatan eksikliklerin önemli bir kısmının çalışma koşullarında yapılması gereken iyileştirmelerle ilgili olduğunu, bir başka deyişle tehlikeli durumlardan kaynaklandığını ifade etmektedir. Ancak bu oranlar genel iş kazalarında daha farklı bir şekildedir. Yani, Tehlikeli durum;**79,5 ,** Tehlikeli Davranış ; **19,5,** Bilinmeyen ; **1,0** olarak açıklanmıştır. (TABLO-5). Bu bilgi bizi maden kazalarına genel kazalardan farklı bir yaklaşım gösterilmesi için uyarmaktadır.

4 KAZA SEBEPLERİNİN ANALİZİ

Kazaların meydana gelmesi yeterli tedbirin (önlemin) alınmadığının delilidir ve istatistiklerde gösteriyor ki aynı tip kazalar tekrar tekrar meydana gelmektedir. Bu, kazaya götüren **ana faktörlerin düzeltilmediği** hatta keşfedilmediği manasına gelmektedir.

Aynı kazanın ileride tekrar meydana gelmesini önlemek maksadıyla birkaç sorunun sorulması gerekmektedir.

(a)Eğer çalışma metodunda değişiklik yapılsaydı,,

(b)Eğer mevcut koruyucular gerçekten etkin kullanılmış olsaydı,
(c)Eğer daha iyi, yeni tip bir koruyucu kullanılmış olsaydı,
(d)Eğer kazalı bu iş için daha iyi eğitilmiş olsaydı,
(e)Eğer nezaretçi görevini daha etkili bir şekilde yapmış olsaydı,
(f)Eğer kazalı, yeraltı çalışma çevresine daha iyi alıştırılmış olsaydı,
(g)Eğer bazı ilâve kural ve nizamnameler uygulanmış olsaydı?

Eğer araştırıcı kazayı yukarıdaki maddelerin ışığı altında incelerse, en az bir ve muhtemelen birçok defalar, bilhassa **(a)** ve **(b**) maddeleri için «evet» cevabını elde etmiş olacaktır. Kaza raporlarının çoğunda kişinin davranışlarını tasvir ederken **«dikkatsiz»** diye nitelendirmektedir. Aslında bahsettiğimiz fikirler çerçevesi içerisinde bu kelimeyi kullanmaktan kaçınmak gerekmektedir, çünkü gerçekte araştırıcının kazanın ana sebeplerini **keşfedemediği** anlamına gelmektedir.

En iyi tarzda eğitilmiş bir kişinin bile unutkanlık ve dalgınlık anı olabilmektedir.

Esas çözüm, işyerinde sağlık ve güvenlik sistemi dizaynını kişinin dalgınlık anlarında kontrolden çıkmasını önleyecek tarzda yapmaktır.

4.1 İş Kazalarında Ruhsal Etmenlerin Araştırılması

20.yy. başlarında iş kazalarının bir mühendislik sorunu olup, makinalara özgü kusurlar giderildiğinde, iş kazalarının azaldığı, fakat bir süre sonra bu azalmanın devam etmediği görüldü. Bundan sonra araştırmacılar "İnsan Etmeni", özellikle de Psikolojik ve Motivasyonel etmenlerde odaklaşmaya başladılar.
Pek çok araştırıcıya göre, iş kazalarının iki temel etmeni vardır:

5 İŞ KAZALARININ NEDENLERİ

5.1 Kişisel Faktörler (% 80)

5.1.1 Kişisel özellikler :

a) Yaş, Cins, Eğitim, Deneyim.
b) Kazalara eğilim hali.(eğimli olmak)
c) Emosyonel gerginlik.
d) Zihinsel meşguliyet.
e) Bazı Nöropsikiyatrik hastalıklar: (Epilepsi, Davranış boz., Zihni yetersizlik).
f) Bazı droglara bağımlılık (Alkol, Toksik Madde, İlaçlar).
g) Yaradılıştan ve sonradan beceriksizlik.
h) Yeteneklerin geçici olarak zarar görmesi : (Yorgunluk, Uykusuzluk, Akut hastalıklar., Alkol, Tütün, Sedatif, Analjezik ve Hiptonik ilaçların kullanımıyla R. kapasitesi düşmesi).
i) Yeteneklerin kronik bedensel hastalıklar nedeniyle sürekli sarar görmesi: (İleri düzeyde görme-işitme yetersizlikleri, Nöromotor sistem lezyonları).

5.1.2 Fizyolojik faktörler:

a) Fizik yorgunluk,
b) Fizyolojik yorgunluk,
c) Fizik aksaklıklar,
d) Sağ veya sol elin kullanılmaması.

5.1.3 Psikolojik faktörler:

a) Duygusal denge,
b) Algı, dikkat, bellek bozuklukları,
c) Reaksiyon zamanı,
d) Zekâ düzeyi,
e) Özel yetenekler,
f) Uyarıcıya aşırı hızlı olma özelliği,
g) Psikolojik yorgunluk.

5.1.4 İnsan Etmenine İlişkin diğer Faktörler:

a) İş tatmininin olmaması,
b) Zihinsel yorgunluk,
c) Güvensiz davranışlar,
d) Yetersiz psikomotor koordinasyon,
e) Zayıf uyum,
f) Uzaklık ve süratte hatalı yargı,
g) Duygusal dengesizlik : (Aşırı sevinçli veya kederli olma, Gergin ve sıkıntılı olma).

5.2 ÇEVRESEL FAKTÖRLER:(% 20)

5.2.1 Kişisel koruma araçlarının kullanılmaması.

5.2.2 Üretim aygıtlarının hatalı yerleşimi.

5.2.3 Çalışma Ortamı:

a) Fizik faktörler: Gürültü, Isı, Işık, Radyasyon vs.
b) Biyolojik faktörler: Tahriş edici-Boğucu gazlar, Anestetik ve narkotik mad, sistemik zehirler,
c) Psikososyal faktörler: İşçi - İşveren ilişkileri, ücret sistemleri, lokavtlar vs.

6 MADENLERDE GÜVENLİK İÇİN EĞİTİMİN ÖNEMİ:

6.1 Madencilik Sektörüne Yönelik Eğitim

Bu bölümde Türkiye'deki madencilik eğitiminde mevcut durum ve çözüm önerileri sunulmuştur. Eğitimler ile ilgili yönetmelikler var olsa da her maden kendine özgü bir yapıya sahiptir. Bu neden ile konumu, görevi ne olursa olsun işe başlayan çalışanın 6 ay süre ile kendisini gözeten bir kişiye emanet edilmesi (ABD gibi ülkelerde de yapılan) iyi bir uygulama olacaktır.

6.1.1 Usta eğitimi

Madencilik faaliyetleri için usta yetiştirmede uygulanan yöntem çoğunlukla çalışarak, iş başında eğitimdir. Ustalık atama işlemleri genellikle eğitimi, deneyimi dokümantasyonu açısından yetersizdir. Bazı işletmelerde meslek kursları ile bu eğitim desteklenmektedir. Uygulama, daha önce benzer yöntemle usta ünvanı almış elemanın yanına tertip edilen işçinin, çalışırken Usta'yı izlemesi, nezaretçi ve mühendislerin denetimlerinde ustanın varsa hatalı çalışmalarına dair ikazları ve teorik bilgi kazandırmak için meslek kurslarına alınmaları şeklinde olmaktadır.

Ancak henüz Türkiye'de meslek standartları belirlenmediği ve eğitimde görev alan usta, nezaretçi ve mühendisler, aynı zamanda eğitimci olarak yetiştirilmedikleri için, bu yöntemle yetiştirilip aynı dalda usta ehliyeti verilen işçilerin kazandıkları bilgi ve beceriler de farklı olmaktadır.

Bu nedenle maden işletmelerinin usta ihtiyacının karşılanmasında en uygun yöntem yetişkinlere yönelik meslek kurslarıdır. Ancak, bu kursların meslek standartlarına dayalı olarak hazırlanan ve uzman eğitimcilerin görev aldığı eğitim programlarının, sonunda sertifika verilecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

6.1.2 Nezaretçi eğitimi

Nezaretçi eğitimi ile ilgili yasal düzenleme yoktur. Bu nedenle geçmişte nezaretçiler genellikle iki kaynaktan sağlanmıştır:

a) Başçavuş kursları,
b) Meslek yüksek okullarında teknikerlik eğitimi.

Eğitim süresi iki yıl olan başçavuş kurslarına, usta unvanını almış ilkokul mezunları kabul edilmiştir. Bu şekilde yetişen başçavuşlar, zaman içinde ilave bir eğitim almaksızın ocak şefliğine kadar yükselebilmiştir. Ancak temel eğitimleri ve madencilikle ilgili teorik bilgileri bu görev için yeterli olmadığından bu kurslar zaman içinde kapatılmıştır.

6.1.3 İşçilere yönelik eğitim

Maden işletmelerinde madencilik konusunda eğitim almamış kişilerin çalıştırılması kazaların önemli nedenlerinden biri olarak görünmektedir. Gerekli mesleki eğitimi almamış kişilerin madenler gibi çok riskli yerlerde çalıştırılması, bunların yapabileceği bilinçsiz/bilgisiz davranışlar nedeniyle sadece kendilerinin değil, o ocaklarda çalışan herkesin hayatını tehlikeye atma potansiyeli taşımaktadır.

İşçiler, maden ocaklarında üretim faaliyetlerini doğrudan yürüttükleri için,

işverence alınacak iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin de ilk basamak uygulayıcıları olarak görülebilir. Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği için alınan tedbirlerin başarıya ulaşabilmesi işçilere yeterli eğitim verilmesi gereklidir.

Vasıflı maden işçisi yetiştirilmesini ve işçilerin mesleği daha iyi anlamalarını sağlayacak meslek içi eğitim seminerleri, teknik gezi, dokümantasyon, vb. gibi konularda üniversite, meslek odaları ve endüstri işbirliği sağlanmalıdır.

6.1.4 Bilgilendirme ve eğitim

İş yerinde tüm çalışanlar, güvenli ve sağlığa uygun davranışlar göstermelidir. Bunun için iyi hazırlanmış ve uygulanmış bir bilgilendirme hedeflenmelidir.

Bilgilendirme işverenin görevidir ve aşağıdaki anlamları taşımalıdır:

- Bilgi ve deneyim aktarımı,
- Ders verme,
- Eğitim verme,
- İkna etme,
- Motive etme,
- Örnek olma,
- Övme,
- Fikir verme

Bilgilendirme ve eğitim aşağıdaki durumlarda ve zamanlarda gereklidir:

6.1.5 İlk eğitim ve bilgilendirme*;*

İş yerinde yeni işe başlayanların ve yenilerin bilgilendirilmesidir.

6.1.6 Sürekli Bilgilendirme

"Uygun zaman aralıklarında", iş yerine göre farklı konu başlıklarında, yapılan bilgilendirmelerdir.

Özel nedenler ile yapılan bilgilendirmeler aşağıdaki durumlarda gerekli olabilmektedir:

- Sıra dışı rutin olmayan ya da nadir yapılan çalışmalar,
- İş yeri değişikliği,
- İş sağlığı ve güvenliği ihlali tespit edilen durumlarda,
- Kazalarda ya da kazaya ramak kala durumlarda,
- İş yerinde sağlığa uygun yeni davranışlar veya yeni bilgiler geliştirildiğinde,

Eğitim ve bilgilendirmeler tekrarlanıp kaydedilmelidir.

7 SON SÖZ

Tüm madenciler, mühendisler, uzmanlar, nezaretçiler ve çalışanlar bilgilerini çağdaş İSG kültürüne göre gözden geçirilmelidir. Her maden kendine özgü tehlikeler, riskler içerir, tüm yeni başlayan ve çalışanlara bilgi deneyim aktarımı için eğitimler ciddi olarak yenilenmelidir.

KAYNAKLAR

Prof. T. Akbulut, Dr. Y. (Çokan) ,Psk. A. Türkbıkmaz, Psk. A.Akayoğlu, Psk. N. *Akyıldız İş Kazalarında Ruhsal Etmenlerin Metalden Eşya İmali İşkolunda Araştırılması*

A.Ebiri: *İşçi Sağlığında Psikolojik Etkenler,*1988*.(2. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Haftası'na sunulan Bildiri.)*

İ.Türk, *Türkiye'de İş Kazaları,* 1976. Türkiye Gıda-İş Yayını

Cumhurbaşkanlığı Devlet Denetleme Kurulu *Araştırma ve İnceleme Raporu* Tarihi : 08/06/2011 Sayısı : 2011/3,

ILO Uygulama Kılavuzu Yeraltı Kömür Madenlerinde Güvenlik ve Sağlık (Çeviren: Handan Uysal Sabır Uluslararası Çalışma Ofisi Ankara)

(ILIS) Maden Sektörü İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi

Devlet İstatistik Enstitüsü ve Türkiye İstatistik Kurumu istatistik yıllıkları.

Madencilik Dergisi Sayı: 49/3 Cilt: Eylül/2010. *TKİ'ye Bağlı İşletmelerde Yaralanmalı İş Kazalarının Analizi.* S. Önder – M. Önder.

Madencilik Dergisi Sayı: 38/4 Cilt: Aralık/1999. *1984-1999 Yılları Arasında TKİ Kurumu'nda Olan İş Kazalarının İstatistiksel Değerlendirilmesi* Statistical Evaluation of Accidents Occurring at TKİ in Between 1984 and 1999.Y. S. İstanbulluoğlu

Madencilik Dergisi Sayı: 30/1 Cilt: Mart/1991.*Kaza Araştırma, Accident* Invastigation.B.Topkara / D. A. ZEGEAR

Madencilik Dergisi Sayı: 29/4 Cilt: Aralık/1990.*İş Kazaları ve Meslek Hastalıklarının Önemi, Nedenleri,Öneriler.*T. Güyagüler

Madencilik Dergisi Sayı: 27/4 Cilt: Aralık/1988.ABD *Yeraltı Kömür Ocaklarında Göçük Kazaları İstatistikleri* Accident Statistics in USA Underground Coal Mines.Deno M. Pappas / Çev.: Z. Ergin

Madencilik Dergisi Sayı: 14/6 Cilt: Kasım/1975.1-*İş Kazası Forumları. 2-İş Kazaları ve Beslenme Biçimi.*O.N. KOÇTÜRK

Madencilik Dergisi Sayı: 12/4 Cilt: Temmuz/1973.*Madenlerde Kazalardan Korunma Prensipleri*.J. A. NORTHCOTT Çeviren: S.GAZANFER

Madencilik Dergisi Sayı: 06/1 Cilt: Şubat/1967.*Kazaların Milli Ekonomiye Tesiri*.M. Çakır

Madencilik Dergisi Sayı: 05/20 Cilt: Kasım/1966.*Maden Kazalarını Önleyici Kontrol Teşkilatının Kurulması Hakkında Temenni*.Y. Gürata

Madencilik Dergisi Sayı: 05/18 - 19 Cilt: Aralık/1965.*Ereğli Demir ve Çelik Fabrikalarında kazalar nasıl önlendi*.M.Çakır

Madencilik Dergisi Sayı: 04/15 Cilt: Kasım/1964.*Kazalar Ve Zararlarımız*. M. Çakır.

İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
Occupatıonal Health and Safety

Y. Aslantürk
Fırat Üniversitesi, ÇEKO, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

ÖZET Her geçen gün artmakta olan iş kazaları ve meslek hastalıkları, ülkemizin önemli sorunları arasındadır. Bu sorunların artışı sonucunda binlerce insanımız sakat kalmakta, yüzlerce insanımız hayatını kaybetmekte ve sağlığını yitirmektedir. Bu durumun nedenleri ise; işçi sağlığı ve iş güvenliğine gereken önemin verilmemesi, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün toplumumuz tarafından halen benimsenmemesi, iş kanunlarına uyulmaması, denetimin eksik yapılması, iş sağlığı ve güvenliği kavramının sadece maliyet olarak görülmesidir.

Çalışma ortamı koşullarının kötü olması ve işçilerin güvensiz davranışları iş kazalarına neden olan etmenleri oluşturmaktadır. Bu etmenler; psikolojik ve sosyolojik etmenler, ergonomik koşullar, çalışanın iş arkadaşlarıyla ilişkisi, gerginlik, yorgunluk, kişiye uygun olmayan işin verilmesi ve iş güvenliği eğitiminin eksik olmasıdır. Bunlar iş huzurunu, iş sağlığını, çalışma başarısını, ekonomiyi ve iş verimini olumsuz etkilemektedir. İş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu yaşanan acılar maddi kayıplardan oldukça fazladır. Bu kayıpları en aza indirgemek için ülkemiz iş güvenliği ve iş sağlığını iyileştirme çabası içine girmiştir. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda da yasalar geliştirilmektedir.

İş sağlığı ve güvenliğinin amacı; iş kazalarına sebebiyet verecek tehlike ve risklerle kaynağında mücadele etmek, çalışanların işe uyumunu sağlamak, çalışanların kültürel bakış açılarını değiştirmek ve çalışanların davranış tutumları noktasında yoğunlaşmaktır. Meydana gelen iş kazalarının derecesini bilimsel ve etik yollarla tespit etmeyi hedeflemektedir. Güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarını oluşturabilmek için iş sağlığı ve güvenliği gereklidir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, iş kazaları, meslek hastalıkları, işçi sağlığı

ABSTRACT Work accidents and occupational diseases that continuously increase are among the important issues of our country. As a result of increase of these happenings, thousands of our people remain crippled, lost their lives or health. The reasons of this situation are not given proper attention to occupational health and safety, not seriously taken up the culture of occupational health and safety by our society, not obey the labor laws, insufficient audit and seen the occupational health and safety as just a cost.

Unsafe behavior of workers and poor working environment conditions constitute the factors that cause accidents. Those factors are; psychological and sociological factors, ergonomic conditions, relationships with colleagues, tension, fatigue, unsuitable tasks for person and lack of safety training. All these adversely affect work peace, occupational health, work success, economy and business efficiency. Pains experienced as a result of work accidents and occupational diseases are much over the financial losses. Our country has entered into occupational safety and health improvement effort to minimize all these losses and casualties. In accordance with these efforts, some laws have been made.

The purposes of occupational health and safety are to combat the risks and dangers that may cause work accidents at source, to ensure compliance of the employees with work, to change the cultural view of the employees and to concentrate in the behavior and attitudes of employees. Also, it is aimed to identify the degree of occupational accidents occur in

scientific and ethical manner. Occupational health and safety is necessary in order to create safe and healthy working conditions.

Keywords: Occupational health and safety, occupational accidents, occupational diseases, occupational health

1 İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ NİÇİN ÖNEMLİDİR?

İşçi sağlığı ve iş güvenliği yalnızca teknik ve tıbbi bir çalışma olarak ele alınamaz. İşçilerin beslenme, barınma olanakları, doğal çevrenin yaşanabilir olması, iş güvencesinin olması, sendikalaşma hakkı gibi pek çok konu işçilerin sağlığını ve güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Burada "işçi sağlığı" dendiğinde mavi ve beyaz yakalı, kadrolu – taşeron veya kamuda memur statüsünde bütün çalışanları kapsayacak şekilde ele alınmalıdır. İşçi sağlığı ve iş güvenliğine önem verilmesinin ana nedeni; yaş, cinsiyet, ırk ve meslek farkı gözetilmeksizin herkesin yaşama hakkının en yüksek düzeyde garanti altına alınması gerekliliğidir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği çalışmalarının yukarıdaki genel amaçlarının dışında; işyerlerinde yeterli güvenlik tedbirlerini alarak işçilerin korunması, işçileri tıbbi, fiziksel ve ruhsal açıdan en üst seviyeye çıkarılması, işyeri ortamında sağlığa zarar verebilecek unsurların hijyenik önlemlerle ortadan kaldırılması, işçiler ile iş arasındaki uyumun sağlanması, meydana gelen sağlık zararlarının ve meslek hastalıklarının tespit edilerek işçilerin tedavi olmalarını sağlaması, karşılaşılan zararların derecelerini objektif ve bilimsel yollarla belirleyip değerlendirmenin yanı sıra işyerinin güvenliğinin de sağlaması, olası kazaları engelleyerek verimliliğin arttırılması hedefleri vardır (Ekim, 2011).

1.1 İlgili Kavramlar

1.1.1 İş sağlığı ve güvenliği

Dünyada ve ülkemizde toplumsal refaha hizmet etmesinin yanında, sanayileşme ve teknolojideki hızlı gelişim insan hayatı ve çevre için tehlikeleri de beraberinde getirmiştir. Sanayileşme ile birlikte yoğun makineleşme ve üretimde kullanılan yüzlerce kimyasal maddenin yol açtığı iş kazaları ve meslek hastalıkları, çağımızın önemli bir problemi haline gelmiştir. Buna bağlı olarak hemen her tipteki işyerlerinde meydana gelen iş kazaların yarattığı tehlikelerin insanlığı ne ölçüde tehdit eder hale geldiği herkes tarafından anlaşılmaya başlanmıştır. Bu anlamda, söz konusu tehlikelerle bilinçli olarak mücadele edilmesi gereği ortaya çıkmış ve "iş güvenliği kavramı" doğmuştur.

İşçilerin hastalanmalarını ve sağlıklarını kaybetmelerini önleyici olmak üzere gerekli sağlık tedbirlerin alınması iş sağlığı kavramını ifade etmektedir. İşçilerin kazaya uğramalarını önleyici tedbirleri ifade eden iş güvenliği ise işyerinde kullanılan araç, gereç ve maddelerin kullanımı ve varlığından doğabilecek risklere karşı işçilerin korunması ve gerekli tedbirlerin alınmasıdır. İş güvenliğine ilişkin bir başka tanımlama ise şöyledir: İşyerini, işin yürütümü nedeniyle oluşan tehlikelerden ve sağlığa zarar verebilecek koşullardan arındırarak, daha iyi bir çalışma ortamı sağlamak için yapılan sistemli çalışmalardır (Aktay,2011).

1.1.2 İş kazaları ve meslek hastalıkları

ILO iş kazasını "belirli bir zarar ya da yaralanmaya neden olan, beklenmeyen, önceden planlanmayan bir olay" şeklinde tanımlamıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise iş kazasını şöyle tanımlamaktadır: "Önceden planlanmamış ve çoğu zaman, kişisel yaralanmalara, teçhizatın zarar görmesine, üretimin bir süre durmasına yol açan olaydır.(Ekim, 2011) Bilimsel çalışmalarca ispatlanmıştır ki; hiçbir kaza durup dururken, tesadüfî olarak ya da sebepsiz meydana gelmez. Bu nedenle, oluşan küçük ya da büyük tüm kazaları dikkatlice incelemek, analiz etmek, yol açan

nedenleri araştırmak ve değerlendirme sonrasında gerekli ders ve önlemleri almak, kaza tekrarlarının önlenmesi veya etkilerinin en aza indirgenmesi açısından son derece önemlidir.(Dizdar)

Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun (SSGSS) 14. Maddesine göre meslek hastalığı, "sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özürlülük halleridir (Ekim, 2011).

1.1.3 İş kazası ve meslek hastalıklarının nedenleri

Meslek hastalığı ile işçinin yaptığı iş arasında nedensellik bağı vardır. İş kazalarındaki kaza etkeninde olduğu gibi, meslek hastalıklarında da hastalık etkeni, insan vücudunun dışındadır. İş kazaları ve meslek hastalıklarının birlikte ele alınmasının ana sebebi de budur. Meslek hastalıklarını iş kazalarından ayıran, hastalık etkeninin devamlı olması, hastalığın ilerleyici oluşu ve başlangıç tarihinin kesin olarak saptanamamasıdır. Bu iki kavram örnekle açıklanacak olursa, patlama sonucu meydana gelen işitme bozuklukları iş kazası olarak tanımlanır. Fakat uzun yıllar yüksek şiddette gürültüye maruz kalarak çalışan bir işçinin işitme kaybı meslek hastalığıdır. Bir iş kazasının ve meslek hastalığının meydana gelmesinde; sosyolojik, psikolojik, fizyolojik, eğitim ve teknik konular etkili olmaktadır. İş kazalarının iki temel sebebi vardır. Bunlar, güvensiz çalışma davranışları ve güvensiz çalışma şartlarıdır. Güvensiz çalışma şartlarını da fiziksel ve çevresel şartlar olarak iki kısma ayrılır. Fiziksel şartlar; bozuk ekipmanı, yetersiz makine muhafazasını ve koruyucu donanım eksikliğini kapsar. Çevresel şartlar ise; gürültü, radyasyon, toz ve stres gibi etkenleri kapsar (İşler,2013).

1.1.4 Sağlık

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre sağlık " Bir insanın yalnızca bedenen değil, ruhsal ve sosyal yönden de tam bir iyilik halidir" şeklinde tanımlanmıştır (Vargı,2003).

1.1.5 Çalışan sağlığı

İş güvenliği ve iş sağlığına önem verilmediği takdirde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının artacağı rahatlıkla söylenebilir. Bundan da en fazla etkilenenler, birinci derecede işçiler olacaktır. Her şeyden önce işçinin ve doğal olarak işçinin ailesinin gelir düzeyi düşecektir. Bu durum işçi ve ailesi üzerinde bazı olumsuz etkiler meydana getirecektir. Sakat kalan veya belirli uzuv veya uzuvlarını kaybeden işçi psikolojik bazı rahatsızlıklara da uğrayabilecektir. Bu hem işçileri hem de toplumu olumsuz etkileyecektir (Karacan ve Erdoğan).

2 İŞ KAZASINI OLUŞTURAN ETMENLER

2.1 Psikolojik ve Sosyolojik Etmenler

Son yıllarda planlı bir şekilde yürütülen özelleştirmeler, taşeronluk uygulamaları, iş güvencesinin olmaması, işini kaybetme endişesi, çalışma süreleri, vardiya sistemi, fazla çalışma, gece mesaisi gibi birçok sorun çalışanlar açısından önemli bir ruhsal sorun kaynağı olmakta, üretimde verimsizliğe ve iş kazalarına yol açmaktadır. Bireyin sosyo-ekonomik düzeyi-durumu sağlığını etkileyen sosyal etmenlerdendir. Sosyal çevreyi oluşturan faktörlerin en önemlilerinden birisi olan ekonomik durum sağlığı önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle sağlık sosyo-ekonomik koşullarda belirlenir denmektedir (Vargı,2003).

1.2.2 Ergonomik etmenler

Ergonomi, insan kabiliyet ve kapasitesine uygun iş çevresi düzenlemekle işçi sağlığının korunmasını ve iş kazalarının minimizasyonunu sağlamış olmaktadır. Ergonomi, güvenlikle ilgili yapılacak tüm teorik ve pratik yaklaşımlarının odak noktasıdır. Diğer bir ifadeyle, ergonomide, insanların yetenekleri dışında çalışmalarının önlemesiyle artan güvenlik, kaza ve

yaralanmalara yol açabilecek hataları önlediği için, işi daha güvenli hale getirir. Dolayısıyla çalışma yerlerindeki ergonomik normlar, İş Sağlığı ve Güvenliği'nin (İSG) kendisidir.(Dizdar)

2.2 İş Stresi

İş yaşamında iş başarısı açısından stres durumu değerlendirildiğinde dört işlevsel ilişkinin önemli olduğu ifade edilebilir. İş, temel bir stres kaynağıdır ve çalışanların yeteneklerini sınırlayıcı ve zorlayıcı bir etki yapar. Özellikle aşırı iş yükü, kötü yönetim, sorumlulukları yeterince yerine getirememe, uygun olmayan çalışma ortamları, güven eksikliği vb. gibi nedenlerden dolayı çalışanların strese girdikleri belirtilebilir. İşin dışındaki bazı faktörlerden kaynaklanan stres etmenleri belirli bir süre içerisinde işte de etkili olmaya başlar. Kişi yaptığı işle beraber bazı stresli durumları da azaltmaya veya ortadan kaldırmaya çalışabilir. İş başarımı veya bundaki bir azalma stres göstergesi olarak değerlendirilebilir. Yani yapılan iş, bir stres ölçüsü olarak da gösterilebilir.(Soysal,2009)

2.3 Çalışanın İş Arkadaşlarıyla İlişkisi

Kişinin içinde bulunduğu grup iş tatminini etkilemektedir. Her işletmede biçimsel olan ve biçimsel olmayan gruplar bulunmaktadır. Çalışanın başarılı sayılan bir grup içerisinde yer alması ve hayat görüşü kendisine uygun çalışanlarla birlikte olması, onun iş tatminini artıracaktır. Çalışanlar, yaptıkları işten sadece para veya somut başarı beklememektedirler. Günlük yaşantısının yarısından fazlasını işyerinde çalışarak geçiren kişi, uyumlu iş arkadaşlarıyla birlikte sosyalleşme içerisindedir. Bu nedenle çalıştığı işletmede dostlar ve destekleyici iş arkadaşları bulan çalışanın iş tatmini artmaktadır.(Erdil-Keskin-İmamoğlu-Erat,2004)

2.4 Kişiye Uygun Olmayan İşin verilmesi

Herhangi ekonomik etkinlik içinde bulunan kişiler çalışan kişi olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde yüzlerce değişik çalışma alanı ve bu alanlarda çalışan milyonlarca insan vardır. Çalışma hayatındaki kişilerin en büyük bölümü yetişkin erkeklerdir. Daha az sayıda olmakla birlikte kadınlar, yaşlılar, çocuklar ve gençler de çalışma hayatında yer almaktadır. Çalışma ortamında işin yürütümü sırasında çeşitli tehlikeler oluşur. Çalışan bir kişinin sağlık durumu da bir yandan kişinin bireysel özellikleri, diğer taraftan da işyerinde bulunan çeşitli tehlikelerin etkisi ile belirlenir. İşyeri ortamındaki tehlikeler bütün çalışanlar için söz konusu olmakla birlikte çocuklar ve gençler çalışma hayatı bakımından özel bir risk grubu oluşturur.(Bilir)

2.5 İş Güvenliği Eğitiminin Eksik Olması

Eğitim çalışanların davranışında istenen yönde değişiklik oluşturma süreci olup, iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesinde önemli bir araçtır. Eğitim, bireylere işlerini ve mesleklerini başarılı bir şekilde yerine getirmeleri için gerekli kurumsal ve pratik bilgileri sağlayan bir İSG açısından koruyucu yöntemdir. İSG açısından eğitimin rolü büyüktür. Meydana gelen iş kazalarının çoğu insan davranışlarından kaynaklanmaktadır. İş kazası ve meslek hastalıklarının en önemli sebeplerinden biri de çalışanların ve işverenlerin, bilinç ve eğitim eksikliğidir. İş müfettişlerince yapılan denetimlerde de en çok rastlanan eksikliktir. İşyerlerinin eğitim ihtiyacını tespit ederek uygun periyotlarla ve belirli durumlarda eğitim ihtiyacını karşılamasıyla iş kazaları ve meslek hastalıklarında arzu edilen düzeyde bir azalma görülecektir.(İşler,2013)

3 İŞ GÜVENLİĞİNİN AMACI

- Çalışanların sağlık kapasitelerini en yüksek düzeye çıkarmak,
- Çalışma ortamının olumsuz koşulları nedeniyle çalışanın sağlığının bozulmasını önlemek,
- Çalışana fiziksel ve ruhsal yeteneklerine uygun iş vermek ve çalıştırmak,
- Yapılacak iş ile çalışan arasında uyum sağlamaktır.(Şakar,2011-2012)

4 İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KÜLTÜRÜ

İş kazaları, işçinin sağlığı ve güvenliği ile işletmenin üretim sürecini doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği gibi, sonuçları bakımından toplumu da etkilemektedir. Bunun nedeni, iş kazalarının işçi, işveren, ülke ekonomisi ve toplum açısından önemli sosyal ve ekonomik maliyetler yaratmasıdır. İş kazalarının önlenmesi için, iş kazaları henüz ortaya çıkmadan önce tehlikenin kaynağında kontrol altına alınması, riskleri asgari düzeye indirecek şekilde çalışma sistemlerinin ergonomik tasarımı, kişisel koruyucu ekipman kullanımının sağlanması ve yaygınlaştırılması ve en önemlisi de örgüt yönetimi ve çalışanlar tarafından konunun sahiplenilmesi önem taşımaktadır Bu noktada, önlemenin ödemekten daha kolay olduğu gerçeğini dikkate almak, güvenlik kültürünü oluşturmak ve geliştirmek, iş güvenliği ile ilgili çalışmaları maddi bir külfet veya zaman ve faaliyet kaybı olarak gören düşünceyi yıkmak gerekmektedir (Aytaç).

5 SONUÇ

Gelişen teknoloji ile sanayileşmenin beraberinde getirdiği iş kazaları ve meslek hastalıkları iş sağlığı ve güvenliğinin önemini de artırmıştır. Bu nedenle iş kazaları ve meslek hastalıklarını minimize etmek için; iş güvenliği eğitimleri yaygınlaştırılmalı, işçilerin işe giriş muayeneleri işveren tarafından yaptırılmalı, işyeri motivasyonu sağlanmalı, işçiler yeterli ve dengeli beslenmeli, çalışma hayatında özel risk grupları dikkate alınarak uygun işe yerleştirilmeli, işveren ve işçi birbirilerine karşı yükümlülüklerini yerine getirmeli son olarak ta yapılan işyeri çalışmalarında iş kanunları göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca günümüzün hastalığı olan stresten de çalışanlar olumsuz etkilenmektedir. İş yükü, eksik ücret, iş tatmini, doyumsuzluk, vardiyalı çalışma saatleri, ekonomik nedenler, mesleksizlik sorunu ve ailevi problemler başlıca iş stresinin oluşma sebepleridir. İş sağlığı ve güvenliği biliminin bu anlamda da gerekliliği söz konusudur. İş sağlığı ve güvenliği bilimi, toplumu bir bütün olarak ele almaktadır. Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği bilinci geliştirilmelidir. Çünkü sağlıklı bir toplumun geleceğini bilinçli bireyler oluşturmaktadır. İş güvenlik kültürü toplumumuzda yer edinirse verim artar, işveren kazanır, ülke gelişir.

KAYNAKLAR

Aktay, N,(İş Müfettiş Yardımcısı),2011. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi ile İş Güvenliği Kültürü Arasındaki İlişki, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, İstanbul,(2s.).

Aytaç, S, İş Kazalarını Önlemede Güvenlik Kültürünün Önemi, Uludağ Üniversitesi İİBF Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümü,(4s.).

Bilir, N, Çalışma Hayatında Bir Risk Grubu: Genç Çalışanlar, Çalışan Gençlik, Hacettepe Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Ankara.

Dizdar, E.N, (Dr.), Ergonomi: Güvenliğe Dayalı İş yeri Düzenleme, Ünite 12, (2-3 s.).

Ekim 2011. İşçi Sağlığı ve Güvenliği Alanında Temel Bilgiler, TMMOB adına TMMOB İstanbul İl Koordinasyon Kurulu, İstanbul,(10-11 s.).

Erdil, O- Keskin, H- İmamoğlu, S.Z.-Erat, S, 2004. Yönetim Tarzı ve Çalışma Koşulları, Arkadaşlık Ortamı ve Takdir Edilme Duygusu ile İş Tatmini Arasındaki İlişkiler: Tekstil Sektöründe Bir Uygulama, Doğuş Üniversitesi Dergisi, 5 (1), 17-26, (20s.).

İşler, M.C.(İş Müfettiş Yardımcısı),2013. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimleri ile Güvenlik Kültürünün İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Önlenmesindeki Etkisi, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, Ankara, (5-6-11s.).

Karacan, E- Erdoğan, N.Ö, 2011. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğine İnsan Kaynakları Yönetimi Fonksiyonları Açısından Çözümsel Bir Yaklaşım, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (21)/1.102-116,(104 s.)

Soysal, A, (Dr.), Mayıs 2013. İş Yaşamında Stres, 2, (19s.).

Şakar, S, 2011-2012. Çevre ve Halk Sağlığı Ders Notları, (7-11-12s.).

Vargı, S, Mayıs 2003.Türk-İş Toraks Derneği Kursu.

Kuvars İşletmesi'nde Tozlu Ortam Hava Kalitesinin Pnömatik Taşıma Sistemi ile İyileştirilmesi

The Improving of Dusty Ambient Air Quality in a Quartz Operation Plant with the Pneumatic Conveying System

A. K. Çakır
Mikroman Maden A.Ş., Makine Yük. Mühendisi, Yatağan, Muğla
N. Çetin
Mikroman Maden A.Ş., Maden Mühendisi, Yatağan, Muğla

ÖZET 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 10. maddesinin 4. fıkrasında; "İşveren, iş sağlığı ve güvenliği yönünden çalışma ortamına ve çalışanların bu ortamda maruz kaldığı risklerin belirlenmesine yönelik gerekli kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırmaların yapılmasını sağlar." ifadesi yer almaktadır. Ayrıca, 05.11.2013 tarih yayımlanan 28812 sayılı Resmi Gazete 'de; "İşveren, her türlü tozun meydana geldiği iş yerlerinde çalışanların toz maruziyetini önlemek ve çalışanların toz ile ilgili tehlikelerden korunması için gerekli tüm koruyucu ve önleyici tedbirleri almakla yükümlüdür" denilmektedir.

Bu hükümler doğrultusunda Mikroman Maden A.Ş. firması, tesisindeki toza maruziyet durumunu görebilmek için toz ölçümlerinde yetkilendirilmiş firmaya ortam ve kişisel ölçümleri yaptırmıştır. Ölçüm sonucunda toza maruziyetin en yoğun görüldüğü yerlerde araştırma yapılmasına karar verilmiştir.

Bu kapsamda çalışmamızda, kuvars madeninden kaynaklanan tozlu ortamı, pnömatik taşıma ile bertaraf etmek amaç edinilmiştir. Çalışmanın özelinde, açık ocakta üretilen ve Mikroman Maden Mikronize Tesis' inde işlenen malzemelerin önemli bir bölümü, bu tesiste kurulan Pnömatik Taşıma Sistemi ile minimize edilerek, kuvars tozlarından kaynaklanabilecek olası çevre sorunlarının ve sağlık etkilerinin asgari düzeye indirilmesi amaç edinilmiştir.

Tozsuzlaştırma faaliyetleri sonucunda ortam hava kalitesinde gözle görülür iyileşmeler oldu. Bu kapsamda yapılan ölçümler sonucu bu durum anlaşılmaktadır. Çalışma yapılan Mikronize ve Değirmen Ünitelerinde, bir önceki ölçüm değerleri ile kıyaslandığında toz ölçümlerinde belirgin düşüşler tespit edilmiştir. Tozsuzlaştırma çalışması öncesinde Mikronize Tesis ve Değirmen Ünitesi arasında yapılan ölçümde 1400µ/ Nm³ ölçülen değere karşılık, çalışma sonrası aynı yerde yapılan ölçümde, bu değerin 833 µ/ Nm³'e düştüğü görülebilmektedir. Bu da sistemin amacı doğrultusunda ve hava kalitesine olumlu seyredeceği fikrini desteklemiştir.

Çalışma alanında günde 7,5 saat çalışan personellerimizin toza maruz kalma olasılığı minimize edilerek, silikozis tarzı meslek hastalıklarına yakalanma olasılığı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava kalitesi, Pnömatik Taşıma Sistemi, kuvars tozu, tozsuzlaştırma

ABSTRACT As is stated in paragraph 4 of article 10 of 6331 legislation's that it is Occupational Safety and Health Law; "Employers, ensures the required control, measurement, analysis and research for the identification of risks which workers are exposed in that area in terms of safety and occupational health".

In addition, dated 05.11.2013 published in the Official Gazette No. 28812, "Employers obliged to take all necessary preventive and protective measures for prevent dust exposure of

workers and protection from hazards associated with dust in all kinds of dust occurred at work" is called.

In accordance with these provisions, Microman Mining Inc. built dust measurements of environment and personal exposured the company authorized about the dust measurement to see the dust exposure situation in the plant.

It is aimed to eliminate dusty due to quartz mineral with pneumatic transport in this study. In this context, Minimized an important part of the dust in the micronizing plant being used to transfer with the Pneumatic Conveying System. Thus, were minimized the potential environmental problems and the health effects may minimize from quartz dust.

The ambient air quality was visible improvements a result of dedusting activity. It is understood in this case results of measurements that made in this context. A marked decrease were determined in dust measurements when compared the previous measurements in working unit that micronized and mill.

It can be seen to reduce the values in after project when we compare before project (the measured value is 1400µ/ Nm^3) and after project value is that the measured value is 833 µ/ Nm^3data. This situation is supported with the idea the purpose of system and the positive trend air quality.

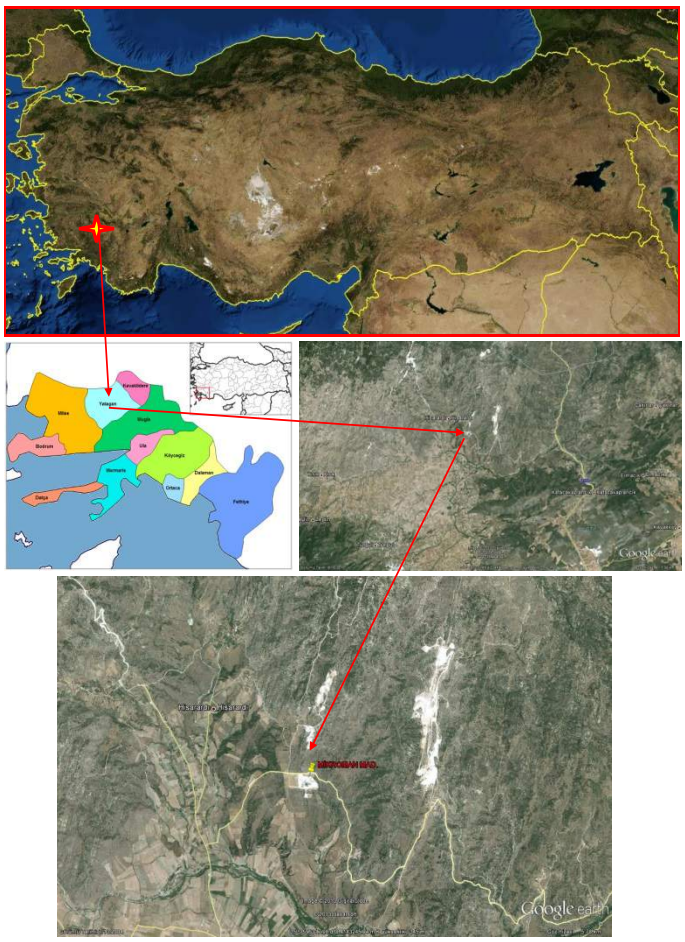
It is decreased possibility of developing occupational diseases that is silicosis style for our staff that working 7,5 hours per day.

Keywords: Air quality, Pneumatic Conveying System, quartz dust, dedusting,

1 GİRİŞ

Mikroman Maden San. ve Tic. A.Ş. firması, Hisarardı Mah. Yazkır Mevkii Yatağan/Muğla adresinde faaliyet göstermekte olup, tesiste kırma - eleme ve mikronize öğütme yapılmaktadır. Tesisin yıllık üretim kapasitesi 15.000.000 kg öğütülmüş kuvars ve feldspattır. Tesis yerleşim yerine ait detay Şekil 1'de gösterilmiştir.

Mikroman Maden Kuvars İşletme Tesisi' inin 1993 yılında işletmeye açılmasıyla, üretilen kuvars ürünlerinin çeşitli sanayi dallarında ham madde olarak kullanılması (Cam, Kimya, Çimento, İnşaat vb.) ile ülkemiz sanayisine önemli derecede katkı sunmuştur. Kuvars vb. işletmelerde üretimin her kademesinde önemli miktarda çıkan tozlar çalışma ortamını ve dolayısıyla çalışan sağlığını tehdit etmektedir. Çıkan tozları minimize etmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri olan Denskonveyor (Pnömatik) sistemi, tozları kapalı sistemle taşımaktadır. Bu sayede, taşınan malzeme kaybolmadan, kirlenmeden, fiziksel ve kimyasal herhangi bir yapıya dönüşmeden sessiz bir çalışma ile taşınmaktadır.



Şekil 1. Tesis Uydu Görüntüsü (Mikroman, 2014).

Bu çalışmanın temel amacı, Mikroman Maden A.Ş., işletmesinde kuvars madeninden kaynaklanan tozlu ortamı, Pnömatik Taşıma ile bertaraf etmektir. Bu kapsamda, açık ocakta üretilen ve Mikroman Maden Mikronize Tesis' inde işlenen malzemelerin önemli bir bölümü, bu tesiste kurulan Pnömatik Taşıma Sistemi ile minimize edilerek, kuvars tozlarından kaynaklanabilecek olası çevre sorunlarının ve sağlık etkilerinin asgari düzeye indirilmesinin araştırılmasıdır.

2 MATERYAL VE METOD

Kuvars vb. işletmelerdeki ortam hava kalitesini etkileyen en önemli faktör ortamda bulunan tozdur. Bu tarz işletmelerde toz, genellikle kuru tip öğütme ve seperasyon proseslerinde aktarma, boşaltma, transfer noktalarında ve silo altlarından ürün, ara ürün ve atıkların paketlenmesi boşaltılması, taşınması ve depolanması sürecinde çıkan tozlardan kaynaklanmaktadır.

Mikroman Maden üretim tesislerinde çeşitli zamanlarda periyodik ölçümler yapılmaktadır. 02.07.2012 tarihinde, iç ortam havasında, belirlenen bölümde, beş personel üzerinde yapılan sekiz saat süreli solunabilir toplam toz ölçüm sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Ölçümler; OSHA (Occupational Safety and Helath Administration) PEL (Permissible Exposure Limit) çerçevesinde GILIAN 3500 Model cihaz kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 1. Tesiste Yapılan Maruziyet Toplam Toz Ölçümleri-2012 (Çevtest, 2012).

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yapılan	Ölçüm Yapılan Bölüm	Parametre	Ölçülen Değer (µg/Nm3)	OSHA Sınır Değeri
1	02/07/12	Çalışan-1	Triyaj Kumanda	Solunabilir Toz	1961,5	5000
2	02/07/12	Çalışan-2	Optik-1	Solunabilir Toz	300,7	5000
3	02/07/12	Çalışan-3	Triyaj Ayıklama	Solunabilir Toz	833,3	5000
4	02/07/12	Çalışan-4	Değirmen Kule 1-2	Solunabilir Toz	673,7	5000
5	02/07/12	Çalışan-5	Mikronize Tesis İçi (Değirmen Kolu)	Solunabilir Toz	1400	5000

Tesiste beş personel üzerinde yapılan sekiz saatlik maruziyet solunabilir toz ölçümleri sonucu elde edilen değerler, OSHA'da belirtilen sınır değer ile karşılaştırılmıştır. Yapılan maruziyet solunabilir toz ölçümlerinde ölçüm yapılan personellerin maruz kaldığı toz değerlerinin OSHA sınır değerlerini sağladığı tespit edilmiştir.

Ortamdaki toz miktarını minimize etmede kullanılan çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Mikroman Maden Kuvars İşletme Tesisinde, ortamdaki toz miktarını minimize etmede kullanılacak sistem Yoğun faz Pnömatik Taşıma Sistemi olarak belirlenmiştir.

2.1 Pnömatik Taşıma Sistemi

Pnömatik Taşıma Sistemleri, toz ve granül malzemelerin basınçlı hava ile borular içerisinden gönderilmesi için tasarlanmış olan taşıma kaplarıdır. Pnömatik taşıma sistemleri temel olarak ikiye ayrılmaktadır:

a)Vakumlu sistem

Vakumlu sistemlerde, hava ve katı parçacıklar boru hattı içine emilir. Boru hattının sonunda, katı ve sıvı akışının ayrılması bir siklon veya filtre aracılığıyla gerçekleştirilir. Yer çekiminin de etkisiyle katı parçacıklar düşerken, hava akışı vakum pompasının olduğu yöne doğru çekilir.

b)Basınçlı sistem:
Basınçlı sistemde atmosferik hava, fan aracılığıyla sürekli olarak taşınır. Fanın arkasında ise katı parçacıklar hava akışının içine enjekte edilmektedir. Boru hattının sonunda, katı ve sıvı akışının ayrılması siklon veya filtre aracılığı ile gerçekleştirilir. Yer çekiminin de etkisiyle katı parçacıkları düşerken, hava fazı atmosfere geri dönerek yukarı doğru akar. Çoklu besleme noktalarından tek bir boşalma mümkündür. Tek bir besleme noktasından çoklu boşaltma noktalarına ulaşmak mümkündür. (Anonim, 2014). Sistemin çeşitli modelleri mevcuttur. Bunlar;

D Modeli-Standart, DF Modeli-Dolum Filtreli, DP Modeli-Çıkış Vanalı, DW Modeli-Tartımlı, DBC Modeli-E-Kompakt, DMS -Çoklu Dens Taşıma (Optima Mühendislik, 2014). Bu modellerden D Modeli (Standart) projemizde kullanılmıştır. D modelinin özellikleri belirtilmiş olup, resmi Şekil 2'de verilmiştir.

2.1.1 D modelinin özellikleri

Özel tasarım giriş vanası, 50 m³/sa. taşıma kapasiteli, 500 m taşıma mesafeli, 6 barg'ye kadar basınç dayanımlı, PLC tabanlı elektropnömatik kontrol merkezi kumanda sistemi ile haberleşebilme izleme ve kontrol için dokunmatik ekranlı ara yüz (Opsiyonel) özelliklerine sahiptir (Optima Mühendislik, 2014).

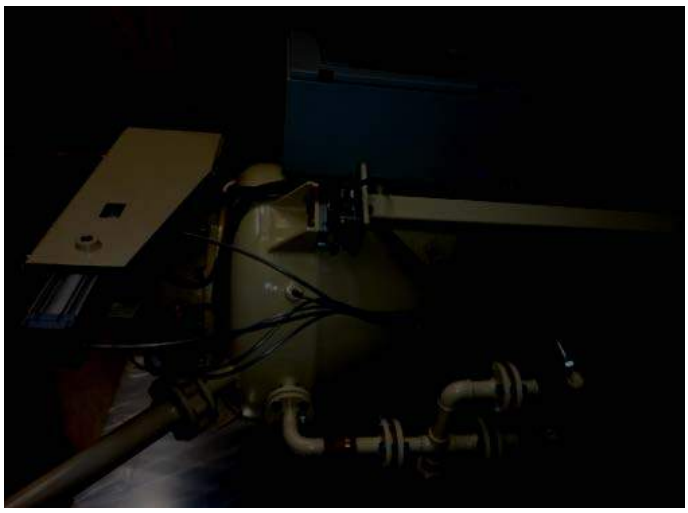
Pnömatik taşıma sisteminin çalışma prensibi 4 ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

1.Aşama (Dolum):
İlk olarak giriş vanası şişme contası indirilir ve basınç şalterinden contanın indiği bilgisi (p<4 bar) gelmesi beklenir. Daha sonra üst vana ve havalandırma vanası açılır. Vanaların açıldığı bilgisini ilgili sensörlerden alır. Bu vanalar, kontrol panosu üzerinden zaman ya da seviye seçilerek, belirli bir süre (20 sn) ya da seviye sensöründen sinyal gelene kadar açık tutulur.

2.Aşama (Basınçlandırma):
Giriş vanası kapatıldıktan sonra conta şişirilerek sızdırmazlık sağlanır. Vanaların kapalı konum bilgisi geldiğinde tesisattan hava verilerek iç basınç yükseltilmeye başlanır.

3.Aşama (Taşıma):
Kap basıncı yeteri kadar yükseltildiğinde kap içerisindeki malzeme sevk hattına doğru hareketlenir ve taşıma işlemi başlar.

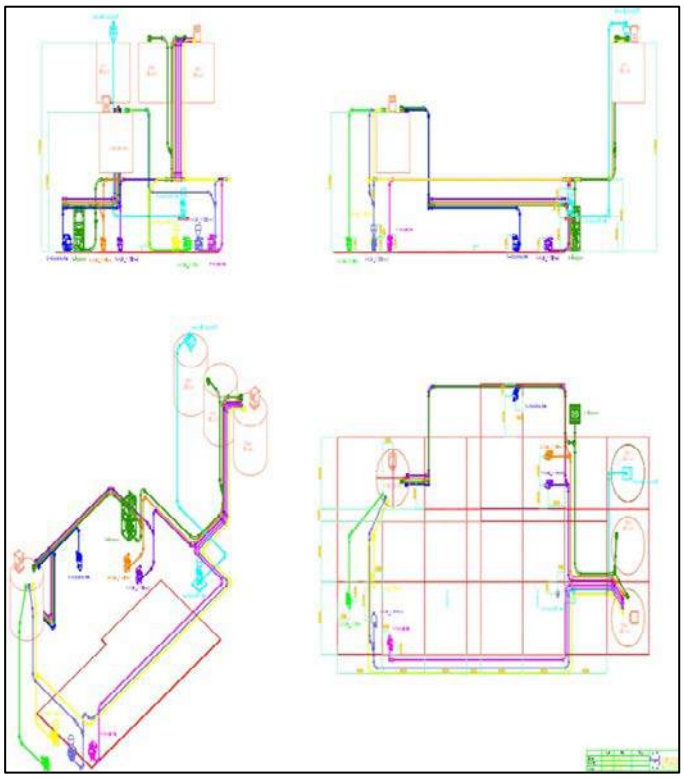
4.Aşama (Döngü Sonu):
Kap basıncının 0.25 barın altına düştüğü bilgisi geldikten sonra boruda kalan malzemeyi temizlemek amacı ile 5 saniye daha temizleme havası verilir ve gönderme işlemi sonlanmış olur.



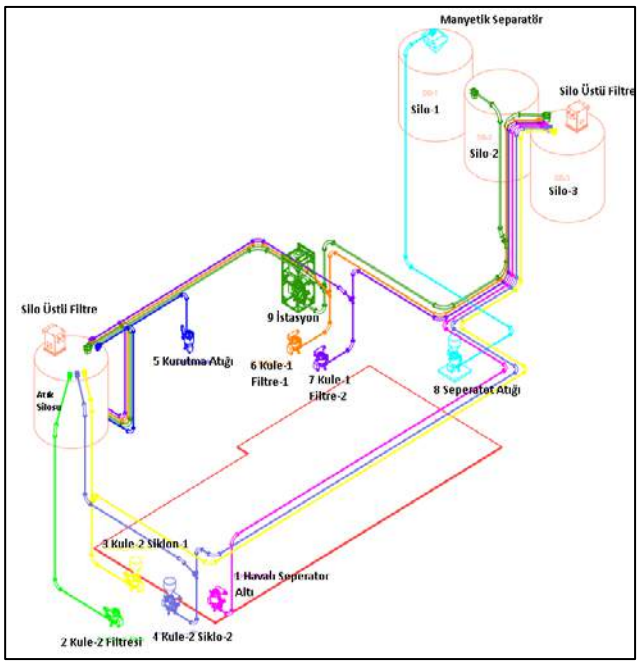
Şekil 2. (Optima Müh., 2014).

2.2 Mikroman maden tozsuzlaştırma projesi

Proje kapsamında tozun en çok görüldüğü, siklon, kurutma ve filtre birimlerini kapsayacak şekilde pnömatik taşıma sisteminin kurulmasına karar verildi. Sistem, Mikronize tesis, ürün, ara ürün ve atıkların silodan bigbaglere boşaltılması, forklifte taşınması, Besleme Bunker veya siloya beslenmesi,boşaltılması,Elavatorle Değirmen Besleme Silosuna (Atıkların silo altından boşaltılması ve transferi ve tekrar boşaltılması ve nakledilmesi) transfer edilmesini kapsayacak şekilde tasarlandı. Çalışma sahası genel görünümü Şekil 3'de verilmiştir. Sisteme ait iş akış şeması ise, Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Proje Sahası Genel Görünüm (Mikroman, 2014).



Şekil 4. Proje Sahası Detay Görünüm (Mikroman, 2014).

Şekil 4'de gösterilen iş akış şemasını kısaca özetleyecek olursak; 1 numara ile kodlanan havalı seperatorden çıkan -100µ (100µ altı malzeme) boyutlu malzeme doğrudan değirmen besleme silolarına (Silo-1, Silo-2, Silo-3) gönderilecektir. 3 ve 4 numaralar ile kodlanan Siklon 1, Siklon 2 ile 6 ve 7 numaralar ile kodlanan Tesis Filtresi 1 ve 2'den çıkan malzeme ise, istenirse değirmen besleme silolarına, istenirse atık toplama silosuna gönderilecektir. 5 numara ile gösterilen kurutucudan çıkan atık malzeme ise, direk atık toplama silosuna gönderilecektir. Sistemden bigbagler olarak alınmış olan ara ürün veya atık malzeme, 9 numaradaki merkezi konumdaki istasyon ile ister atık toplama silosuna istenirse ise değirmen besleme silosuna gönderilebilecektir. Tesisten çıkan manyetik seperatör atıkları ise, değirmen besleme silosu üzerinde bulunan manyetik seperatöre taşınabilmektedir. Bu sayede atık malzemeler toz oluşturmadan tamamen kapalı bir sistemle atık olarak veya geri değerlendirilebilir ürün olarak değirmen ünitesinde değerlendirilebilmektedir.

Pnömatik taşıma sisteminin kurulması sonrasında sistemi oluşturan her bölüm devreye girilmemiş olup, kademe kademe devreye konulması tasarlanmıştır. Bu kapsamda, devreye alınan Mikronize Ünitesi ve Değirmen Ünitesinde kişisel toz maruziyet ölçümleri yapılmıştır. Bu kısımlara ait sistemin devreye alınışının %50'sini kapsayacak şekilde yapılan toz ölçümlerini gösterir Çizelge 2 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Tesiste Yapılan Maruziyet Toplam Toz Ölçümleri-2014 (Çevtest, 2014).

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Yapılan Kişi	Ölçüm Yapılan Bölüm	Parametre	Ölçülen Değer (µg/Nm³)	OSHA Sınır Değeri (µg/Nm³)
1	28/11/14	Çalışan-1	Mikronize Tesis İçi	Solunabilir Toz	833	5000
2	28/11/14	Çalışan-2	Mikronize İşletme Sahası	Solunabilir Toz	833	5000
3	28/11/14	Çalışan-3	Mikronize Değirmen Ün.	Solunabilir Toz	833	5000
4	28/11/14	Çalışan-4	İnce Kırma Ünitesi	Solunabilir Toz	833	5000
5	28/11/14	Çalışan-5	İş Makinesi (Logar)	Solunabilir Toz	833	5000

Ortamın hava kalitesini bozan diğer bir etken olan forklift ile taşınmada da bir dizi önlem alındı. Paketleme ve İstiflemede – Sevkiyatta kullanılan dizel forklift yerine, hız sınırı limitlendirilen (10 km/sa) elektrikli forklift kullanımına geçildi. Böylece, ortam hava kalitesine olumlu etki etmiştir.

3 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Sistem kurulmadan önce tesisten çıkan atıklar (0-500 mikron), bigbag ile doldurularak kapalı kasa kamyona transferi, alttan açılarak manuel boşaltılması şeklinde idi. Yeni sistemde ise, ara ürün ve atık silolarındaki mikronize mallar tam kapalı ve sızdırmaz ortamda transporterlara doldurulup, nakledileceği silo/silolara yoğun faz şeklinde basınçlı hava ile (3-4 bar) hava ile taşınıyor ve depolanarak tozsuz bir şekilde aktarımı gerçekleştirilmektedir.

Tozsuzlaştırma faaliyetleri sonucunda ortam hava kalitesinde gözle görülür iyileşmeler oldu. Bu kapsamda yapılan ölçümler sonucu bu durum anlaşılmaktadır. Yukarıdaki çizelgeler incelendiğinde çalışma yapılan mikronize ve değirmen ünitelerinde, bir önceki ölçüm değerleri ile bir sonraki ölçüm değerleri kıyaslandığında toz ölçümlerinde belirgin düşüşler tespit edilmiştir. Örneğin, proje öncesi yapılan ölçümde gösterilen Mikronize Tesis ve Değirmen Ünitesi arasında yapılan ölçümde 1400µ/ Nm³ ölçülen değere karşılık, proje sonrası çalışma kapsamında yapılan ölçümde bu değerin 833 µ/ Nm³'e kadar düştüğü görülebilmektedir. Bu da sistemin amacı doğrultusunda ve hava kalitesine olumlu seyredeceği fikrini desteklemiştir.

Pnömatik sistem tozsuzlaştırmanın yanında işletmeye başka faydalar da sağlamıştır. Bunlar;

- ✓ Kapalı bir sistem olması
- ✓ Fazla yer kaplamaması
- ✓ Bigbag kullanma ve yıpranma maliyetinin olmaması
- ✓ Forklift taşıma maliyetlerinin olmaması
- ✓ İşçilik gerektirmemesi
- ✓ Ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi
- ✓ Minimum bakım gerektirmesi
- ✓ Sinyalizasyon ve otomasyona müsait olması.

Tozun en çok görüldüğü Mikronize Tesis, ürün, ara ürün ve atıkların silodan bigbaglere boşaltılması, bigbaglere forkliftle taşınması, bigbagden siloya boşaltılması, elevatorle değirmen besleme silosuna transfer edilmesi aşamaları harfiyen uygulanarak (Atıkların silo altından boşaltılması ve transferi ve tekrar boşaltılması ve nakledilmesi) çalışma ortamında gözle görülür bir hava kalitesi oluşmuştur. Bu sayede, çalışma alnında günde 7,5 saat çalışan personellerimizin toza maruz kalma olasılığı minimize edilerek, silikozis tarzı meslek hastalıklarına yakalanma olasılığı azalmıştır. Günümüzde ülkemizde özellikle maden sahalarında yaşanan iş kazaları ve meslek hastalıkları göz önüne alındığında, çalışmanın maden işletmecilerine referans olacağı ve ülkemize itibar getireceği muhakkaktır.

KAYNAKLAR

Anonim,2014.http://tr.millermagazine.com/?p=1031, 2014.

Çevtest, 2012. Mikroman Maden San. ve Tic. Ltd. Şti., Emisyon Ölçüm Raporu, Ek-4, Rapor Nu:2012/103, Çev.-Test Ölçüm Laboratuvarı, Bornova, İzmir, 2012.

Çevtest, 2014. Mikroman Maden San. ve Tic. A.Ş., Emisyon Ölçüm Raporu, Ek, Rapor Nu:2012/103,Çev-Test Ölçüm Laboratuvarı, Bornova, İzmir, 2014.

Mikroman, 2014. Mikroman Maden A.Ş. Tozsuzlaştırma Projesi, Ek-3, 2014.

Optima Mühendislik, 2014. Denskonveyor Taşıma Sistemi, Katalog Hazırlama, Sincan, Ankara, 2014.

Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri: Ölçümü ve Değerlendirilmesi

Effect of Whole-body Vibration on Operators and Drivers: Measurement and Evaluation

T. Doğan, B. Erdem
Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

Z. Duran
Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas

ÖZET Endüstrinin hemen tüm çalışma kollarında titreşim oluşturan makine ve teçhizat kullanılmaktadır. Bazı titreşim kaynakları çalışanların el ve kollarına ulaşan titreşimlere neden olurken diğer bir kısmı ise tüm vücudu titreşimin olumsuz etkisi altında bırakmaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında sürekli değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları, çalışanları olumsuz etkileyen fiziksel durumlar arasında sayılmaktadır. Madenlerde çalışan işçi ve operatörler de kullandıkları iş makinelerinden kaynaklanan mekanik titreşime maruz kalmaktadır. Titreşim, çalışanları; fiziksel ve psikolojik yönlerden etkileyebilmekte, meslek hastalıklarının oluşmasına neden olabilmekte, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir.

Bu çalışmada Sivas ili sınırları içerisinde faaliyet gösteren çeşitli maden işletmelerinde çalışan sürücü ve operatörlerin tüm vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulusal ve uluslararası standartlar uyarınca değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: A(8), ISO 2631-1, maruziyet etkin değeri, maruziyet sınır değeri, SEAT, VDV.

ABSTRACT Vibrating forming machines and equipment are used in almost all parts of industry. While some vibration sources cause vibration that reaches the hands and arms of employees, some others leave the body under the negative influence of whole body vibration. Constantly changing environmental conditions, various geological and climatic conditions during mining activities are considered among adverse effects against the physical condition of workers. Mine workers and operators are exposed to mechanical vibration arising from their use of equipment and machinery. Vibration can affect the employees from the physical and psychological aspects, lead to the formation of occupational diseases and can endanger the occupational safety by affecting work performance.

In this study, whole-body vibration exposure measurements of drivers and operators employed in various mining companies in the province of Sivas is made. The results are evaluated in accordance with national and international standards.

Keywords: A(8), exposure action value, exposure limit value, ISO 2631-1, SEAT, VDV.

1 GİRİŞ

Enerji ve endüstriyel hammaddelerin yerkabuğundan çıkarılıp teknolojinin kullanımına sunulması ancak madencilik ile mümkün olmaktadır. Madencilik dünya genelinde ve ülkemizde de iş kazası ve meslek hastalığı oranının yüksek olduğu iş kollarından biri olup inşaat ve metal ile

birlikte en riskli sektörler arasında yer almaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında sürekli değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları çalışanları olumsuz etkileyen fiziksel durumlar arasında sayılmaktadır. Ayrıca titreşim kaynağı oluşturan araç-gereç, makine ve cihazlar kullanılmakta olup çalışan işçi ve operatörler kullandıkları iş makinelerinin oluşturdukları titreşimden etkilenerek mekanik titreşime maruz kalmaktadırlar. Bazı titreşim kaynakları el ve kollara ulaşan titreşimlere neden olurken diğer bir kısmı ise tüm vücudu titreşimin olumsuz etkisi altında bırakmaktadır. Bu titreşim (vibrasyon) çalışanları fiziksel, psikolojik etkileyerek çalışma hayatlarında kronik hastalıkların oluşmasına sebep olmakta, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

Ülkemizde çalışma hayatı ile ilgili yasal düzenlemelerde meslek hastalıkları, Sosyal Güvenlik Sağlık İşlemleri Tüzüğü uyarınca beş grup halinde ele alınmakta olup; E grubu 'Fiziksel etkenlerle olan meslek hastalıkları'dır. Titreşimli araç kullananlarda görülen el-parmak ve dirsek rahatsızlıkları ile titreşimli zeminde çalışanlardaki bel ve sırt sorunları, 'Titreşim sonucu kemik – eklem zararları ve anjiyonörotik bozukluklar' (E-5) grubunda değerlendirilmektedir.

Meslek hastalıkları listesinde kas ve iskelet sistemi hastalıklarına oldukça geniş şekilde yer verilmiş olmakla birlikte, çeşitli yıllardaki meslek hastalıkları incelendiğinde bu grupta yer alan hastalıklara sık olarak rastlanmadığı dikkat çekmektedir (Bilir, 2007). T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayınlanan 2012 yılı iş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerine göre, titreşim sonucu kemik-eklem zararları ve anjiyo-nörotik bozuklukları kaynaklı meslek hastalığı olgusu ancak 3 erkek işçide izlenmiştir (WEB1).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 22.08.2013 tarih ve 28743 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Çalışanların titreşim ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik" uyarınca tüm vücut titreşimi (TVT), vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de, bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi ifade eder (ÇSGB, 2013a).

İşverenler, 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmî Gazete`de yayımlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği uyarınca çalışanların maruz kaldığı mekanik titreşim düzeyini, işyerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesinde ele almak, gerektiğinde de ölçümler yaptırarak mekanik titreşime maruziyeti belirlemek durumundadır (ÇSGB, 2012). Bu ölçümler, İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Yeterlilik Yönetmeliğine göre yapılır (ÇSGB, 2013b).

2 TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ ÜZERİNE ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Bovenzi (1996) otobüs ve traktör şoförleri üzerine yapılan iki epidemiyolojik çalışmada yaş, sırt kazaları, toplam tüm vücut titreşimi oranı ve postural aşırı yüklenme faktörlerinin kalça ağrısı üzerindeki etkisini incelemiştir. 1996 yılı itibariyle TVT ve kalça sakatlanmaları arasında etki-tepki ilişkisi tam olarak açıklığa kavuşturulmamış olup kadın işçiler için TVT kaynaklı sağlık riskleri üzerine bilgi eksikliği olduğu ifade edilmiştir. İş yerlerinde bir kaç bin kadının yoğun şekilde tüm vücut titreşimine maruz kaldıkları tahmin edilmekte olduğundan, TVT'nin dişi üreme organları ve sırt omurları üzerindeki sağlık etkilerinin detaylı araştırılması önerilmiştir. Yapılan iş kaynaklı TVT'ne maruziyet ve bir sürüş işi olan ortamda postural gerilimin kalça ağrısı riskini artırabileceği ifade edilmiştir.

Lundström *et al*. (1998), dikey TVT maruziyeti sırasında enerjinin soğurulması üzerine yaptıkları çalışmada oturma pozisyonunda dikey TVT'ne maruziyet sırasında soğurulan gücü 15 erkek ve 15 kadın denek üzerinde ölçmüşlerdir. Titreşim seviyesi, frekans, vücut kütlesi, rahat ve kasılma oturma pozisyonları gibi farklı deney koşulları uygulanmıştır. Sonuçlar, iletilen enerji ile titreşimin frekansı arasında güçlü ilişki olduğunu göstermiştir. Enerji

düzeyi, ivme seviyesi ve vücut kütlesi ile artmıştır. Kritik frekans değerinde enerji değerinde yaklaşık 10 kat artış gözlenmiştir.

Kumar (2004) açık ocaklarda kullanılan kamyonların operatörlerinin TVT bakımından takip edildiği çalışmada X, Y ve Z eksenlerinde titreşim ölçümleri kaydetmişler ve bulguların değerlendirilmesi sonucunda operatörlerin üçüncü bel ve yedinci boyun omurlarında titreşim kaynaklı etkileri ölçmüşlerdir. Farklı marka ve değişik taşıma kapasitelerindeki yeni ve eski kamyonlardan alınan veriden, ISO 2631-1 standardında öngörülen maruziyet eşiğinin aşıldığı tespit edilmiştir.

Shervin *et al*. (2004), lastik hava basıncının tomruk kesim makinesi operatörü üzerindeki TVT etkisini incelemişlerdir. Titreşim ölçümleri, 138 kPa, 345 kPa ve 414 kPa lastik basıncı ile üç ortogonal eksenden (X, Y ve Z) alınmıştır. 3,2 Hz frekansta operatör koltuğuna etki eden en yüksek titreşim ivmesi, Z ekseninde 0,281 m/s² değerinde iken 4 Hz frekansta operatör kabinine etki eden en yüksek ivme ise 0,425 m/s² idi. 414 kPa lastik basıncında operatörün 8 saat üzeri çalışması durumunda potansiyel risk olduğu belirlenmiş, maksimum lastik hava basıncında operatör koltuğundan kaydedilen toplam titreşim değeri ISO 2631-1 standardı uyarınca "oldukça rahatsızlık verici" olarak sınıflandırılmıştır. Kaydedilen TVT değerlerinde lastik hava basıncının düşmesi ile beraber kayda değer azalma meydana geldiği ve bu ilişkinin tekerlekli tomruk işleme makinelerinde operatörlerin maruz kaldığı TVT düzeyini ayarlamada kullanılabileceği gösterilmiştir.

Son yıllarda tanımlanan ve doğrudan gürültü ve titreşimle ilişkilendirilmiş olan vibro-akustik hastalık (VAH) dikkate alındığında, helikopter pilotlarının maruz kaldığı titreşim düzeylerinin azaltılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. UH-1H helikopterlerinde normal uçuş koşullarında pilot koltuklarında a_z = 0,920 m/s² ve a_y = 0,868 m/s² kare ortalamalarının karekökü (RMS) değerleri tespit edilmiş olup bu düzeyler oldukça yüksek titreşim düzeylerini ifade etmektedir. Bunun sonucu olarak da pilotlarda, özellikle omurgada, uzun dönemlerde meydana gelen dejeneratif değişikliklerin sebebinin bu titreşimler olduğu kanısına varılmıştır (Sezgin ve Birlik, 2004).

Okunribidoa *et al*. (2006), tüm vücut titreşiminin, duruşun ve elle kullanılan malzemelerin bel ağrısı için birer risk faktörü olarak göreli etkisini belirlemek amacıyla kesitsel bir çalışma yapmışlardır. İşlerinin bir kısmında araç kullanan 394 ve araç kullanmayan 59 çalışan üzerinde sağlık geçmişlerini, duruş ve elle kullanılan malzemeler hakkında bilgi toplamak üzere yenilenmiş bir anket uygulamışlardır. Anket cevaplarına ve titreşim maruziyeti ölçümlerine dayanarak toplam titreşim dozu, duruş skoru ve elle kullanma skoru gibi kişisel maruziyet değerleri bilgisayarda hesaplanmıştır. Lojistik regresyon modeli ve loglineer eliminasyon analizi kullanılarak sırt ağrısı için oranlar elde edilmiştir. Bulgular; duruş, tek başına titreşim veya elle kullanılan malzeme ile titreşimin birleştirilmiş etkisinin, tek başına titreşim, duruş ve elle kullanılan malzeme faktörlerine göre bel ağrısı yaygınlığında daha önemli katkısının olduğunu göstermiştir.

Eger *et al*. (2008a) yükle-taşı-boşalt (YTB) operatörleri üzerinde yaptıkları çalışmada ISO 2631-1 kriterlerine göre öngörülen sağlık risklerine ilave olarak, değerlendirilmemiş ISO 2631-5 kriterlerini de çalışarak iki standartta verilen TVT maruziyet ölçütlerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın devamı niteliğinde yaptıkları başka bir araştırmada da (Eger *et al*, 2008b) aynı çalışma grubu ile bir paket program kullanarak boyun ve eklem dönüşleri üzerindeki baskı ve yükleri ölçmüşler ve YTB operatörlerinin titreşime maruz kaldıkları çalışma şartlarında çalışma duruşlarının, kas-iskelet sistemi yaralanma riskini artırdığını tespit etmişlerdir. Eger (2007) doktora tez çalışmasında 19 YTB operatörünün TVT maruziyetlerini ölçerek, bel bölgesindeki omurga rahatsızlıklarını ISO 2631-1 ile ISO 2631-5 standartları doğrultusunda karşılaştırmıştır. ISO2631-1 standardı doğrultusunda A(8), RMS ve VDV

değerleri değerlendirilirken; ISO 2631-5 standardı ile Sed değerleri yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda ISO 2631-1 standardı uyarınca 9 operatör etkilenirken, ISO2631-5 uyarınca 2 operatörde bel bölgesi omurga rahatsızlığı tespit edilmiştir.

Mandal and Srivastava (2010) Hindistan'da bir kömür madeninde damperli kamyon gibi taşıma aracı operatörlerinin tüm vücut titreşimine maruziyet durumunu değerlendirdikleri çalışmada, baskın Z ekseni boyunca RMS ivme değeri bakımından titreşim değerlerinin 0,644 m/s² ile 1,82 m/s² arasında değiştiğini bulmuşlardır. Günlük ortalama 5 saatlik maruziyet ile birlikte değerlendirildiğinde, tüm damperli araçların ISO 2631-1:1997 standardında öngörülen yüksek sağlık risklerine neden olduğu ortaya çıkmıştır. 7 t ile 350 t arasında taşıma kapasiteli kamyonların 40 sürücüsü üzerinde 20 kez tekrarlanarak yapılan çalışmada, %85 anlamlılık düzeyi ile bel ağrısı sorunu, %30 omuz ve %37,5 de de boyun ağrısı şikâyeti tespit edilmiştir.

Salmoni *et al.* (2010) 33 skreyper operatörünün TVT maruziyetlerini tam dolu yükle taşıma, serme, boş dönüş, çalışır durumda bekleme ve dolma gibi beş farklı konumda en az üç skreyper döngüsünü içerecek şekilde yirmişer dakikalık devir boyunca üç eksende ölçümler alarak tespit etmişlerdir. Titreşimin koltuk boyunca en baskın olduğu Z-ekseni (oturakta yerçekimi ekseni yönünde) boyunca ortalama RMS 1,21 m/s², vektör toplam değerleri 2,08 m/s² idi. Ulaşılan TVT değerleri, skreyper operatörleri için büyük bir sağlık tehlikesinin mevcut olduğunu göstermiştir. Skreyper çalışma döngüsünün zaman bakımından bölümlemesi sonucunda %23'lük kısmın taşıma, %20'lik kısmın serme, %22'lik kısmın boş dönüş, %15'lik kısmın bekleme ve %20'lik kısmın doldurma için harcandığı tespit edilmiştir. Taşıma için 2,46 m/s², bekleme için 2,31 m/s², boş dönüşte 0,55 m/s² ve doldurma sırasında 1,46 m/s² RMS vektör toplam ivme değerleri kaydedilmiştir.

Smets *et al.* (2010) 35 ston, 50 ston ve 150 ston kapasiteli ağır iş kamyonu sürücülerinin titreşim maruziyetini ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartları göre bir saat boyunca operatör koltuğundan değerler kaydederek, ölçmüşlerdir. En yüksek günlük maruziyet eşdeğer ivme değeri Z-ekseninden 0,44 m/s² - 0,82 m/s² aralığında ölçülmüştür. ISO 2631-1 değerine göre sürücüler günlük maruziyet değerinin üzerinde titreşime maruz kalırken, ISO 2631-5 uyarınca sağlık etkisi olasılıklarının düşük olduğu sonucuna vararak, iki standart arasında uyumsuzluk olduğu yorumunu yapmışlardır.

Aye and Heyns (2011) Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan açık ocaklarda kullanılan çok sayıda iş makinesi tipi üzerinde yaptıkları çalışmada operatörlerin maruz kaldığı TVT düzeyini belirlemeye yönelik ölçümler yapmışlardır. ISO 2631-1 standardında verilen yöntem takip edilerek, A(8) ve VDV parametreleri kullanılmış ve tüm vücut titreşim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ölçüm alınan araçların %95 kadarının maruziyet sınır değerlerinin altında titreşim düzeyleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. İş makinelerinin %50 kadarının maruziyet etkin değerlerini aşan titreşime neden olduğu, dolayısıyla titreşim ilintili risklerin değerlendirilmesi ve bunlarla madencilik uygulamalarında mücadele edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, taşıma yollarına düzenli aralıklarla bakım yapılması ve operatörlere araçları daha verimli kullanma eğitiminin verilmesi gibi titreşim azaltıcı önlemler önermişlerdir.

Blood *et al.* (2012) yükleyici operatörlerinin TVT maruziyetlerini normal kauçuk lastik, merdiven-tipi koruma zinciri kaplı lastik ve kova-tipi zincir kaplı lastik olmak üzere üç farklı lastik türü ile farklı zeminler üzerinde ISO 2631-1 standardına uygun şekilde ölçümler alarak belirlemişlerdir. Alınan veriler, küresel konumlama sistemi (GPS) alıcıları ile de ilişkilendirilmiştir. Zincir kaplı lastik tiplerinden merdiven-tipi zincir, diğerine göre oldukça yüksek TVT maruziyetine yol açmakla birlikte, her iki tip de, kauçuk lastiklere kıyasla kayda değer oranda yüksek TVT maruziyetine yol açmışlardır. İlaveten, TVT maruziyetlerinde işleme bağımlı

farklılıklar da meydana gelmiştir. Sürüş sırasında baskın maruziyet Z-ekseninde meydana gelmiştir. Zeminin kürenmesi sırasında tüm eksenlerde orantılı titreşim maruziyeti kaydedilirken küreme ve boşaltma sırasında en yüksek titreşim maruziyeti X-ekseni boyunca meydana gelmiştir. GPS verisi görevler arasında ciddi hız farklarına işaret etmekle birlikte kova ve merdiven-tipi zincirle kaplı lastikler arasında farklılık göstermemiştir.

Langer *et al*. (2012) altı deneyimli terskepçe operatörü üzerindeki TVT etkilerini çalışmışlardır. Titreşim ölçümleri ile çalışanlar üzerindeki etkileri incelemek yerine farklı bir yöntem denemiş ve her operatörü üç farklı konumda çalıştırarak, oluşan titreşim ve iş makinelerinin yakıt tüketim performansını ölçmüşlerdir. Daha sonra operatörler kısa bir eğitime alınarak ekonomik sürüş ve titreşimi önleme konusunda eğitilerek tekrar aynı sürüş yöntemlerinde ikincil ölçümler alınmıştır. Kısa eğitim sonucu TVT değerinde ortalama %22,5 azalma olduğu ve tamamlanan tüm iş görevlerinde %38'e kadar yakıt tasarrufuna ulaşıldığı bildirilmiştir. Bu çalışmanın bulguları yapı sektörü için büyük önem taşımaktadır. Zararlı titreşim azaltılmakta ve aynı zamanda yakıt tüketiminde büyük bir potansiyel indirime erişilebilmektedir.

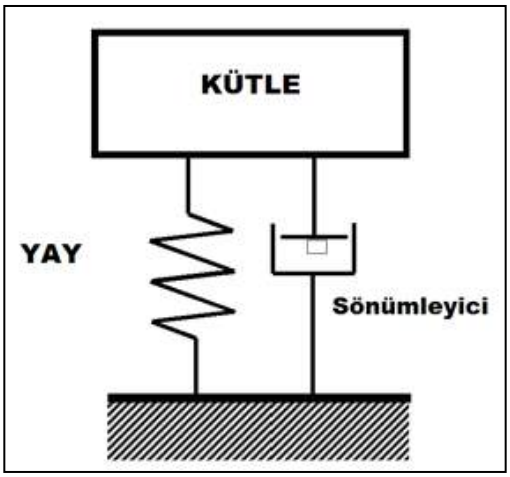
Yerüstü madencilik faaliyetlerinde kullanılan ağır iş makinelerinin operatörlerinin etkilendiği el-kol ve tüm vücut titreşimi, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. 1 Hz ve 20 Hz arasındaki frekanslar özellikle vücutta sırt ağrısı, omurga dejenerasyonu, mide sorunları, baş ağrısı, uyku sorunları gibi hasarlara sebep olabilmektedir (Thalheimer, 1996; Eger, 2007; Eger *et al*. 2008a, 2008b). Günlük rutin çalışma koşullarında maden ocaklarında çalışan işçiler mekanik titreşime maruz kalmakta, sağlıkları olumsuz etkilenmekte, bu rahatsızlıklarını da çalışma performanslarına yansıtarak verim düşüklüğü ve iş kazalarına sebep olabilmektedirler. Avustralya, Kanada, Güney Afrika Cumhuriyeti gibi endüstrileşmiş ülkelerde sanayiden sayılan iş kolları ile pek çok maden ocağında kullanılan çok çeşitli türdeki ağır iş makinesi operatörlerinin TVT maruziyeti dökümü, yukarıda özetlenen çalışmalar ile kapsamlı olarak çıkarılmıştır. Ancak Ülkemizdeki maden ocaklarında bu konuda henüz bir araştırma yapılmamış olup çalışan işçilerin ve özellikle ağır iş makinesi operatörlerinin ne gibi titreşim etkilerine maruz kaldıkları bilinmemektedir.

3 TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ

3.1 Titreşim

Titreşim, ses dalgaları gibi belirli aralıklarla tekrarlayan mekanik bir enerjidir. Genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duygusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik salınımlar olarak da tanımlanabilir. Bir başka ifade ile potansiyel enerjinin kinetik enerjiye, kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüşmesi olayına titreşim (vibrasyon) denir (WEB1, WEB2). Bir kütlenin belirli bir merkez etrafında çevrimsel hareketi olarak da ifade edilebilen titreşim, bir kütlenin elastik bir eleman üzerinde salınım hareketi yapmasıyla oluşur (Çay, 2006). Kütle ve elastik elemandan oluşan bu sistem, titreşim sistemi olarak adlandırılır.

Şekil 1'de görülen basit titreşim sisteminde kütle kinetik enerjiyi, yay ise potansiyel enerjiyi depo eder. Titreşim, potansiyel enerji ve kinetik enerji arasında enerji dönüşümü ile oluşur. Salınım sırasında sistemden enerji alarak, hareketi yavaşlatan ve sonunda durduran elemana sönümleyici denir (WEB1).



Şekil 1. Titreşim sistemi (Çay, 2006).

3.2 Tüm Vücut Titreşimi: Tanımı ve Etkileri

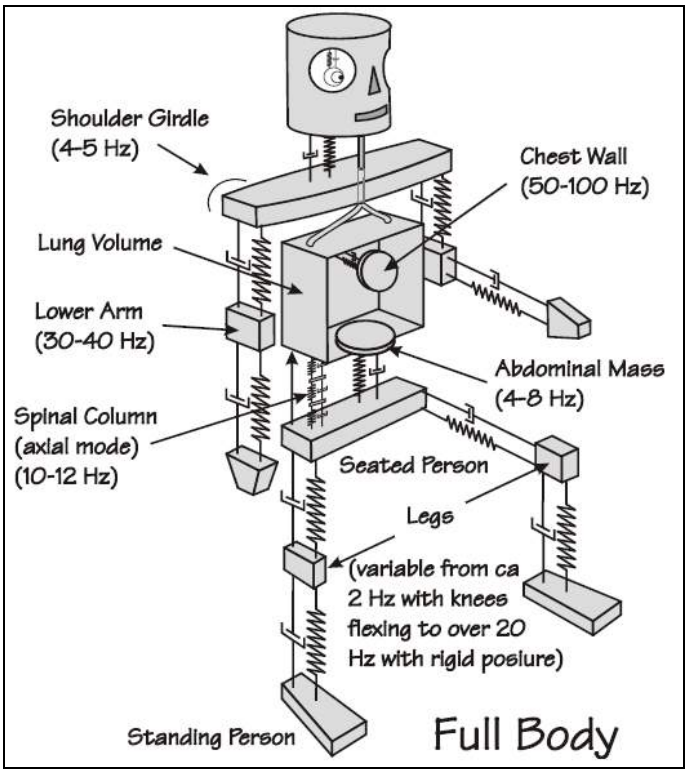
İnsan vücudu mekanik bir sistem olarak ele alındığında, düşük frekanslarda ve düşük titreşim seviyelerinde, Şekil 2'de görüldüğü gibi bir doğrusal parametreler sistemi olarak düşünülebilir (Rasmussen, 1983; Sağlam, 2011). İnsan vücudunun mekanik modellemesi, oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insan vücudunun kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluştuğunu kabul ederek daha basit bir model haline getirmektedir. Şekil 2'de bulunan Hz biriminden frekans değerleri, farklı vücut kısımlarının tınlaşım (rezonans) frekanslarını göstermektedir. Tınlaşım frekansının anlamı, o kısmın salınım hareketi yaptığı frekans değeridir. Mekanik modellemeye göre, titreşim ve şokların etkisi bakımından vücudun en önemli kısımlarından birisi göğüs-karın sistemidir. Farklı titreşim işaretlerinin vücut üzerine etkisini tahmin etmek için, titreşimin vücuda giriş noktasından herhangi bir vücut bölümüne geçiriminin bilinmesi gerekir.

Titreşimin insan üzerindeki etkileri uzun yıllardır bilinmekte ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Geçmişte böbrek taşlarının dökülmesi gibi sağlığa faydalı işlerde bozuk yolda araba kullanılması gibi seyahat tedavilerinin uygulandığı bilinmektedir. Ayrıca spastik ve paretik kasların tedavisi gibi daha birçok olumlu etkisi yanında akciğer hastalarında titreşimin ciğerleri temizleyici özelliği, sporcularda hareket kabiliyetlerini ve kas faaliyetlerini arttırıcı etkisi, rheumetoid arthritis hastalığında, bacak ağrılarının tedavisinde, kemik erimesi görülen hastalarda tedavi edici olarak kullanıldığı da bilinmektedir (Şahin ve Işık, 2007).

İnsan, titreşimin düşük frekanslarında sarsıntı hissetmekte, yüksek frekanslarında ise karıncalanma hatta yanma hissi duymaktadır. Dikkat edilmemesi durumunda biyolojik yapılarda; kas, sinir sistemi bozuklukları, kan damarları ve eklemlerde tahribatlar ve ayrıca kardiyovasküler, solunum, sinir ve metabolik sistemlerde rahatsızlıklar gibi olumsuz etkiler göstermektedir. Bunlar arasında insan vücudunda yorgunluk, dikkat ve refleks azalması, görme bozuklukları, bel ağrısı, omurgadaki olumsuz etkiler, sindirim ve üreme sistemi bozuklukları gibi rahatsızlıklar sayılabilir. İşsever (1999), Sezgin ve Birlik (2004) ile Şahin ve Işık (2007) titreşimin, fiziksel ve mekanik etkileri nedeniyle iş sağlığı ve iş güvenliğini etkilediğini bildirmiştir. Titreşim sebebiyle meydana gelen rahatsızlıklara kas-iskelet sistemi (musküloskeletal) rahatsızlıkları denilmektedir. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, endüstrileşmiş ülkelerin birçoğunda görülen bir rahatsızlık tipidir (Rehn, 2004; İşsever, 1999). 2000'li yıllarda Avrupa'nın toplam çalışan nüfusunun %30'undan fazlasına tekabül edecek şekilde kırk milyonun üzerinde çalışan, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından etkilenmiştir (Şahin ve Işık, 2007).

Tüm vücut titreşiminin etkisi, 0,5 Hz – 100 Hz aralığının sonlarında daha büyüktür. İnsanın titreşime verdiği tepki, titreşimin frekansı ile değiştiği için ölçülen titreşimin meydana geldiği frekanslara göre ağırlıklandırılması gerekir. Böylece titreşimin frekansa bağlı olarak neden olduğu olumsuz sağlık koşulları yansıtılabilir (Ver and Beranek, 2006; Sağlam, 2011).

Tüm vücut titreşimi ile ilgili literatür incelendiğinde, titreşim ölçümlerinde standartlarda yer alan farklı ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 uluslararası standartları, tüm vücut titreşimini incelemekte ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır (ISO, 1997, 2004). Ülkemizde kullanılan TS ISO 2631-1 (2013) standardı, ISO 2631-1 standardından faydalanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2. İnsan vücudu tınlaşım frekansları (Brauch, 2009).

3.3 Tüm Vücut Titreşimi: Ölçümü ve Değerlendirilmesi

3.3.1 Tanımlar ve ölçüm yöntemi

"Avrupa Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi" (EU PA(V)D – EEC:2002) 2002 yılında Avrupa Birliği Konseyi tarafından işçi sağlığı ve güvenliğinde gelişmiş seviyede koruma sağlamak için özellikle çalışma ortamında gelişmeleri teşvik etmek amacıyla yayımlanmıştır. PA (V) Direktifi'nin gerekçesi "Özellikle kas/kemik yapısı, nörolojik ve damar hastalıklarına neden olabildiği için, işçilerin sağlık ve güvenliği üzerindeki etkileri nedeniyle, çalışanları titreşimden kaynaklanan risklerden korumak için önlemler geliştirmek"tir. PA (V) direktifinde bu hedef, çalışanları titreşim maruziyeti sonucu ortaya çıkan risklerden koruyarak başarmak olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde ise Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, Madde 4'e göre:

i. Bütün vücut titreşimi: Vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi,
ii. Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,
iii. Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

Madde 5: Bütün vücut titreşimi için;

i. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 1,15 m/s².
ii. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri: 0,5 m/s² olarak verilmiştir.

Yine, aynı Yönetmeliğin EK 2: Maruziyet değerlendirmesi'ne göre;

Bütün vücut titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi, günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak sekiz saatlik dönemde A(8) sürekli ivme eşdeğeri cinsinden tanımlanan en yüksek (RMS) değeri olarak hesaplanan, TS EN 1032+A1:2011 "Mekanik Titreşim – Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinelerin Deneye Tabi Tutulması" ile TS ISO 2631-1 "Mekanik Titreşim ve Şok-Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Genel Kurallar" standartlarına ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır.

Titreşim riskinin tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi etkin değer ve sınır değer ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilir. Buna göre;

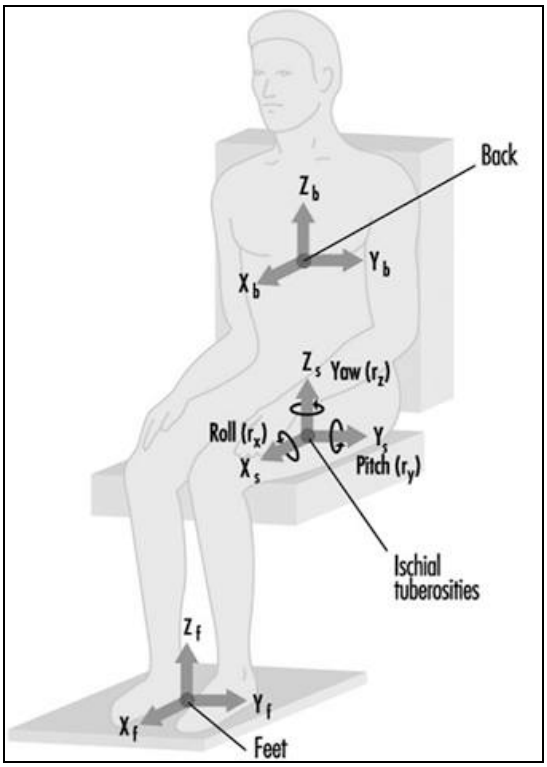
- Etkin değerin altında hassas bünyeler hariç risk yoktur. Çalışana aktarılan titreşim tolere edilir.
- Etkin değer ile sınır değer arasındaki bölgede risk vardır. Tolere edilip edilemeyeceğine maruz kalınan süreye göre karar verilir. Etkin değer ile sınır

değer arasındaki bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak, sağlık taraması yapmak gerekmektedir.

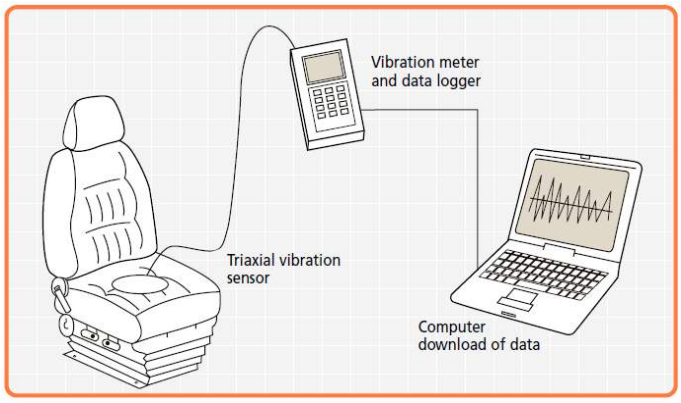
- Sınır değerin üzerinde maruz kalınan titreşim tolere edilememektedir. Sınır değerin üzerinde, titreşim değerinin sınır değerin altına indirilmesi için acil bir şekilde önlem alınmalıdır. Değer, sınır değerin altına indirilemiyorsa çalışma saatlerini düzenleyerek çalışanın 8 saatlik maruziyet değeri azaltılmalıdır.

Sürücü ya da operatörün maruz kaldığı tüm vücut titreşimi (TVT) ivmeleri operatör koltuğu yüzeyinde ve zeminde, oturak ayak dikmesi yakınlarında uygun bir noktada ölçülmelidir. Ölçümler TS EN 1032 + A1 "Mekanik titreşim - titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tâbi tutulması" ve bu standartta atfedilen TS ISO 2631-1 standardına uygun şekilde karşılıklı dik eksenlerde (X – ileri ve geri, Y – her iki yana, Z – yukarı ve aşağı) yapılmalıdır (Şekil 3). ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 uluslararası standartları tüm vücut titreşimini incelemekte ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Operatörlerin tüm vücut titreşimi maruziyetini tespit edebilmek amacıyla koltuk yüzeyinde üç (X_{seat}, Y_{seat}, Z_{seat}) ve kabin zemininde de üç (X_{floor}, Y_{floor}, Z_{floor}) kanal olmak üzere toplam altı kanaldan örnekleme yapılmalıdır (Şekil 4). Aslen koltuk yüzeyinde yapılan TVT ölçümleri yeterli olsa da, kabin zemininden yapılan örnekleme ile operatör koltuğunun titreşim sönümleme kapasitesi değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3. İnsan vücudunun basicentric eksenleri (WEB3)



Şekil 4. Operatör koltuk yüzeyindeki ivmeölçer ile X, Y ve Z eksenleri üzerinden yapılan TVT ölçümü (McPhee *et al*, 2009)

3.3.2 Ölçülen büyüklükler

Tüm vücut titreşimi analizi için operatör koltuğu yüzeyi ve kabin zemini için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki büyüklükler ölçülmelidir:

a) Frekans ağırlıklı $a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$ ve $a_{wz}(t)$ titreşim ivme sinyalleri (m/s^2). X (arkadan öne) ve Y (sağdan sola) yönlerinde W_d tüm vücut frekans ağırlıklandırma eğrisi, Z (kalçadan

kafaya) yönünde W_k tüm vücut frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanılmıştır.

b) Tepe titreşim ivmesi (PEAK) (m/s²)
c) Tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) (m/s²)
d) Titreşim dozu değeri (VDV) ($m/s^{1,75}$)
e) Maksimum geçici titreşim değeri (MTVV) (m/s²)

3.3.3 Hesaplanan büyüklükler

a) Frekans ağırlıklı ivme sinyallerinin karelerinin ortalamasının karekökü (RMS) değeri (m/s²)
b) Tepe faktörü (CRF)
c) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-X}$) faktörü
d) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-Y}$) faktörü
e) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{RMS-Z}$) faktörü
f) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-X}$) faktörü
g) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Y}$) faktörü
h) Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Z}$) faktörü
i) En yüksek titreşim ivmesi vektörü; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi vektör değeri ($VECTOR_{1-3}$) (m/s²)
j) En yüksek titreşim ivmesi vektörü; kabin zeminindeki ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi vektör değeri ($VECTOR_{4-6}$) (m/s²)
k) En yüksek titreşim ivmesi fonksiyonu; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değeri (RMS_{WB}) (m/s²). X ve Y eksenleri için k = 1,4 ve Z ekseni için k = 1,0 çarpanı kullanılmaktadır.
l) Operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değeri yönü (X için Ch1, Y için Ch2 ve Z için Ch3)
m) En yüksek titreşim dozu fonksiyonu; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri (VDV_{WB}) ($m/s^{1,75}$) X ve Y eksenleri için k = 1,4 ve Z ekseni için k = 1,0 çarpanı kullanılmaktadır.
n) Operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri yönü (X için Ch1, Y için Ch2 ve Z için Ch3)
o) Geçerli doz fonksiyonu; titreşim dozunun, operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış titreşim dozu değerleri kullanılarak hesaplanan bir ölçüsü (CDose) ($m/s^{1,75}$)
p) Günlük doz fonksiyonu; titreşim dozunun, 8 saatlik bir süreye atfen, belirli bir maruziyet süresi için hesaplanan bir ölçüsü (DDose) ($m/s^{1,75}$)
q) Geçerli maruziyet fonksiyonu; titreşim ivmesinin, seçilen bir süreye atfen hesaplanan bir ölçüsü (CExp) (m/s²)
r) Günlük maruziyet fonksiyonu; belirli bir maruziyet süresinde oluşan titreşim dozunun, seçili bir süreye atfen hesaplanması ile bulunan bir ölçü (A8) (m/s²)
s) Titreşim dozu değerinin kestirim fonksiyonu; VDV ölçülmediği zaman RMS değeri kullanılarak hesaplanan tahmini titreşim dozu değeri (eVDV) ($m/s^{1,75}$)
t) Maruziyet etkin değerine erişim süresi fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 0,5 m/s²'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($EAV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn)
u) Maruziyet etkin değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 0,5 m/s²'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($EAV_{TL(RMS)}$) (ss:dd:nn)
v) Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında

1,15 m/s²'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($ELV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn)

w) Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 1,15 m/s²'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($ELV_{TL(RMS)}$) (ss:dd:nn)

x) Maruziyet etkin değerine erişim süresi fonksiyonu (VDV); 9,1 $m/s^{1,75}$'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($EAV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn)

y) Maruziyet etkin değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (VDV); 9,1 $m/s^{1,75}$'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($EAV_{TL(VDV)}$) (ss:dd:nn)

z) Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (VDV); 21,0 $m/s^{1,75}$'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($ELV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn)

aa) Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (VDV); 21,0 $m/s^{1,75}$'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($ELV_{TL(VDV)}$) (ss:dd:nn)

4 TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ ENVANTERİ ÇALIŞMASI

ÇSGB'na bağlı İSGÜM (Merkez ve Bölgeler) tüm vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri yapmaktadır (Sağlam, 2011). Ancak maden işletmelerinde çalışan ve tüm vücut titreşimine maruz kalan personel üzerinde sistematik bir çalışma yapılmamış olması kaydedilmiştir.

Bu çalışmada Sivas ili merkez ilçesi ve diğer ilçelerinde faaliyet gösteren kömür, demir, kil açık maden ocakları, taş ocakları, yol şantiyesi, asfalt döküm işleri vb. faaliyetlerden ölçümler yapılmış olup değişik tip, marka ve model olmak üzere toplam 147 iş makinesinden tüm vücut titreşimi ölçüm verileri kaydedilmiştir.

Ölçümler bir adet titreşim analizörü, birer adet koltuk tipi ve zemin tipi ivmeölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizör ISO 8041:2005, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5 ve ISO 5349 standartlarında öngörülen gereklilikleri karşılamakta ve tüm vücut titreşimi için W_d, W_k, W_m, W_b (ISO 2631 gereği) ve el-kol titreşimi için W_h (ISO 5349) filtrelerini kanallar bazında ayarlamaktadır. Koltuk tipi ivmeölçer eşzamanlı olarak üç eksenli (X, Y ve Z) veri kaydedebilmekte, 0,01 m/s² – 50 m/s² arası ivmeleri ölçebilmekte ve 0,1 Hz ile 125 Hz arasındaki frekans değerlerini ayıklayabilmektedir. Ölçümlerde kullanılan zemin tipi ivmeölçer, koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) oranını belirlemek için ISO 2631-1 standardına uygun şekilde ölçüm almak amacıyla operatör kabini zemininde, koltuk ayağının zemine birleştiği yere çok yakın ve uygun olan bir noktaya yerleştirilerek X, Y ve Z eksenlerinde ölçüm alınmaktadır. En yüksek 160 m/s² PEAK ivmeyi ölçebilmekte ve 0 Hz – 500 Hz arasındaki frekans değerlerini de ayıklayabilmektedir.

Eylül 2014 ile Kasım 2014 ayları arasında yapılan TVT maruziyeti ölçümlerine ait örnek bir kayıt Şekil 5'de, maden ocaklarında kayıt alınan 130 ekipmana ait titreşim ivmesi ve dozu ortalama değerleri ve standart sapması Çizelge 1'de sunulmuştur.

Araçların tümü maruziyet sınır değeri olan 1,15 m/s²'nin altında titreşim değerine sahiptir. Deliciler, halatlı ekskavatörler ve çekmekepçe maruziyet etkin değeri olan 0,50 m/s² değerinin altında titreşim verdiğinden, hassas bünyeler hariç riskin

olmayacağı ve çalışana aktarılan titreşimin tolere edileceği öngörülmüştür. Traktör tipi terskepçe ekskavatörler, lastik tekerlekli yükleyiciler, paletli dozerler, lastik tekerlekli dozer, lastik tekerlekli greyderler, silindirler, hidrolik kırıcılar, ocak tipi kamyonlar, damperli piyasa kamyonları, çatallı kaldıraçlar, paletli hidrolik terskepçe ekskavatörler ve lastik tekerlekli malzeme elleçleyici maruziyet etkin değeri ile sınır değer arasındaki bölgede titreşim vermişlerdir. Bu aralıkta riskin olduğu kabul edilmiştir. Bu bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak ve sağlık taraması yapmak gerekmektedir.

Çizelge 1. TVT ölçüm sonuçları.

İş makinesi	Adet	A(8) (m/s²)
Traktör tipi terskepçe ekskavatör	5	1,084 (0,505)
Lastik tekerlekli yükleyici	22	0,923 (0,230)
Paletli dozer	7	0,918 (0,165)
Lastik tekerlekli dozer	1	0,847 (-)
Lastik tekerlekli greyder	7	0,796 (0,260)
Silindir	8	0,780 (0,595)
Hidrolik kırıcı	5	0,654 (0,324)
Ocak tipi kamyon	8	0,644 (0,208)
Damperli piyasa kamyonu	21	0,618 (0,211)
Çatallı kaldıraç (forklift)	13	0,530 (0,172)
Paletli hidrolik terskepçe ekskavatör	22	0,530 (0,157)
Lastik tekerlekli malzeme elleçleyici	1	0,516 (-)
Delici	4	0,243 (0,140)
Halatlı ekskavatör	5	0,196 (0,056)
Çekmekepçe (dragline)	1	0,162 (-)

Ölçüm tarihi	08.11.2014						
Ölçüme başlama (ss:dd:nn)	13:54:24						
Ölçüm süresi (ss:dd:nn)	00:07:46						
Makine	Paletli hidrolik terskepçe ekskavatör						
Marka/Model	HITACHI ZAXIS 670LCH (Kapı no: 34)						
Yapılan iş	Üst kömür damarında kömür yükleme						
Saha	Kömür ocağı üst kömür damarı						

1. Koltuk ve zeminde ölçülen ağırlıklandırılmış tüm vücut titreşimi ivme (a_w) ve doz değerleri

Channel	Axis	PEAK	P-P	RMS	VDV	MTVV	CRF
		m/s²	m/s²	m/s²	m/s$^{1.75}$	m/s²	
Ch1	X_{seat}	3.195	6.012	0.295	2.921	1.282	10.814
Ch2	Y_{seat}	2.486	4.955	0.215	2.089	0.973	11.548
Ch3	Z_{seat}	8.026	12.218	0.317	3.728	1.299	25.322
Ch4	X_{floor}	2.897	5.534	0.280	2.673	1.198	10.363
Ch5	Y_{floor}	2.443	4.667	0.164	1.704	0.896	14.911
Ch6	Z_{floor}	8.551	16.088	0.357	4.472	1.501	23.961

2. Tüm vücut titreşimi ivmesi ve dozu için koltuk etkin genlik iletkenliği katsayıları (SEAT)

$SEAT_{RMS-X}$ (Ch1/Ch4)	1.057	$SEAT_{VDV-X}$ (Ch1/Ch4)	1.093
$SEAT_{RMS-Y}$ (Ch2/Ch5)	1.314	$SEAT_{VDV-Y}$ (Ch2/Ch5)	1.226
$SEAT_{RMS-Z}$ (Ch3/Ch6)	0.888	$SEAT_{VDV-Z}$ (Ch3/Ch6)	0.834

3. Tüm vücut titreşimi ivmesi için vektör değerleri

$VECTOR_{1-3}$ (m/s²)	0.602		$EAV_{TT(RMS)}$ (ss:dd:nn)	11:41:20
$VECTOR_{4-6}$ (m/s²)	0.577		$EAV_{TL(RMS)}$ (ss:dd:nn)	11:33:34
RMS_{WB} (m/s²)	0.414	Ch1	$ELV_{TT(RMS)}$ (ss:dd:nn)	61:50:03
VDV_{WB} (m/s$^{1.75}$)	4.089	Ch1	$ELV_{TL(RMS)}$ (ss:dd:nn)	61:42:17
CDose (m/s$^{1.75}$)	4.089		$EAV_{TT(VDV)}$ (ss:dd:nn)	3:10:26
DDose (m/s$^{1.75}$)	11.466		$EAV_{TL(VDV)}$ (ss:dd:nn)	3:02:40
CExp (m/s²)	0.053		$ELV_{TT(VDV)}$ (ss:dd:nn)	90:00:59
A(8) (m/s²)	0.414		$ELV_{TL(VDV)}$ (ss:dd:nn)	89:53:13

Şekil 5. Operatör TVT maruziyeti değerlendirme çizelgesi

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Madenlerin çıkarılması ve cevher hazırlama tesisine nakledilmesi sırasında kullanılan kazıcı, yükleyici ve taşıma taşıtlarında meydana gelen titreşim; kullanılan araçların farklı ocak koşullarında aynı modelde olsa bile farklı zemin ve farklı malzeme üretiminde farklılıklar göstermektedir.

Araçların tümü maruziyet sınır değeri olan 1,15 m/s²'nin altında titreşim değerine sahiptir. TVT ivmesi traktör tipi terskepçe ekskavatörde 1,084 m/s² ile en yüksek değeri verirken, çekmekepçede 0,162 m/s² ile en düşük değere erişmiştir. Ayrıca lastik tekerlekli malzeme elleçleyici, delici ve halatlı ekskavatörde maruziyet etkin değeri olan 0,50 m/s² değerinin altında ölçüm sonuçları alınmıştır.

Madenlerde kullanılan iş makinelerindeki taşıt içi titreşimleri, araştırılması gereken önemli bir konudur. Bu araçların mümkün olan en yüksek verim/performans ve en düşük maliyet ile kullanılabilmesi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Sürücü/operatörün titreşim maruziyetini en aza indirgemek ve çalışma verimini artırmak amacıyla operatörlere araç kullanma eğitimi verilmeli, uygun taşıma yolu tasarımı ile yol kaynaklı titreşim azaltılmalı, periyodik bakımlar ile iş makinelerinden kaynaklanan titreşim azaltılmalı, ocak içi yollarda yapılacak bakım ile zemin düzenlenmeli ve lastikli araçlarda hava basıncı düzenli olarak kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

Aye, S, Heyns, P, 2011. The evaluation of whole-body vibration in a South African opencast mine, *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol 111, November, 751-757.

Bilir, N, 2007. Mesleksel kas iskelet sistemi hastalıkları, *İş Sağlığı Ve Güvenliği Dergisi*, Sayı 34, pp. 10-13.

Blood, R, Rynell, P, Johnson, P, 2012. Whole-body vibration in heavy equipment operators of a front-end loader: Role of task exposure and tire configuration with and without traction chains", *Journal of Safety Research* xxx (2012) xxx–xxx, JSR-01036; No of Pages 8.

Bovenzi, M, 1996. Low Back Pain Disorders and Exposure to Whole-Body Vibration in the Workplace, *Seminars in Perinatology*, 20(1), 38-53.

Brauch, R, 2009. Vibration analysis and standards - a review of vibration exposure regulations, standards, guidelines and current exposure assessment methods, *Proceedings of American Industrial Hygiene Association (AIHA) Florida Spring 2009 Conference*, Larson Davis division of PCB Piezotronics, Inc, Florida, USA.

Çay, İ, 2006. *Tarım traktörleri sürücü koltukları titreşim sönümleme elemanları üzerine bir araştırma*, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Tarım Makineleri ABD., Ankara.

ÇSGB, 2012. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendir-mesi yönetmeliği, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı*, Ankara.

ÇSGB, 2013a. Çalışanların titreşimle ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı*, Ankara.

ÇSGB, 2013b. İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Yeterlilik Yönetmeliği, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı*, Ankara.

Eger, T, 2007, *Whole-body vibration: investigation of health risks associated with vibration exposure, vibration transmissibility and posture during operation of mining vehicles*, PhD thesis, Queen's University, Canada.

Eger, T, Stevenson, J, Boileauc, PE´, Salmoni, A, VibRG, 2008a. Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 1—Analysis of whole-body vibration exposure using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 standards, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 726–738.

Eger, T, Stevenson, J, Boileauc, PE´, Salmonid, A VibRG, 2008b, "Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 2—Evaluation of operator driving postures and associated postural loading" *International Journal of Industrial Ergonomics* 38 pp. 801–815.

ISO, 1997. ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, *International Standards Organization*, Geneva.

ISO, 2004. ISO 2631-5: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks, *International Standards Organization*, Geneva.

İşsever, H, 1999. Vibrasyon ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, *İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı*, MMO Yayın No: 239, ISBN:975-395-357-7, 85-98.

Langer, T, Iversen T, Andersen, N, Mouritsen, O, Hansen, M, 2012. Reducing whole-body vibration exposure in backhoe loaders by education of operators, *International Journal of Industrial Ergonomics* 42, 304-311.

Lundström, R, Holmlund, P, Lindberg, L, 1998. Absorption of energy during vertical whole-body vibration exposure, *Journal of Biomechanics, 31(4),* 317-326.

Kumar, S, 2004. Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining, *Applied Ergonomics 35*, 509–520.

Mandal, B, Srivastava, A, 2010. Musculoskeletal disorders in dumper operators exposed to whole body vibration at Indian mines, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment Vol. 24*, No. 3, September, 233–243.

McPhee, B, Foster, G, Long, A, 2009. Bad vibrations - a handbook on whole-body vibration exposure in mining, *Coal Services Health & Safety Trust*, NSW, Australia.

Okunribidoa, O, Magnussona, M, Popea, M, 2006. Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling, *Liberty Safe work Research Centre, Department of Occupational and Environmental Medicine*, University of Aberdeen, Foresterhill, Aberdeen, AB25 2ZP, UK.

Rasmussen, G, 1983. Human Body Vibration Exposure and Its Measurements, *The Journal of the Acoustical Society of America*.

Rehn, B, 2004. Musculoskeletal Disorders and Whole-Body Vibration Exposure, Umea Uni. ISSN 0346-6612 ISBN 91-7305*-517-4, Sweden.

Sağlam, H, 2011. *Çalışma hayatında maruz kalınan titreşimin ölçülmesi ve bu maruziyetten kaynaklanan titreşimin insan sağlığına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 91 s.

Salmoni, A, Cann, A, Gillin, K, 2010. Exposure to whole-body vibration and seat transmissibility in a large sample of earth scrapers, *Work 35 63–75 63*, DOI 10.3233/WOR-2010-0958 IOS Press.

Shervin, L, Owende, P, Kanali, C, Lyons, J, Ward, S, 2004. Influence of type inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester, *Applied Ergonomics, 35(3*), 253-261.

Sezgin, C, Birlik, G, 2004. Helikopterlerde alçak frekans titreşimlerin etkisi, *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamalar Sempozyumu HİTEK Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 665-667.

Smets, M, Eger, T, Grenier G, 2010. Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks, *Applied Ergonomics 41* 763–770.

Şahin, M, Işık, G, 2007. Titreşim, iş sağlığı ve güvenliği açısından etkileri risklerin kontrolü ve uygulamaları, *İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 241-261.

Thalheimer, E, 1996. Practical approach to measurement and evaluation of exposure to whole-body vibration in the workplace. *Seminars in Perinatology* 20 (1), 77–89.

TS ISO 2631-1, 2013. Mekanik titreşim ve şok - Tüm vücut titreşime maruz kalma değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel kurallar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Ver, I, Beranek, LL, 2006. Noise and vibration control engineering, Second Edition, *John Wiley and Sons, Inc.*, New Jersey, 966 pp.

WEB1 Mekanik Titreşimler Ders Notları Zeki Kıral, http://kisi.deu.edu.tr/zeki.kiral/Mekanik_Titresimler_Ders_Notlar%C4%B1_Zeki_K%C4%B1ral.pdf (Son erişim tarihi: 11.02.2013)

WEB2 Titreşim Analizi, http://80.251.47.4/download/notlar/811518/titresim_analizi1.doc (Son erişim tarihi: 15.12.2014)

WEB3 http://www.ilo.org/iloenc/images/stories/enlarged/Part06/VIB_imgs/VIB020F3.jpg (Son erişim tarihi: 05.01.2015)

Yer Altı Madenciliğinde ATEX 94/9/AT Yönetmeliği Uygulamaları

S. Kahraman, N. Karabakal
SCA Belgelendirme ve Özel Eğitim Hizmetleri

ÖZET Muhtemel patlayıcı atmosfere sahip ortamlarda kullanılacak ve patlamaya sebep verebilecek tüm ekipmanın patlamaya dayanıklı bir yapıda olması gerekmektedir. Bu yapı teknik literatürde "ex-proof", yani "explosion proof" (patlamaya dayanıklı) olarak adlandırılmaktadır. Avrupa Parlamentosu'nun çıkarmış olduğu ve patlamaya dayanıklılığın yasal dayanağını oluşturan iki adet direktif vardır: ATEX100a(94/9/EC) ve ATEX137(99/92/EC) direktifleri. ATEX100a ile ekipman koruma tipleri ve bunların belgelendirilmesi tek tip hale getirilmiştir. Ulusal düzeyde onaya gerek kalmamış, Avrupa Birliği'ne üye bir devletteki kuruluşun verdiği sertifika diğer üye devletlerde de geçerlilik kazanmıştır. Ulusal mevzuatımızda ATEX 100a, 30.12.2006 tarih ve 26392 sayılı resmi gazetede *"Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)"* adı altında yayınlanmış olup Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürürlüğe sokulmuştur. Muhtemel patlayıcı atmosfere sahip yeraltı madenciliğinde kullanılan elektrikli ekipmanın ATEX100a direktifinde belirtilen güvenlik şartlarını karşılaması gereklidir. ATEX100a direktifinin bu sahalarda iyi bir şekilde kavranması, doğru ve etkin bir şekilde uygulanması son derece önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: ATEX 94/9/AT, ATEX100, yer altı madenciliği, patlayıcı, teçhizat, koruyucu sistem

ABSTRACT All equipment which are intended for use in potentially explosive atmopheres must have an explosion-proof design. This is known as "ex-proof" in technical literature. There are two directives that EU Parliament has published, which constitute the legal base for explosion-proof equipment: directives ATEX100a(94/9/EC) and ATEX137(99/92/EC). ATEX100a has enabled that equipment protection types and certification of ex-proof equipment are standardized across EU boundary. This directive has removed the obligation for national approval and has made it possible that a certificate issued by the body of any member country is valid in other member country within the EU boundary. In Türkiye, Directive ATEX100a has come into force by Ministry of Science, Industry and Technology by being published in Turkish Offical Journal(30.12.2006 day and 26392 numbered journal) under the name of "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)". All equipments which are used in underground mining including potentially explosive atmophere should fulfill the safety obligations stated in directive ATEX100a. It is so critical that directive ATEX100a should be understood well in related mining fields and these fields should comply with the regulations coming along within directive ATEX100a.

Keywords: ATEX 94/9/AT, ATEX100, underground mining, prevention system, regulations

1 ATEX 100A DİREKTİFİ VE GETİRDİĞİ YENİLİKLER

ATEX100a (directive 94/9/EC), 23 Mart 1994 tarihinde yayınlanmıştır. Ortaklık anlaşmasının 100a maddesine dayanılarak çıkarılması (serbest ticaret ve serbestçe mal alışverişi ile ilgili madde) ve bunun yanında patlayıcı ortamın Fransızca karşılığı olan "**AT**mosphere **EX**plosible" kelimelerinin baş harfleri alınarak ATEX100a olarak anılmıştır. ATEX100a ex-proof ekipmanların imalatı ile ilgili olup patlayıcı ortamlarda kullanılacak ekipmanları kapsamaktadır.

ATEX100a 1996 dan itibaren geçerli olup uyum mecburiyeti 01.07.2003 tarihinden itibaren başlamıştır. 01.07.2003 den itibaren imal edilen ve Avrupa'da satılan (yerli veya yabancı) ve muhtemel patlayıcı ortamda kullanılacak tüm ekipman bu direktife uyumlu olmak zorundadır.

Bu direktifle beraber gelen yenilikler şöyledir:

1) Patlayıcı ortamda kullanılan elektrik ve mekanik tüm aletleri kapsamaktadır. Daha önce yalnızca elektrikli aletler söz konusuyken patlayıcı ortamlarda kullanılan mekanik aletlerin de ex-proof sertifikası bulunması zorunluluğu getirilmiştir.
2) Koruyucu sistemleri de kapsamaktadır. Patlamayı önlemek veya yayılmasına engel olmak için yapılan tüm sistemler (örneğin; flame arrestor) ATEX 100a'ya uyumlu olmak zorundadır. Bu tip tertibatlar da bundan böyle ex-proof ürün sertifikası alacak ve CE işareti bulunduracaktır.
3) Maden ve diğer sanayi kolları gibi bir ayırım yapılmamakta, tüm patlayıcı ortamları kapsamaktadır.
4) Muhtemel patlayıcı ortamlar, cihazların kullanma ortamlarına göre kategorilere ayrılmıştır.
5) Etiket şekli değişmiş ve aletin etiketinden kullanılacağı yer (yeraltı veya yerüstü), kullanılacağı ortam (kuşak - kategori) ve kullanılacağı ortamın cinsi (gaz, toz gibi) anlaşılabilecektir.
6) Üzerinde "Ex" yazılı her alet rahatlıkla kullanılamayacaktır. Kullanıcı kategorilere, patlama gruplarına, ısı gruplarına ve koruma tiplerine dikkat etmek zorunda kalacaktır.
7) Ex-proof ekipmanlara, Avrupa Birliği normlarına uyumluluk belgesi alınması mecburiyeti getirilmiştir. Bir ex-proof ekipman yalnızca bağlı bulunduğu koruma standartlarına değil, diğer geçerli Avrupa Birliği'nin ilgili normlarına da uygun imal edilmek ve CE işareti taşımak mecburiyetindedir.
8) Uyumluluk belgesi (decleration of conformity) yetkili organlarca (notified bodies) verilecek ve tüm Avrupa ülkelerinde geçerli olacaktır.

2 ATEX100A DİREKTİFİNE GÖRE PATLAYICI ORTAM SINIFLANDIRMASI, TEÇHİZAT TANIMI VE GENEL KURALLAR

Muhtemel patlayıcı bir atmosferde çalıştırılması düşünülen patlamaya karşı korumalı bir ekipman alırken, ekipmanın kullanılacağı ortama uygun bir koruma tipine sahip olması şartı aranmalıdır. Bu anlamda ekipmanın ATEX100a direktifine göre uygun sertifika ve uygunluk belgesine sahip olması gerekmektedir. Sertifikalı ekipmanı seçmek ve bu sertifika ekinde kullanıcıya verilmek mecburiyeti olan, cihazın montaj ve kullanım talimatında yer alan kurallara uymak çok büyük önem arz etmektedir.

Muhtemel patlayıcı bir atmosferde çalıştırılacak ekipmanın seçiminde öncelikle, satın alınacak ekipmanın etiketine dikkat edilmelidir. Bu etikette; ekipmanın kullanılması gereken grup tanımı(yeraltı maden ocaklarında mı, yoksa yerüstündeki muhtemel patlayıcı ortamlarda mı kullanılabileceği), tehlikeli kuşak (zone) tanımı, kullanılacağı gaz veya toz grubu, hangi sıcaklık derecesine kadar ısınan bir ekipman olduğu gibi bilgileri anlamak mümkündür.

Patlayıcı ortamlar;

- Gazların veya tozların karakteristiklerine göre (parlama ve

patlama limitleri) gaz ve toz grubu sınıflandırmasına,
- Ortamdaki gazın veya tozun patlama veya tutuşma sıcaklığına göre sıcaklık sınıflandırmasına,
- Muhtemel patlayıcı atmosferi yaratacak gazın veya tozun ortamda bulunma olasılığına göre tehlikeli kuşak (zone) sınıflandırmasına tabi tutulmuştur.

2.1 Gaz ve Toz Sınıflandırması

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) gazları iki patlama grubuna ayırmış ve metan gazını (grizulu madenleri) I.gruba dâhil etmiştir. Maden sanayi ile diğer sanayi dalları ayrılmıştır.

- **Gaz patlama grubu I** : Metan (Maden sanayi)
- **Gaz patlama grubu II A** : Propan, bütan, aseton, kereson, hexan, trimat, hylamin, vs..
- **Gaz patlama grubu II B** : Etilen, karbonmonoksit, hidrojen sülfit, etil-, -metil, -eter, vs..
- **Gaz patlama grubu II C** : Hidrojen, asetilen vs..

Tozlar için de patlama grupları şöyledir:

- **Toz patlama grubu III A :** Patlayıcı, uçan parçacık tozlar
- **Toz patlama grubu III B :** İletken olmayan tozlar; elektriksel öz direnci 10 000 Ωm'dan (om metre) daha fazla olan tozlar
- **Toz patlama grubu III C :** İletken tozlar; elektriksel öz direnci 10 000 Ωm veya daha az olan tozlar

2.2 Sıcaklık Sınıflandırması

Patlayıcı gazlar ve toz bulutları/tabakaları bir kıvılcım ile patlayabildikleri gibi, ortamdaki aletlerin yüzey sıcaklıklarından da ateş alabilirler (statik patlama). Bu nedenle kullanılan elektrik ve mekanik ekipmanın yüzey sıcaklığına da dikkat edilmelidir. Bu konuda dikkat edilmesi gereken ısı grupları belirlenmiş ve bu ısı grupları standartlarda da yerini almıştır. Isı grupları tayin edilirken emniyet faktörü de dikkate alınarak gerçek ateş alma sıcaklıklarının biraz altında belirtilmişlerdir.

Sıcaklık sınıflarının ekipmanların çalışabildikleri ortam sıcaklığı ile ilişkisi yoktur. Bu sıcaklık değerleri ekipmanların maksimum yüzey sıcaklıklarıdır. Aşıldığında ortam tehlikeye girer demektir.

Çizelge 1 . Patlayıcı gaz ortamlarında sıcaklık sınıflandırılması

Sıcaklık sınıfı	Yüzey sıcaklığının en büyük değeri, °C
T1	450 °C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

3 EX-PROOF EKİPMAN KATEGORİLERİ

ATEX100a, muhtemel patlayıcı ortamlarda kullanılan ekipmanı yeraltı ve yerüstü gruplar dahilinde kategorilere ayırmaktadır. Bunlar kısaca:

Grup I: Grizulu maden ocaklarını ve eğer var ise yer üstü tesislerini, yani özetle maden sanayini kapsamaktadır. Kullanılan aletlerin yüzey sıcaklığı metan ve kömür tozuna göre dizayn edilecektir. Kömür tozu var ise 150 °C, yok ise 450 °C olabilmektedir.

- **Kategori M1**: Bu kategorideki aletler sürekli veya aralıklı oluşan muhtemel patlayıcı ortamda çalışma koşullarını tehlikeye düşürmeyecek şekilde dizayn edilirler ve yüksek bir koruma düzeyine sahiptirler. Kuşak 0 (Zone 0) ortamında rahatlıkla çalışabilecek düzeydedirler. ATEX100a direktifi ayrıca ekipmanın korumasında herhangi bir bozulma olduğunda ikinci bir önlem alınmasını ve yine

birbirinden bağımsız iki arıza aynı anda meydana geldiğinde bile patlamaya karşı emniyetin sürdürülmesi şartını koşmaktadır. Etiketinde M1 işareti olan bir ekipman en az 2 arızada tehlike yaratmayacak şekilde dizayn edilecektir. Ayrıca ikinci bir emniyet önlemi alınmalıdır. Pratikte bu önlemler ortamdaki metan gazının ölçülmesiyle, tehlike halinde (metan gazının %1.5 seviyesini aşması) elektriğin kesilmesiyle ve çalışanlara alarm verilerek madenin terk edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu kategorideki ekipman, patlayıcı ortam mevcut iken dahi çalışır durumda kalabilmeli ve ortamı tehlikeye düşürmemelidir.

- **Kategori M2**: Muhtemel patlayıcı bir ortam söz konusu olduğunda bu kategorideki ekipmanın elektriğinin kesilmesi gerekmektedir. Elektrik hemen kesilemeyeceği için kısa süre de olsa bu muhtemel patlayıcı ortama maruz kalacaklardır. Bu nedenle normal çalışmaları esnasında ortamı tehlikeye düşürmeyecek şekilde dizayn edilirler. Grizulu bir maden işletmesinde metanın havadaki oranı %1,5 seviyesini aştığında madenin ilgili bölümünün elektriği kesilir. Buna göre uygun ölçüm tertibatı yapılması zorunludur. Kullanılan metan ölçü aletinin batarya beslemeli ve kendinden emniyetli bir ekipman olması gerekmektedir.

Grup II: Maden sanayi dışındaki sanayi kollarını kapsar. Ekipmanın yüzey sıcaklığı kullanılan ortama göre farklı olabilmektedir. Tehlike bölgeleri üç ayrı "kuşak"a(zone) ayrılmıştır (Kuşak 0, Kuşak 1 ve Kuşak 2). Kategori rakamlarının sonuna gaz ise G, toz ise D harfi konulur.

Kategori 1(Kuşak 0): 1 Kategorisi, imalatçı tarafından belirlenen işletme parametrelerine uygun olarak çalışabilecek ve yüksek seviyede bir koruma sağlayabilecek şekilde tasarlanmış teçhizatı kapsar. Bu kategorideki teçhizat, hava ve gaz, buhar veya sis ya da hava/toz karışımlarından kaynaklanan patlayıcı ortamların uzun bir süreyle sürekli olarak veya sık sık mevcut olduğu alanlarda kullanılır. Bu kategorideki teçhizat, gerekli koruma seviyesini teçhizatla ilgili istisnai olaylarda bile sağlamalıdır. Bu teçhizat aşağıdaki koruma araçları ile karakterize edilir:

- Bir koruma aracının arızalanması durumunda en azından bağımsız ikinci bir koruma aracı gerekli koruma seviyesini sağlar veya
- Gerekli koruma seviyesi iki arızanın birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkması durumunda sağlanır.

Kategori 2(Kuşak 1): 2 Kategorisi, imalatçı tarafından belirlenen işletme parametrelerine uygun olarak çalışabilecek ve yüksek seviyede bir koruma sağlayabilecek şekilde tasarlanmış teçhizatı kapsar. Bu kategorideki teçhizat gaz, buhar, sis veya hava/toz karışımlarının yol açtığı patlayıcı ortamların nadiren oluşabileceği alanlarda kullanılır. Bu kategorideki teçhizat ile ilgili koruma araçları sık sık oluşan bozulmalarda veya normal olarak dikkate alınması gereken teçhizat arızalarında bile gerekli koruma seviyesini sağlar.

Kategori 3(Kuşak 2): 3 Kategorisi, imalatçı tarafından belirlenen işletme parametrelerine uygun olarak çalışabilecek ve normal seviyede bir koruma sağlayabilecek şekilde tasarlanmış teçhizatı kapsar. Bu kategorideki teçhizat, gaz, buhar, sis veya hava/toz karışımlarından kaynaklanan patlayıcı ortamların oluşma ihtimali olmayan veya seyrek olarak ve yalnızca kısa süreyle oluştuğu alanlarda kullanılır. Bu kategorideki teçhizat gerekli koruma seviyesini, normal çalışma esnasında sağlar.

4 EX-PROOF EKİPMAN KORUMA TİPLERİ

Muhtemel patlayıcı atmosferde çalışacak ekipmanın patlamaya karşı güvenli hale

getirilmesi amacı ile tasarımında uygulanan türlü yapım metodları vardır. Bunlar ex-proof ekipman koruma tipi olarak literatürde geçer. Bu koruma tipleri, muhtemel patlayıcı ortamda kullanılacak ekipmanın grup ve kategori tanımına göre belirlenir ve cihaz muhafazası, cihazın tüm giriş ve çıkışları, cihazın kumanda tertipleri ile eleman ve bağlantılarını kapsamakta olup standartlarca belirlenmiştir.

Patlamaya karşı korumalı olan ekipmanın koruma tip ve sembolleri şöyledir:

- **"d"** tipi alev sızdırma muhafaza
- **"e"** tipi arttırılmış emniyet
- **"i"** tipi kendinden emniyetli ("ia" tipi birden çok arıza için; "ib" tipi tek bir arıza için)
- **"o"** tipi yağa daldırma
- **"p"** tipi basınçla koruma
- **"q"** tipi toz doldurma
- **"n"** tipi sızdırmaz korunma
- **"s"** tipi özel koruma
- **"m"** tipi kapsül içine alma

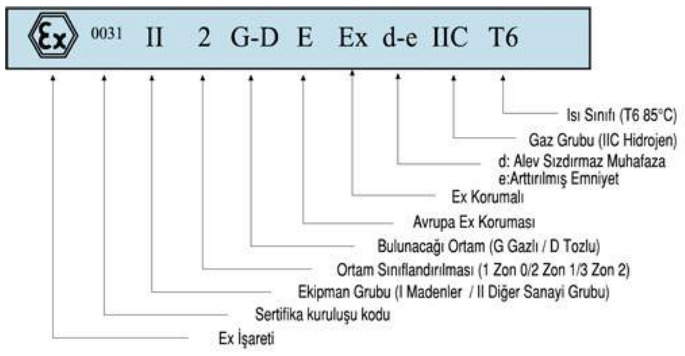
Çizelge 2 . Ex-proof ekipmanın ilgili grup ve kategori tanımına göre koruma tipleri

KATEGORİLER VE KULLANIM BÖLGELERİ

KULLANIM YERİ		GRUP	KATEGORİ	KORUMA TİPİ
Madenler, sürekli patlayıcı ortamda çalışabilir		I	M1	Ex ia
Madenler, patlayıcı gaz oluşumunda elektriği kesilir		I	M2 + M1	Ex ia, ib, d, e, o,p,q vs..
Diğer sanayi	ZONE 0	II	1G	Ex IIG - ia
Diğer sanayi	ZONE 1	II	2G+1G	Ex IIG - ia, ib, d,e,o,p,q vs..
Diğer sanayi	ZONE 2	II	3G+2G+1G	Ex IIG - ia, ib, d,e,o,p,q vs..
Diğer sanayi	ZONE 20	II	1D	Ex IID - ia
Diğer sanayi	ZONE 21	II	2D+1D	Ex IID - ia, ib, d,e,o,p,q vs..
Diğer sanayi	ZONE 22	II	3D+2D+1D	Ex IID - ia, ib, d,e,o,p,q vs..

5 EX-PROOF EKIPMANIN ETIKETI

Ex-proof ekipmanın etiketi farklıdır ve bir ekipmanın ex-proof olup olmadığı etiketinden anlaşılır. Bu etiketleme şekli konu ile ilgili standartlarda belirlenmiştir.



Şekil 1 . Ex-proof ekipman etiketi

5.1 Elektrikli Olmayan Aletlerin Etiketlenmesi

ATEX talimatlarının geçerlilik kazanması ile elektrikli olmayan aletlerin de ex-sertifikası alması ve aynı şekilde etiketlenmeleri gündeme gelmiştir. Yalnız elektrikli olmayan aletlerin etiketlenmelerindeki fark, yukarıdaki resimde görüldüğü gibi Ex koruma tipi işaretinin olmayışıdır.

Şekil 2 . Elektrikli olmayan ekipman etiketi

6 TÜM TEÇHİZATTA BULUNMASI GEREKENLER

1. Tüm teçhizat ve koruyucu sistemler aşağıdaki asgari detaylara sahip, okunaklı ve silinmeyecek bir şekilde işaretlenmelidir:
   - Üreticinin adı ve adresi
   - CE işareti
   - Seri yada tip tanımları
   - Varsa seri numarası
   - İmal yılı
     Özel patlamaya karşı koruma işareti ⟨Ex⟩ , bunun arkasından teçhizat grup yada kategorisinin simgesi
   - Ayrıca emniyetli kullanımı için zorunlu tüm bilgiler teçhizat üzerine işaretlenmelidir.
   - Talimatlar

2. Tüm teçhizat ve koruyucu sistemlerin beraberinde en az aşağıdaki ayrıntıları içeren talimatlar bulunmalıdır:
   - Seri numarası hariç bakımı kolaylaştıracak uygun ilave bilgiler(örneğin; ithalatçının, tamircinin vs. adresleri) ile birlikte teçhizat yada koruyu sistem üzerinde işaretli bulunan bilgilerin tekrarı,
   - Emniyet için talimatlar,
   - Hizmete alma,
   - Kullanım
   - Montaj ve demontaj,
   - Bakım (servis ve olağanüstü onarım)
   - Tesisat
   - Ayar
   - Gereğinde basınç tahliye cihazlarının ön tarafında tehlike alanlarının gösterilmesi
   - Gereğinde eğitim talimatları
   - Herhangi bir şüphe halinde belli bir kategorideki bir teçhizatın yada bir koruyucu sistemin istenen alanda beklenen işletme koşulları altında emniyetli bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağına dair karar alınmasını sağlayan detaylar
   - Elektrik ve basınç parametreleri, maksimum yüzey sıcaklıkları ve diğer sınır değerler
   - Gerektiğinde, tecrübe ile ortaya çıkabileceği anlaşılan olası yanlış kullanım detaylarını içeren özel kullanım şartları
   - Gerektiğinde, teçhizat yada koruyucu sisteme takılabilecek araçların asgari özellikleri

Talimatlar, üretici tarafından Türkçe ve Avrupa Topluluğu dillerinden birinde hazırlanmalıdır.

7 ATEX100a DİREKTİFİNDEKİ EKİPMAN UYGUNLUK DEĞERLENDİRME PROSEDÜRLERİ

7.1 AT Tip İncelemesi Modülü

AT tip incelemesi için müracaat imalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilci tarafından seçilen Onaylanmış Kuruluşa yapılır.

Başvuruda aşağıdakiler bulunmalıdır:

- İmalatçının adı ve adresi ile müracaat Türkiye'de yerleşik yetkili temsilci tarafından yapılmışsa, ayrıca onun adı ve adresi,
- Aynı müracaatın başka herhangi bir Onaylanmış Kuruluşa yapılmadığına dair yazılı bir beyan,
- Teknik dosya

Başvuru sahibi, başvuru konusu üretimi temsil eden ve bundan böyle "tip" olarak anılacak olan bir numuneyi Onaylanmış Kuruluşa verir. Onaylanmış Kuruluş, test programını gerçekleştirmek için gerekirse başka numuneler de isteyebilir.

Teknik dosya, ürünün bu Yönetmeliğin gereklerine uygunluğunu ortaya koyacak şekilde hazırlanır. Teknik dosya, uygunluk değerlendirmesinin amacı bakımından gerekli olduğu kadarıyla ürünün tasarımı, üretimi ve çalışmasına ilişkin bilgileri ve aşağıdaki hususları kapsar:

- Genel bir tip açıklaması,
- Parçaların, aksamların, devrelerin, vs. tasarım ve imalat resimleri ile yerleşim planları,

- Söz konusu resim ve yerleşim planları ile ürünün çalışmasının anlaşılması için gerekli tarif ve açıklamalar,
- Tamamen veya kısmen uygulanan, bu yönetmeliğin 6 ncı maddesinde belirtilen standartların bir listesi ve söz konusu standartların uygulanmadığı durumlarda bu Yönetmeliğin temel gereklerini karşılamak için kullanılan çözümlerin açıklamaları,
- Yapılan tasarım hesaplarının, gerçekleştirilen incelemelerin vs. sonuçları,
- Test raporları.

Onaylanmış Kuruluş;

- Teknik dosyayı inceler, tipin teknik belgelere uygun olarak imal edildiğini kontrol eder ve bu Yönetmeliğin 6 ncı maddesinde belirtilen standartların ilgili hükümlerine göre tasarlanmış olan öğeleri ve bu standartların ilgili hükümleri uygulanmadan tasarlanmış olan parçaları tespit eder.
- Bu Yönetmeliğin 6 ncı maddesinde belirtilen standartların uygulanmadığı durumlarda, imalatçı tarafından benimsenen çözümlerin bu Yönetmeliğin temel gereklerini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek için uygun incelemeleri ve gerekli testleri yapar veya yaptırır.
- İmalatçı ilgili standartları uygulamaya karar verdiği zaman, bunların gerçekten uygulanıp uygulanmadığını kontrol etmek için uygun inceleme ve gerekli testleri yapar veya yaptırır.
- Müracaat sahibi ile birlikte, incelemelerin ve gerekli testlerin nerede yapılacağına karar verir.

Tipin bu Yönetmeliğin hükümlerini karşılaması halinde, Onaylanmış Kuruluş başvuru sahibine bir AT tip inceleme belgesi verir. Bu belgede imalatçının adı ve adresi, inceleme sonuçları ve onaylanmış tipin tanımlanmasına ait gerekli bilgiler bulunur.

Teknik dosyanın önemli bölümlerinin bir listesi AT Tip İnceleme Belgesine eklenecek ve bir nüshası onaylanmış kuruluş tarafından muhafaza edilir.

İmalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilcisine AT Tip İnceleme Belgesinin verilmesinin reddedilmesi halinde, Onaylanmış Kuruluş bu şekildeki ret için ayrıntılı gerekçeyi sağlayacaktır. İtiraz işlemi için gerekli önlem alınır.

Başvuru sahibi, AT tip inceleme belgesi ile ilgili teknik belgeleri muhafaza eden Onaylanmış Kuruluşa onaylanmış teçhizat veya koruyucu sistemlerdeki tüm değişiklikleri bildirir ve bu değişiklikler, ürünün temel gereklere uygunluğunu veya öngörülen kullanım şartlarını etkileyebilecek yapıda ise ayrıca onaylanması gerekir. Bu ilave onay, orijinal AT Tip İnceleme Belgesine ek şeklinde verilir.

Her bir Onaylanmış Kuruluş verdiği AT Tip İnceleme Belgesine ve ek onaylar ile bunların geri çekilmesine ilişkin yaptığı işlemler hakkında diğer onaylanmış kuruluşları bilgilendirir.

Diğer onaylanmış kuruluşlar, AT tip inceleme belgelerinin ve/veya ilavelerinin kopyalarını temin edebilirler. Belgelerin ekleri diğer onaylanmış kuruluşların kullanımına açık tutulur.

İmalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilcisi teknik belgelerle birlikte AT tip inceleme belgelerinin ve ilavelerinin kopyalarını en son teçhizat veya koruyucu sistemlerin imal edildiği tarihten sonra en az 10 yıl muhafaza eder.

İmalatçının veya yetkili temsilcisinin Türkiye'de yerleşik bulunmaması halinde, teknik belgeleri muhafaza etme yükümlülüğü ürünü piyasaya arz eden kişiye aittir.

7.2 İç Üretim Kontrolü Modülü

İmalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilcisi teçhizatın bu 94/9/AT Yönetmeliğinin ilgili gereklerini karşılamasını sağladığı takdirde CE uygunluk işaretini her bir teçhizat parçasına iliştirecek ve yazılı bir uygunluk beyanı düzenler.

İmalatçı, teknik belgeleri(dosyayı) düzenler ve bu belgeleri imalatçı veya yetkili temsilcisi en son teçhizat parçası üretildikten sonra en az 10 yıl süreyle ulusal makamların denetimine açık tutar.

Hem imalatçının, hem de yetkili temsilcisinin Türkiye'de yerleşik olmaması halinde teknik belgeleri muhafaza etme

yükümlülüğü, teçhizatı piyasaya arz eden kişiye aittir.

Teknik belgeler, teçhizatın 94/9/AT Yönetmeliğinin ilgili gereklerine uygunluğunu sağlamalıdır. Bu belgelerde, değerlendirme için gerekli olduğu ölçüde ürünün tasarım, imalat ve çalışmasını kapsar. Teknik belgelerde aşağıdakiler bulunur:

- Teçhizatın genel bir açıklaması,
- Kavramsal tasarım ve imalat çizimleri ile aksamların şemaları, kısmi montaj, devreler vs.,
- Söz konusu resim ve şemaların ve teçhizatın çalışmasının anlaşılması için gerekli tarifi ve açıklamaları,
- Kısmen veya tamamen uygulanan standartların listesi ve standartların uygulanmadığı durumlarda Yönetmeliğin emniyet hususlarını sağlamak için uygulanan çözüm yollarının açıklaması,
- Yapılan tasarım hesaplarının, gerçekleştirilen incelemelerin vs. sonuçları;
- Test raporları.

İmalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilcisi, uygunluk beyanının bir kopyasını teknik belgelerle birlikte muhafaza eder.

7.3 Birim Doğrulama Modülü

İmalatçı veya Türkiye'de yerleşik yetkili temsilcisi teçhizat veya koruyucu sistemlere CE uygunluk işaretini iliştirecek ve bir uygunluk beyanı düzenler.

Onaylanmış Kuruluş, Yönetmeliğin ilgili gereklerine uygunluğunu kontrol etmek için, her bir teçhizat veya koruyucu sistemi inceler ve ilgili standart(lar)da yer alan uygun testleri veya bunların eşdeğeri olan testleri yapar.

Onaylanmış Kuruluş, onaylanmış teçhizat veya koruyucu sisteme kendi tanıtım numarasını iliştirir veya iliştirilmesini sağlar ve yapılan testlerle ilgili bir uygunluk belgesi düzenler.

Teknik belgelerin amacı 94/9/AT Yönetmeliğinin gereklerine uygunluğunu değerlendirilmesini ve teçhizat veya koruyucu sistemin tasarım, imalat ve çalışmasının anlaşılmasını sağlamaktır.

Belgelerde aşağıdakiler bulunur:

- Ürünün genel bir açıklaması,
- Kavramsal tasarım ve imalat çizimleri ile aksamların montaj şemaları, kısmi montajlar, devreler, vs.,
- Söz konusu çizimler ve montaj şemaları ile teçhizat veya koruyucu sistemin çalışmasının anlaşılması için gerekli tarifler ve açıklamalar,
- Bu Yönetmeliğin 6 ncı maddesinde belirtilen, kısmen veya tamamen uygulanan standartların listesi ve 6 ncı maddede belirtilen standartların uygulanmadığı durumlarda Yönetmeliğin temel gereklerini sağlamak için uygulanan çözüm yollarının açıklaması,
- Yapılan tasarım hesaplarının, gerçekleştirilen incelemelerin vs. sonuçları,
- Test raporları.

KAYNAKLAR

ATEX Guidelines, European Commission Enterprise and Industry, 4th Edition - September 2012 *(Update December 2013)*

Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 26.12.2003 / 25328

Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili Yönetmelik (94/9/AT) Resmi Gazete Tarihi: 30.12.2006 Resmi Gazete Sayısı:26392

Sarı, M. Kemal, *Exproof - Patlayıcı Ortamlar ve Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrik Aygıtları Hakkında Genel Bigi,* TMMOB - Elektrik Mühendisleri Odası

Yürüyen Tahkimatların Kullanımında Risk Değerlendirmesi
Assessment of Risks at Use of Powered Roof Supports

M. E. Yetkin, M. K. Özfırat, F. Şimşir, B. Kahraman
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Uzun ayak üretim yöntemi, yeraltı kömür madenciliğinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Uzun ayaklarda üretim bölgesinin güvenliğini sağlamak, üretimin daha hızlı ve güvenilir bir biçimde gerçekleşmesi için yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır. Yürüyen tahkimatlar yapıları gereği çok ağır ekipmanlardır. Bunlara bağlı olarak uzun ayaklarda yürüyen tahkimatların kullanımı sırasında bazı tehlikeli durumlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, yürüyen tahkimatların kullanımı sırasında meydana gelebilecek olan riskler belirlenmiş ve bu riskler Fine-Kinney risk analizi yöntemi kullanılarak puanlanarak alınması gerekli önlemler sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Risk değerlendirmesi, Yürüyen tahkimat, Uzun ayak yöntemi

ABSTRACT Longwall production method is one of the methods most used in underground coal mining. Powered roof supports are used for providing safety of face, and, also for fast and reliable production at longwall face area. Powered roof supports are heavy equipment so during use of powered roof support at face, some dangerous situations occur. In this study, risk analysis of use of powered roof supports is made using Fine-Kinney risk analysis method. The potential hazards that may occur during use of powered roof supports are handled, these potential risks are classified by using Fine-Kinney risk analysis method and according to obtained results, preventive measures are listed to tackle these risks.

Keywords: Risk Assessment, Powered roof support, Longwall mining method

1 GİRİŞ

Uzun ayak madenciliği özellikle yeraltı kömür madenciliğinde çok kullanılan bir yöntemdir. Yeraltı kömür madenlerinde çalışırken birçok tehlike kaynağı mevcuttur. Yeterli önlemler alınmaz ve kurallar yeteri kadar uygulanmaz ise, üretim çalışmaları sırasında kazalarla karşılaşmak an meselesi haline gelir.

Uzun ayak madenciliğinde üretim çalışmaları sırasında yeni üretim yüzeyinin açılmasıyla birlikte, gaz patlamaları, gaz zehirlenmeleri, tahkimat ve nakliyat işleri sırasında iş kazaları oluşabilmektedir. Tahkimat kazalarının en önemlisi, oluşan göçüklerin meydana getirdiği iş kazalarıdır. Uzun ayak madenciliğinde göçükler ayak bölgesinde oluşmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının sonuçlarının değerlendirilebilmesi ve oluşacak olan risklerin engellenmesi amacıyla risk analiz yöntemleri son yıllarda işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Risk analiz yöntemleri kazaların tahmini, azaltılması ve önlenmesi için geliştirilmiştir. Kullanılan birçok kalitatif ve kantitatif risk analizi yöntemi vardır. Örnek olarak; birçok araştırmacının çalışmalarında kullandığı tehlike ve uygulanabilirliği analizi, fonksiyonel tehlike analizi, hata etki modu analizi, ön tehlike analizi, hata ağacı analizi, olay ağacı analizi, papyon analizleri verilebilir (Bahr, 1997; Hale ve Baram, 1998; Mol, 2003; Asfahl, 2003; Özkılıç, 2005; Bayır ve Ergül, 2006).

İş kazaları manevi kayıpların yanında çok büyük maddi kayıplara da neden olmakta, hatta işletmelerin kapanmasına bile neden

olabilmektedir. Kazaların önüne geçmek için istatistikler incelenip risk analizi yapılmalı ve önlemler alınmalıdır (Özfırat ve ark.,2013).

Bu çalışmada uzun ayaklarda kullanılan yürüyen tahkimatların kullanımı sırasında oluşabilecek tehlikeleri önlemek için risk analizi yapılmış ve bu riskler Fine-Kinney metodu ile değerlendirilerek önlemler sunulmuştur.

2 YÜRÜYEN TAHKİMATLAR

Modern uzun ayak madenciliğinde ayak tavanının tahkimatında yürüyen tahkimat üniteleri kullanılır. Yürüyen tahkimat üniteleri, ayak ilerlemesinin herhangi bir anında tahkimat yapmak, ayaktaki açık alanları muhafaza etmek, ayakta çalışan insanları taş ve kömür düşmelerinden korumak ve ayak içi nakliye sisteminin ilerletilmesinde gerekli olan kuvvetler için dayanma noktası sağlanması fonksiyonlarına sahiptir. Yürüyen tahkimatların ilk uygulamaları 1950'li yılların başlarına dayanır. O dönemden bu güne kadar dünyanın birçok yerinde çok çeşitli modeller üretilmiştir (Yavuz, 2002).

Yürüyen tahkimatların kullanım nedenleri aşağıda verilmiştir;

- Mekanize kazı sistemindeki hızlı gelişmeler
- Hidrolik direklerin sökümü, taşınması, sıkılanmasının yoğun bir iş gücüne gereksinim duyması
- Tahkimat oluşturma hızının kazı hızına ulaşması
- Ayak içerisinde tavanı destekleyerek tüm ayak içi ve arın önünü güvenli tutması
- Ayaktaki nakliye ünitelerinin ötelenmesinde bir dayanak oluşturması

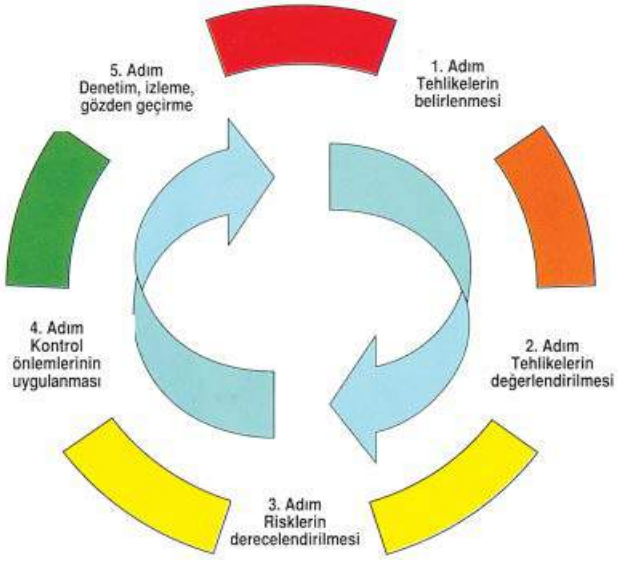
Şekil 1. Yürüyen tahkimatların ayak içindeki görünümü (Yetkin,2013)

Şekil 2. Ayak içi yürüyen tahkimatı (Yetkin,2014)

3 RİSK ANALİZİ

Risk kavramının değişik tanımları vardır. Risk en temel anlamda olasılık ve şiddet bileşenlerinin bileşkesinden oluşur. Riskin tanımlaması bazı kaynaklarda aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- Herhangi bir olayın potansiyel zarar meydana getirme olasılığı ve sonucudur (AS/NZS 4804, 1999).
- Belirlenmiş tehlikeli bir olayın oluşma olasılığı ve sonuçlarının kombinasyonu (OHSAS 18001, 1999),
- Belli bir dönemde veya koşullar altında istenmeyen olayın ortaya çıkma olasılığı, çevre koşullarına göre sıklık ve olasılık (ILO, 1992), (Görgülü, 2008).



Şekil 3. Risk değerlendirme aşamaları (ÇSGB, 2007)

Risk analizinde, Şekil 3'de görüldüğü gibi riskler belirlenirken mevcut tehlike durumları tek tek göz önüne alınır ve her bir durumun içinde bulunduğu tehlikeler belirlenir. Belirlenen tehlikelerin, gerçekleşme olasılığı ve gerçekleşmesi durumunda meydana getireceği zarar girdi olarak alınıp, matematiksel ve mantıksal yöntemler kullanılarak risk değeri bulunur (Bayır ve Ergül, 2006; Özfırat vd., 2011).

4 FİNE-KİNNEY RİSK ANALİZİ METODU VE ÇALIŞMADA KULLANILMASI

Bu yöntemde risk, aşağıdaki formül ile değerlendirilmektedir;

RİSK = Şans × Frekans × Şiddet

Bu metotta şans, frekans ve şiddet kavramları kullanılmaktadır. Şans, zararın gerçekleşme olasılığıdır ve 0.2, 0.5, 1, 3, 6 ve 10 ile değerlendirilmiştir (Çizelge 1). Frekans, tehlikeye zaman içinde maruz kalma sayısıdır ve 0.5, 1, 2, 3 ve 10 ile değerlendirilmiştir. Şiddet ise tehlikenin insan ve/veya çevre üzerinde yaratacağı tahmini zarardır ve 1, 3, 7, 15 ve 100 ile değerlendirilmiştir (Çizelge 3).

Yukarıdaki formül neticesinde hesaplanan risk 400'den büyük çıkarsa tolerans gösterilemez (Çizelge 4) ve hemen gerekli önlemler alınmalı veya tesisin kapatılması düşünülmelidir. Risk değeri 400 ile 200 arasında çıkarsa risk esaslı risktir ve potansiyel zarara sebep olabilecek durumlar kısa dönemde iyileştirilmelidir (birkaç ay) . Risk değeri 200 ile 70 arasında çıkarsa risk önemli risktir ve potansiyel zarara sebep olabilecek durumlar uzun dönemde iyileştirilmelidir (yıl içinde). Risk değeri 70 ile 20 arasında çıkarsa risk olası risktir ve potansiyel zarara sebep olabilecek durumlar gözetim altında tutulmalıdır. Risk değeri 20'den küçük ise risk önemsiz risktir ve potansiyel zarara sebep olabilecek durumlar gözetim altında tutulmalıdır (Fine ve Kinney, 1971).

Çizelge 1. Olasılık Değerleri (Fine ve Kinney, 1971)

OLASILIK-İHTİMAL-ŞANS		OLASILIK DEĞERİ
Beklenir, Kesin	Çok kuvvetle	10
Yüksek/ oldukça mümkün	Kuvvetle muhtemel	6
Olası	Nadir fakat olabilir	3
Mümkün fakat düşük	Oldukça düşük ihtimal	1
Beklenmez fakat mümkün	Zayıf ihtimal	0,5
Beklenmez	Pratik olarak imkansız	0,2

Çizelge 2. Tehlikeye Zaman İçinde Maruz Kalma Tekrarı-Sıklığı (Fine ve Kinney, 1971)

FREKANS-SIKLIK		FREKANS DEĞERİ
Rutin olmayan	Rutin olan	
Sürekli (hemen hemen her zaman)	Bir saatte birkaç defa	10
Sık (sıklıkla)	Günde bir veya birkaç defa	6
Ara sıra	Haftada bir veya birkaç defa	3
Sık değil (nadir)	Ayda bir veya birkaç defa	2
Oldukça seyrek (oldukça nadir)	Yılda birkaç defa	1
Çok seyrek (çok nadir)	Yılda bir veya daha seyrek	0,5

Çizelge 3. Tehlikenin İnsan ve/veya Çevre Üzerindeki Tahmini Zararı (Fine ve Kinney, 1971).

ŞİDDET-SONUÇLARIN ETKİSİ			ŞİDDET DEĞERİ
	İnsana zararlı	Çevreye zararlı	
Felaket	Birden fazla ölümlü kaza	Çevresel felaket	100
Çok kötü	Öldürücü kaza	Ciddi çevresel zarar	40
Çok ciddi	Kalıcı hasar-yaralanma- iş kaybı	Çevresel engel ve şikayet	15
Ciddi	Önemli hasar-yaralanma-dış ilkyardım	Arazi dışında çevresel zarar	7
Önemli	Küçük hasar-yaralanma-dahili ilkyardım	Arazide çevresel zarar	3
Dikkate alınmalı	Ucuz atlatma	Çevresel zarar yok	1

Çizelge 4. Kinney risk analizi değerlendirme tablosu (Fine ve Kinney, 1971).

RİSK DEĞERİ	RİSK DERECELENDİRME SONUCU (Yapılacak İşlemler)	
400 < R	Tolerans gösterilemez risk	Hemen gerekli önlemler alınmalı veya iş durdurulmalı, kapatılma gibi önlemler düşünülmelidir.
200 < R < 400	Esaslı risk	Kısa dönemde “ birkaç ay içinde” iyileştirilmelidir.
70 < R < 200	Önemli risk	Uzun dönemde “ yıl içinde” iyileştirilmedir.
20 < R < 70	Olası risk	Gözetim altında tutulmalıdır.
R < 20	Önemsiz risk	Gözetim altında tutulmalıdır.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada yürüyen tahkimat kullanımı sırasında oluşabilecek olan riskler belirlenmiş ve Fine-Kinney metodu ile sayısallaştırılmıştır.

Çizelge 5’de toplu olarak verilen sonuçlara bakıldığında tahkimatın ilerletilmesi sırasında tavandan malzeme düşmesi, tahkimatın esneme ve sıkılanması sırasında tavandan malzeme düşmesi ve ayna tutucunun indirilip kaldırılması sırasında aynadan malzeme fırlaması risklerinin risk değerleri 252 puan olarak hesaplanmıştır. Bu riskler esaslı risk sınıfına girmekte ve kısa dönemde (birkaç ay içinde) bu risklere yönelik önlem alınması gerekmektedir.

Risk puan değeri (risk no:1-4-7) yüksek olan bu risklere bakıldığında hepsinin tavandan ve aynadan malzeme düşmesi ile ilgili riskler olduğu görülmektedir. Bu nedenle özellikle tahkimatın ilerletilmesi sırasında, tahkimatın esnemesi ve sıkılanması konusunda işçiler detaylı olarak bilgilendirilmelidir. Bu işlemler sırasında baret ve çelik uçlu bot gibi kişisel koruyucu donanımların işçiler tarafından kullanılması önerilmektedir.

Öte yandan uzatılabilir sarmanın açılmamış olması sonucu tavandan malzeme düşmesi riskinin ve kalifiye işçi olmaması riskinin puanları da 120 olarak hesaplanmıştır. Bu riskler önemli risk sınıfına girmektedir. Tavan sarmasının açılmamış olması çok nadir karşılaşılacak bir durum olmasına rağmen bu durumun gerçekleşmesi halinde önemli bir risk oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda tahkimatı kullanan işçilerin bu konuda bilgili ve eğitimli olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Genel olarak tahkimat kullanımında meydana gelebilecek olan risklerin çoğu insan faktörüne bağlı olarak gelişebilecek olan risklerdir. Bu nedenle yeraltı madenciliğinde kazı, üretim ve nakliye işlemlerinde çalışan işçilerin çalıştıkları bölüm ve genel işleyiş hakkında detaylı bilgi sahibi olmaları ve bu konular ile ilgili yeterli eğitimleri almış olmaları, ileride oluşabilecek olan ve zarara sebebiyet veren olayların önlenmesi için önemlidir.

KAYNAKLAR

AS/NZS 4360., 1999. *Australian and New Zealand Standard on Risk Management*, Melbourne.

Asfahl, C.R., 2003. *Industry safety and health management*, Pearson Education Inc., USA.

Bahr, N.J., 1997. *System Safety Engineering and Risk Assesment*: A Practical Approach, Taylor&Francis, USA

Bayır, M., Ergül, M., 2006. *İş Güvenliği*, Alfa Aktüel Yayınları, s: 213, Bursa

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı., 2007. *5 Adımda Risk Değerlendirmesi.* Yayın No: 140, Ankara

Fine, W. T., Kinney, W. D., 1971. Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157–166.

Görgülü M., 2008. Yapı üretiminin temel aşamalarında alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerinin geliştirilmesine yönelik bir öneri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Hale, A., Baram, M., 1998. *Safety Management the Challenge of Change*, Pergamon, Netherlands.

International Labour Office (ILO)., 1992. *Safety and Health in Constructions.*

Mol, T., 2003. *Productive safety management, Elseiver*, Oxford.

OHSAS 18001., 1999. Occupational Health and Safety Assessment Series, British Standard Institution.

Özfırat, M.K., (2001). TKİ-ELİ-Eynez Yeraltı Linyit Ocağında 1992-2000 Yılları Arasında Manuel ve Mekanize üretimde Oluşan İş Kazalarının Etüdü, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Özfırat M. K., Şengün B., ve Yetkin M.E., 2011. Mermer İşletmelerinde Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2011 Bildiriler Kitabı, 24-25 Kasım 2011, Zonguldak.

Özfırat M. K., Yetkin M.E., Şimşir F., ve Kahraman B., 2013. Uzunayak Üretiminde Risklerin Fine-Kinney Metodu ile Değerlendirilmesi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2013 Bildiriler Kitabı, 21-22 Kasım 2013, Adana.

Özkılıç, Ö., 2005. *İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*, TİSK Yayınları, Ankara.

Yavuz M., 2002. Yeraltı Mekanize Kömür Panolarının Boyutlarının Optimum Olarak Belirlenmesi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

Yetkin M.E., 2013. 2.Doktora Tez İzleme Raporu. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (yayınlanmamış).

Yetkin M.E., 2014. 3.Doktora Tez İzleme Raporu. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. (yayınlanmamış).

Çizelge 5. Yürüyen Tahkimatların Kullanımı Sırasında Meydana Gelebilecek Risklerin Değerlendirilmesi (Özfırat, 2001)

Risk No	Tehlike	Etkileri	Risk sınıfı	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
1	Tahkimatın ilerletilmesi sırasında tavandan malzeme düşmesi	Yaralanma ve ölüm	Esaslı risk	6	6	7	252	Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
2	Yürüyen tahkimatın yeni panoya taşınması	Yaralanma	Önemli risk	10	0,5	15	75	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
3	Hidrolik patlaması	Mal hasarı ve üretim aksaması	Önemsiz risk	1	1	15	15	Gözetim altında tutulmalıdır.
4	Tahkimatın esneme ve sıkılanması sırasında tavandan malzeme düşmesi	Yaralanma ve ölüm	Esaslı risk	6	6	7	252	Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
5	Arka kömürün alınması sırasında büyük blok gelmesi	Yaralanma	Önemli risk	6	6	3	108	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
6	Arka kömürün alınması sırasında toz oluşumu	Solunum hastalıkları	Olası risk	10	6	1	60	Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
7	Ayna tutucunun indirilip kaldırılması sırasında aynadan malzeme fırlaması	Yaralanma ve ölüm	Esaslı risk	6	6	7	252	Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
8	Uzatılabilir sarmanın açılmamış olması sonucu tavandan malzeme düşmesi	Yaralanma	Önemli risk	3	1	40	120	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
9	Tahkimatın AFC'yi ötelemesi sırasında AFC üzerinde işçi bulunması	Yaralanma	Önemli risk	3	2	15	90	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.

10	Tahkimatın tabana gömülmesi sonucu ayak düzeninin bozulması	Üretim aksaması	Önemsiz risk	6	2	1	12	Gözetim altında tutulmalıdır.
11	Tahkimatların aşırı tavan yüküne maruz kalarak esnemeleri sonucunda tavan alçalmalarının meydana gelmesi	Üretim aksaması	Olası risk	6	6	1	36	Olay gözetim altında tutulmalıdır. işçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
12	Tavan alçalması sonucunda tamburlu kesici yükleyicinin tahkimatın üst kısmına vurması	Yaralanma ve mal hasarı	Önemsiz risk	3	2	1	6	Gözetim altında tutulmalıdır.
13	Ayna kesimi sırasında tahkimat üzerindeki su fiskilerinin çalışmaması sonucu aşırı toz oluşumu	Solunum hastalıkları	Önemsiz risk	3	3	1	9	Gözetim altında tutulmalıdır.
14	Tahkimata uygun hidrolik sıvısının beslenmemesi	Üretim aksaması ve mal hasarı	Önemli risk	1	1	100	100	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
15	Tahkimatların yan yatması	Üretim aksaması	Olası risk	6	2	3	36	Olay gözetim altında tutulmalıdır. işçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
16	Tahkimatlar arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı işçilerin tahkimatlar arasından geçerken düşmeleri	Yaralanma	Önemli risk	3	2	15	90	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
17	Tahkimatlar üzerinde yetersiz ışıklandırma	Yaralanma	Önemli risk	3	2	15	90	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
18	Tahkimat üzerinde bulunan hidrolik bağlantı borularının karışık ve ortalıkta bulunması	Yaralanma	Olası risk	3	2	7	42	Olay gözetim altında tutulmalıdır. işçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
19	Kalifiye işçi olmaması	Yaralanma ve üretim aksaması	Önemli risk	3	1	40	120	Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.

Madencilikte Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi

Kütahya/Gediz Yöresinde Faaliyet Gösteren Bir Taş Ocağının Risk Değerlendirme Raporunun İncelenmesi

Investigation of Risk Assessment Report of a Quarry Located at the Region of Kütahya/Gediz

S. Samanlı, Ö. Öney, H. Çelik, Y. Can
Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, UŞAK

R. Yılmaz
Maden Mühendisi, Alsancak Beton Tic. Ltd. Şti. Gediz/KÜTAHYA

M. Alsancak
Alsancak Beton Tic. Ltd. Şti. İşletme Müdürü, Gediz/KÜTAHYA

ÖZET Kütahya ili, Gediz ilçesi Yeşilova köyü mevkiinde bulunan özel sektöre ait bir taş ocağı işletmesinde farklı boyutlarda sınıflandırılmış agrega üretimi yapılmaktadır. Söz konusu taş ocağı için hazırlanmış olan risk değerlendirmesinde, işyerindeki faaliyetlerin değerlendirilmesi yapılmış ve riskler derecelendirilmiştir. Risk analizi için, L tipi 5'li matris yöntemi seçilmiştir.

İşyerinin sağlık, güvenlik ve çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan risk değerlendirmesinde; tehlikelerin tanımlanması, tehlike değerlendirme tablolarının hazırlanması ve risklerin değerlendirilmesinin yapılması süreci izlenmiştir. Risklerin giderilmesi için alınacak zarar azaltma önlemleri tanımlanmış ve çözüm aşamaları planlanmıştır. Ayrıca, hangi durumlarda Risk değerlendirmesinin yeniden yapılacağı da belirlenmiştir.

Bu çalışmada; İşletme için gerçekleştirilen risk değerlendirme faaliyetleri, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu esas alınarak incelenmiş ve sonuçlar paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, risk değerlendirmesi, taş ocağı

ABSTRACT The classified aggregate in different sizes are produced by a private company which is located Gediz district of Kütahya province in the village of Yeşilova. The evaluation of the operations in the workplace was carried out and the risks were rated in the quarry risk assessment report prepared for the company. The L-type 5s matrix method was chosen for the risk analysis.

The process involving the steps such as identification of hazards, the statement of hazard assessment and making an assessment of risk were observed in the risk assessment report in order to prepare the assessment of health, safety and environmental impact of workplace. The mitigation measures to be taken to eliminate the risks were identified and solution phases were planned. In addition, it was also identified that the risk assessment will be made again in which cases.

In this study; the risk assessment operations carried out for the quarry were examined on the basis of the regulations on risk assessment of Occupational Health and Safety Law, No. 6331, and the results obtained were shared.

Keywords: Occupational health and safety, risk assesment, quarry

1 GİRİŞ

Günümüzde, Risk analizi ve yönetimi tüm iş kolları için önem arz etmekle birlikte, ağır ve tehlikeli işler gurubuna giren Madencilik sektöründe detaylı kaza analizleri yapmanın ve kaza önleme stratejileri geliştirmenin önemi çok daha belirgin olarak kendini hissettirmektedir.

Madencilik faaliyetleri kaza ve ölüm risklerinin en yüksek olduğu faaliyet alanlarından biridir. Dünyada çalışanların sadece %1'i madenlerde iken meydana gelen ciddi kazaların %8'i madencilik sektöründe olmaktadır (Tanır, 2009). İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğinde (26.12.2012 Tarihli ve 28509 Sayılı Resmi Gazete) Madencilik ve Taş Ocakçılığı, işyeri tehlike sınıfları listesinde "Çok Tehlikeli" sınıfta yer almaktadır.

Madencilik; malzeme, donanım, insan kaynakları ve tehlikeli bir çevreden ibarettir. Kazalar, işçiler ve yakınları için acı ve maliyeti yüksek olaylar olmakla birlikte, işletmeler için de sıkıntılı süreçleri beraberinde getirir. Sanayi ve madencilik alanındaki bütün teknolojik gelişmelere rağmen iş kazaları önlenememektedir. İş kazalarının değerlendirilmesinde kazalara neden olan sebepler net olarak ortaya konulmalıdır (Sari vd., 2004, Sari vd., 2009).

"İş kazalarını sıfıra indirmek mümkün müdür?" sorusunun yanıtı çok net olarak verilemese de, iş kazaları için önlem alınabilmesi noktasında yapılacak çalışmaların, kaza nedenlerinin bilinmesine bağlı olduğu kuşku götürmez bir gerçektir.

30 Haziran 2012 tarihinde, Resmi gazetede yayımlanan "6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu" ile madencilikte risk analizi ve değerlendirmesi yapmak yasal bir zorunluluk haline getirilmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu madde 25 de "...çok tehlikeli sınıfta yer alan maden, metal ve yapı işleri ile tehlikeli kimyasallarla çalışılan işlerin yapıldığı veya büyük endüstriyel kazaların olabileceği işyerlerinde, risk değerlendirmesi yapılmamış olması durumunda iş durdurulur" denilmektedir.

1.1 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun amacı; işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektir. Söz konusu kanun, Madde 3'de "Risk", "Risk değerlendirmesi" ve "Tehlike" kavramlarının tanımlamaları aşağıda yer alan şekilde yapılmıştır;

Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali,

Risk değerlendirmesi: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar,

Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 4. Madde, (1-4)'de, işverenin genel yükümlülükleri çok net biçimde ifade edilmiştir. Kanunda belirtildiği üzere;

(1) İşveren, çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olup bu çerçevede;

a) Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapar,

b) İşyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uyulup uyulmadığını izler, denetler ve uygunsuzlukların giderilmesini sağlar,

c) Risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır,

ç) Çalışana görev verirken, çalışanın sağlık ve güvenlik yönünden işe uygunluğunu göz önüne alır,

d) Yeterli bilgi ve talimat verilenler dışındaki çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girmemesi için gerekli tedbirleri alır.
(2) İşyeri dışındaki uzman kişi ve kuruluşlardan hizmet alınması, işverenin sorumluluklarını ortadan kaldırmaz.
(3) Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği alanındaki yükümlülükleri, işverenin sorumluluklarını etkilemez.
(4) İşveren, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin maliyetini çalışanlara yansıtamaz.

Risklerden korunma ilkeleri ve işverenin yükümlülüklerinin yerine getirmesinin temel ilkeleri, yine söz konusu kanunda 5. Madde (1) ile aşağıdaki biçimde ifade edilmiştir;
a) Risklerden kaçınmak,
b) Kaçınılması mümkün olmayan riskleri analiz etmek,
c) Risklerle kaynağında mücadele etmek.
ç) İşin kişilere uygun hale getirilmesi için işyerlerinin tasarımı ile iş ekipmanı, çalışma şekli ve üretim metotlarının seçiminde özen göstermek, özellikle tekdüze çalışma ve üretim temposunun sağlık ve güvenliğe olumsuz etkilerini önlemek, önlenemiyor ise en aza indirmek,
d) Teknik gelişmelere uyum sağlamak,
e) Tehlikeli olanı, tehlikesiz veya daha az tehlikeli olanla değiştirmek,
f) Teknoloji, iş organizasyonu, çalışma şartları, sosyal ilişkiler ve çalışma ortamı ile ilgili faktörlerin etkilerini kapsayan tutarlı ve genel bir önleme politikası geliştirmek,
g) Toplu korunma tedbirlerine, kişisel korunma tedbirlerine göre öncelik vermek,
ğ) Çalışanlara uygun talimatlar vermek.

Ayrıca, kanun 6. Madde, (1)'de, Mesleki risklerin önlenmesi ve bu risklerden korunulmasına yönelik çalışmaları da kapsayacak iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerinin sunulması için işverene aşağıda ifade edilen sorumlulukları yüklemiştir;
a) Çalışanları arasından iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi ve diğer sağlık personeli görevlendirir. Çalışanları arasında belirlenen niteliklere sahip personel bulunmaması hâlinde, bu hizmetin tamamını veya bir kısmını ortak sağlık ve güvenlik birimlerinden hizmet alarak yerine getirebilir. Ancak belirlenen niteliklere ve gerekli belgeye sahip olması hâlinde, tehlike sınıfı ve çalışan sayısı dikkate alınarak, bu hizmetin yerine getirilmesini kendisi üstlenebilir.
b) Görevlendirdikleri kişi veya hizmet aldığı kurum ve kuruluşların görevlerini yerine getirmeleri amacıyla araç, gereç, mekân ve zaman gibi gerekli bütün ihtiyaçlarını karşılar.
c) İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetlerini yürütenler arasında iş birliği ve koordinasyonu sağlar.
ç) Görevlendirdikleri kişi veya hizmet aldığı kurum ve kuruluşlar tarafından iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili mevzuata uygun olan ve yazılı olarak bildirilen tedbirleri yerine getirir.
d) Çalışanların sağlık ve güvenliğini etkilediği bilinen veya etkilemesi muhtemel konular hakkında; görevlendirdikleri kişi veya hizmet aldığı kurum ve kuruluşları, başka işyerlerinden çalışmak üzere kendi işyerine gelen çalışanları ve bunların işverenlerini bilgilendirir.

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda, Risk değerlendirmesine ilişkin sorunlar da söz konusudur. Bütün işyerlerinde risk değerlendirmesinin yapılmış olması 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile zorunlu hale getirilmiş ve zorunluluk 30.12.2012 tarihi itibariyle yürürlüğe girmiş ve kanunda belirtilen bu tarih dışında herhangi bir tamamlama süresi bulunmamaktadır. Uygulamaya ilişkin düzenlemeler de 29.12.2012 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde yer almaktadır. Oysaki konunun uzmanı olarak yetiştirilmiş az sayıdaki işyeri hekimi ve iş sağlığı ve güvenliği uzmanı ile iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerinin yürütülmesi mümkün gözükmemektedir. (Korkut ve Tetik, 2013).

1.2 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği

29 Aralık 2012 tarihinde, Resmi gazetede yayımlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği" işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönünden yapılacak risk değerlendirmesinin usul ve esaslarını

düzenlemiştir. Bu Yönetmelik, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamındaki işyerlerini kapsar ve İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 10'uncu ve 30'uncu maddelerine dayanılarak hazırlanmıştır.

Söz konusu yönetmelik, Madde 4'de "Kabul edilebilir risk", "Önleme" ve "Ramak kala olay" kavramlarının tanımlamaları aşağıda yer alan şekilde yapılmıştır;

Kabul edilebilir risk seviyesi: Yasal yükümlülüklere ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmayacak risk seviyesi,

Önleme: İşyerinde yürütülen işlerin bütün safhalarında iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili riskleri ortadan kaldırmak veya azaltmak için planlanan ve alınan tedbirlerin tümü,

Ramak kala olay: İşyerinde meydana gelen; çalışan, işyeri ya da iş ekipmanını zarara uğratma potansiyeli olduğu halde zarara uğratmayan olay.

Söz konusu yönetmelikte, Risk değerlendirmesi aşamaları aşağıdaki ana başlıklar altında ele alınmıştır;

1. Risk değerlendirmesi,
2. Tehlikelerin tanımlanması,
3. Risklerin belirlenmesi ve analizi,
4. Risk kontrol adımları,
5. Dokümantasyon,
6. Risk değerlendirmesinin yenilenmesi.

Yönetmeliğe göre yapılmış olan risk değerlendirmesi; rutin olarak tehlike sınıfına göre çok tehlikeli, tehlikeli ve az tehlikeli işyerlerinde sırasıyla en geç iki, dört ve altı yılda bir yenilenmesi gerektiği bildirilmektedir. Bununla birlikte Yönetmeliğin 12. Maddesinde belirtilen durumlarda ortaya çıkabilecek yeni risklerin, işyerinin tamamını veya bir bölümünü etkiliyor olması göz önünde bulundurularak risk değerlendirmesinin tamamen veya kısmen yenilenmesi gerektiği belirtilmektedir.

1.3 Risk Analizi Nedir?

Risk analizi; işletmelerin işlevleri sırasında ortaya çıkabilecek risklerin önceden dikkatli bir biçimde ve ayrıntıları ile tanımlanıp değerlendirilmesi ve bu riskleri minimize edecek veya tam olarak ortadan kaldıracak önlemlerin alınması olarak tanımlanabilir.

İşyerlerinde çalışma şartlarından veya işin yürütülmesi esnasındaki koşullardan kaynaklanan çeşitli riskler bulunmakta, bu riskler sebebiyle çeşitli sıklık ve büyüklükte iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelmektedir.

Risk analizi; risk değerlendirmesi, iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı alınacak tüm güvenlik tedbirlerini, yasal mevzuat gereği işletmelerde uygulanması gereken Sağlık ve Güvenlik Şartlarını ve bu şartların iyileştirilmesini zorunlu kılmaktadır. İş Güvenliği risk analizi çalışmaları, işletmelerde belirlenen risklerin bertaraf edilmesi için uygun çözüm metotları sunmaktadır (URL. 1, 2014).

İşyerlerinde mevcut veya dış kaynaklı tehlikelerin, işçilere, işverene ve üretim sürecine verebileceği zararların ve bunlara karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi amacıyla; belirlenen riskleri sayısal olarak değerlendirmek ve belirlenen riskin tehlike ve oluşum koşullarını göz önüne alarak bu risklerin bertaraf veya minimize edilmesini sağlamak amacıyla yapılan, çeşitli gözlem ve ölçümlere dayalı bir çalışma ortaya konulması gerekmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak işyerlerinde risklerin tahammül edilebilir seviyeye indirilmesine çalışılır.

Risk değerlendirmesi, sürekli bir biçimde izlenmesi gereken, tüm işletme personelinin aktif katkı vermesi gerekli olan bir çalışma olup, bu aktif katkı sayesinde işletmenin tamamında bulunan risklere karşı gerekli risk önleme ve azaltma çalışmaları sağlıklı biçimde yapılabilmektedir.

Risk değerlendirme raporu, işyerleri için bir iş güvenliği yol haritasıdır. İşyerlerinin yapması gereken bu yol haritasını takip ederek mevcut tehlike kaynaklarını ve riskleri en aza indirmeye çalışmak olmalıdır. Bu çalışmanın işyeri faaliyetini sürdürdüğü sürece devam etmesi ve işyerindeki çalışma şartları ve yeni durumlara bağlı şekilde sürekli yenilenmesi önemlidir (URL.1, 2014).

İşletmelerde tehlikelerin tanımlandığı, belirlendiği ve bu tehlikelere karşı alınacak

önlemlerin belirlenerek azaltma ölçümlemelerinin yapıldığı, riskleri elimine etmek için yasal mevzuatlara entegre programların oluşturulduğu ve uygulandığı, çalışmaların dokümante edilerek çalışanlara bildirildiği yönetim sistemlerine "İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetim Sistemleri" denmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sisteminin temel direğini ise "Risk Değerlendirmesi" oluşturmaktadır.

Risk değerlendirme çalışmaları proaktif çalışmalardır, yani herhangi bir kaza veya meslek hastalığı meydana gelmeden bu kaza veya hastalığı meydana getirebilecek koşulların ortadan kaldırılmasını sağlayacak çalışmaların yapılması işlemidir (Özkılıç, 2014).

Risk Analizi uygulamaları aşağıda belirlenen şekli ile ele alınmaktadır (URL. 1, 2014).

1. Risk Analizi ekibinin belirlenmesi,
2. Belirlenen ekibe yönelik Risk Analizi Eğitimi verilmesi,
3. Makine, iş süreçleri, çalışma ortamı ve çevresel risklerin belirlenmesi,
4. Tüm belirlenen risklerin ekiple beraber ele alınarak değerlendirilmesi kategorize edilmesi,
5. Risk analizi ekibince risklerin kategorize edilmesi,
6. Belirlenen risklerle ilgili takipçilerin belirlenmesi ve bertaraf sürelerinin tebliğ edilmesi,
7. Risk analizinin canlı tutulması ve dokümanların uygun kaydının yapılması, bertaraf edilen riskin kayıt altına alınması ile ilgili ekip sekreterinin görevlendirilmesi,
8. Riskin ortadan kaldırıldıktan sonra tekrar oluşumu ile ilgili güvenlik talimatlarının ve kontrollerinin oluşturulması,
9. Bu uygulamaları desteklemek ve risk analizine çalışanı katmak adına gerekli eğitimlerin verilmesi.

Tüm dünyada kullanılan yöntemlere bakıldığında iki temel risk analizi yöntemi mevcut olduğu görülmektedir. Bunlar;

a) Kantitatif Risk Analizi: Kantitatif risk analizi, riski hesaplarken sayısal yöntemlere başvurur.

Kalitatif Risk Analizi: Kalitatif risk analizinde, tehdidin olma ihtimali, tehdidin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile proses edilip risk değeri bulunur (Özkılıç, 2014).

Tüm dünyadaki risk değerlendirme metodolojilerine yani yöntem bilimlerine ve standartlarına bakıldığında ise, 150'den fazla yöntem bulunduğunu görülür. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları aşağıda sunulmuştur (Onur ve Özfırat, 2014).

1. Ön Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis)
2. İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis)
3. What if..? (Olursa ne olur?)
4. Çeklist Kullanılarak Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis Using Checklists)
5. Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis)
6. Risk Değerlendirme Karar Matris Metedolojisi (Risk Assessment Decision Matrix)
   a) L Tipi Matris
   b)Çok Değiskenli X Tipi MatrisDiyagramı
7. Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies)
8. Tehlike Derecelendirme İndeksi (DOW index, MOND index, NFPA index)
9. Hızlı Derecelendirme Metodu (Rapid Ranking Material Factor)
10. Hata Ağacı Analizi Metodolojisi (Fault Tree Analysis)
11. Olası Hata Türleri ve Etki Analizi Metodolojisi (Failure Mode and Critically Effects Analysis)
12. Güvenlik Denetimi (Safety Audit)
13. Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)
14. Neden–Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis)
15. Papyon Analizi (Bow-Tie Analysis)

Bu çalışmada; söz konusu taş ocağında yapılan risk değerlendirme analizinde L tipi matris yöntemi kullanıldığından aşağıda bu yöntemle ilgili ayrıntılı açıklamalar sunulmaktadır.

1.3.1 L Tipi matris yöntemi

L tipi matris yöntemi neden-sonuç ilişkilerine dayanır. Bu yöntem basit, tek başına risk değerlendirmesi yapmak zorunda kalan iş güvenliği uzmanları için idealdir. İş güvenliği uzmanının tecrübe ve birikimine göre yöntemin başarı oranı değişir. L tipi matris yöntemi, işletmelerde özellikle aciliyet gerektiren ve bir an evvel önlem alınması gerekli olan tehlikelerin tespitinin yapılabilmesi için kullanılmalıdır.

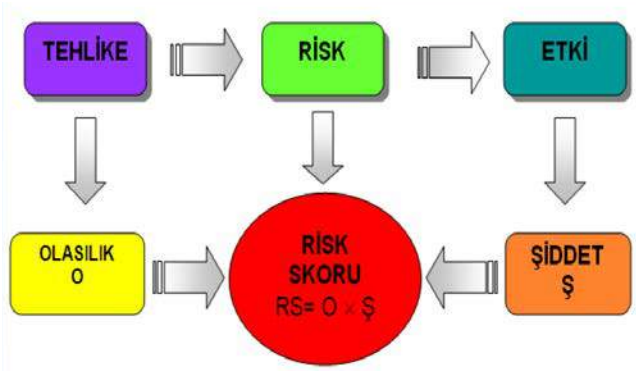
Tablo 1. L tipi matris yöntemi risk hesaplama tablosu

	ŞİDDET				
İHTİMAL	1 ÇOK HAFİF	2 HAFİF	3 ORTA	4 CİDDİ	5 ÇOK CİDDİ
1 ÇOK KÜÇÜK	1 ANLAMSIZ	2 DÜŞÜK	3 DÜŞÜK	4 DÜŞÜK	5 DÜŞÜK
2 KÜÇÜK	2 DÜŞÜK	4 DÜŞÜK	6 DÜŞÜK	8 ORTA	10 ORTA
3 ORTA DERECEDE	3 DÜŞÜK	6 DÜŞÜK	9 ORTA	12 ORTA	15 YÜKSEK
4 YÜKSEK	4 DÜŞÜK	8 ORTA	12 ORTA	16 YÜKSEK	20 YÜKSEK
5 ÇOK YÜKSEK	5 DÜŞÜK	10 ORTA	15 YÜKSEK	20 YÜKSEK	25 TOLERE EDİLMEZ

İş güvenliği uzmanı tarafından düşük, orta ve yüksek öncelikli risk gruplarının aralıkları belirlenerek tablo buna göre renklendirilir. Tablo 1'de; 1-6 düşük risk, 8-12 orta risk ve 12-25 yüksek risk olarak belirlenmiştir.

L tipi matris yönteminde risk puanı hesaplama formülü aşağıda sunulmaktadır;

Risk Puanı = Olasılık (O) * Şiddet (Ş) (1)



Şekil. 1 Tehlike ve risk arasındaki ilişki

Belirlenen her tehlike için bu şekilde risk hesaplaması yapılarak risk önceliği belirlenerek risk değerlendirme formunda ilgili alanlara yazılır. Bu risk hesap tablosu bağlamında yüksek öncelikli risklerden başlanarak risk önleme eylem planı hazırlanır ve hazırlanan plan uygulanır.

Tablo 2. Bir olayın gerçekleşme olasılığı

OLASILIK	
5 İş yapıldığı sürece	(çok yüksek olasılık)
4 Her gün	(yüksek olasılık)
3 Haftada bir	(orta dereceli olasılık)
2 Ayda bir	(küçük olasılık)
1 Yılda bir	(çok küçük olasılık)

Tablo 3. Bir olayın gerçekleştiği taktirde şiddeti

ŞİDDET		
Şiddet Derecesi	Olası Sonuç (Derecesi büyük olan dikkate alınır.)	
	İnsana Yönelik	Tesis / Ekipmana Yönelik
5	Ölümlü kaza	Zararın maliyeti 100.000 $'a eşit veya 100.000 $'dan büyüktür.
4	Büyük yaralanma	Zararın maliyeti 50.000 ila 100.000 $ arasındadır.
3	Orta dereceli yaralanma	Zararın maliyeti 20.000 ila 50.000 $ arasındadır.
2	Hafif yaralanmalar	Zararın maliyeti 1.000 ila 20.000 $ arasındadır.
1	Kayıpsız olaylar	Zararın maliyeti 1.000.$'dan azdır.

Tablo 4. Risk puanları ve sınıflandırma matrisi

	Şiddet				
Olasılık	1	2	3	4	5
1	Çok hafif seviye risk 1	Düşük seviye risk 2	Düşük seviye risk 3	Düşük seviye risk 4	Düşük seviye risk 5
2	Düşük seviye risk 2	Düşük seviye risk 4	Düşük seviye risk 6	Orta seviye risk 8	Orta seviye risk 10
3	Düşük seviye risk 3	Düşük seviye risk 6	Orta seviye risk 9	Orta seviye risk 12	Yüksek seviye risk 15
4	Düşük seviye risk 4	Orta seviye risk 8	Orta seviye risk 12	Yüksek seviye risk 16	Yüksek seviye risk 20
5	Düşük seviye risk 5	Orta seviye risk 10	Yüksek seviye risk 15	Yüksek seviye risk 20	Çok yüksek seviye risk 25

Tablo 5. Risk seviyesi ile Faaliyet ve zamanlama arasındaki ilişki

Risk Seviyesi	Faaliyet ve Zamanlama
Çok hafif risk	Ek bir faaliyet, dokümantasyon ve kayıt tutulması gerekmemektedir.
Düşük seviye risk	Tolere edilebilir risk. Ek kontroller gerekmiyor. Çabalar mali olarak daha etkin çözümlere veya iyileştirmelere yoğunlaştırılmalıdır. Önlemlerin mevcudiyetinden emin olmak için izleme gereklidir.
Orta seviye risk	Risk seviyesini azaltmak için çaba harcanmalıdır. Fakat önleme maliyeti dikkatle ölçülmeli ve sınırlandırılmalıdır. Risk azaltma önlemleri belirlenen en kısa zaman periyodunda uygulanmalıdır. Şiddeti çok yüksek olabilecek orta seviye riskler söz konusu olduğunda; daha iyi önlemler alınabilmesi için olasılık değerlendirmesi bir kez daha yapılmalıdır.
Yüksek seviye risk	Çalışma risk azaltılmadan başlatılmamalıdır. Riskin azaltılması için dikkate değer kaynak ayrılması gerekebilir. İşin bu riske rağmen devam etmesi gerekiyorsa acil önlemler alınmalıdır.
Çok yüksek seviye risk	Tolere edilemez. İş, risk azaltılıncaya kadar başlatılmamalı veya devam ettirilmemelidir. Sınırsız kaynak kullanımı durumunda bile riskin azaltılması mümkün değilse; iş hiç başlatılmamalıdır.

2 TAŞ OCAĞI ÜRETİM VE RİSK DEĞERLENDİRME RAPORU

Kütahya İli Gediz ilçesi Yeşilova köyü mevkiinde bulunan bir taş ocağı işletmesinde farklı boyutlarda sınıflandırılmış agrega (taş) üretimi yapılmaktadır.

İşin yürütümü sırasında kullanılan makine ve ekipmanlar; 2 Adet Paletli ekskavatör, 1 Adet Lastikli loder, Yük kamyonları ve konkasör tesisidir.

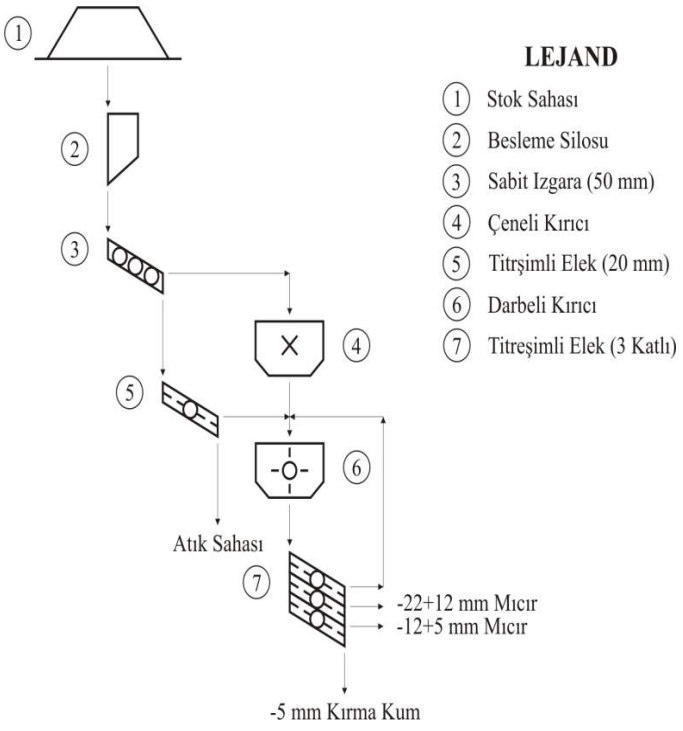
İşyerinde toplam 8 kişi çalışmaktadır.

2.1 İşletme Üretim Faaliyetinin İncelenmesi

Yeşilova kırma taş açık işletmesindeki üretim faaliyetlerini sıra ile delme-patlatma, kazı ve yükleme, nakliye ve kırma-eleme oluşturmaktadır. Açık işletmede kireçtaşının mekanik özellikleri doğrudan kepçe ile veya riperleme ile kazının yapılmasına uygun olmadığından üretim ancak delme ve patlatma yöntemiyle yapılabilmektedir. Bu amaçla, delik çapı 89 mm, delikler arası mesafe 2,5-3 m ve delik boyu 11 m. olan şeşbeş delik paterni uygulanmaktadır. Patlayıcı madde olarak ANFO (amonyum Nitrat+motorin) kullanılmaktadır. Basamak yüksekliği ortalama 10 metredir. Patlatma sonrası gevşetilen kayaç 4 ton kepçe kapasiteli paletli ekskavatör ile 20 ton kapasiteli kamyonlara yüklenerek kırma-eleme tesisine nakledilmektedir.

Kamyonlarla kırma-eleme tesisine nakledilen malzeme doğrudan 40 ton kapasiteli siloya nakledilmekte veya tesis yanındaki stok sahasına dökülmektedir. Silodaki malzeme sarsıntılı elek vasıtasıyla 110x50 cm boyutunda ve 50 mm açıklığındaki sabit ızgaradan elenmektedir. Elek üstü (+50 mm) malzeme 110cmx60 cm boyutundaki çeneli kırıcıda boyut küçültme işlemine tabi tutulmaktadır. Kırıcı çıkış açıklığı 10 cm ile 15 cm arasında ayarlanabilmektedir. Çeneli kırıcı alt çıkışı banda verilerek ikincil kırıcı olan darbeli kırıcıya gönderilir. Izgara altı ürün ise 100x 200 cm ebadındaki ve 20 mm açıklığındaki titreşimli elekten geçirilmektedir. Elek üstü malzeme darbeli kırıcıya beslenirken elek altı ise atık sahasına nakledilmektedir. Darbeli kırıcı kırılan malzeme 500x160 cm boyuna sahip 3 katlı titreşimli eleklerde elenmektedir. Titreşimli elek boyutları istenilen boyuta ayarlanabilmektedir. Tesiste genellikle 5 mm, 12 mm ve 22 mm açıklığa sahip elekler kullanılmaktadır. +22 mm boyutundaki malzeme tekrar darbeli kırıcıya beslenmektedir. Eleme işlemi sonrası -22+12 mm mıcır, -12+5 mm mıcır ve -5 mm kırma kum elde edilmektedir.

Kırma-eleme tesisi akım şeması Şekil 2' de verilmektedir.



Şekil. 2 Taş ocağı üretim akım şeması.

2.2 Taş Ocağı Risk Değerlendirmesi

Taş ocağı işletmesinde yapılan risk değerlendirmesinde, işyerinin potansiyel tehlikelerinin tamamı listelenmiş, alınacak önlemler ve tedbirlerin uygulanması takip edilmiştir. Ayrıca; aşağıdaki durumlarda risk değerlendirmesi yeniden yapılmasına karar verilmiştir (Taşkın , 2014).

1. Yeni bir makine ve veya ekipmanın alınması, İş organizasyonunda ve iş akışında değişiklik yapılması,
2. Yeni hammadde ve yarı mamullerin üretim sürecine girmesi,
3. Yeni bir mevzuatın yürürlüğe girmesi, mevcut mevzuatta değişiklik yapılması veya yeni tekniklerin geliştirilmesi,
4. İş kazası veya meslek hastalığı meydana gelmesi, yangın, parlama, patlatma gibi iş yerindeki iş sağlığı ve güvenliğini ciddi şekilde etkileyen olayların ortaya çıkması.

Bu noktada, ilk olarak işletmede mevcut tehlikelerin neler olduğu listelenmiştir. Belirlenen tehlikeler aşağıda sunulmuştur.

1. Ekskavatörün devrilmesi
2. Ekskavatörün yıkıntı altında kalması
3. Taş kırma esnasında kaya fırlaması
4. Patlatma esnasında kaya fırlaması
5. Patlatmadan dolayı yangın
6.Patlatma deliklerinin yanlış açılması /doldurulması
7. Gürültü
8. Toz
9. Titreşim
10. Kamyonların hatalı yüklenmesi
11. Kaynak
12. Malzemenin boşaltımı esnasında büyük taşların kamyonda asılı kalması
13. Konkasör tesisinde meydana gelen toz
14. Konkasör tesisinde meydana gelen gürültü
15.Konkasör tesisinde meydana gelen titreşim
16. Kayış
17. Konkasöre malzeme boşaltımı esnasında kamyonun devrilmesi
18. Yükleyicinin devrilmesi
19. Yollar
20. Elektrik sistemi
21. Elektrik kesintisi
22. Şevlerin stabilitesi
23. Basamak yükseklikleri ve genişlikleri
24. Açık alanda çalışma
25. Ofis
26. Mutfak
27. Tuvaletler ve duş yerleri
28. Kapalı alanda çalışma
29. Yüksekte çalışma
30. Atık madeni yağlar
31. İkaz ve uyarı levhaları
32. Konkasör korkuluk ve platformları
33. Yangın, parlama, patlatma
34. Elle taşıma işleri
35. Elektrikli aletler
36. Rutin çalışma
37. İş stresi
38. Mekanikte kullanılan oksijen tüpü
39. Taşıyıcı Kamyonlar

2.2.1 Taş ocağında belirlenen tehlikelerin risk değerlendirmesinin yapılması (mevcut durum/düzeltici-önleyici faaliyet)

İşletmede belirlenen mevcut tehlikeler listesinde yer alan olayların temelinde hazırlanan risk değerlendirme tablosu ve risk derecelendirme skoru, Tablo Ek 1'de birleştirilmiş olarak özetlenmiştir.

Tablonun hazırlanmasında; Mevcut tehlikeler, Oluşabilecek riskler, Tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı, Zarar, hasar veya yaralanma şiddeti verilerinden hareketle Riskin ağırlığı hesaplanmaktadır.

3 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Taş ocağı işletmesinde farkı boyutlarda sınıflandırılmış agrega (taş) kırma üretimi yapılmaktadır. İşletmede yapılan risk değerlendirmesinde, işyerinin potansiyel tehlikelerinin tamamı listelenmiş, alınacak önlemler belirlenmiştir. Ayrıca, alınan tedbirlerin uygulanması takip edilmiştir. Bu iş yerinde işin yürütümü ile alakalı olarak yapılan risk değerlendirmesinde elde edilen sonuçlar "Risk değerlendirme formunda" ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Mevcut durum detaylı olarak incelenmekte, olası tehlike oluşmadan düzeltici/önleyici faaliyetler devreye sokulmaya çalışılmaktadır.

Genel olarak bu işyerinde büyük ölçekte değerlendirilecek bir iş kazası yaşanmadığı beyan edilmiştir. Yine de, iş sağlığı ve güvenliği açısından belirlenen risklerin minimuma indirilmesi (ihmal edilebilir düzeye) için çalışanların eğitim faaliyetlerinin sürekliliği sağlanmaya çalışılmalıdır. Yasa ve mevzuatlar sürekli olarak takip edilmeli ivedilikle uygulamaya geçirilmelidir.

A sınıfı İş Güvenliği Uzmanı bir Maden Mühendisi tarafından İşletme için hazırlanan Risk değerlendirme raporu genel anlamda yeterli olmakla birlikte, tehlike sınıflarının daha geniş perspektifle ele alınarak detaylandırılması, ilerde olası riskleri öngörme anlamında yarar sağlayabilir. İş Sağlığı ve Güvenliği temelinde ele alındığında; unutulmamalıdır ki, önlemek düzeltmekten, düzeltmek geri kazanmaktan daha kolaydır.

KAYNAKLAR

Tanır, F., 2009. Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliğine Bakış, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, s. 7-8. Adana.

Sari, M., Düzgün, H.S.B., Karpuz, C., Selçuk, A.S., 2004. Accident Analysis of Two Turkish Underground Coal Mine, *Safety Science*, v. 42, no. 8, s. 675-690.

Sari, M., Selçuk, A.S., Karpuz C., Düzgün H.S.B., 2009. Stochastic Modeling of Accident Risks Associated with an Underground Coal Mine in Turkey, *Safety Science*, v. 47, no.1, s. 78-87.

Resmî Gazete, 2012. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.

Resmi Gazete, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği.

Korkut, G., Tetik, A., "2013. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunun Getirdiği yenilikler ve Temel Sorunlar, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt. 18, sayı. 3, s.455-474.

URL.1, 2014. *Risk analiz çalışmaları*, http://imzaosgb.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=134

Taşkın, O., 2014. *Alsancak taş ocağı risk değerlendirme raporu*.

Özkılıç, Ö., 2014. *Risk Değerlendirmesi*. http://www.onderakademi.com/blog/isg-dergi-makaleler/risk-analizi.pdf

Onur, A.H., Özfırat, K., 2014, İş Güvenliği ders notları, DEÜ Maden Müh. Böl. İzmir.

Tablo Ek 1. Alsancak Taş ocağı işletmesinde risk değerlendirme tablosu ve risk derecelendirme skoru

		Risk Derecelendirme Skoru		
Mevcut Tehlikeler	**Oluşabilecek Riskler**	**Tehlikeli Olayın Meydana Gelme Olasılığı**	**Zarar, Hasar veya Yaralanma Şiddeti**	**Riskin Ağırlığı (R=O x Ş)**
Ekskavatörün devrilmesi	Operatörün yaralanması veya ölümü çalışmanın olumsuz etkilemesi maddi ve manevi zararlar	Az (2)	Yüksek (5)	Orta (10)
Ekskavatörün yıkıntı altında kalması	Operatörün yaralanması veya ölümü çalışmanın olumsuz etkilemesi maddi ve manevi zararlar	Orta (3)	Yüksek (5)	Yüksek (15)

Taş kırma esnasında kaya fırlaması	Operatörün ve etrafındaki personelin yaralanmaları maddi hasarlar	Orta (3)	Ciddi (4)	Yüksek (15)
Patlatma esnasında kaya fırlaması	Bölgedeki personelin yaralanması	Orta (3)	Çok Ciddi (5)	Yüksek (12)
Patlatmadan dolayı yangın	Patlatmadan dolayı yaralanma veya ölüm	Az (2)	Çok Ciddi (5)	Orta (10)
Patlatma deliklerinin yanlış açılması /doldurulması	Emniyetsiz patlatma sonucu yaralanma ve ölüm	Az (2)	Çok Ciddi (5)	Orta (10)
Gürültü	Çalışan personelin işitme rahatsızlığına uğraması geçici ve kalıcı duymama sorunu ile karşılaşılması	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Toz	Çalışan personelin solunum yolu rahatsızlığına uğraması ve çevreye verilen rahatsızlık (çevre kirliliği)	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Titreşim	Çalışan personelin sağlık problemi yaşaması	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Mevcut Tehlikeler	**Oluşabilecek Riskler**	**Tehlikeli Olayın Meydana Gelme Olasılığı**	**Zarar, Hasar veya Yaralanma Şiddeti**	**Riskin Ağırlığı (R=O x Ş)**
Kamyonların hatalı yüklenmesi	Kamyonlardan taş düşmesi sonucu yaralanma veya ölüm	Az (2)	Ciddi (4)	Düşük (8)
Kaynak	Operasyon noktalı kişisel koruyucu kullanmaması personelin yaralanması ve ortamda yangın çıkması	Yüksek (4)	Ciddi (4)	Yüksek (16)
Malzemenin boşaltımı esnasında büyük taşların kamyonda asılı kalması	Çalışanın yaralanması ezilmesi veya ölüm	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Konkasör tesisinde meydana gelen toz	Çalışanların meslek hastalığı riski	Az (2)	Ciddi (4)	Düşük (8)

Konkasör tesisinde meydana gelen gürültü	Çalışanların meslek hastalığı riski	Az (2)	Ciddi (4)	Düşük (8)
Konkasör tesisinde meydana gelen titreşim	Çalışanların meslek hastalığı riski	Az (2)	Ciddi (4)	Düşük (8)
Kayış	Kırma eleme tesisindeki motor kayışlarının kopması sonucu yaralanma	Orta (3)	Orta (3)	Orta (9)
Konkasöre malzeme boşaltımı esnasında kamyonun devrilmesi	Konkasöre malzeme boşaltımı esnasında kamyonun devrilmesi	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Yükleyicinin devrilmesi	Operatörün yaralanması veya ölümü	Orta (2)	Ciddi (4)	Orta (8)
Yollar	Eğimli yollarda araç kayması ve kaza sonucu yaralanma veya ölüm	Orta (3)	Orta (3)	Orta (9)
Elektrik sistemi	Personelin elektrik akımından yaralanması veya ölüm	Orta (3)	Çok Ciddi (5)	Yüksek (15)
Mevcut Tehlikeler	**Oluşabilecek Riskler**	**Tehlikeli Olayın Meydana Gelme Olasılığı**	**Zarar, Hasar veya Yaralanma Şiddeti**	**Riskin Ağırlığı (R=O x Ş)**
Elektrik kesintisi	Dikkatsiz çalışma esnasında panik	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Şevlerin stabilitesi	Şevlerin dik olması durumunda basamağa kaya düşmesi sonucunda yaralanma veya ölüm, bakımı yapılmayan şevlerde aşırı yağmur vb. durumda toprak kayması sonucu yaralanma	Yüksek (4)	Ciddi (4)	Yüksek (16)

Basamak yükseklikleri ve genişlikleri	İş makinelerinin devrilmesi sonucu veya malzeme düşmesi sonucu operatörün yaralanması veya ölüm maddi zararlar	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Açık alanda çalışma	Güneş yanıkları, güneş çarpması, yılan sokması, arı ve haşere sokması sonucu yaralanma veya ölüm	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Ofis	Ergonomik şartların sağlanmaması	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Mutfak	Kirli ve hijyen kurallarına uygun olmayan mutfakta yemek yeme sonucu hastalanma	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Tuvaletler ve duş yerleri	Hijyenik koşulların sağlanmaması sonucu hastalanma	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Kapalı alanda çalışma	Basınçlı kapta yapılan bakım ve tamir esnasında boğulma ve zehirlenme	Az (2)	Ciddi (4)	Orta (8)
Mevcut Tehlikeler	**Oluşabilecek Riskler**	**Tehlikeli Olayın Meydana Gelme Olasılığı**	**Zarar, Hasar veya Yaralanma Şiddeti**	**Riskin Ağırlığı (R=O x Ş)**
Yüksekte çalışma	Uçurum ve benzeri yerlerden aşağıya düşerek yaralanma veya ölüm, yüksekten malzeme düşmesi sonucu personelin yaralanması veya ölüm	Orta (3)	Çok Ciddi (5)	Yüksek (15)
Atık madeni yağlar	Parlama, dökülme, yangın, yaralanma	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)

İkaz ve uyarı levhaları	Çalışanların ve işletmenin zarar görmesi, yaralanmalar veya ölüm	Orta (3)	Çok Ciddi (5)	Yüksek (15)
Konkasör tesisindeki korkuluk ve platformlar	Vücut yaralanmaları veya ölüm	Yüksek (4)	Ciddi (4)	Yüksek (16)
Yangın, parlama, patlatma	Yaralanma veya ölüm, maddi zarar	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Elle taşıma işleri	Bel ve eklem rahatsızlıkları	Orta (3)	Orta (3)	Orta (9)
Elektrikli aletler	Çalışanların zarar görmesi yaralanma ve ölüm	Orta (3)	Ciddi (4)	Orta (12)
Rutin çalışma	İnsan sağlığının bozulması	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
İş stresi	İnsan sağlığının bozulması sonucu yaralanma	Az (2)	Orta (3)	Düşük (6)
Mekanik çalışmalarda kullanılan oksijen tüpü	Patlama sonucu yaralanma veya ölüm	Az (2)	Çok Ciddi (5)	Orta (10)
Taşıyıcı kamyonlar	Kaza sonucu şoförlerin yaralanması veya ölüm, Maddi zararlar	Az (2)	Çok Ciddi (5)	Orta (10)

Risk Değerlendirmesi Ne Değildir (Madenlerde) Risk Değerlendirmesi Nasıl Olmalıdır

What is not Risk Assessment (Mine) Risk Assessment should be.

Y. Yiğiter
İTÜ Maden İşletme Mühendisi İSG Uzmanı Eğitici

ÖZET A-RİSK DEĞERLENDİRMESİ ŞUNLAR DEĞİLDİR:

1) Risk Değerlendirmesi "kopy" , "paste", "print" yöntemi ile hazırlanan bir belgenin, kazalardan koruması dileği ile, işyeri girişine asılan bir belge değildir.
2) Birbirinin yapı, imalat, işlem, makine olarak benzeri olan iş yerlerinde bile tehlikeler aynı değildir.
3) İşverenin aktif desteği ilgi ve bilgisinin olmadığı bir risk değerlendirmesi hedefine ulaşmaz.
4) Risk değerlendirmesinin "gerçek uygulaması" olmayan iş yerinde iş güvenliği kültürü oluşamaz.
5) İş güvenliği kültürü, çalışanın iş sağlığı ve güvenliği bilincinin ve güvenli davranış alışkanlıklarının kazanılmasıdır. Bunlar yoksa "Risk Değerlendirmesi" duvar takviminden daha işlevsel değildir.
6) Yaptığı iş sırasında ve başlangıcında çalışan "Dinamik Risk Değerlendirmesi" yapmıyorsa iş yerinde RD adına yapılan tüm çalışmalar prosedür olarak kalacaktır.
7) Risk Değerlendirmesi yönetmeliği Madde- 6-1.d) fıkrasındaki " İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar" risk değerlendirmesi ekibine tehlikelerin çoğunluğunun öngörülmesi sağlanamaz.

B- RİSK DEĞERLENDİRMESİ ŞÖYLE OLMALIDIR:

Risk Değerlendirmesi yapılmaya işyeri en üst yöneticisinin katılımı ile işyeri sağlık ve güvenliği politikasını oluşturan bir toplantı ile başlanır. Bu toplantının gündemini İSG uzmanı hazırlar,6331 sayılı yasa ilgili mevzuat ve bilhassa Risk Değerlendirme Yönetmeliğini inceleyerek bilgilendirme hazırlığı yapar. Risk değerlendirmesi, işverenin oluşturduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilir.

Risk değerlendirmesi ekibi aşağıdakilerden oluşur. a) İşveren veya işveren vekili) İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetini yürüten iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri. c) İşyerindeki çalışan temsilcileri. ç) İşyerindeki destek elemanları. d) İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar.

Risk Değerlendirme ekibine bu işlemin tekniği ve tehlikelerin nerede nasıl öngörülebileceği konusunda bilgilendirme yapılır. Bu eğitim tüm çalışanların tehlike tespit ve önermelere katılımını sağlayacak şekilde yaygınlaştırılır.

Risk değerlendirmesi çalışmalarının koordinasyonu işveren veya işveren tarafından ekip içinden görevlendirilen bir kişi tarafından da sağlanır. Bu koordinasyonun iş yerinde "sözü dinlenen" harcama yetkisi olan bir yönetici tarafından yapılması önerilir.

Tehlike tespit ve RD toplantısına yönetimin katılması ve desteklemesi iş yerinde olabilecek riskler konusunda işveren ve vekillerinin risk algıları yükseltilerek proaktif önlemler alınması sağlanacaktır.

Çalışanların kendilerini korumak için nasıl "Dinamik Risk Değerlendirmesi" yapacağı ve önemi anlatılarak, risklerden korunması sağlanacaktır.

DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ: İş yerindeki koşullarda ve ortamlardaki tüm değişkenleri önceden hesaba katmak mümkün değildir. Çalışanlara, sağlık ve güvenliğe ilişkin kendi Dinamik Risk değerlendirmelerini yapmalarıdır

Anahtar Kelimeler: Risk değerlendirmesi, iş sağlığı ve güvenliğini

ABSTRACT A - ENSURE RISK ASSESSMENT IS NOT LACKING:
1) Scope: A Risk Assessment of "copy", "paste", "print" from a document prepared for any process with the hope of protection from accidents in a workplace that does not cover all of the work being performed.
2) Specificity: All construction, manufacturing and related Risk Assessment operations where the job has similar workplace hazards but does not involve the same machine or process.
3) Administrative Support: : Where the worker's lack of interest and knowledge of their employer's active support of risk assessment does not reach the target audience.
4) Culture: Where the real workplace practice of Risk Assessment exists in an atmosphere that does not foster a truly defined safety culture.
5) Acquired Safety Habits: A work safety culture where the employee's occupational health and safety awareness is nothing more than a non-functional wall calendar metric lacking the necessary set of acquired safety habits.
6) Dynamics: Doing a job and working in "Dynamic Risk Assessment" where all the work done on behalf of RD workplace procedures may remain unaccomplished.
7) Risk Assessment Regulation Matter-6-1.d) in paragraph "in the workplace all the units will determine and identify the majority of existing or potential sources of danger or risk using workplace conducted studies by knowledgeable workers to ensure that a high level of risk prediction is achieved.

B. RISK ASSESSMENT program should:

1) Identify and delineate which top level managers are to be involved in the Workplace Health and Safety Risk Assessment Program.
a. Initiate and conduct Risk Assessment program meetings.
b. OSH specialists are to prepare the meeting's agenda.
c. Law No. 6331 and related legislation, in particular, requires an employer team to conduct examinations of all Risk Assessment Regulation disclosures and ensure appropriate corrective preparations or actions are taken.
C. The Risk Assessment team is composed of the following:
a) The employer or employer's representative to implement the health and safety services at the workplace
b) Occupational health and safety specialists and occupational physicians.
c) Representatives of employees in the workplace.
d) Workplace Support staff.
e) All units involved in conducting the workplace study by knowledgeable workers to show the existing risks or potential sources of danger.
D. Risk Assessment Team Corrective Actions:
a) Identify those Techniques that the Risk Assessment team will use to determine the applicable hazards and the process of where and how this information is utilized.
b) Determine the recommended corrective training to be given to all employees to eliminate all of the identified hazards.
c) Ensure participation is widespread.
d) Provide a person to coordinate all of the risk assessment studies by the employer or appoint a person from within the team..
e) Recommend that the person to provide this coordination in the workplace "be tapped" by an administrator with the authority to spend.

f) Employers to take proactive measures and involvement to increase workplace hazard risk perception and identification with RD meetings.
g) Provide employees with proxy measures on how to protect themselves using "Dynamic Risk Assessment" principles emphasizing the importance of critical risk prevention measures.
h) Encourage employees to make their own personal dynamic risk assessments in the workplace to include consideration of environmental conditions as occasions arise.
Since employee health and safety are related to employees making their own dynamic risk assessments. But realize that considering all the variables in advance may not be possible. So, also be wary of the unexpected.

Keywords: Risk assesment, occupational health and safety

1. TÜRKİYE'DE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

2003 Tarihinden sonra ilgili bakanlık AB Müktesebatı çerçevesinden başlayarak pek çok güzel işler gerçekleştirdi.

Çalışma hayatımızda saydam (flu-şeffaf) bir kavram olan iş sağlığı ve güvenliğini canlandırdı, 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasası çıkıncaya kadar canla başla çalıştı.

Ancak yasanın çıktığı tarihten sonra farklı bir ortam baskın oldu, genel kültürümüze giren iş güvenliği , risk değerlendirmesi gibi kavramlar hızla yıprandı.

Bu kavramlardan Risk Değerlendirmesi üzerinde biraz çalışacağız. Amacımız uygulayıcılara yön göstermek, çalışanlara faydalı olmak.

Şu an Risk Değerlendirmesi " körlerin filleri tarifine" benziyor.
Bakanlığın RD (: Risk Değerlendirmesi) örnekleri yayınlaması sürücü eğitimi olmayan kişiye araç teslim etmek gibi oldu.

Sonuçta risk değerlendirmesi kopyala yapıştır kapıya as bir tür "kazalardan koruyucu muska" kavramı kazandı.

Eğer RD Yönetmeliğindeki "Risk Değerlendirmesi Ekibi" işverenin başkanlığında toplanmazsa bu ekipte, işveren veya vekili, iş yerindeki tehlikeleri gerçekten bilen deneyimli mühendisler, formenler, ustabaşılar, operatörler olmaz ise o Risk Değerlendirmesi sadece kağıt tomarından ibarettir.

1.1 Risk Değerlendirmesinden amaç şunlardır.

- ✓ Riskler ortaya çıkmadan tehlikeleri öngörmek.
- ✓ Tehlikelerin risk derecesini boyutlamak.
- ✓ Boyutlarına göre uygun zaman ve işlem yapmak.
- ✓ İşverenin iş güvenliği ve risk algısını canlandırmak, uygulamalara iş vereni katmak.
- ✓ İşverenin iş güvenliğinden gerçekten sorumlu ve etkin kişi olmasında farkındalığı artırmak.
- ✓ İş yerinde iş güvenliği kültürünü ve atmosferinin oluşmasını sağlamak.
- ✓ Çalışanların kendilerinin ve tüm işyerinin güvenliği için önceden tehlikeleri araştırması ve risk büyüklüğüne uygun önlem almasıdır.
- ✓ En önemli şeylerden biri tüm tehlikelerin riske dönüşmeden öngörülmesidir. Eğer tehlikeleri ön göremezseniz uyguladığınız yöntem (Kontrol Çeklisti, FMEA, ETA,Hazop vd.) ne olursa olsun sonuç vahim olacaktır.

İşveren veya vekilleri iş sağlığı ve güvenliği toplantılarına katılmıyorsa, Risk Değerlendirmesini İSG uzmanına veya OSGB ye yaptırıyorsa Borçlar Kanuna göre özenli (basiretli) işveren olarak davranmadığı için kusurludur.

RD yönetmeliği de "**İşveren yükümlülüğü"** bölümünde şöyle ifade eder**;**
MADDE 5 –

(1) İşveren; çalışma ortamının ve çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlama, sürdürme ve geliştirme amacı ile iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır.
(2) Risk değerlendirmesinin gerçekleştirilmiş(yapılmış) olması; işverenin, işyerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması yükümlülüğünü ortadan kaldırmaz.(Yani işveren risk değerlendirmesi yaptırdım diyerek sorumluluklarından kurtulamaz)
(3) İşveren, risk değerlendirmesi çalışmalarında görevlendirilen kişi veya kişilere risk değerlendirmesi ile ilgili ihtiyaç duydukları her türlü bilgi ve belgeyi temin eder.

Bilhassa Madde 5 –(2) Dikkatle okunmalıdır ; "RD gerçekleştirilmiş olması işverenin, işyerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması yükümlülüğünü ortadan kaldırmaz." Demektedir ;Yani işveren risk değerlendirmesi yaptırdım diyerek sorumluluklarından kurtulamaz, "risk değerlendirmesi hassas yapılmamış tehlikeler öngörülmemiş , bu Risk değerlendirmesini yapan kişilerin suçu". diyemez. Her durumda iş yerindeki sağlık ve güvenliği sağlamakta baş sorumlu iş verendir.

1.2 RD Yönetmeliği Risk Değerlendirmesi Ekibi Bölümü İse Şöyledir.

MADDE 6 – (1) Risk değerlendirmesi, işverenin oluşturduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Risk değerlendirmesi ekibi aşağıdakilerden oluşur.
a) İşveren veya işveren vekili.
b) İşyerindeki iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri.
c) İşyerindeki çalışan temsilcileri.
ç) İşyerindeki destek elemanları.
d) İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar.

Burada dikkat edilmesi gerekenler şunlardır;
İş veren veya vekili öncelikli olarak ekipte bulunacaktır. Çünkü asıl amaç; ortaya çıkabilecek tehlikelerden işverenin bilgilenmesi, alınacak önlemler ve yapılacak işlemlerin kalitesi etkinliği hakkında bilgi sahibi olmasıdır.

Doğaldır ki işverenler bir yönetim ağı ile işyerini çalıştırır ve bu ağ öncelikle karlılık üzerine kurulmuştur.

Mevzuatımız tam bu konumda işverene sorumluluklarını hatırlatıp iş sağlığı ve güvenliği için de bir yönetim sistemi kurmasını ve güvenli iş yeri oluşturmasını öneriyor.

Madde 6-(2) ise gözden kaçması muhtemel bir konuyu vurguluyor; eğer RD ekibi yaptığı iş için zayıf kalırsa bu kez işveren şunları da yapmalıdır; "*İşveren, ihtiyaç duyulduğunda bu ekibe destek olmak üzere işyeri dışındaki kişi ve kuruluşlardan hizmet alabilir."*
(3) Risk değerlendirmesi çalışmalarının koordinasyonu işveren veya işveren tarafından ekip içinden görevlendirilen bir kişi tarafından da sağlanabilir.

Bu bölümde iş veren sorumluluk kendisinde olmak koşulu ile bir RD koordinatörü atayabilir deniyor.

Bu koordinatör İSG uzmanı olabilir ama bence en uygunu gerçekten işyerinde harcama, emretme, veri akışını sağlama gücü olan bir işveren vekili ekibi koordine etmesi işverenin çıkarına olacaktır. Diğer durumda yapılan maddi ve manevi masraf boşa gidecektir.

1.3 RD Yönetmeliği Dokümantasyon Bölümü İse Pek Çok Şeyi Tekrar Vurguluyor;

MADDE 11 – (1) Risk değerlendirmesi asgarî aşağıdaki hususları kapsayacak şekilde dokümante edilir
a) İşyerinin unvanı, adresi ve işverenin adı.
b) Gerçekleştiren kişilerin isim ve unvanları ile bunlardan iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi olanların Bakanlıkça verilmiş belge bilgileri.
c) Gerçekleştirildiği tarih ve geçerlilik tarihi.
ç) Risk değerlendirmesi işyerindeki farklı bölümler için ayrı ayrı yapılmışsa her birinin adı.

(Demek ki iş yeri bölümlere ayrılacak ve her bölüm için tehlikeler tekrar değerlendirilecek. Örnek 5 ayrı bina var ise her binadaki makineler ayrı ayrı incelenecek, üretim depolama, idari bina ayrı ayrı incelenecek)

d) Belirlenen tehlike kaynakları ile tehlikeler.

e) Tespit edilen riskler.

f) Risk analizinde kullanılan yöntem veya yöntemler.

g) Tespit edilen risklerin önem ve öncelik sırasını da içeren analiz sonuçları.

ğ) Düzeltici ve önleyici kontrol tedbirleri, gerçekleştirilme tarihleri ve sonrasında tespit edilen risk seviyesi.

(2) Risk değerlendirmesi dokümanının sayfaları numaralandırılarak; gerçekleştiren kişiler tarafından her sayfası paraflanıp, son sayfası imzalanır ve işyerinde saklanır.

(3) Risk değerlendirmesi dokümanı elektronik ve benzeri ortamlarda hazırlanıp arşivlenebilir.

Uluslararası büyük şirketlerle iş yapanlar rastlamışlardır; pek çok uyarı ve dokümanda , çalışma izni formlarında "**İş Başlangıcında Risk Değerlendirmesi Yapınız !!!**" uyarısı bulunur.

Madenler başta olmak üzere pek çok işyeri girişinde yazılı olan " **ÖNCE EMNİYET – ÖNCE GÜVENLİK !!!**" uyarılarında anlatılmak istenen de Dinamik Risk Değerlendirmesidir.

Dinamik Risk Değerlendirmesi çalışma başlangıcında kendisini etkileyecek tehlikeleri araştırmak, ortaya çıkabilecek riskleri değerlendirmektir. Böylece proaktif olarak önlem almaktır.

Burada bahsettiğimiz yazılı bir belge hazırlamak değildir.

2. DİNAMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ

İş yerinde yapılan işlemlerde ve çalışmaların yapıldığı koşullarda ve ortamlardaki olası tüm değişkenleri önceden hesaplamak mümkün değildir. Çalışanlara, sağlık ve güvenliğe ilişkin kendi Risk değerlendirmelerini yapmalarını istemek ve onlara bu konuda güvenmek gerekecektir.

Yani çalışanlar Dinamik Risk Değerlendirmesini uygulayacak bilgi ve bilince sahip olmalıdır. (Bu konuda yeterli eğitim verilmelidir.)

D**inamik risk değerlendirmesi** bizim gündelik yaşamımızda gerçekleştirdiğimiz bir şeydir - örneğin, birçok kez karşıdan karşıya geçmenin güvenli olup olmadığına karar veririz.

2.1.1 Dinamik risk değerlendirmesi şunları kapsar:

•"Sahadaki – işyerindeki" risklerin tanımlanması;

•Mevcut var olan güvenlik önlemlerinin yeterliliğinin değerlendirilmesi;

•En uygun güvenlik önlemlerinin seçilmesi ve uygulanması (veya işte daha ileriye gitmeme kararının alınması).

Dinamik Risk Değerlendirmesi' Yapılacak Risk değerlendirmesinin çerçevesinde yer alması gerekir; yani işle ilişkilendirilebilecek risklerin tanımlanmış olduğu ve gerekli güvenlik önlemlerinin temin edilmiş veya hazır hale getirilmiş olduğu değerlendirilmelidir.

Çalışanlara uygun düzeyde bilgi, talimat, eğitim ve denetim uygulanarak, dinamik risk değerlendirmelerini yapmaları sağlanmalıdır.

2.1.2 Dinamik Risk Değerlendirmesi örneği:

Bu yaklaşımı karşıdan karşıya geçmeye uygularsak; bir genel risk değerlendirmesi başlangıçta şunları garanti etmelidir:

• Fiziksel güvenlik kontrollerin uygun olduğunun sağlanmalıdır; örneğin trafik ışıklarıyla kontrol edilen yaya geçitleri, çizgili yaya geçitleri, yaya orta refüjleri, ışıklandırma, bariyerler vs. yeterli midir?

• Kişilerin bunu emniyetli bir şekilde yapabilecek fizyolojik kapasiteleri , örneğin karşıdan karşıya geçeceklerin görme, duyma, yürüme yeteneği yeterli midir?

• Karşıdan karşıya geçme eğitimi verilmiş midir?

örneğin karşıdan karşıya geçiş kuralları, yaya geçitlerini kullanmanın faydalarını biliyorlar mı ;

• Deneyimsiz kişilere (çocuklar vb.) - pratik durumlarda bir dinamik risk değerlendirmesini başarıyla yapabileceklerini kanıtlayana kadar - nezaret edilmesi gereklidir.

2.1.3 Dinamik Risk Değerlendirmesi Hangi Durumlarda Daha Önemlidir:

Çoğu zaman tesisat tamir veya bakım işlerinde, çeşitli tiplerde geçici erişim araçları (Merdiven iskele) kullanarak yüksekte çalışmayı içerir. Genel risk değerlendirmeleri çoğu durumda spesifik işlemler için hangi donanımın kullanılması gerektiğini belirtebilse de, her şeyi önceden belirlemek imkansızdır ve tek tek işçilerin karar vermesi gereken birçok konu vardır.

Bu özellikle personel ana tesisten uzakta çalışırken böyledir. Personelin bu değerlendirmeleri etkin bir şekilde yapabilmesi için alması gereken özel eğitim de verilmelidir.

Yapılacak genel risk değerlendirmesinde şunlar da dikkate alınmalıdır:

•Uygun geçici donanımın istendiğinde derhal elde edilebilir olmasını, örneğin portatif merdivenler, uzatma merdivenleri, geçici dikme iskeleler, vs.;

•Donanımın güvenli ve standartlara uygun olmasını;

•Donanımı kullanacak kişilerin,

- kolay erişimi ve güvenli kullanım ;
- hangi koşullarda hangi tiplerin en uygun olduğu üzerine bir eğitim almasını.

2.1.4 Dinamik Risk Değerlendirmesi Ve Karar Verme:

Bu şekilde eğitim almış ve donatılmış çalışanların artık çeşitli durumlarda bir dinamik risk değerlendirmesi yapabilmesi ve en uygun erişim donanımını seçebiliyor olması gerekir. Bazı durumlarda bu, mevcut donanımın hiçbirinin uygun olmadığına karar verilip, alternatif donanım istenmesini kapsayabilir; örneğin tam cephe iskelesi veya bir mobil yükseltme platformu. Bazen işte daha ileri gitmeme kararı vermek yerinde olabilir; örneğin güçlü rüzgarlarda veya diğer olumsuz koşullarda.

Dinamik risk değerlendirmesi

İşverenlerin risk değerlendirme yaklaşımlarını uygulamakla bile, iş faaliyetlerindeki olası her değişkeni ve ihtimali önceden hesaba katabilmesi mümkün değildir.

Çalışanlara da, sağlık ve güvenlikleri içen kendi değerlendirmelerini yapmaları konusunda eğitim (verilmeli ve) bir parça güvenilmelidir. Örneğin:

- Sıklıkla aletlere uzanma ya da elle taşıma gerektiren ve gözden uzak onarım işi yaparken , merdiven üzerindeyken; güvenli bir şekilde yapılabilecek mi?
- Zemin ve hava koşulları düşünüldüğünde kaygan bir yüksekte çalışma güvenli mi?

2.1.5 Dinamik Risk Değerlendirmesi Eğitimi:

Her işveren, çalışanlarını görevlendirirken, sağlık ve güvenlik hususundaki yeterliliklerini hesaba katacaktır;

Çalışanların yeterlilikleri yalnızca almaları gereken eğitimi değil, ayrıca bu eğitimi uygulamaya koyabilme kapasitelerini de kapsar. Bazı işler, güvenli bir şekilde yerine getirilebilmeleri için; özel yüksek beceriler gerektirebilir. Diğer durumlarda çalışanlardan söz konusu risklerin bir muhakemesini yapmaları ve uygun önlemleri seçmeleri, yani bir dinamik risk değerlendirmesi yapmaları istenebilir. İşveren, risk değerlendirme sürecinde bu tip görevleri tanımlamalı ve bu görevleri gerçekleştiren personelin gerekli becerilere sahip olduğuna veya riskler ve önlemler üzerine muhakeme yapabilmek için; uygun şekilde donanımlı olduklarını kontrol etmelidir.

2.1.6.Dinamik Risk Değerlendirmesi Sürecleri:

İşin mahiyetinin veya işyerinin kendisinin sürekli olarak değiştiği birçok faaliyet vardır. Bu durumlara örnek olarak inşaat işleri veya seyyar bakım-onarım işleri verilebilir. Bu durumlarda ilgili risk türlerinin ve alınması

gereken önlemlerin 'genel' değerlendirmelerini yapmak mümkündür. Ancak, belirli koşullarda hangi önlemlerin alınmasının uygun olduğu veya beklenmeyen durumların üstesinden gelmeleri için işçilere de bir yere kadar güvenilebilir. Açıktır ki bu işçiler, çoğunlukla 'dinamik' risk değerlendirmesi olarak tanımladığımız şeyi yapmak konusunda, yetkin olabilmeleri için; iyi bilgilendirilmiş ve iyi eğitilmiş olmalıdırlar.

"Dinamik Risk Değerlendirmesi" ifadesi çoğunlukla, bu tür durumlarda çalışanların izlemesi beklenen süreçleri tarif etmek için kullanılır.

Ancak işverenlerin, çalışanlarının da bu tür muhakemeleri (dinamik risk değerlendirmesi) yapmak için gerekli bilgi ve deneyime sahip olmalarını sağlamaları çok önemlidir. İşverenlerin değişken koşullarda ortaya çıkabilecek risk tiplerini tanımlamış olması, gerekli olabilecek güvenlik önlemlerine (prosedürler, donanım vs.) ilişkin bir çerçeve oluşturmuş olması ve hangi koşullarda hangi önlemlerin uygun olduğu konusunda yol gösterici olması gerekir.

3 TEHLİKELER VE RİSK

Karşıdan karşıya geçen yayalar varsa;

Tehlike: Bir yayanın bir aracın çarpmasından dolayı yaralanmasıdır.

Riskin büyüklüğü, şu etmenlerle belirlenir:

- ✓ trafik yoğunluğu;
- ✓ yoldan geçmekte olan yaya sayısı;
- ✓ yoldaki düzenlemeler (tahsis edilmiş geçiş noktalan, uyarı işaretleri, ışıklandırma, çizgiler);
- nesnelerin düşebileceği mesafe;
- çalışma platformunda açıklık ya da boşlukların olması;
- kenar bariyerlerinin olmaması;
- aşağıdaki insanların baret giyip giymemesi.

Onarım işleri sırasında düşen nesneler örneğinde riskin değerlendirmesi yapılırken; şunların yapılıp yapılmadığı da göz önüne alınmalıdır:

- ✓ trafiğin hızı;
- ✓ trafiğin mahiyeti (bisikletler, ağır vasıtalardan daha az yaralanmaya neden olacaktır);
- ✓ yoldan geçenlerin becerisi ve bilinci (çocuklar muhtemelen yetişkinlerden daha büyük risk altındadır

3.1. Tehlikeler ve Risk

Tehlike, zarar verme potansiyeli taşıyan her şeydir.

Risk, bu tehlikenin taşıdığı potansiyel zararın gerçekleşme olasılığıdır.

Riskin büyüklüğü;

a-zararın oluşma olasılığına;

b-zararın potansiyel şiddetine (meydana gelebilecek yaralanmalar veya sağlığa zararlı etkileri);

c-tehlikeden etkilenmiş olabilecek nüfusa, yani maruz kalmış olabilecek insan sayısına bağlıdır.

Tehlike: Onarım işi sırasında aşağıda bulunan birisinin düşen bir nesne yüzünden yaralanması (tehlikesi).

3.1.1 Riskin büyüklüğü şu etmenlerle belirlenir:

- yüksekteki onarım işlerinin sıklığı;
- aşağıda insan olması;
- aşağıdaki insanların sayısı;
- onarım işinde kullanılan aletlerin güvenli olması;
- diğer eşyaları emniyete almak için alınan güvenlik önlemleri (örn. donanım ve bileşenler);
- onarım işçilerinin ne kadar dikkatli olduğu;
- düşebilecek nesnelerin boyutu ve ağırlığı;

- zemine bariyerler ve/veya uyarı işaretleri konulmuş mu ve bunlara riayet ediliyor mu?
- onarım işçileri, tarafından alet kemerleri kullanılıyor mu?
- çalışma platformlarında kenar korumaları var mı ve önlemler alınmış mı?
- zemindekiler, gerekliyse, baret takıyor mu?

4.SONUÇ

Risk Değerlendirmesi iş yerlerindeki başta işveren ve vekilleri olmak üzere tüm kişilerin, daha sonra ortaya çıkabilecek tüm tehlikeleri, önceden öngörmesi ve (proaktif) olarak kontrol º nlemlerinin bulunmasē, uygulanmasēdē r.

KAYNAKLAR:

TMMOB EMO YAYIN NO: GY/2014/565 ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI ISBN: 978-605-01-0580-3 *İşçi Sağlığı ve Güvenliğinde RİSK DEĞERLENDİRME-1 üzerine notlar*

Bateman M. *Tolley Yaklaşımı Pratik Risk Değerlendirme El Kitabı*

ESİN A. Prof. Dr. *Yeni Mevzuatın Işığında İş Sağlığı ve Güvenliği*

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KANUNU KanunNo.6331 Kabul Tarihi: 20.6.2012

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK DEĞERLENDİRMESİ YÖNETMELİĞİ 29 Aralık 2012 CUMARTESİ

Teknolojik Kazalar ve Risk Algısı
Technological Accidents and Risk Perception

A. Bilgin
Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin

M.A. Alkan, D. Bağla, B. Kurada, M. F. Şen, Ö. Çağlar, O. Güleşen, A.T. Okşin, E. Tanriverdi
T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Planlama ve Zarar Azaltma Daire Başkanlığı, Teknolojik Afetler ve Risk Azaltma Çalışma Grubu, Ankara

ÖZET Günümüzde alınan güvenlik önlemleri ve yönetim modellerine rağmen tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de son zamanlarda sıklığı giderek artan teknolojik kökenli kazalar (Endüstriyel, taşımacılık, maden vb. kazalar) meydana gelmektedir. Teknolojik kazalar can ve mal kaybına neden olmasının yanı sıra geri döndürülemez çevre kirliliği yaratması dolayısı ile de ele alınması gereken önemli bir konudur. Bu araştırma 2013-2014 yılı içerisinde toplam 6800 kişiye sorulan bir dizi soru ile teknolojik kazalar, güncel çevre problemleri ve teknolojik afet yönetimi halkın bakış açısını ve farkındalıklarını ölçmek amacıyla yapılmıştır. Anket soruları AFAD (Planlama ve Zarar Azaltma Dairesi Başkanlığı) ile birlikte hazırlanmış ve internet sitesinden online olarak anket katılımcılarına sorulmuştur. Öncelikli olarak farklı teknolojiler ve güncel çevre sorunlarından hangilerini risk olarak gördükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonrada teknolojik afet yönetiminin nasıl olması gerektiğini belirlemek amacıyla sorular yönlendirilmiştir. Araştırma sonucunda Türk insanının en çok kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer saldırılar ve tehditler (%91), nükleer kazaları (%90.5) ve maden kazaları (%82.8) büyük tehdit olarak gördüğü güncel çevre problemlerinden çölleşme ve kuraklık (%83), iklim değişikliği (%69.5) ve sıra dışı hava, su, toprak kirliliği (%77) gelecek nesiller için risk faktörü olduğu, kaza oluşumunda insan faktörünün doğal afetlerden daha önemli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Teknolojik kazalar, maden kazaları, risk algısı

ABSTRACT Despite all safety measures and management models that are implemented, technological accidents continue to remain an important problem both in Turkey and across the world. As technological accidents can lead to the loss of property and life, as well as irreversible environmental pollution, they constitute an important subject that needs to be adequately considered and addressed. This study was performed between 2013-2014 by administering a number of questions to a total of 6800 individuals in order to determine the perspective and level of awareness of the general public regarding technological accidents, current environmental problems and technological disaster management. The survey questions were prepared together with the Planning and Mitigation Department of the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD), and administered online through AFAD's internet site to the study participants. The study first attempted to determine which technologies and current environmental problems were perceived as risks by the general public. The study then directed a number of questions to the participants on how technology disaster management should be performed. Based on the study results, it was determined that the Turkish people consider chemical, biological, radiological and nuclear attacks and threats (91%), nuclear accidents (90.5%), and mining accidents (82.8%) as the greatest sources of threat. The study results also showed that, among different environmental problems, the Turkish people considered desertification and droughts (83%), climate change (69.5%) and

extraordinary air, water and soil pollution as the most significant risk factors for future generations. In addition, the study participants considered that human factors played a more significant role than natural factors in the development an occurrence of accidents.

Keywords: Technological accidents, mining accidents, risk perception

1 GİRİŞ

Teknolojik afetler, insan faaliyetleri ya da doğal afetlerin tetiklemesi sonucunda oluşan endüstriyel, maden, ulaşım ve taşımacılık, nükleer ve radyolojik, deniz kirliliğine neden olan kazalar, büyük yangınlar, biyolojik olaylar, kritik altyapılar ve siber tehditler ile çevresel tehlikeler gibi can kaybına, hastalıklara, sosyal, ekonomik ve çevresel bozulmalara neden olan afet ya da acil durumlar olarak tanımlanmaktadır (AFAD, 2014). Bu acil durumlar tesislerde doğal yada insan kaynaklı tehlikeli olayların bir sonucu yada kimyasal üretimi yada kullanımından dolayı meydan gelebilir (NST, 2003).

Avrupa'da 1998 ve 2002 yılları arasında meydana gelen doğal felaketler ve teknolojik kazalar yedi milyondan fazla insanı etkilemiş ve yalnızca sigorta kapsamındakiler açısından en az 60 milyar euroluk zarara yol açmıştır. Teknolojik kazalar sonucunda meydana gelen ölüm ve ekonomik zarar doğal olaylarla aynı düzeyde olmamaktadır. Ancak çevre üzerindeki etkiler doğal olaylardan daha büyük olabilir. Örneğin; petrol ve maden gibi tehlikeli atıkların su kaynaklarında sızmasıyla ekolojik zarar oldukça büyük düzeyde olabilir (Avrupa Çevre Ajansı, 2003) İnsan sağlığı ve çevre üzerinde yıkıcı etkilere sahip endüstriyel kazalar günden güne artmakta fakat güvenlik önlemleri konusundan hala eksikliklerimiz bulunmaktadır. Türkiye'de son yıllarda kaza sayısı artmıştır. Kazalardaki bu artış ekonomik büyümeye bağlı olabilmektedir (Roden, 2012).

Risk algısı sadece teknik parametreler ve olasılık sayıları ile ilgili değil, bizim psikolojik, sosyal ve kültürel yapımıza bağlı olarak da değişmektedir. Bireysel ve sosyal karakteristikler bizim risk algımızı oluşturur (Slovic, 1987).

Bu araştırmada; Türkiye'de teknolojik kazalara toplumun bakış açısını ve farkındalıklarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2 MATERYAL METOT

Araştırma kapsamında "Türkiye'de Afet yönetimi" başlıklı hazırlanan anket çalışmasında gruplandırılan sorular yönlendirilmiştir. 2013-2014 yılı içerisinde toplam 6800 kişiye sorulan bir dizi soru ile teknolojik kazalar, maden kazaları, güncel çevre problemleri ve teknolojik afet yönetimi halkın bakış açısını ve farkındalıklarını ölçmek amacıyla yapılmıştır. Anket soruları AFAD (Planlama ve Zarar Azaltma Dairesi Başkanlığı- Teknolojik Afetler Risk Azaltma Çalışma Grubu) ile birlikte hazırlanmış ve internet sitesinden online olarak anket katılımcılarına sorulmuştur. Anketin verileri sosyal bilimler istatistik (SPSS 20) programında değerlendirilmiştir. Anketi verilerinde bütün parametreler arasında eşit sayı elde edilemediğinden genel değerlendirme yapılmıştır. Bilgisayarda yapılan analizlerle,; Frequency ve Crostabb yöntemleri, Korelasyon Testi, Crossbach-α güvenilirlik testi ve ANOVA testi uygulanarak cevaplar arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Anketi dolduranların cinsiyet, eğitim seviyeleri ve katıldıkları bölgeler Tablo 1.'de verilmektedir.

Tablo 1. Ankete katılanların cinsiyet, eğitim ve katıldıkları bölgeler

		Sayı	%
Cinsiyet	Kadın	3332	49,0
	Erkek	3468	51,0
Eğitim Seviyesi	Okul yazar değil	8	0,1
	İlkokul	26	0,4
	Ortaokul	101	1,5
	Lise	282	4,1
	Ön Lisans	636	9,4
	Üniversite	4811	70,7
	Yüksek Lisans	662	9,7
	Doktora	274	4,0
Bölge	Akdeniz Bölgesi	215	3,2
	Doğu Anadolu Bölgesi	700	10,3
	Ege Bölgesi	4435	65,3
	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	179	2,6
	İç Anadolu Bölgesi	885	13,0
	Karadeniz Bölgesi	153	2,3
	Marmara Bölgesi	217	3,2

Anket sorularının güvenilirliği ve geçerliliği Cronbach Alfa (α) katsayısına göre analiz edilmiştir. Bu katsayı; 0,00≤ α <0,40 ise test güvenilir değildir, 0,40≤ α <0,60 ise test düşük güvenilirliktedir. 0,60≤α<0,80 ise test oldukça güvenilirdir, 0,80≤α<1,00 ise test yüksek derecede güvenilirdir (Leblebici vd., 2004).

Anket kendi içinde bir den fazla alt grup içerdiğinden dolayı İçsel Güvenilirlik analizi uygulanmıştır. Her bir grup için ayrı ayrı Cronbach Alfa değeri bulunmuştur. Yapılan güvenilirlik analizi sonuçları aşağıdaki gibidir:

1) "Teknolojik afetlerin her birinin önem seviyesini değerlendiriniz?" sorusu ayrı bir grup olarak değerlendirilerek analiz yapılmıştır ve analiz sonucu Cronbach's α değerinin 0,924 çıkması; burada verilen cevapların kendi içinde oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

2) "Teknolojik afetlere sebep olduğu düşünülen aşağıdaki faktörlerin önem seviyesini değerlendiriniz?" sorusu ayrı bir grup olarak değerlendirilerek analiz yapılmıştır ve analiz sonucu Cronbach's α değerinin 0,41 çıkması; burada verilen cevapların kendi içinde oldukça düşük derecede güvenilir olduğunu göstermektedir.

3) "Teknolojik afetlerin meydana gelmesinde aşağıda verilen sebeplerin her birinin önem seviyesini değerlendiriniz" sorusu ayrı bir grup olarak değerlendirilerek analiz yapılmıştır ve analiz sonucu Cronbach's α değerinin 0,912 çıkması; burada verilen cevapların kendi içinde oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

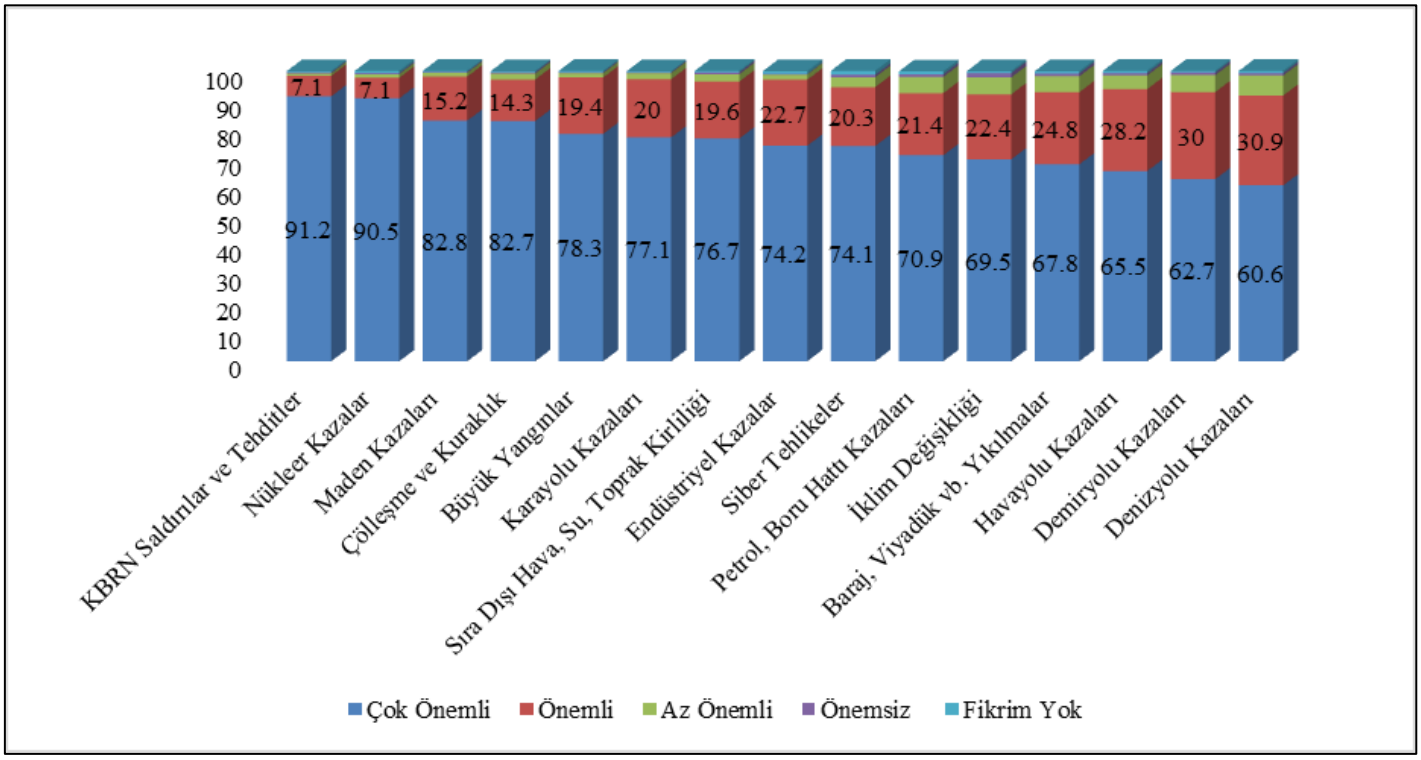
3 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Teknolojik Risk Algısı

Teknolojik kazalar ve bu kazaların toplum tarafından risk olarak algılanma derecesini ölçmek amacıyla sorular yönlendirilmiştir. Araştırma sonucunda; verilmiş olan teknolojik kökenli afetleri risklerine göre çok önemliden daha az önemliye göre sıralayınız sorusuna; toplumun en fazla kimyasal biyolojik, radyolojik, nükleer (KBRN) saldırılar ve tehditleri risk olarak gördüğü (%91.2), aynı derecede nükleer kazalar (%90.5) ve üçüncü olarak maden kazaları (82.8) ve çölleşme ve kuraklık (82.7) çok önemli risk olarak algılanmaktadır. Ulaşım ile ilgili kazalara bakıldığında karayolu kazaları (%77.1) havayolu (%65.5), demiryolu (%62.7) ve denizyolu kazaları (60.6) daha riskli olarak görülmüştür.

Küresel ölçekte önemli olan Çölleşme ve kuraklık (%82.7), hava, su, toprak kirliliği (%76.7) gibi çevresel problemler den daha önemli görülmektedir (Şekil 1).

Yaşadığımız bölgeye göre risk algısının değişip değişmediği belirlemek amacıyla kullanılan ANOVA testi yapılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) bir cevap üzerinde aynı anda işleyen farklı etkilerin hangisinin etkili olduğuna istatistiksel olarak karar vermek ve istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Analiz sonucunda %95 güvenilirlik aralığında $p<0.05$ olduğu için yaşanılan bölgeye göre risk algısının değiştiği sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. Afetler ve risk algısı

Tablo 2. Teknolojik kazaların bölgeler arasındaki istatistiksel farkı gösteren ANOVA analizi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Endüstriyel kazaları	56,343	10	5,634	14,735	,000
Havayolu kazalar	75,812	10	7,581	16,113	,000
Denizyolu kazaları	118,560	10	11,856	23,213	,000
Karayolu kazaları	38,066	10	3,807	12,510	,000
Demiryolu kazaları	101,188	10	10,119	21,227	,000
Maden kazaları	44,345	10	4,435	17,347	,000
Baraj viyadük yıkılmalar	83,558	10	8,356	16,725	,000
Petrol boru hattı kazaları	136,544	10	13,654	26,588	,000
Nükleer kazalar	19,805	10	1,980	7,661	,000
İklim değişikliği	104,144	10	10,414	20,043	,000

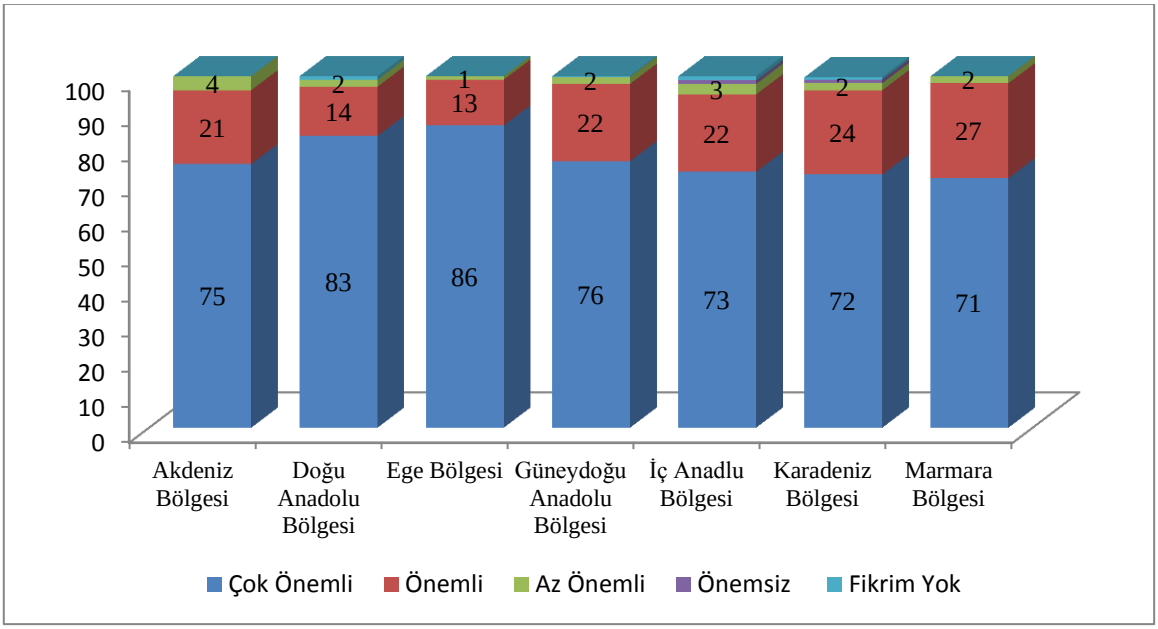
Tablo 2. Teknolojik kazaların bölgeler arasındaki istatistiksel farkı gösteren ANOVA analizi (Devamı)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Cölleşme ve kuraklık	43,343	9	4,816	16,854	,000
Sıra dışı su, hava ve toprak kirliliği	75,290	10	7,529	21,971	,000
Büyük yangınlar	38,244	10	3,824	13,294	,000
Siber tehlikeler	48,190	10	4,819	9,638	,000
Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer Saldırılar ve Tehditler	5,430	10	,543	2,639	,003

3.2 Maden Kazaları ve Risk Algısı

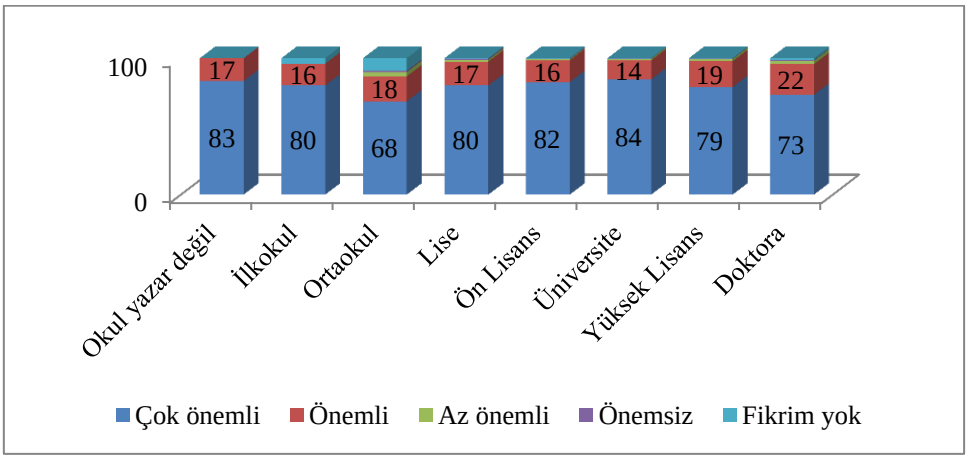
Madencilik sektörü iş kazaları ve meslek hastalıklarının en fazla görüldüğü sektörlerdendir. Özellikle 13 Mayıs 2014 meydana gelen Soma Faciası Manisa ilinde Soma ilçesindeki kömür madeninde çıkan kendiliğinden yanma nedeniyle 301 madencinin ölümüyle sonuçlanmıştır. 301 işçinin yaşamını yitirmesine sebep olan olay, Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en çok can kaybı ile sonuçlanan iş ve madencilik kazası olmuştur.

Maden kazalarına farklı bölgelerde yaşayanların bakış açısına göre analiz edildiğinde, Ege Bölgesi'nde yaşayanların maden kazalarını büyük bir tehdit olarak gördükleri (%86), ikinci olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaşayanların büyük risk olarak gördükleri (%83) ve diğer bölgede yaşayanlarında diğer kazalara oranla maden kazalarını büyük risk olarak gördükleri (%71-75) sonucu çıkmıştır (Şekil 2).

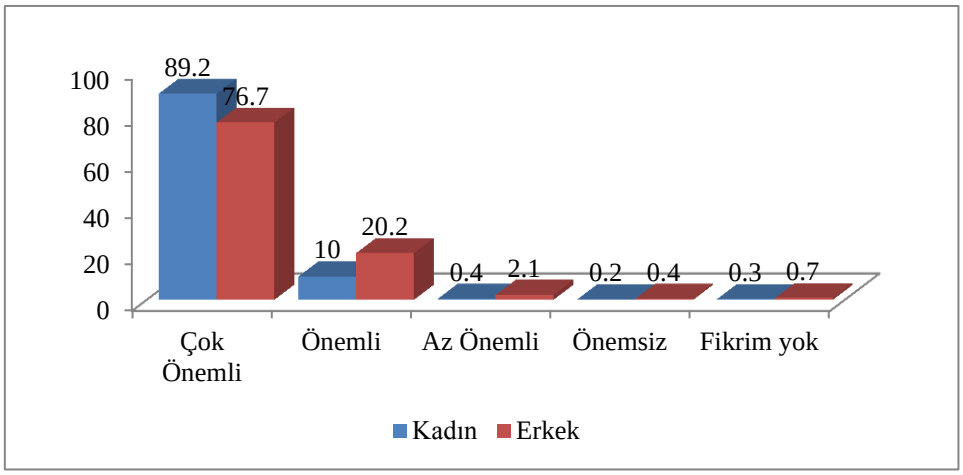


Şekil 2. Bölgesel olarak maden kazaları ve risk algısı

Eğitim seviyesine göre maden kazalarının risk algısı değerlendirildiğinde; eğitim seviyesi ne olursa olsun risk algısının değişmediği sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 3). Kadınların erkeklerden daha kaygılı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Eğitim seviyesine göre maden kazaları ve risk algısı



Şekil 4. Cinsiyete göre maden kazaları ve risk algısı

İstatistiksel olarak verilen cevaplar arasında farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda maden kazaları ve risk algısının yaşanılan bölge, eğitim ve cinsiyete göre %95 güven aralığında $p<0.05$ olduğu için istatistiksel fark olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Maden kazaları bölge, cinsiyet ve eğitim seviyesi derecesi arasındaki istatistiksel farkı gösteren ANOVA analizi

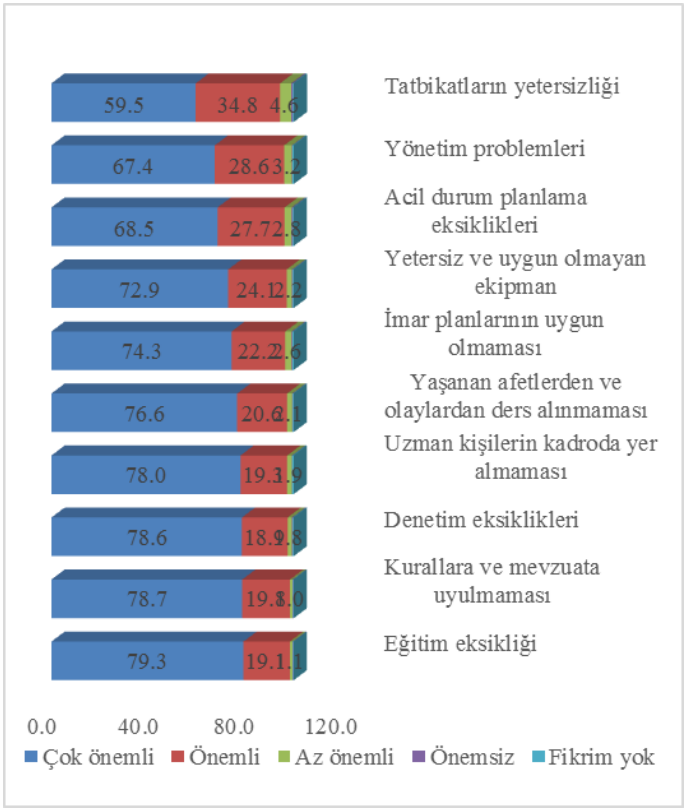
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Bölge	130,306	5	26,061	18,628	,000
Cinsiyet	50,161	5	10,032	41,295	,000
Eğitim Seviyesi	55,417	5	11,083	15,257	,000

3.3 Teknolojik Kazaların Nedenleri ve Risk Algısı

Teknolojik kazaların meydana gelmesinde insan faktörü önemli olduğu gibi, doğal afetler sonucunda da meydana gelmektedir. Anket katılımcılarına kazaların oluş nedenleri konusunda düşünceleri sorulduğunda; insanların neden olduğu kazalar (83.3) doğal afetlerden (%66.7) daha fazla önemli olduğunu yanıtını vermişlerdir. Anket katılımcıları teknolojik afetlerin meydana gelmesinde insan faktörünün önemli olduğunu düşünmektedir (Şekil 5).

Şekil 5. Teknolojik kazaların nedenleri ve risk algısı

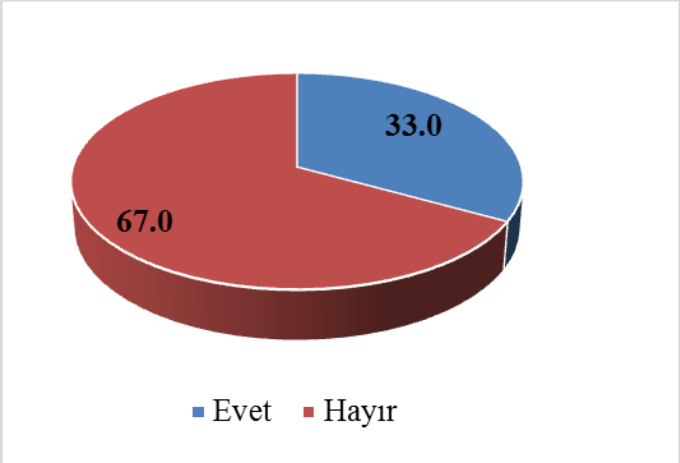
Anket katılımcıları aynı zamanda teknolojik afetlerin oluşumunda eğitim eksikliğinin (%79.3) çok önemli olduğunu, daha sonra kurallara ve mevzuata uyulmaması ve denetim eksikliğinin önemli olduğunu (%78.6), kadroda uzman kadroların bulunmamasının çok önemli olduğu (%78), yaşanan olaylardan ve afetlerden ders alınmamasının (%76.6) çok önemli olduğu görüşlerini belirtmişlerdir (Şekil 6).



Şekil 6. Teknolojik kazaların meydana gelmesindeki sebepler ve risk algısı

3.4 Afete Hazırlık

Anket katılımcılarına "Bugüne kadar herhangi bir teknolojik afet ve acil durum müdahalesi eğitimine ve/veya tatbikatına katıldınız mı?" sorusu yönlendirilmiş ve katılımcıların %67 si bu tip bir eğitime katılmadığını belirtmişlerdir (Şekil 7).



Şekil 7. Katılımcıların tatbikata katılımlarının % dağılımları.

SONUÇLAR

Teknolojik afetler ve risk algısının araştırıldığı bu çalışmada insanların çevresel problemlerden daha önemli teknolojik afetleri riskli olarak görmüşlerdir. Son yıllarda yaşanan ve bir çok insanın öldüğü kazalarda Soma maden faciası gibi insanlarda maden kazalarına karşı bir kaygı oluşmuştur. Yaşanılan bölge, eğitim düzeyi, cinsiyet ne olursa olsun insanlar böyle kazaların gerçekleşebileceğinden korkmaktadırlar. 1986 yılında meydana gelen Çernobil felaketi ve 2011 de Japonya'da meydana gelen nükleer kaza felaketlerinin de etkisi. ile insanlar bu teknolojiden hala korkmaktadır. Kazaların meydana gelmesinde insan faktörünün önemli olduğu, eğitim eksikliği, kurallara ve mevzuata uyumsuzluk kazaların oluşmasında çok önemli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Halkın hala kendilerini tehdit etmekte olan afetlere karşı hazırlıklı olmadığı ve herhangi bir eğitim almadıkları sonucu ortaya çıkmaktadır

TEŞEKKÜR

Yazar, araştırmaya katkılarından dolayı T.C. Başbakanlık ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı- Planlama ve Zarar Azaltma Dairesi Başkanlığı- Teknolojik Afetler Risk Azaltma Çalışma Grubu'na teşekkür eder.

KAYNAKLAR

AFAD, 2014. 2014-2023 Teknolojik Afetler Yol Haritası Belgesi, 76 syf.

Avrupa Çevre Ajansı, 2003. Avrupa'da yakın tarihlerde yaşanan doğal felaketlerin ve teknolojik kazaların etkilerinin incelenmesi, Çevre Sorunları Raporu, 58syf.

Leblebici, D.N., Kılıç, M., Aydın, M.D., (2004), "İçerik Analizi", Hacettepe Üniversitesi, İ.İ.B.F Yayın No.33.

NST, 2003. Reducing Disaster Vulnerability Through Science and Technology, National Science and Technology Council, 44s.

Roden, R.L., 2012. Büyük Endüstriyel Kazalar Açısından Türkiye, Chemist.

Slovic P. 1987. Perception of Risk. Science Vol. 236, pp. 280-285

TKİ'ye Bağlı Açık İşletme Kömür Madenlerindeki İş Günü Kayıplı İş Kazalarının Aşamalı Loglineer Analiz Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Evaluation of Occupational Accidents with Lost Workdays Among Opencast Coal Mines at Turkish Coal Enterprises by using Hierarchical Loglinear Analysis

M. Önder
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

M. Mutlu
Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Aksaray

E. Adıgüzel, S. Önder
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Madencilik sektörü içerdiği tehlikeler nedeniyle iş kazalarının sık yaşandığı, her aşamasında özel önlemler gerektiren en riskli iş kollarından biridir. Yaşanabilecek iş kazalarının azaltılabilmesi için mevcut risklerin doğru algılanması ve analiz edilmesi gereklidir. Bu bağlamda kaza kayıtlarının kategorik analizi kazaların önlenebilmesi için faydalı bilgiler sunabilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)'ye bağlı açık işletmelerde meydana gelmiş iş kazaları kategorize edilmiş ve aşamalı loglineer analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ana kategorilerin alt kategorileri göz önüne alınarak çok yönlü olasılık tabloları hazırlanmış ve ölümlü olmayan kazaları etkileyebilecek olasılıklar araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, bu risk faktörlerine maruz kalma olasılığı yüksek olan kaza risk faktörleri ve meslek grupları belirlenmiş ve ayrıca açık ocak kömür madenlerinde söz konusu kazaların azaltılabilmesi konusunda önemli tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Loglineer analiz, iş kazası, risk

ABSTRACT The mining sector is one of the most hazardous industries where occupational accidents frequently occur, because of containing dangerous operations. In order to reduce occupational accidents, it is necessary to detect and analyzing the existing risks correctly. In this context, categorical analysis of accident records may present valuable information for preventing accidents. In this study, occupational accidents that occurred in Turkish Lignite Enterprises (TKİ) opencast mines were categorized and examined by hierarchical loglinear analysis. By considering the sub factors of the main factors, multiway contingency tables were prepared and thus, the probabilities might affect nonfatal injuries were investigated. At the end of this study, important accident risk factors and job groups with a high probability of being exposed to those risk factors were determined and also necessary advise about decreasing such accidents in the opencast coal mines were presented.

Keywords: Loglinear analysis, accident, risk

1 GİRİŞ

Madencilik, bünyesinde oldukça fazla tehlikeyi ve bunlardan kaynaklanan riskleri bünyesinde barındıran bir sektördür. Madencilik sektörü dünya genelinde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının en yüksek olduğu iş kollarından biri olup, ülkemizde de bu yönüyle inşaat ve metal sektörleriyle birlikte en riskli sektörler arasında yer almaktadır (http://www.tccb.gov.tr/ddk/ddk49.pdf).

Kömür madenciliği, ülkemizde en fazla iş kazasının meydana geldiği iş kolları arasındadır (Yıldırım, 2009). Kömür madenciliği, ülke kalkınmasında oynadığı rol itibariyle önemli bir iş koludur. Ancak emek yoğun ve güç çalışma koşullarına sahip olmasından ötürü, iş güvenliği yönünden bazı olumsuzlukları da bünyesinde barındırabilmektedir. Kömür madenciliği gerek açık gerekse yeraltı işletmesi olsun geçmişten beri tehlikeli ve riskli bir meslek olarak kabul edilmiştir (Sarı, 2007). Her ne kadar yerüstü madenciliği yeraltı madenciliğine göre daha güvenilir çalışma ortamına sahip gibi görünse de kendi içerisinde bir takım tehlikeleri bulunmaktadır (Kasap ve Subaşı, 2011). Önder ve ark. (2011), TKİ'de yerüstü madenciliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, yerüstü madenciliğinde daha az iş kazası meydana gelmesine rağmen iş günü kayıplarının daha fazla olduğu, yeraltında ise kazaların daha sık yaşanmasına rağmen iş günü kayıplarının daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

İş kazalarının azaltılabilmesi ve önlenebilmesi için kaza kayıtlarının doğru bir şekilde tutulması, sürekli güncellenmesi, kaza nedenlerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi ve alınacak tedbirlerin belirlenmesi gereklidir. Çalışma ortamındaki olası sorunlu bölgeleri tespit edebilmek için, kaza nedenlerinin araştırılması ve kaza verilerinin kantitatif (nicel) analizler yoluyla kontrolü gereklidir (Maiti et all., 2001).

İş kazaları sonucundaki iş günü kayıpları, işletmelerde uygulanması gerekli iş güvenliği stratejilerinin önemli bir ölçüsüdür. Özellikle iş günü kayıpları dağılımının istatistiksel olarak modellenmesi, oluşturulan stratejilerden hangilerinin işe yarayıp hangilerinin yaramadığı konusunda daha etkin bir takibi sağlaması açısından önemlidir (Coleman and Kerkering, 2007). Bu amaçla literatürde kömür madenciliğinde geçmiş kaza kayıtlarının istatistiksel metodlar kullanılarak değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Önder ve Mutlu (2014) ELİ'deki açık işletmelerde meydana gelen gün kayıplı iş kazalarını ESAW kriterlerine uygun olacak şekilde ikili (binary) lojistik regresyon modeli kullanarak değerlendirdikleri çalışmalarında, en riskli yerleri, meslek gruplarını ve kaza nedenlerini tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda ayrıca gün kaybı olasılığını %88.3 oranında doğru tahmin edebilen bir model geliştirmişlerdir. Önder ve ark. (2014), 1996-2009 yılları arasında Garp Linyitleri İşletmesi'nde yeraltı kömür ocaklarında meydana gelen yaralanmalı iş kazalarını kategorik hale getirerek, kazanın meydana geldiği yere, nedene, vardiyaya ve sonucunda etkilenen uzuva göre çok yönlü etkileşimleri değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ayaklarda üretimde çalışan kömür işçilerinin göçük nedenli kazalara maruz kalma ihtimallerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Önder ve ark. (2013), TKİ'ye bağlı açık işletmelerde 1996-2009 yılları arasında meydana gelmiş olan iş kazaları ile ilişkili kazaları kategorize ederek aşamalı loglineer analiz ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda en riskli unsurları ve etkileşimleri tespit etmişlerdir. Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise 1980-2004 yılları arasında Türkiye Taşkömürü İşletmeleri Kurumu (TTK)'ya bağlı yeraltı kömür madenlerinde meydana gelen ölümlü iş kazaları kategorize edilerek aşamalı loglineer analiz ile incelenmiştir. Üretim işçilerinin en riskli meslek grubunda olduğu, bu işçilerin en çok tavan göçmesi ve metan patlaması nedenli kazalara maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca en riskli yaş aralığının 30-40 yaş aralığı olduğu ve en riskli işletmenin Kozlu Müessesesi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Önder ve Adıgüzel, 2010). Margolis 2010 yılında gerçekleştirmiş

olduğu çalışmasında 2003-2007 yılları arasındaki Amerika'daki Maden İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (MSHA) kayıtlarını kullanarak yaş ve deneyimin iş günü kayıplı kazalarla olan ilişkisini incelemiştir. Değerlendirme sonucunda deneyim ile iş kazaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı fakat yaş arttıkça kazaya maruz kalma riskinin arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, TKİ'ye bağlı açık işletmelerinde 2006-2011 yılları arasında meydana gelen gün kayıplı yaralanmalı iş kazaları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Çalışmada değişkenler arasındaki etkileşimlerin anlamlılığı ve derecesi değerlendirilerek yerüstü işletmeler için en önemli risk faktörleri ve birbirleriyle olan etkileşimleri tespit edilmiştir.

Uygulama çalışması aşamasına geçilmeden önce TKİ'ye bağlı yeraltı ve yer üstü üretim yöntemiyle üretim yapan tüm işletmelerde 2006-2011 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü ve gün kayıplı iş kazası sayıları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Yeraltı ve yerüstü işletmelerinde meydana gelen iş kazası sayıları.

	2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	YA	YÜ	YA	YÜ	YA	YÜ	YA	YÜ	YA	YÜ	YA	YÜ
İşçi Sayısı	907	8318	589	7639	464	6279	396	6203	364	5670	468	5314
Kaza Sayısı	46	170	30	121	33	120	12	101	7	86	16	68
Ölü Sayısı	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1
İş Günü Kaybı	821	17887	815	17803	713	9451	138	9727	57	9015	138	8649

Çizelge 1 incelendiğinde yeraltı ve yerüstü işletmelerinde meydana gelen kazalarda genel olarak bir azalma olduğu görülmektedir. Değerlendirmesi yapılan yıl aralığında yeraltı işletmelerinde ölümlü bir iş kazası meydana gelmemiş iken, yerüstü işletmelerinde yılda ortalama her yıl ölümlü iş kazasının meydana gelmiş olduğu tespit edilmiştir. Bir çalışanın sürekli iş göremez hale gelmesi veya ölümü ile sonuçlanan bir iş kazasına maruz kalması durumunda bu durum iş günü kayıplarına 7500 gün iş günü kaybı olarak işlenmektedir (Sarı et al., 2004). Bu nedenle Çizelge 1'de ölümlü iş kazalarının meydana geldiği yıllar için hesaplanan gün kayıplarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Uygulama çalışmasında ölümlü vakalar analizde ortaya çıkabilecek zorluklar nedeniyle değerlendirmeye dâhil edilmemiştir.

Kaza istatistiklerinin değerlendirmesinde ve bu değerlendirmede bir standardizasyonu sağlamak amacıyla, Kaza Sıklık Oranı (KSO) ve Kaza Ağırlık Oranı (KAO) yaygın olarak kullanılan göstergelerdir. Kaza Sıklık Oranı (Accident Frequency Rate), takvim yılı içerisindeki ölümlü ve/veya ölümlü olmayan mesleki yaralanmaların toplam sayısının 1.000.000 katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilen değerin, aynı yıl içerisinde referans grupta yer alan işçilerin çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle hesaplanır ve

KSO = (Toplam kaza sayısı*1.000.000 / Toplam insan saat çalışma sayısı) (1)

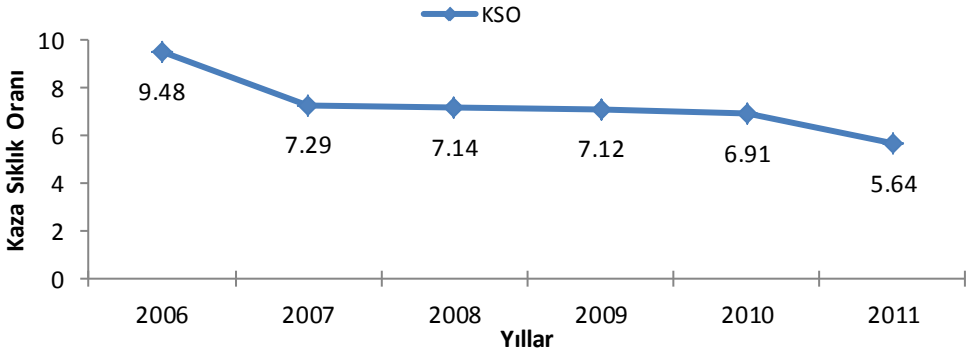
eşitliği ile belirlenir. Kaza Ağırlık Oranı (Accident Severity Rate) ise, takvim yılı içerisinde ölümlü ve/veya ölümlü olmayan mesleki yaralanmalardan dolayı toplam kayıp gün sayısının 1.000 katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilen değerin, aynı yıl içerisinde referans grupta yer alan işçilerin çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle hesaplanır ve

KAO = (Kazalardan dolayı toplam kayıp gün sayısı*1.000 / Toplam insan saat çalışma sayısı) (2)

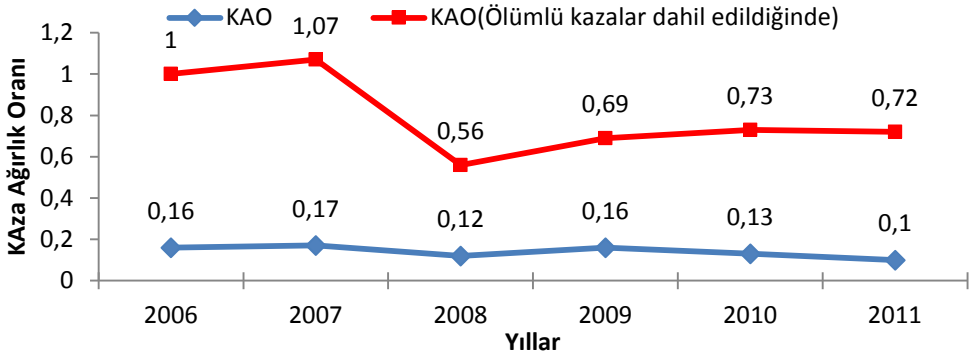
eşitliği ile belirlenir. KSO insan saat çalışma sayısının kaza sayısına bağlı bir ifadesidir. KAO ise gün kaybı sonucu oluşan iş görmezlik derecesinin bir göstergesidir (Sarı et al., 2009). Bu çalışmada TKİ'ye bağlı açık işletmelerde 2006-2011 yılları arasında meydana gelen yaralanmalı (gün kaybı ile sonuçlanan) iş kazaları incelenmiştir. Değerlendirme kapsamındaki iş kazası

verileri için oluşturulan KSO ve KAO grafikleri Şekil 1 ve 2'de sunulmuştur.

Şekil 1 incelendiğinde kaza sıklık oranlarında düzenli bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bunun nedeni işletmelerde meydana gelen iş kazalarının yıllara göre düzenli olarak azalmasıdır. Şekil 2 incelendiğinde ise kaza ağırlık oranlarında genel olarak bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kaza sayıları ile birlikte iş günü kayıplarının da azaldığı şeklinde yorumlanabilir. Ancak 2007 ve 2009 yılında yeniden bir artış söz konusudur. İşletmelerde meydana gelen ölümlü iş kazalarının da dâhil edilmesiyle hesaplanan KAO değerlerinin değişimi gösteren grafik incelendiğinde ise, genel olarak bir azalmanın olduğu, 2007 yılında en yüksek değere ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

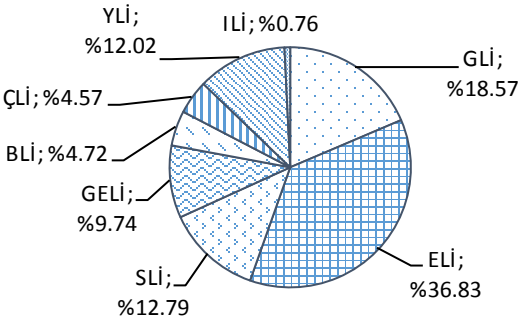


Şekil 1. KSO grafiği.

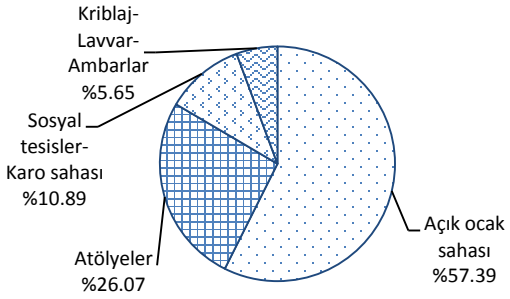


Şekil 2. KAO grafiği

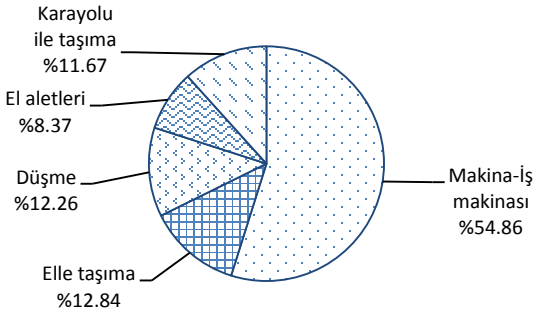
Şekil 3'te işletmelere göre kazaların yüzde dağılımını, Şekil 4, 5, 6 ve 7'de ise sırasıyla yere göre, nedenine göre, meslek gruplarına ve kazalanan uzuva göre kazaların yüzde dağılımlarını gösteren diyagramlar sunulmuştur.



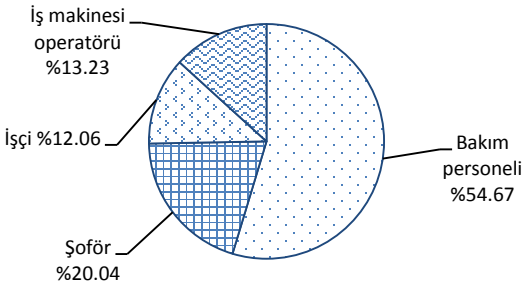
Şekil 3. İşletmelere göre kazaların yüzde dağılımı.



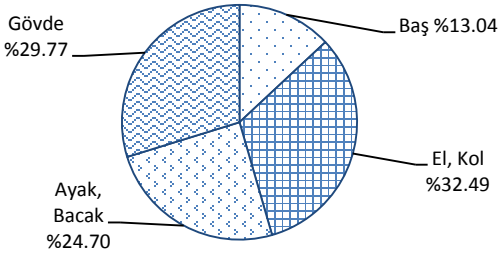
Şekil 4. Yere göre kazaların yüzde dağılımı.



Şekil 5. Nedenine göre kazaların yüzde dağılımı.



Şekil 6. Meslek gruplarına göre kazaların yüzde dağılımı.



Şekil 7. Kazalanan uzuva göre kazaların yüzde dağılımı.

Analizin yapıldığı yıllar itibariyle TKİ'ye bağlı faaliyet gösteren işletmeler Manisa-Soma'da Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ), Çanakkale-Çan'da Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ), Kütahya-Tavşanlı'da Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ), Bursa-Orhaneli'de Bursa Linyitleri İşletmesi (BLİ), Konya-Ilgın'da Ilgın Linyitleri İşletmesi (ILİ), Muğla-Yatağan'da Güney Ege Linyitleri İşletmesi (GELİ), Muğla-Milas'da Yeniköy Linyitleri İşletmesi (YLİ), Kütahya'da Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ)'dir. Bu işletmelerden ÇLİ, BLİ, ILİ, GELİ, YLİ, SLİ de açık işletme üretim yöntemiyle; GLİ ve ELİ' de ise hem açık işletme, hem de yeraltı işletme yöntemiyle kömür üretimi yapılmaktadır. Bu işletmelerden SLİ özelleştirme politikaları kapsamında 2012 yılında Çelikler inşaata, GELİ ve YLİ ise ağustos 2013'te Yeniköy Yatağan Elektrik Üretim ve Ticaret AŞ. (YEAŞ)'a devredilmiştir.

Şekil 3'te işletme bazındaki iş kazaların dağılımını gösteren diyagram incelendiğinde en fazla iş kazasının sırasıyla ELİ, GLİ, SLİ ve YLİ'de meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde en çok iş kazası meydana gelen yerin açık ocak sahası olduğu, Şekil 5 incelendiğinde nedenlerine göre bir değerlendirme yapıldığında ise en çok makina-iş makinası nedenli iş kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Şekil 6'daki meslek gruplarına göre dağılım grafiği incelendiğinde en çok iş kazasına bakım personeli meslek grubundan olan çalışanların maruz kaldığı, Şekil 7 incelendiğinde ise çalışanların daha çok ellerinden, kollarından ve gövdelerinden yaralandıkları tespit edilmiştir. İşletmelere genel olarak bakıldığında meydana gelen iş kazalarının büyük çoğunluğunun gün kayıplı kazalar olduğundan, risk analizi ve yönetimi süreçlerinin uygulanmasının önemi açığa çıkmıştır.

2 LOGLİNEER ANALİZ

Loglineer analiz, kontenjans (olumsallık) tablosu haline getirilmiş kategorik değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. 3'ten daha çok değişken içeren kontenjans tablolarının analizinde ki-kare analizi yapılamamaktadır. Loglineer analiz ki-kare analizinin yetersiz kaldığı durumlarda, çok boyutlu tabloları doğrusal modeller aracılığıyla analiz eden bir yöntemdir. Loglineer modellerle kontenjans tablosunun her gözesindeki frekansların logaritmaları ayrıştırılır. Amaç, ele alınan değişkenlerin (tek bir değişkenin etkisini) ve değişkenler arası etkileşimlerin (bileşik değişkenlerin) etkilerinin uygun bir matematiksel model ile ortaya konmasıdır (Şıklar ve ark, 2011; Altaş ve ark, 2006).

Birçok uygulamalı bilim dalında ve sosyal bilimlerde araştırmacılar, değişkenler arasındaki ilişkiyi veya bağımlılığı incelemeyi amaçlar. Değişkenler sınıflayıcı, sıralayıcı, eşit aralıklı ve oranlı ölçeklerle ölçülmüş olabilir. Düzeyleri sözel olarak ifade edilebilen değişkenler itibariyle toplanan veriler kategorik veriler olmakla beraber, düzeyleri sayısal olarak ifade edilebilen değişkenlerin alabileceği değerler sınıflandırılarak kategorik veri haline getirilebilir. Bu değişkenler arasındaki çoklu ilişkiyi belirlemek için öncelikle kontenjans tabloları oluşturulur. Kontenjans tabloları iki ya da daha fazla kategorik değişkenin ortak sıklık dağılımıdır. Değişkenin olası değerlerinin (düzeylerin) çapraz sınıflandırılması olarak da düşünülebilir. Bu nedenle olumsallık tablolarına çapraz tablolar da denilir. (Şen ve Özaydın, 2004).

Loglineer analiz, çapraz tablolardaki hücre frekanslarının doğal logaritmaları alınarak iki ya da daha fazla kesikli kategorik değişken arasındaki koşullu ilişkinin incelendiği iki yönlü kontenjans tablosunun bir açılımıdır. İki ya da daha fazla değişken içeren çapraz tabloların çözümlenmesinde loglineer analiz yönteminin kullanımı üç amaca hizmet etmektedir:

(1)Değişkenlerin oluşturduğu bileşik dağılımı test etmek,

(2)Değişkenlerin birbirlerine bağımlı olup olmadığını test etmek ve

(3)Değişkenler arasındaki ilişkiyi neden-sonuç ilişkisine dayandırmaksızın test etmek (Bülbül, 2006).

Bu çalışmada uygulanan analiz yöntemi aşamalı loglineer analiz yöntemi olup, üç veya daha fazla değişkenin iç içe gruplanarak çok yönlü çapraz tablolar biçiminde gösterildiği veri yapılarının analizinde kullanılan bir yöntemdir.

Aşamalı loglineer yöntem, değişkenlerin en yüksek dereceden etkileşimlerini modele almadan önce aşamalı olarak ana etkileri modele alarak benzerlik khi-kare değeri hesaplamayı, sonra ikili etkileşimleri modele katarak benzerlik khi-kare değeri hesaplamayı ve bu işlemi benzerlik khi-kare değeri önemlilik değerini kaybedinceye kadar yüksek dereceden etkileşimleri modele katarak sürdürmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Burada amaç ana etkilerden başlayarak sıra ile faktörler arasındaki ikili, üçlü ve çoklu etkileşimleri modele alarak optimal bir model oluşturmak ve bu modele göre verilerin analizini yapmaktır. Özellikle üçlü, dörtlü ve çok katlı etkileşimlerin doğrudan modele alınmasının parametre tahmininde sıkıntılar yaratacağı durumlarda tercih edilen bir yöntemdir.

Kategorik verilerin analizlerinde sıklıkla kullanılan kriterlerden birisi de olasılıklar oranıdır. Olasılıklar oranı (Odds Ratio, OR), değişkenler arasındaki etkileşimi ifade eden ve etken varken bir fenomenin gözlenme olasılığının, etken yok iken gözlenme olasılığına göre kaç kat daha fazla gözlendiğini ifade etmekte kullanılan bir istatistiktir (Özdamar, 2004).

3 UYGULAMA ÇALIŞMASI

Loglineer modelinin kullanım amacı değişkenler arasında var olan ilişkiyi ve etkileşimi belirlemektir (Agresti, 2002). Günümüzde kategorik verileri analizinde sıklıklar kullanılan khi-kare analizi ile değişkenler arasında sadece ikili karşılaştırmalar yapılabilirken, loglineer modeller yardımıyla ikili, üçlü ve daha fazla karşılaştırmalar aynı anda yapılabilmektedir. Böylece değişkenler arasındaki mevcut çoklu etkileşimler kolaylıkla değerlendirilebilmektedir. İş kazalarının bünyesinde barındırdığı birçok etkenin bileşimi sonucunda meydana geldiği düşünüldüğünde, risk değerlendirmesinin yapılabilmesinde sunduğu kolaylıklar nedeniyle bu çalışmada da loglineer model tercih edilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulama çalışmasında 2006-2011 yılları arasında TKİ'ye bağlı açık işletmelerde meydana gelen iş kazaları incelenmiş ve aşamalı loglineer analiz yöntemi uygulayabilmek için iş kazası verileri kategorize edilerek, her bir kaza verisi SPSS® 17.00 istatistiksel analiz paket programına ayrı ayrı kodlanmıştır. Çizelge 2'de analizde kullanılan değişkenler, değişkenlerin açıklamaları ve değişkenlere atanan kod değerlerinin açıklamaları verilmiştir. Çalışmada kullanılan loglineer modelin, 4 aşamalı etkileşim olacak şekilde oluşturulan model ise Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 2. Oluşturulan kaza kategorileri.

Değişkenler	Değişkenlerin Açıklaması	Kod Değerlerinin Açıklaması
X_{yer}	Kaza yeri	**1** = Açık ocak sahası **2** = Atölyeler **3** = Sosyal tesisler-Karo sahası **4** = Kriblaj-Lavvar-Ambarlar
X_{neden}	Kaza nedeni	**1** = Makina-İş makinası **2** = Elle taşıma **3** = Düşme **4** = El aletleri **5** = Karayolu ile taşıma
X_{meslek}	Çalışanın mesleği	**1** = Bakım personeli **2** = Şoför **3** = İşçi **4** = İş makinesi operatörü
X_{uzuv}	Kazalanan uzuv	**1** = Baş **2** = El-Kol **3** = Ayak-Bacak **4** = Gövde

Çizelge 3. Değişkenlerin çapraz sınıflandırma tablosu.

Kaza yeri	Kaza nedeni	Çalışanın mesleği	Kazalanan uzuv
$X_{yer}=1$	$X_{neden}=1$	$X_{meslek}=1$	$X_{uzuv}=1$
			$X_{uzuv}=2$
			$X_{uzuv}=3$
			$X_{uzuv}=4$
		$X_{meslek}=2$	$X_{uzuv}=1$
			$X_{uzuv}=2$
			$X_{uzuv}=3$
			$X_{uzuv}=4$
		$X_{meslek}=3$	$X_{uzuv}=1$
			$X_{uzuv}=2$
			$X_{uzuv}=3$
			$X_{uzuv}=4$
		$X_{meslek}=4$	$X_{uzuv}=1$
			$X_{uzuv}=2$
			$X_{uzuv}=3$
			$X_{uzuv}=4$
	$X_{neden}=2$	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
$X_{yer}=4$	$X_{neden}=1$	$X_{meslek}=1$	$X_{uzuv}=1$
	:	:	:

Programda gerçekleştirilen aşamalı loglineer analiz sonucunda elde edilen ana kategori etkileşim sonuçları ve önem derecesine göre sıralamaları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kategori etkileşimleri.

Etkileşimlerin Derecesi	Etkileşimler	df	Khi-kare (χ^2)	Significant (p)
Ana Etkileşimler	Yer	4	551.576	**.000***
	Neden	5	496.813	**.000***
	Meslek	4	446.624	**.000***
	Uzuv	4	280.073	**.000***
2	Meslek*Yer	16	121.501	**.000***
	Neden*Uzuv	20	85.861	**.000***
	Meslek*Neden	20	84.050	**.000***
	Yer*Neden	20	48.929	**.000***
	Yer*Uzuv	16	12.087	.738
	Meslek*Uzuv	16	11.105	.803
3	Meslek*Neden*Uzuv	80	51.778	.994
	Meslek*Yer*Neden	80	45.597	.999
	Yer*Neden*Uzuv	80	43.280	1.000
	Meslek*Yer*Uzuv	64	38.164	.996

* 0.05 (%95) güvenilirlik seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır

.

Çizelge 4'te ana etkileşimler, 3'lü ve 2'li etkileşimler kendi aralarında khi-kare(χ^2) değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanmıştır. Significant(p) sütunundaki değerler incelendiğinde 3'lü etkileşimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir. 2'li etkileşimlerde Meslek*Yer, Neden*uzuv, Meslek*Neden ve Yer*Neden değişkenlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p<0.05$), ana değişkenlerin ise tümünün anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Etkileşim terimlerinin öneminin değerlendirmesi için ise χ^2 testi kullanılmaktadır (Maiti et al., 2001). Çizelge 4'teki χ^2 değerlerinin sıralaması

incelendiğine ise 2'li etkileşimlerde en önemli etkileşimin Meslek*Yer etkileşimi olduğu tespit edilmiştir.

SPSS® parametre tahminleri çıktı ekranı tablosundaki önemli parametrelerden biride Estimate(β) değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan (Exp(β)) yani (β) değerinin exponansiyeli olan olabilirlik oranı değeri OR değerleridir. OR değerleri değişkenlerin etkisinin önemini belirten bir değer olup; hesaplanan OR değeri 1 ise (OR=1 ise) değişkenin herhangi bir etkisinin olmadığını belirtir. Buna göre eğer OR>1 ise söz konusu etkenin gerçekleşme olasılığı artmakta iken, OR<1 ise azalmaktadır (Agresti, 2007).

İş kazalarının değerlendirildiği bu çalışmada, daha detaylı analiz yapabilmek amacıyla söz konusu istatistiksel analiz parametreleri olan ''OR'' değerleri ve tabloda ''95%CI'' şeklinde yer alan güven aralığı değerleri her kategori için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

''95%CI'' değerlerinin hesabı için $\mathrm{Exp} = [\mathrm{Estimate}(\beta) \pm 1{,}96(\mathrm{SE})]$ formülü kullanılmıştır (Agresti, 2002). Çizelge 5'te gerçekleştirilen loglineer analizi sonucunda SPSS® sonuç ekranından elde edilen, kategori etkileşim sonuçları ve kategoriler için hesaplanan ''95%CI'' ve ''OR'' değerleri sunulmuştur.

Çizelge 5. Ana etkileşimler.

Ana Etkileşimler	Etkileşimler	Estimate(β)	Std Error(SE)	Odds Ratio(OR)	95%CI
Yer	Açık ocak sahası	0.433	0.089	1.542	[1.295-1.836]
	Sosyal tesisler-Karo sahası	0.004	0.095	1.004	[0.833-1.209]
	Atölyeler	-0.005	0.097	0.995	[0.823-1.203]
	Kriblaj-Lavvar-Ambarlar	-0.129	0.098	0.879	[0.725-1.065]
Meslek	Bakım personeli	0.409	0.089	1.505	[1.264-1.792]
	Şoför	0.014	0.096	1.014	[0.840-1.224]
	İşçi	-0.006	0.096	0.994	[0.824-1.199]
	İş makinesi operatörü	-0.113	0.098	0.893	[0.737-1.082]
Neden	Makine-İş makinesi	0.395	0.101	1.484	[1.218-1.809]
	Düşme	0.062	0.105	1.064	[0.866-1.307]
	Elle taşıma	0.033	0.106	1.034	[0.839-1.272]
	Karayolu ile taşıma	-0.085	0.109	0.919	[0.742-1.137]
Uzuv	El-Kol	0.155	0.093	1.168	[0.973-1.401]
	Gövde	0.154	0.093	1.166	[0.972-1.399]
	Ayak-Bacak	0.065	0.095	1.067	[0.886-1.286]
	Baş	-0.070	0.097	0.932	[0.771-1.128]

Çizelge 5'e göre, hesaplanan ''OR'' değerleri ve ''CI'' değerleri birlikte göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapıldığında, söz konusu işletmelerde gün kayıplı iş kazasına maruz kalma açısından açık ocak sahasının en riskli yer olduğu, bakım personeli meslek grubunun en riskli meslek grubu olduğu, makine ve iş makinesi kullanımının en riskli neden olduğu ve en riskli uzuvların ise el, kol ve gövde uzuvları olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6'da ise, Çizelge 4'e göre anlamlı olduğu tespit edilen ikili etkileşimler ve SPSS® sonuç çıktı ekranındaki değerler kullanılarak hesaplanan parametreler yardımıyla daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çizelge 6. İkili etkileşimler.

Etkileşimler	Etkileşim adı	Estimate (β)	Std Error (SE)	Odds Ratio (OR)	95%CI
Yer*Neden	Açık ocak sahası*Makine-İş makinesi	0.649	0.171	1.914	[1.369-2.676]
	Açık ocak sahası*Karayolu ile taşıma	0.213	0.194	1.237	[0.846-1.810]
	Atölyeler*El Aletleri	0.142	0.216	1.153	[0.755-1.760]
	Sosyal Tesisler-Karo Sahası*Elle Taşıma	0.140	0.205	1.150	[0.769-1.719]
Meslek*Yer	Bakım personeli*Atölyeler	0.532	0.168	1.702	[1.225-2.366]
	Şoför*Açık ocak sahası	0.218	0.172	1.244	[0.887-1.742]
	İşçi*Sosyal tesisler-Karo sahası	0.147	0.185	1.158	[0.806-1.665]
	Bakım personeli*Açık ocak sahası	0.106	0.651	1.112	[0.808-1.530]
Meslek*Neden	Bakım personeli*Makine-İş makinesi	0.453	0.176	1.573	[1.114-2.221]
	İşçi*Düşme	0.265	0.202	1.303	[0.877-1.937]
	Şoför*Karayolu ile taşıma	0.192	0.212	1.212	[0.799-1.836]
	Bakım personeli*Elle taşıma	0.180	0.190	1.197	[0.825-1.737]
Neden*Uzuv	Karayolu ile taşıma*Gövde	0.237	0.207	1.267	[0.845-1.902]
	Makine-İş makinesi*El-Kol	0.214	0.187	1.239	[0.859-1.787]
	Makine-İş makinesi*Ayak-Bacak	0.212	0.193	1.236	[0.847-1.804]
	Düşme*Ayak-Bacak	0.183	0.202	1.201	[0.808-1.784]

Çizelge 6'ya göre modelde oluşturulan ikili etkileşimler ''OR'' değerlerine göre değerlendirildiğinde; Yer*Neden ikili etkileşimine göre çalışanların en çok açık ocak sahasında makinelerin tamiri, bakımı (makine-iş makinesi kategorisi) ve iş makinelerinin, otobüs otomobil, otobüs vb. kullanımı sırasında (karayolu ile taşıma kategorisi), atölyelerde el aletlerinin kullanımı sırasında ve sosyal tesisler-karo sahasında elle taşıma sonucunda gün kayıplı kazalara maruz kaldıkları söylenebilir. Meslek*Yer ikili etkileşimine göre bakım personeli meslek grubundan olan çalışanların en çok atölyelerde ve açık ocak sahalarında, şöförlerin açık ocak sahalarında ve işçilerin ise sosyal tesisler-karo sahalarında; Meslek*Neden ikili etkileşimine göre de bakım personeli meslek grubundan olan personelin makine-iş makinesi ve elle taşıma nedenli kazalara, işçilerin düşme nedenli, şoförlerin ise karayolu taşıma nedenli kazalara maruz kalabilme olasılıklarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Anlamlı olduğu tespit edilen bir diğer ikili etkileşim olan Neden*Uzuv etkileşimi değerlendirildiğinde ise; çalışanların en fazla karayolu ile taşıma işleri nedeniyle gövdelerinden, düşmeleri sonucu ayak ve bacaklarından, makine-iş makinesi kullanımı nedeni ile de ellerinden, kollarından, ayak ve bacaklarında yaralandıkları tespit edilmiştir. ''OR'' ve ''CI'' değerleri birlikte göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılacak olunursa bakım personeli meslek grubundan olan çalışanların, açık ocaklarda makine-iş makinesi nedenli iş kazalarına maruz kalmaları bakımından yüksek risk altında olduğu söylenebilir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

İş kazalarının birçok etkenin bileşimi sonucu meydana geldiği düşünüldüğünde, bütün etkenlerin bir arada değerlendirilmesi kazaların kök nedenlerini araştırmada kolaylık sağlamaktadır. Bu amaçla kaza kayıtlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi, söz konusu kazaların önlenebilmesi açısından önemli bilgiler ortaya koymaktadır. TKİ'ye bağlı açık işletmelerde meydana gelen gün kayıplı iş kazalarının, istatistiksel bir teknik olan

aşamalı loglineer analiz yöntemi kullanılarak değerlendirildiği bu çalışmada, göz önüne alınan değişkenler kaza yeri, kazalının meslek grubu, kaza nedeni ve kazalanan uzuvdur.

Modelde anlamlı oldukları tespit edilen etkileşimler önem sıralarına göre Meslek*Yer, Neden*Uzuv, Meslek*Neden ve Yer*Neden etkileşimleri olduğu belirlenmiştir. Kategoriler bazında bir değerlendirme yapıldığında, gün kayıplı kazalara maruz kalma olasılığı bakımından en riskli yerlerin açık ocak sahaları olduğu; bakım personeli meslek grubunun en riskli meslek grubu olduğu; el ve kol uzuvlarının en çok kazanan uzuvlar olduğu ve makine-iş makinasının en riskli kaza nedeni olduğu tespit edilmiştir. İşletmelerdeki tüm riskli unsurlar bir arada göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılacak olunursa; bakım personeli meslek grubundan olan çalışanların, açık ocaklarda makine-iş makinesi nedenli iş kazalarına maruz kalmaları ve iş kazası sonucunda da ellerinden, kollarından, ayak ve bacaklarında yaralanmaları bakımından yüksek risk altında oldukları söylenebilir. Yine bakım personeli meslek grubundan olan çalışanların, atölyelerde makine-iş makinesi ve el aletleri kullanımı nedenli iş kazalarına maruz kalma ihtimalinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu unsurlarda, söz konusu işletmelerde çalışanlar için belirlenen kazalara en sık maruz kalınan yerler, en riskli meslek grupları, en önemli kaza nedenleri ve en sıklıkla kazalanan uzuvlar dikkate alınarak, işletmelerde alınan tedbirlerin yeniden gözden geçirilerek arttırılması gün kayıplı kazaların azaltılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun için öncelikle mevcut riskleri kaynağında önlemek için yapılabilecek çalışmalar (eliminasyon, ikame, izolasyon, riski transfer etme, mühendislik kontrolleri vb.) yapılmalıdır. Yapılan tüm çalışmalarda çalışanları işe dahil etmek, alınacak önlemi tespit etmede ve uygulanabilirliğini sağlamada çok yardımcı olacaktır. Meslek gruplarına yönelik temel mesleki eğitimler ve iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri yönetmeliklerde geçen en az sürelere göre değil, işletmede gerçekleşen kazalara ve ihtiyaçlara göre sıklaştırılmalı, çalışanlar olası tehlike ve riskler konusunda bilgilendirilmelidir. Bu eğitimler kağıt üzerinde yapılmamalı, yetkili kişiler tarafından çalışanlara yüzyüze verilmelidir. Kaynağında kontrol edilemeyen riskleri azaltmak için ise çalışanların kişisel koruyucu ekipmanların (KKD) düzenli olarak kullanımı sağlanmalıdır. Atölyelerde KKD kullanımının kontrolü sağlanmalıdır. Bakım atölyelerinde kullanılan forklift vb. iş makinelerini yetki belgesi olmayanlar kullanmamalı ve araç üzerine operatöründen başkası binmemelidir. Açık ocak sahalarındaki şoförler, ocak içinde araç kullanımı konusunda uymaları gerekli kurallar konusunda periyodik olarak eğitimden geçirilmelidir. Alınacak bu tedbirler kaza gelmesi durumunda görülebilecek zararın en düşük düzeye indirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada yaralanmalı iş kazaları dört farklı kategoriye ayrılarak değerlendirilmiş ve söz konusu kategorilerin birbirleriyle olan etkileşimleri araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılan, uygulama alanı bakımında esnek bir istatistiksel yöntem olan aşamalı aşamalı loglineer analiz yöntemi işletmeler için risk unsurlarının tespitinde ve birbirleriyle olan etkileşimlerin belirlenmesinde kolaylıkla kullanılabileceği tespit edilmiştir. Yöntemin iş kazası analizlerinde büyük kolaylıklar sağlayabileceği ve yüksek risk içeren kaza unsurlarının belirlenmesi bakımından araştırmacılara faydalı bilgiler sunabileceği bu çalışma yardımıyla kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

Agresti, A., 2007. *An introduction to categorical data analysis*, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, 372 p.

Agresti, A., 2002. *Categorical data analysis,* John Wiley and Sons Inc., New Jersey, 710 p.

Altaş, D., Sağırlı, M., ve Giray, S., 2006. Yurtdışında çalışıp Türkiye'ye dönen akademisyenlerin eğitim durumları, gidiş ve dönüş sebepleri arasındaki ilişki yapısının loglineer modeller ile incelenmesi, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 21, 1.

Bülbül, S., 2006. Üç boyutlu çapraz tablolarda logaritmik doğrusal analiz: çocuk işgücü değişkenleri arasındaki etkileşimler, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25, 2, s. 41-70.

Coleman, P.J. and Kerkering, J.C., 2007. Measuring mining safety with injury statistics: Lost workdays as indicators of risk**,** *J. Safety. Res.*, 38, 5, p.523-533.

Kasap, Y. ve Subaşı, E., 2011. Analitik prosesi ile açık işletme madenciliğinde risk denetimi, *Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, s. 139-147.

Maiti, J., Bhattacherjee, A., Bangdiwala, S,I., 2001. Loglinear model for analysis of cross-tabulated coal mine injury data, *İnjury Control and Safety Promotion*, 8, 4, p.229-236.

Margolis, K.A., 2010. Underground coal mining injury: A look at how age and experience relate to days lost from work following an injury, *Safety Science,* 48, p.417-421.

Önder, M., Adıgüzel, E., 2010. Evaluation of occupational fatalities among underground coal mine workers through hierarchical loglinear models, *Industrial Health*, 48, p.872-878.

Önder, S., Suner, N., Önder, M., 2011. Madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının risk değerlendirme karar matrisi ile incelenmesi, *Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, s. 399-406.

Önder, S., Adıgüzel, E., Önder, M., 2013. Açık işletme kömür madenciliğinde iş makineleri ile ilişkili kazaların analizi, *Türkiye Uluslararası 23. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi,* 16-19 Nisan 2013, s.1895-1901, Antalya.

Önder, S., Mutlu, M., 2014. Açık işletme kömür madenciliğinde lojistik regresyon analizi ile iş kazalarının değerlendirilmesi, *Türkiye 19. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı,* 21-23Mayıs 2014, s.341-352, Zonguldak.

Özdamar, K., 2004. Paket programlar ile istatistiksel veri analizi-1, Kaan Kitabevi, Eskişehir, s. 461-499.

Sarı, M., Düzgün H.S.B., Karpuz, C. and Selçuk, A.S., 2004, Accident analysis of two Turkish udergound coal mines, *Safety Science*, 42, 675-690.

Sarı, M., 2007. Türkiye kömür madenciliği iş güvenliği endekslerinin Dünya ülkeleri ile karşılaştırılması, *Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, s.197-204, Ankara.

Sarı, M., Selçuk, A.S., Karpuz, C., Düzgün, H.S.B., 2009. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey, *Safety Science*, 47, 1, p. 78–87.

Şen, H., Özaydın, Ö., 2004. Eskişehir ilindeki bireylerin organ bağışı hakkındaki düşünceleri ile sosyo-ekonomik nitelikleri arasındaki ilişki yapısının incelenmesi, *Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5,1.

Şıklar, E., Yılmaz, V., Coşkun, D., 2011. Eskişehir'deki üniversitelerde görevli akademik personelin iş tatmini ve duygusal tükenmişliklerinin log-Linear modeller ve correspondence analizi ile incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26, 2, s.113-134.

Yıldırım, H., 2009; Kapalı devre suni solunum sağlayan cihazlar", *Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Adana, s. 273-280.

http://www.tccb.gov.tr/ddk/ddk49.pdf, 2011. *T.C. Cumhurbaşkanlığı Devlet Denetleme Kurulu araştırma ve inceleme raporu*, (Erişim Tarihi 30.12.2014).

Maden Arama Çalışmaları, Maden Jeolojisi ve Jeoistatistik

Açık Ocak ve Yer Altı Maden Projelendirme Süreçlerinde Teknolojik ve Bütünleşik Yaklaşım

Technological and Integrated Approach to Open Pits and Underground Mining Project Processes

T. E. Toptaş
Teknik Hizmetler ve Eğitim Müdürü, Netcad, Bilkent/ANKARA

ÖZET Ülkemizde madencilik sektöründe çok sayıda iş kazası meydana gelmesinin en önemli nedeni madenlerimizin bilim ve teknoloji ilkeleri çerçevesinde doğru tasarlanmamış olmalarından kaynaklanmaktadır; oysa çağdaş madencilik bilim ve teknolojisi, madenlerin çıkarılmadan önce; ocak optimizasyonlarının yapılmasını, üç boyutlu olarak modellenmesini, olası rezerv kestirimlerinin yapılmasını, üretim yönteminin belirlenmesini ve üretim planlarının yapılmasını gerektirir.

Madenlerin yenilenemez ve yerine konulamaz nitelikte varlıklar olmaları, maden kaynaklarının en yüksek fayda ile gelecek nesilleri için sürdürülebilir yapıda toplum yararına kullanım gerekliliğini de zorunlu kılar.

Bu çalışmada her ölçekteki açık ocak ve yer altı maden projelerinin her aşamasının bilişim teknolojilerinden yararlanılarak gerçekleştirilmesine yönelik iteratif madencilik projelendirme yaklaşımları aşağıdaki ana başlıklar kapsamında yer almaktadır: i. Ruhsat sahalarının belirlenmesinde ön analizler, heyelan duyarlılığı ve hidrolojik risk analizlerinin gerçekleştirilmesi, ii. Üretim hattı boyunca yıllık maden rezerv projelerinin, üretim haritalarının oluşturulması ve hacim hesaplamaları, iii. Sondaj verilerinin değerlendirilmesi, yüzeylerden ve en kesitlerden katı model oluşturma, iv. Blok modellemesi ve jeoistatistiksel kestirim işlemleri, v. Açık ocak tasarımı, vi. Patlatma tasarımı, vii. Çevresel etki değerlendirme(ÇED) analizleri, viii. Ocak pasa yol tasarımları, ix. Yer altı üretim planları ve galeri tasarımları. Bu bildirideki proje uygulamaları Netcad teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu cevher modelleme, açık ocak tasarımı, jeoistatistik

ABSTRACT A large number of occupational accidents in the mining sector is ocurring in our country. The most important reason for the occurrence is that mining processes are not designed correctly in the principles of science and technology, whereas before removal of the mines; pit optimization, modeling in three-dimensional, preparing possible reserve estimations will require the determination of production process and modern production plan according to mining science and technology.

To build a sustainable society for future generations and not to extinguish our non-renewable resources, present conditions make it mandatory to claim the highest benefit of minerals and assests with minimum destruction to the nature.

Following main headings would be an iterative approach for mining projects by taking advantage of informational technology at every stage of open pits and underground mining projects with all scales and sizes in this study: i. A preliminary analysis to determine license area, the observation of landslide susceptibility and hydrological risk analysis, ii. Volume calculations and preparing production maps for annual mineral reserve production, iii. Evaluation of the drilling data, creating solid models of surfaces and cross-sections, iv. Block modeling and geostatistical estimation procedures, v. Open pit design, vi. Blasting design,

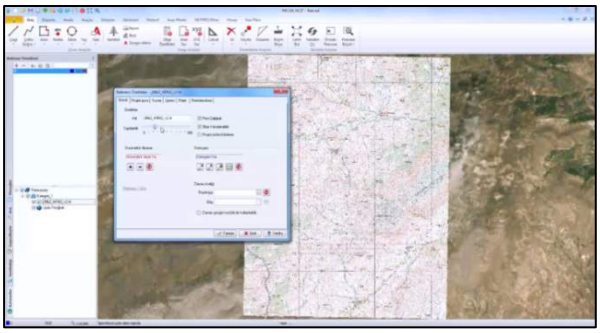
vii. Environmental impact assessment (EIA) analysis, viii. Road designs for pit rüşt, ix. Underground production plans and designs gallery. Implementation of this article was carried out using Netcad technologies.

Keywords: Three dimensional ore modeling, open pit design geostatistics

1. RUHSAT SAHALARININ YER SEÇİM ANALİZLERİ

1.1 Arama ve Üretim Sahalarına İlişkin Raster ve Online Haritaların Projelerde Kullanımı

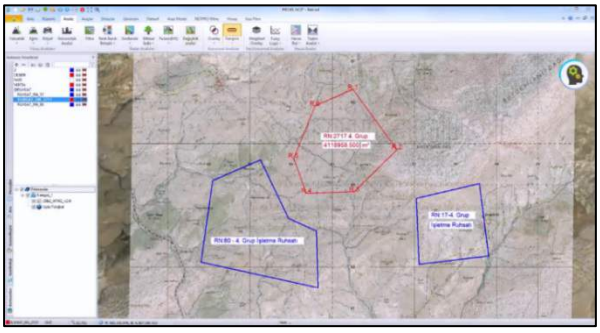
Arama ve üretim faaliyetlerinin yürütüleceği sahaya ait raster (halihazır, jeoloji haritası vb.) haritalar coğrafi referanslanarak online haritalar ile birlikte proje ekranına eklenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Proje altlık verisi olarak kullanılan halihazır ver online haritaların projeye eklenmesi.

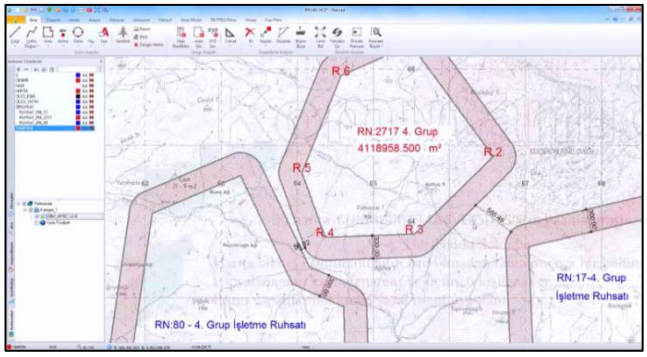
1.2 İşletme Ruhsat Sınır Koordinatlarının Projeye Aktarımı ve Sınırlandırılması

Arama ve üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü işletme ruhsat sınır koordinatları, bu alana ilişkin daha önceden izin verilmiş ruhsat alanları ile birlikte projeye aktarılmıştır. (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İşletme ruhsat sınır alanları.

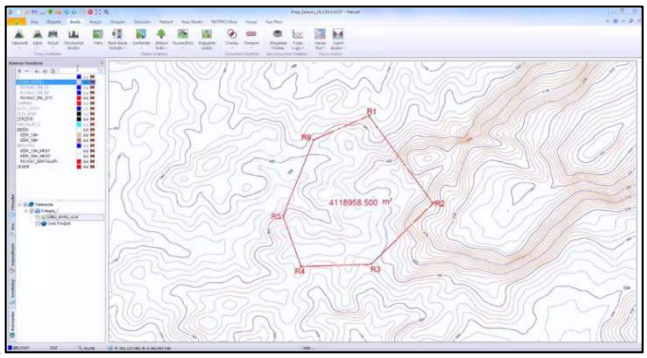
İşletme ruhsat alanlarına ait etki (tampon) alan analizleri oluşturularak, ruhsat sınırları arasındaki sınırsal ilişkinin ortaya çıkartılması sağlanmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. İşletme sınır alanlarının etki(tampon) bölgelerinin oluşturulması.

1.3 Arama ve Üretim Sahasına Ait Sayısal Arazi Modelinin Oluşturulması

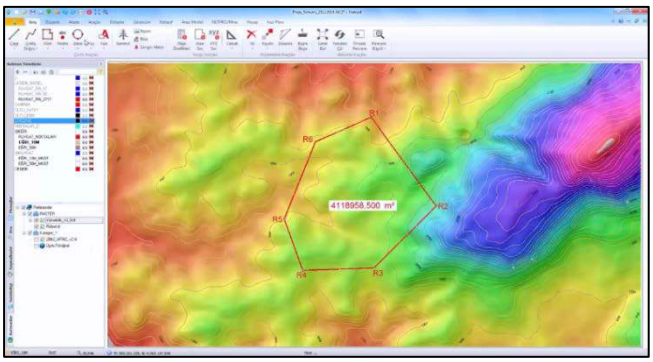
Faaliyetlerin yürütüldüğü bölgeye ait yükseklik verisi girdi olarak kullanılarak, çalışma alanını kapsayan bölgeye ait sayısal arazi modeli oluşturulmuş ve üzerinden sayısal eş yükseklik eğrileri geçirilmiştir. (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait sayısal arazi model üretimi ve eş yükseklik eğrilerinin geçirilmesi.

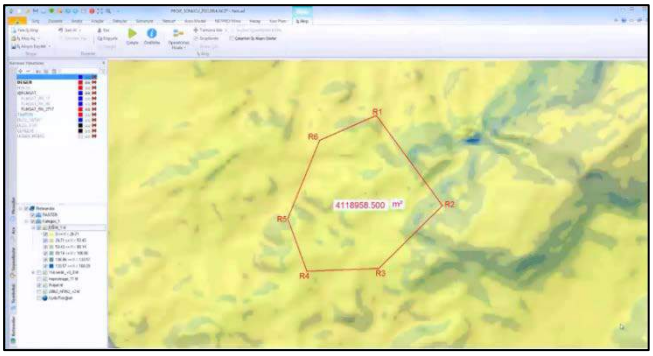
1.4 Arama ve Üretim Sahası Yüzey (Yükseklik, Eğim), Heyelan ve Hidroloji Analizleri

Çalışma sahasına ait sayısal arazi modeli üzerinden yükseklik analizi gerçekleştirilmiş, bölge yükseklik değişimleri tematik aralıklar ile gösterilmiştir (Şekil 1.5). Bu sayede madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü alan için yükseklik değişiminin yorumlanması kolaylaştırılmıştır.



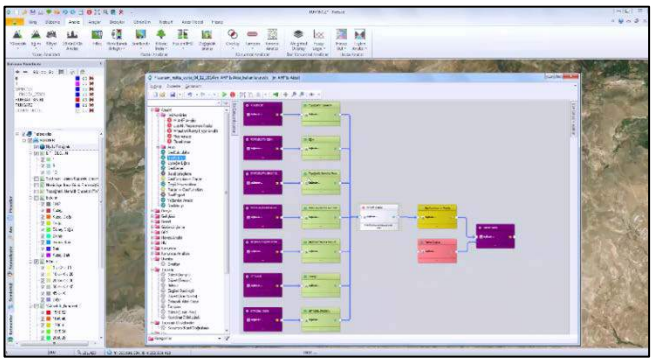
Şekil 1.5. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait yükseklik haritası.

Diğer bir yüzey analiz olan eğim haritalarının oluşturulması için de sayısal arazi modelinden faydalanılmış ve bölgede ki eğim değişimleri tematik yapıda ortaya konmuştur (Şekil 1.6).

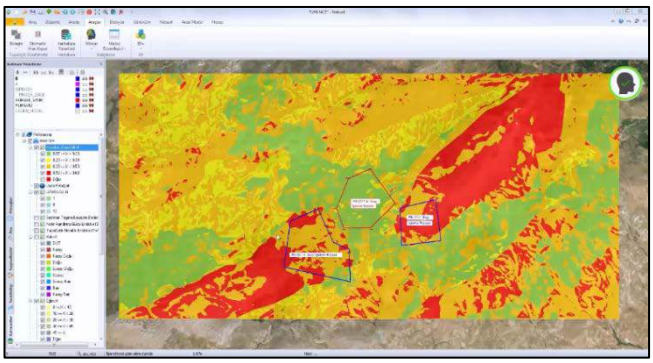


Şekil 1.6. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait eğim haritası.

Ruhsat sahasına ilişkin heyelan duyarlılığı 'Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci – mAHP (Modified Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile; yükseklik, topografik eğim, topografik nemlilik(TWI), litoloji, sediman taşıma kapasitesi(LS), nehir aşındırma gücü endeksi (SPI) ve bitkisel indis(NDVI) girdileri ile modellenerek analiz edilmiştir (Şekil 1.7.1- 1.7.2).

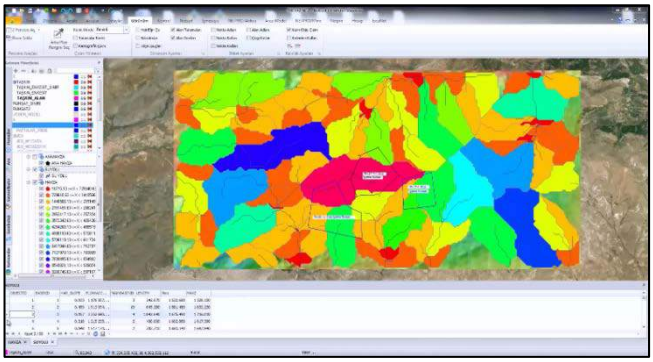


Şekil 1.7.1. 'Değiştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci –mAHP; yükseklik, topografik eğim, topografik nemlilik(TWI), litoloji, sediman taşıma kapasitesi(LS), nehir aşındırma gücü endeksi (SPI) ve bitkisel indis(NDVI) girdileri.

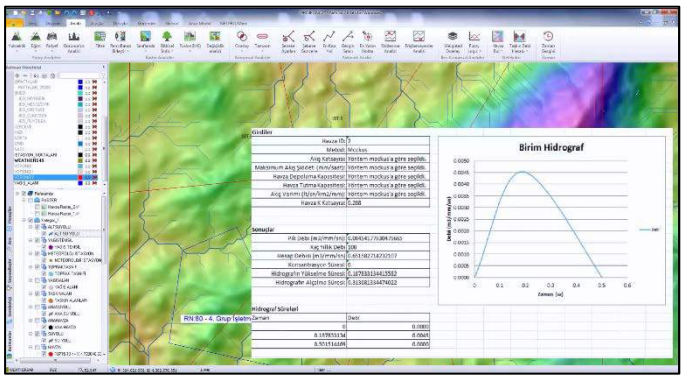


Şekil 1.7.2. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait heyelan duyarlılık haritası.

Ruhsat sahasındaki hidrolojik risklerin önceden kestirimi için 'havza modelleme', 'yağış alanlarının tespiti' ve 'taşkın debi hesaplamaları' gerçekleştirilerek işletme süresi boyunca bu sahadaki olası taşkın riskleri sınırları ile birlikte belirlenmiştir (Şekil 1.8.1-1.8.2-1.8.3).



Şekil 1.8.1. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait havza sınır haritası.

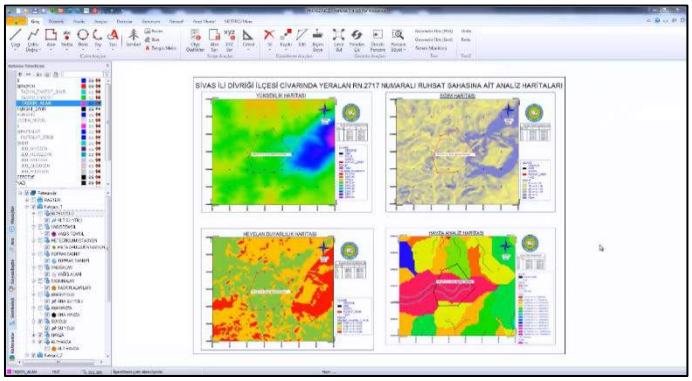


Şekil 1.8.2. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait taşkın debi hesabı.

Şekil 1.8.3. Ruhsat sınır alanlarının bulunduğu bölgeye ait taşkın duyarlılık haritası.

1.5 Ruhsat ve Analiz Projelerinin Kurum Standartlarına Uygun Proje Çıktı İşlemleri

Madencilik faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumlu kurumlar tarafından proje çıktıları için belirlenen standartlara uygun olarak proje çıktıları oluşturulmuştur (Şekil 1.9).

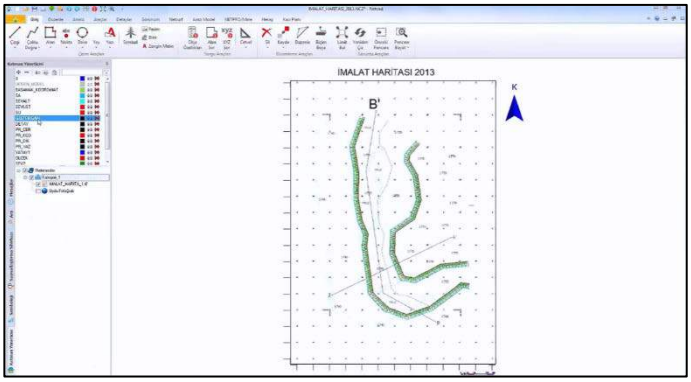


Şekil 1.9. Çıktı şablonları yardımıyla projelerin kurum standartlarında çıktıya hazırlanması.

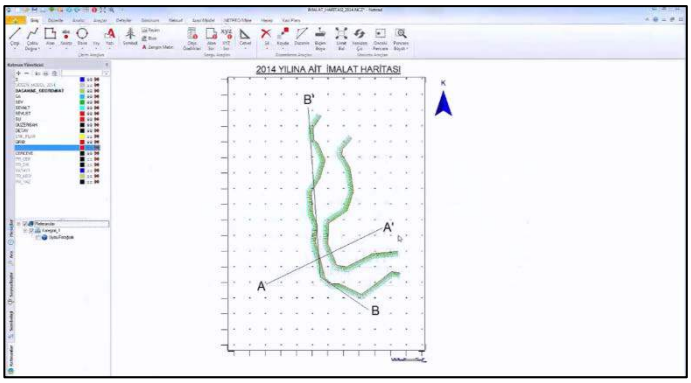
2 MADEN REZERV HESAPLAMALARI

2.1 Yıllık Maden Üretim Haritalarının Oluşturulması

İşletmelerdeki üretimin yerlerini, miktarlarını, yapılış şekillerini ve bir sonraki yıl için üretim programlarını gösterir, uygun ölçekli beyan niteliğindeki imalat haritaları, koordinatlı hâlihazır raster üzerinden sayısallaştırılarak çalışma alanına ait mevcut ve planlanan üretim basamakları oluşturulmuştur (Şekil 2.1).



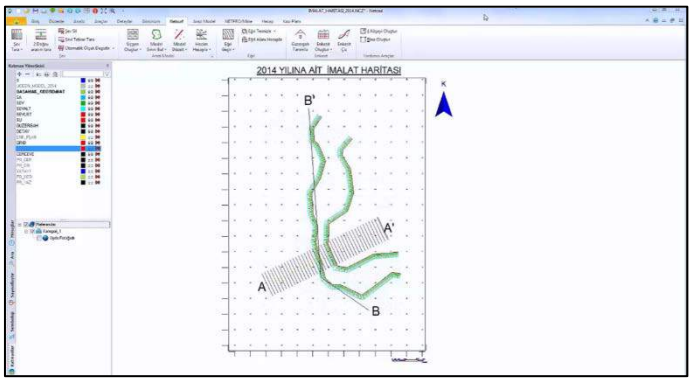
Şekil 2.1. Maden üretim mevcut durum haritası.



Şekil 2.2. Maden üretim sonrası durum haritası.

2.2 Üretim Kesitlerinin Hazırlanması

Madencilik faaliyetinin yürütüldüğü araziye ait güncel ve üretim sonrası durumu gösterir sayısal projeler üzerinden aynı kesit hattı boyunca kesit işlemleri gerçekleştirilmiştir.



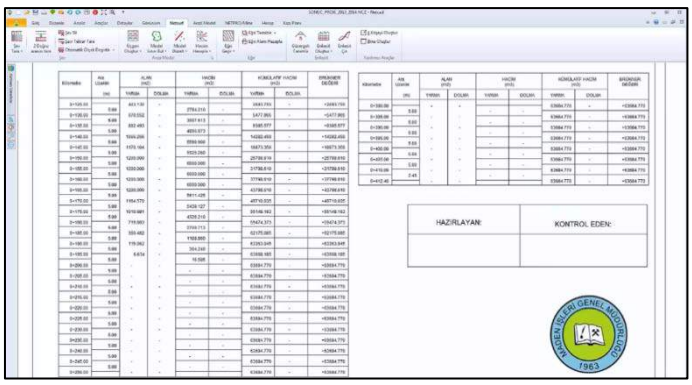
Şekil 2.3. Maden üretim haritası kesit alım hattı.

Kesit alım işlemleri sonrası oluşturulan en ve boy kesitler çizdirilerek, kesitler üzerinden üretim alanının gösterilmesi sağlanmıştır.

Şekil 2.4. Maden üretim haritaları üzerinden alınan en kesitlerin ekrana çizdirilmesi.

2.3 Üretim Sahasına Ait Hacim Hesabı

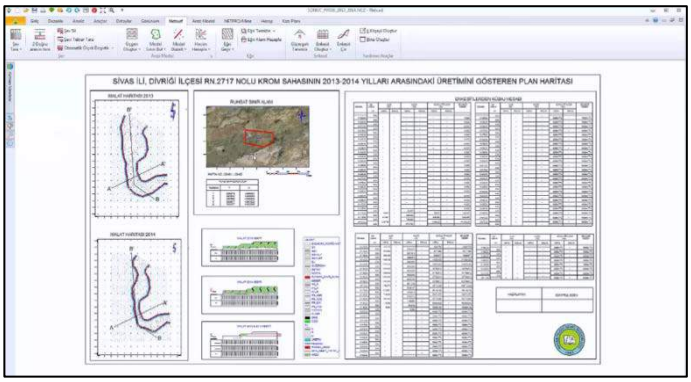
Kesit alım işlemleri sonrası oluşan en ve boy kesitler kullanılarak, yıllık planlanan maden üretimi hacim hesabı yapılmıştır (Şekil 2.5). Hacim hesabı sonrası oluşan cetvelde, kesit hattı boyunca tanımlanan aralıklardaki kazı, dolgu ve kümülatif değerler yer almaktadır.



Şekil 2.5. Yıllık planlanan maden üretimi hacim hesabı cetveli.

2.4 Üretim Hattı İçin Kurum Standartlarına Uygun Proje Çıktı İşlemleri

MİGEM tarafından proje çıktıları için belirlenen standartlara uygun çıktı şablonları oluşturulmuştur ve üretim panosuna ilişkin proje çıktıları alınmıştır (Şekil 2.6).



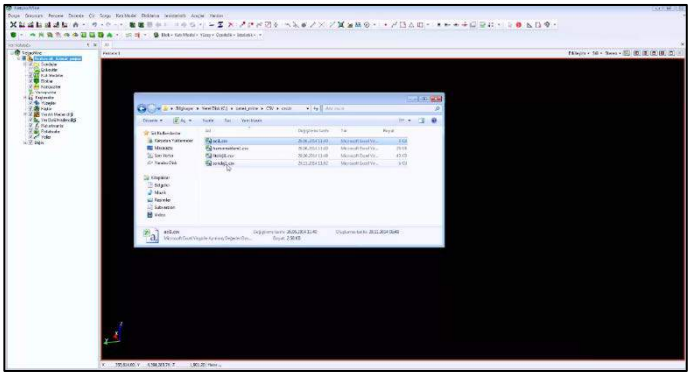
Şekil 2.6. Yıllık planlanan maden üretimi proje çıktıları.

3 CEVHER MODELLEME

3.1 Proje Veri Girişi ve Verilerin Değerlendirilmesi

Proje sahasına ilişkin sondaj verilerinin değerlendirilmesi ile blok modelleme, ve jeoistatiksel kestirim gerçekleştirilmiştir.

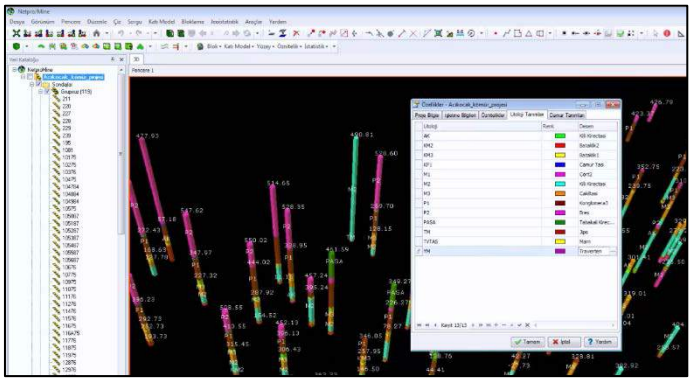
Çalışma sahasındaki sondajlara ilişkin geometri bilgileri (sondaj no, koordinat bilgileri, doğrultu, eğim, açı, derinlik) ve öznitelik verileri (numune analiz değerleri) projeye entegre edilmiştir.



Şekil 3.1. Proje dosyasının oluşturulması ve sondaj bilgi ve verilerinin aktarımı.

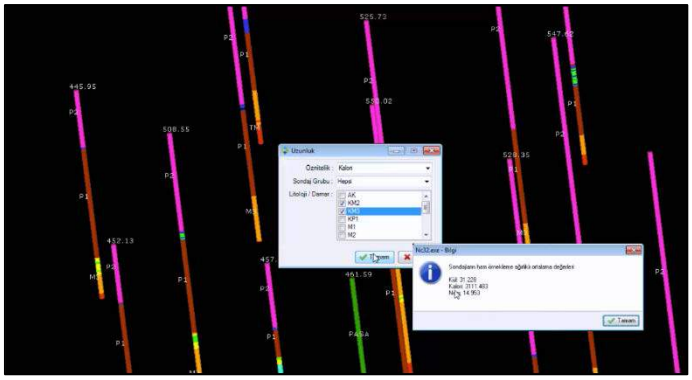
Proje dosyasına aktarımı tamamlanan sondajların üç boyutlu ekranda görselleştirilmesi için sondaj boyunca kesilen

damar/litoloji seviyelerine farklı renk, etiket ve jeolojik tarama tanımlamaları yapılmıştır.



Şekil 3.2. Sondajların 3 boyut ekranda görselleştirilmesi.

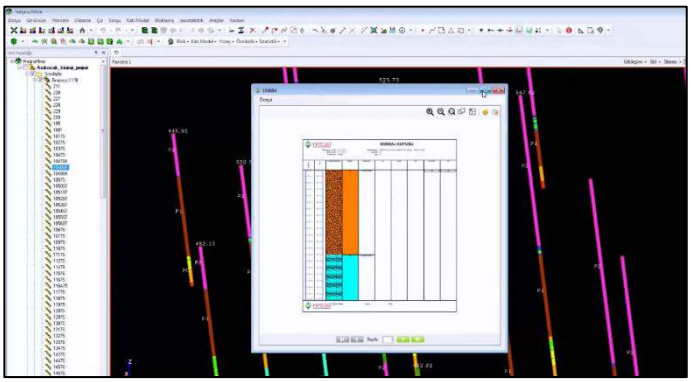
Projeye aktarılan sondajlar üzerinden uzunluk ve öznitelik istatistikleri öğrenilerek proje metrikleri belirlenmiştir. İstatistik her bir sondaj ve tüm sondajlar için öznitelik ve litoloji/damar seçimi yapılarak hesaplatılmış, değerler jeoistatistiksel kestirim için kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Sondajlar üzerinden istatistiksel analizler.

3.2 Sondaj Log Raporlarının Hazırlanması

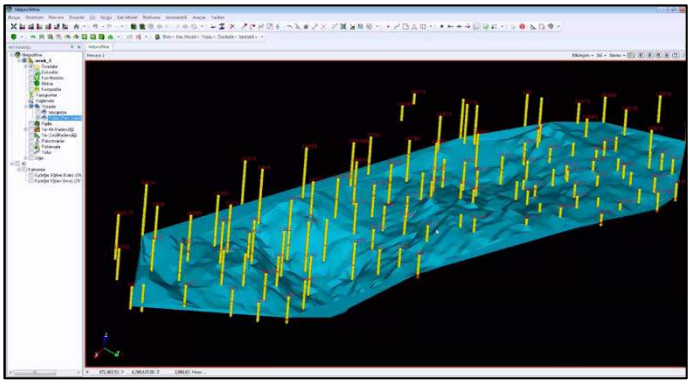
Jeolojik yaş cetveline bağlı kalınarak verilen renk ve taramalar tamamlandıktan sonra her bir sondaj için kurum standartlarına göre düzenlenebilen sondaj logları hazırlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sondaj log raporlarının hazırlanması.

3.3 Damar/Litoloji Yüzey Oluşturma ve Modelleme

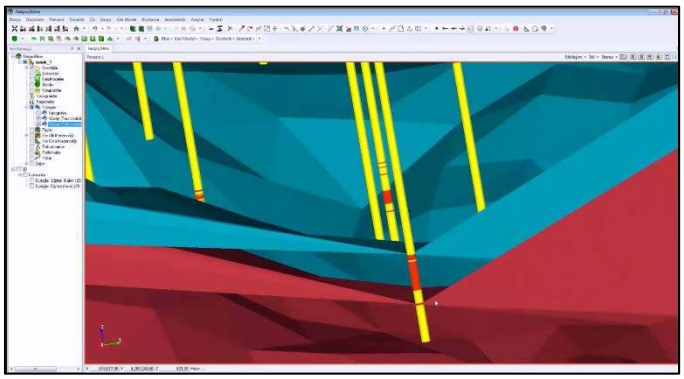
Cevher modelleme esnasında cevherin veya diğer sedimanter birimlerin alt, orta ve üst yüzey sınırları tercih edilmektedir. Projede kömür cevher seviyesine karşılık gelen damar/litoloji kullanılarak alt ve üst yüzeyler oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



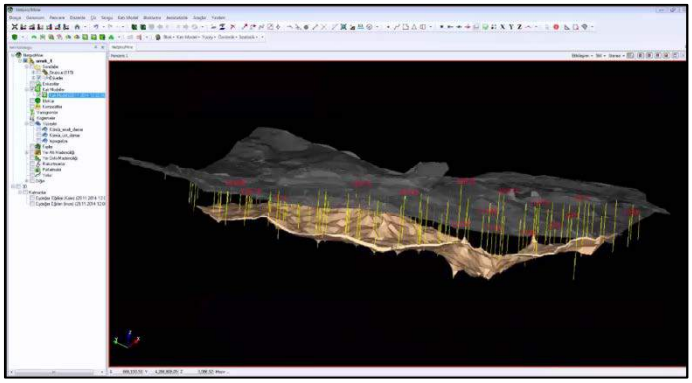
Şekil 3.5. Cevher üst sınır yüzeyinin oluşturulması.

Damar/litoloji yüzey oluşturma işleminde farklı kestirim yöntemleri (en yakın mesafe, ters uzaklık ve krigleme) kullanılabilir ve yüzeye faylar da eklenebilir. Oluşturulan yüzeylere ait alan, ortalama kot ve eğim bilgileri raporlanabilir.

Cevher alt ve üst sınır yüzeylerinden faydalanarak (Şekil 3.6), cevheri yer altında temsil eden katı model oluşturulmuş ve oluşturulan katı modelin hacim bilgisine ulaşılmıştır (Şekil 3.7).



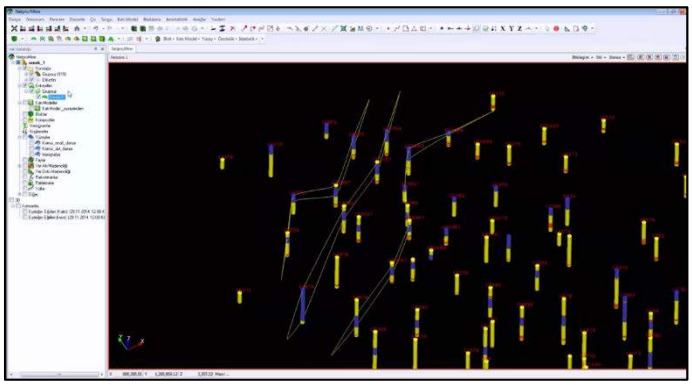
Şekil 3.6. Cevher alt ve üst sınır yüzeyleri.



Şekil 3.7. Cevheri temsil eden katı model.

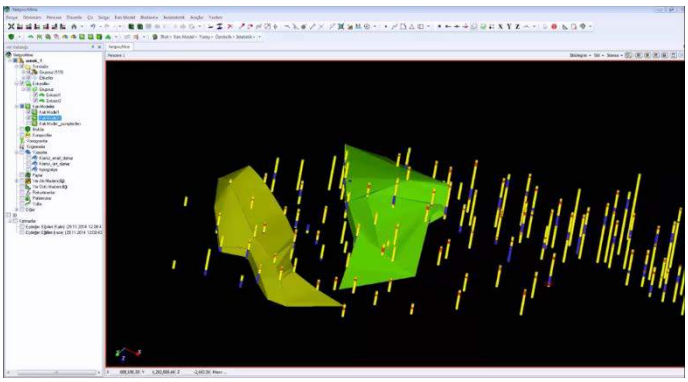
3.4 Sondajlardan Kesit Alımı ve Modelleme

Katı model oluşturma işleminde kullanılan diğer bir yöntem ise en kesitlerden katı model oluşturma yöntemidir. Bu yöntemle model oluşturmak için cevheri kesen ve yaklaşık aynı doğrultuda bulunan sondajlar seçilerek en kesit alımları otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Otomatik en kesit alımı.

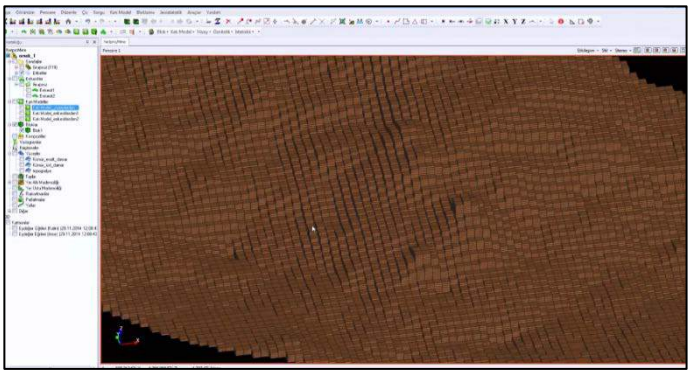
Oluşturulan en kesitlerden faydalanarak cevheri yer altında temsil eden katı model oluşturulmuş (Şekil 3.9) ve katı modellerin hacim bilgisine ulaşılmıştır.



Şekil 3.9. Otomatik oluşturulan en kesitlerden elde edilen katı modeller.

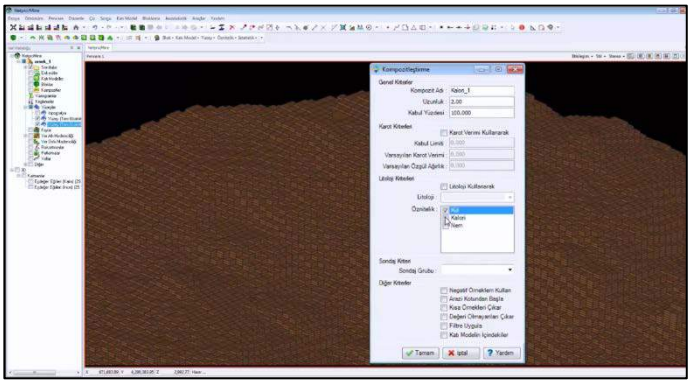
3.5 Katı Model Bloklama ve Jeoistatistiksel Kestirim

Cevheri temsil eden katı model, ortaya çıkartılmış ve modele ait öznitelik kestirimlerinin yapılması için uygun değerler ile bloklanmıştır (Şekil 3.10).



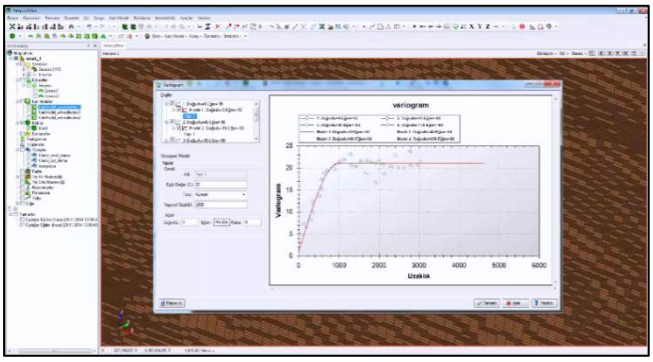
Şekil 3.10. Cevhere ait katı modelin bloklaması.

Bloklar üzerinde jeoistatiksel yöntemler kullanarak kestirim yapabilmesi için farklı uzunluktaki örnek değerlerini eşit uzunluklu örnek (kompozit) değerlerine dönüştüren kompozitleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).

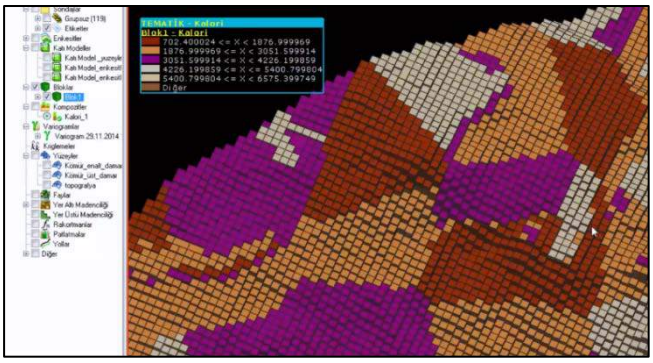


Şekil 3.11. Kompozitleme işlemi ile örnekleme boyutlarının eşitlenmesi.

Kompozitleme sonrası bloklar üzerinden jeoistatiksel yöntemler (variogram, en yakın komşu, ters uzaklık, krigleme) kullanılarak kestirim gerçekleştirilmiş ve bloklara ait öznitelik değerlerinin üç boyutlu tematik olarak oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 3.12-3.13).



Şekil 3.12. Jeoistatistik kestirim için oluşturulmuş variogram eğrisi.



Şekil 3.13. Kompozitleme işlemi ile örnekleme boyutlarının eşitlenmesi.

3.6 Proje Değerlerinin Raporlanması

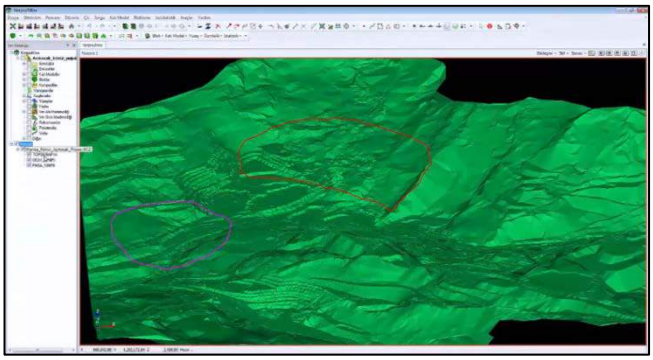
Bloklar üzerinde gerçekleştirilen kestirim işlemi sonrası her bir blok için atanmış yoğunluk ve öznitelik değerleri raporlanmıştır. Raporlarda cevher yoğunluk, öznitelik, tenör-tonaj ve hacim bilgileri listelenmiştir (Şekil 3.14).

Şekil 3.14. Tenör-Tonaj Eğrisi Raporu.

4 AÇIK OCAK TASARIMI

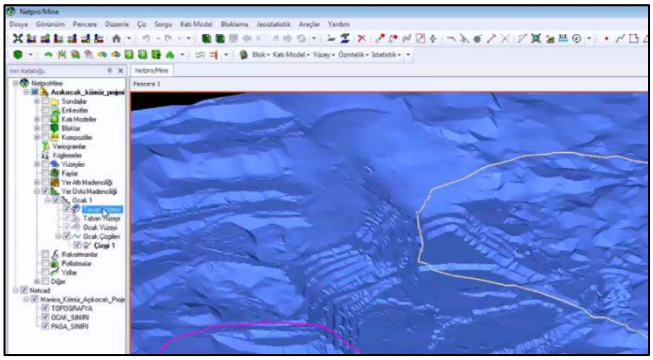
4.1 Ruhsat, Ocak ve Pasa Sahası Sınırlarının Tanımlanması

Açık ocak maden işletmeciliğinde ocak/pasa harmanı tavan veya taban sınırı belirtilerek basamak tasarımı gerçekleştirilmektedir. Seçilen sahada tavan/taban sınırları sayısallaştırılarak projeye aktarılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Açık ocak ve pasa harmanı tavan sınırı, yüzey topografyası.

Uygulamada ocak tavan sınırı üzerinden ilerleyerek basamak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yer üstü madenciliği kategorisi altında her bir ocak için oluşturulan ocak sekmesine ocak tavan sınırı ve topografik yüzeyi temsil eden veriler aktarılmıştır (Şekil 4.2)

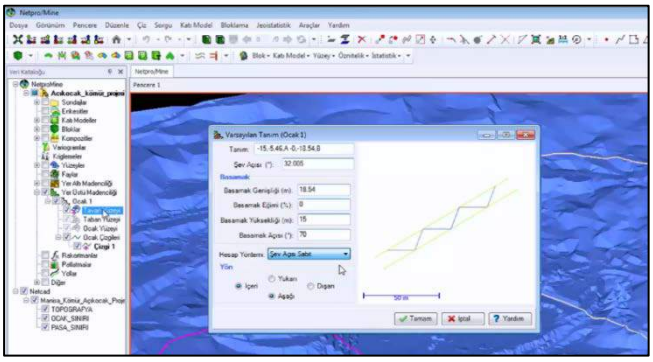


Şekil 4.2. Açık ocak tavan sınır ve yüzeyinin tanıtılması.

4.2 Ocak İşletme Basamak ve Rampa Tanımı

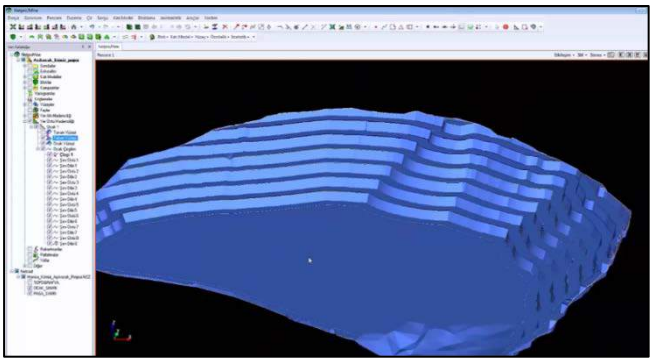
Ocak çizgisi olarak tanıtılan sınır üzerinden basamak tanımı(genişlik, eğim, yükseklik ve açı değerleri) yapılarak basamaklar oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Basamak tanımı içinde hesap yöntemi ve yön tayini yaparak ocak tasarımının tavandan tabana veya

tabandan tavana doğru yapılması sağlanabilmektedir.



Şekil 4.3. Açık ocak basamak tasarımı.

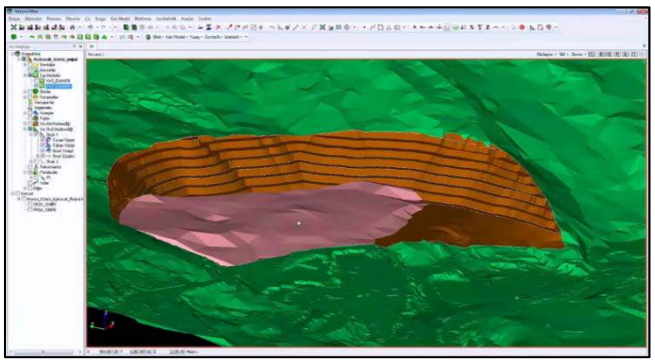
Basamaklar arası geçişi sağlayacak rampa tanımları yapılarak açık ocak tasarıma eklenmesi sağlanmıştır. Tanımlanan basamak ve rampa tanımları sonrasında otomatik basamak oluşturma yöntemi kullanılarak basamaklar oluşturulmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Otomatik basamak oluşturma yöntemi sonrası oluşan basamakların görünümü.

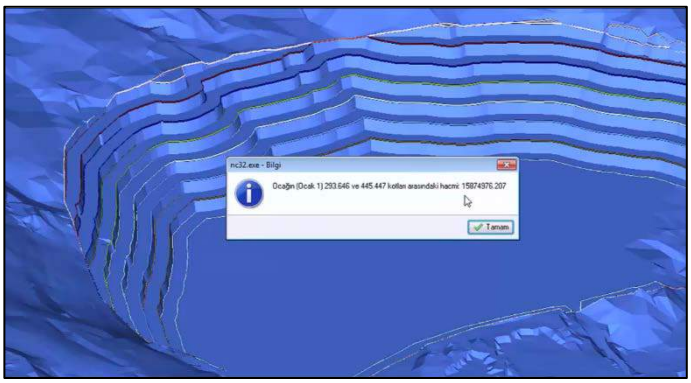
4.3 Açık Ocak Yüzeylerinin Oluşturulması

Oluşturulan açık ocak basmak tasarımları, topografya ve cevher ile entegre edilerek proje yüzeyleri yenilenmiştir (Şekil 4.5).



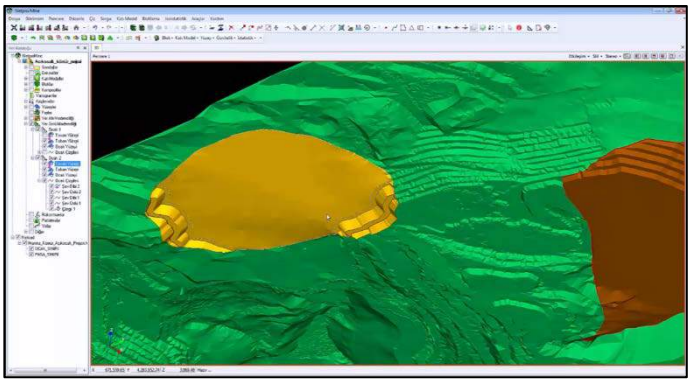
Şekil 4.5. Ocak yüzeyinin topografik yüzey ile entegrasyonu.

Ocak içinde işletilecek basamağa ait kotlar arasındaki katı model oluşturma ve hacim hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan model bloklanarak cevher bilgisi elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Açık ocak basamak kotları arası hacim hesabı.

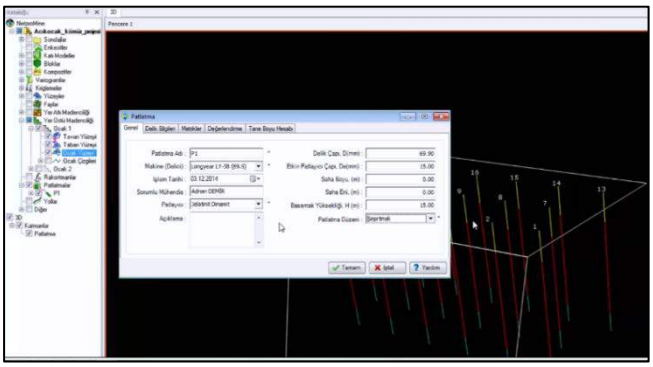
Ocak tasarımına benzer yapıda pasa harmanı tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).



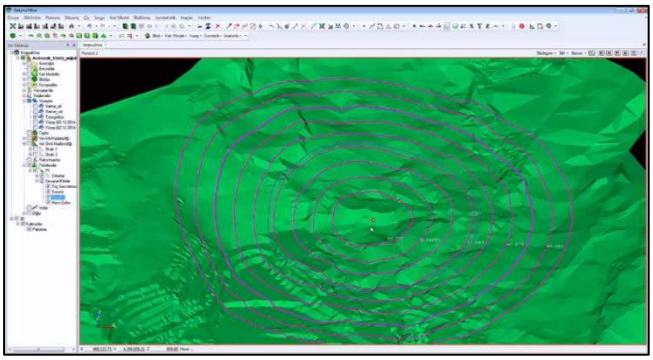
Şekil 4.7. Pasa harmanı tasarımı.

4.4 Patlatma Tasarımı, Çevresel Etki Değerlendirme ve Raporlama

Açık ocak tasarımı sonrası patlatma paterninin tasarımı, patlatma yöntemine göre patlatma değerlendirmeleri yapılmış ve belirlenen model ile ‘hava şoku’, ‘gürültü’, ‘vibrasyon(yer sarsıntısı)’ ve ‘taş savrulması’ değerlendirmeleri yapılmış ve yüzey modeli ile birleştirilmiştir (Şekil 4.8).

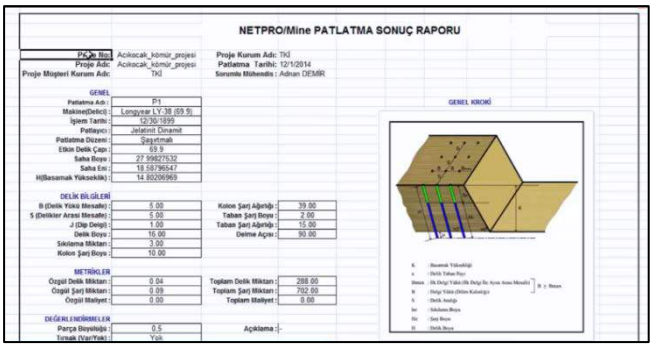


Şekil 4.8. Patlatma patern tasarımı.

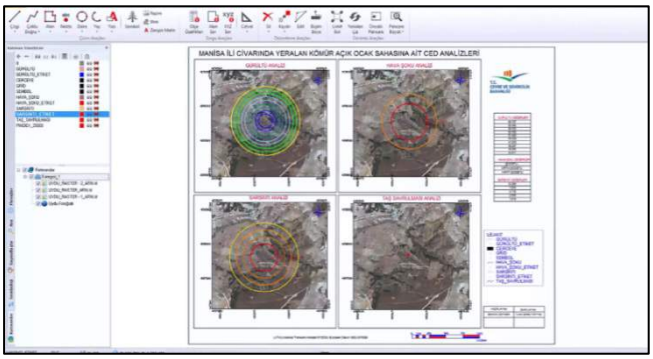


Şekil 4.9. Çevresel Etki Değerlendirme

Patlama sonuç raporu hazırlanarak delik bilgileri ve metrikler elde edilmiş; tüm sonuçlar standartlara uygun yapıda çıktıya hazırlanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Patlatma sonuç raporu

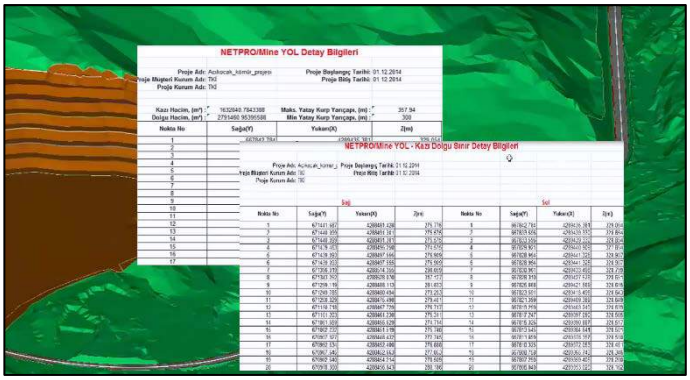


Şekil 4.11. Çevresel Etki Değerlendirme analiz sonuçları.

4.5 Ocak Pasa Yol Tasarımı

Ocak veya ocak-pasa harmanı arası bağlantıyı sağlamak için uygun yatay ve düşey platform parametre değerleri ile yol tasarımı oluşturulup, rehabilitasyon kapsamındaki proje süreçleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.12-4.13). Yol tasarımı sonrası kazı dolgu hacim hesabı da yaptırılarak yola ait tüm detaylar raporlanmıştır.

Şekil 4.12. Ocak yolu tasarımı.



Şekil 4.13. Ocak pasa yol tasarımı kazı dolgu hacim hesap raporları.

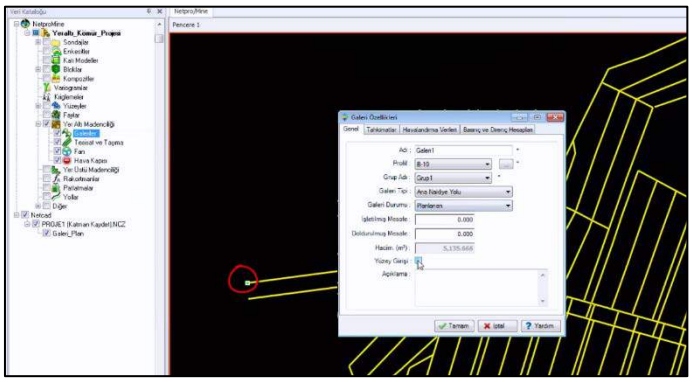
5 YERALTI GALERİ TASARIMI

5.1 Yeraltı Üretim Planının Tasarlanması

Yeraltı maden işletmeciliğinde cevher üretim planına uygun galeri hatları tasarlanmış ve galeri içi tesisat ve taşıma sistemleri projeye entegre edilmiştir.

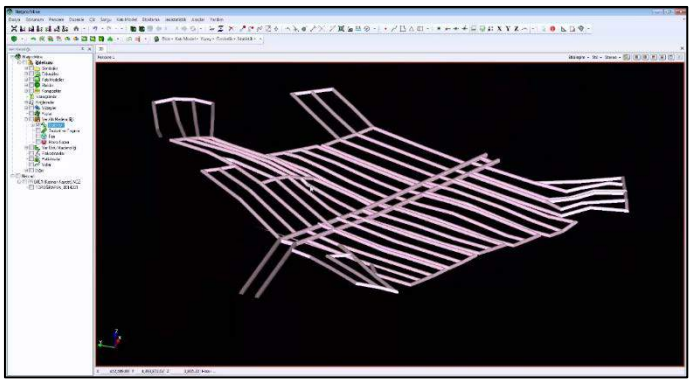
5.2 Galeri Oluşturma ve Görselleştirme

Yeraltı üretim planı dahilinde galeriler profil, tip, durum, tahkimat özellikleri dikkate alınarak ve galeri içi havalandırma hesabı ilişkin gerekli parametreler tanımlanarak tasarlanmıştır. (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Galeri ekleme ve parametre tanımı.

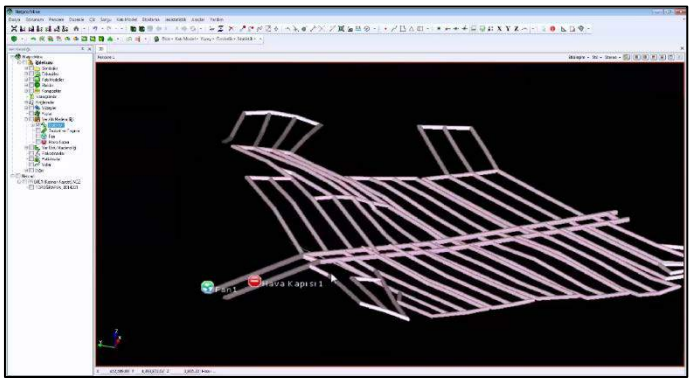
Galeri seçilen profil tipine uygun üç boyutlu düzlemde görselleştirilmesi sağlanmış ve cevher modeline ait üretilecek alan ile ilişkisi gösterilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Galerilerin 3 boyutlu ekranda görselleştirilmesi.

5.3 Galerilere Tesisat ve Taşıma Sistemlerinin Eklenmesi

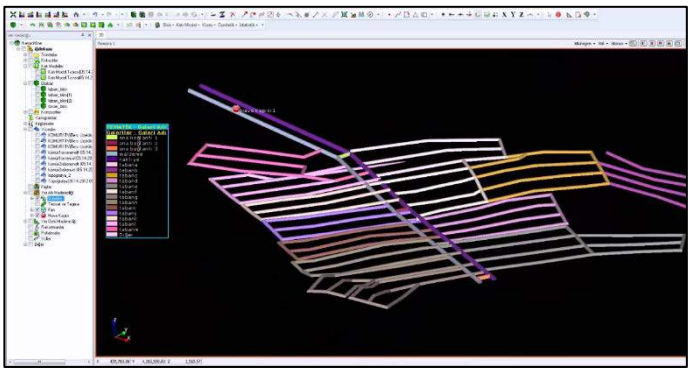
Galeri içi tesisat (su, elektrik, basınçlı hava vb.) ve taşıma sistemleri ait elemanlar ile fan ve hava kapısı eklenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Galerilerin tesisat ve taşıma elemanlarının eklenmesi.

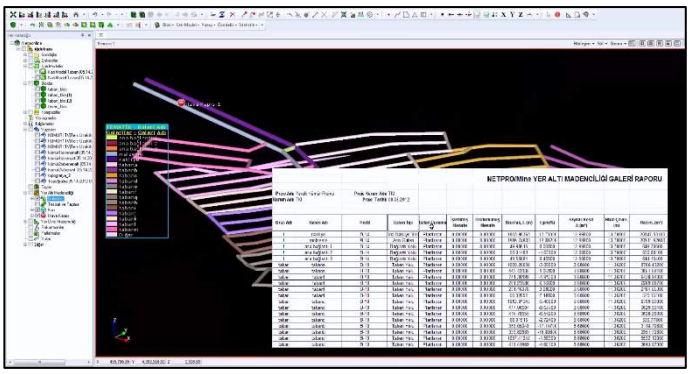
5.4 Yeraltı Tasarımı Görselleştirme ve Raporlama

Yeraltı madenciliği tasarımında eklenen elemanlardan galeri, tesisat ve taşıma sistemleri, fan ve hava kapısı kafes tipi karelaj içinde görselleştirilmiştir (Şekil 5.4-5.6-5.7).

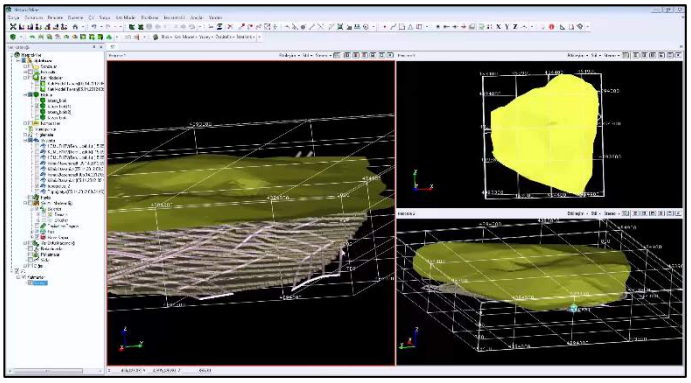


Şekil 5.4. Galeri özniteliklerine göre tematik hazırlama.

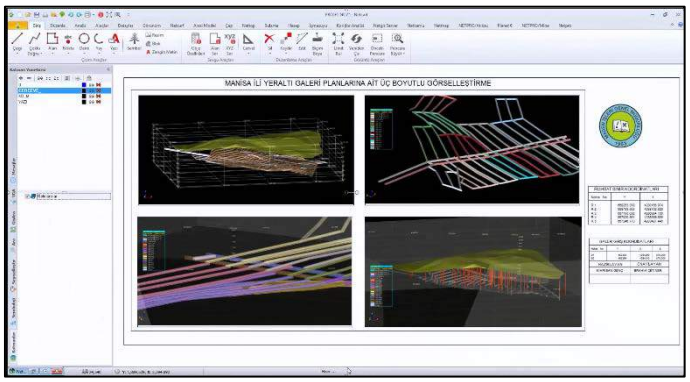
Tasarım elemanlarına ait raporlar hazırlanarak proje metrikleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Yeraltı galeri ve diğer elemanlara ait rapor.



Şekil 5.6. Yer altı galeri, topoğrafya ve cevher ilişkisinin kafes tipi karelaj gösterimi.



Şekil 5.7. Yer altı galeri tasarımı proje çıktıları.

6 SONUÇ

‘Madencilik Uygulamaları’ herşeyden önce ‘insan hayatı’nı direkt olarak etkilediği için son derece önem taşımaktadır. Ülkemizdeki madenlerde son dönemlerde yaşanan üzücü kazalar maden projelerinin doğru tasarlanmaları gerekliliğinin ne kadar önemli olduğunu bizlere en acı şekli ile göstermiştir. ‘İnsan hayatı’ gibi bir diğer önemli konuda madenlerin yenilenemez ve yerine konulamaz nitelikte varlıklar olmasıdır. Gelecek nesiller için maden kaynaklarının en yüksek fayda ile sürdürülebilir yapıda toplum yararına kullanılması gereklidir.

Ülkemizde madencilik sektöründe çok sayıda iş kazası meydana gelmesinin en önemli nedeni madenlerimizin bilim ve teknoloji ilkeleri çerçevesinde doğru tasarlanmamış olmalarından kaynaklıdır, oysa çağdaş madencilik bilim ve teknolojisi, madenlerin çıkarılmadan önce; ocak optimizasyonlarının yapılmasını, üç boyutlu olarak modellenmesini, olası rezerv kestirimlerinin yapılmasını, üretim yönteminin belirlenmesini (açık ocak mı yoksa yer altı galerisi mi) ve üretim planlarının yapılmasını gerektirir.

Jeofizik Kuyu Loglarının Madencilikte Kullanım Olanakları
Potential Use of Geophysical Well Logs in Mining

G. Çakmakçı
Ciner Grubu, Söğütözü, Ankara

ÖZET Jeofizik kuyu logları günümüzde petrol/doğalgaz arama ve üretim süreçlerinde önemli ve vazgeçilmez bir yer tutmasına karşın logların ulusal madencilik sektöründe henüz yaygın bir kullanım pratiği oluşmamıştır. Ancak, kuyu logları sağladığı avantajlar nedeniyle madencilikte de standart bir girdi haline gelmeye oldukça yatkındır. Gerek madencilik gerekse jeoloji (ve hatta jeofizik) eğitim müfredatında yer bulamaması nedeniyle, kuyu loglarının madencilik projelerinde sağlayabileceği yorumlama gücü sektör çalışanları tarafından maalesef bilinmemektedir.

Bu bildiride, günümüzde çok bilinen ve sıklıkla kullanılan kuyu loglarının özelliklerinden genel hatları ile bahsedilmekte, bunların maden arama ve mühendislik projelerindeki potansiyel faydaları hakkında birtakım temel bilgiler aktarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeofizik kuyu logları, formasyon, litoloji

ABSTRACT Geophysical well logs are effectively and inseparably given a role in exploration and production phases of oil/gas industries whereas there has been no remarkable practice in Turkish mining industry yet. However, well logging, in term of its potential merits, is pretty prone to provide standard inputs for mining as well. Neither mining nor geology (even nor geophysics) curriculums cater for an adequate basic knowledge of well logs, hence, technical staff at mining projects are not aware of advantages of them.

The paper briefly mentions about characteristics of common well logs those currently being utilized and introduces some information on their potential benefits in mineral exploration and engineering projects.

Keywords: Geophysical well logs, formation, lithology

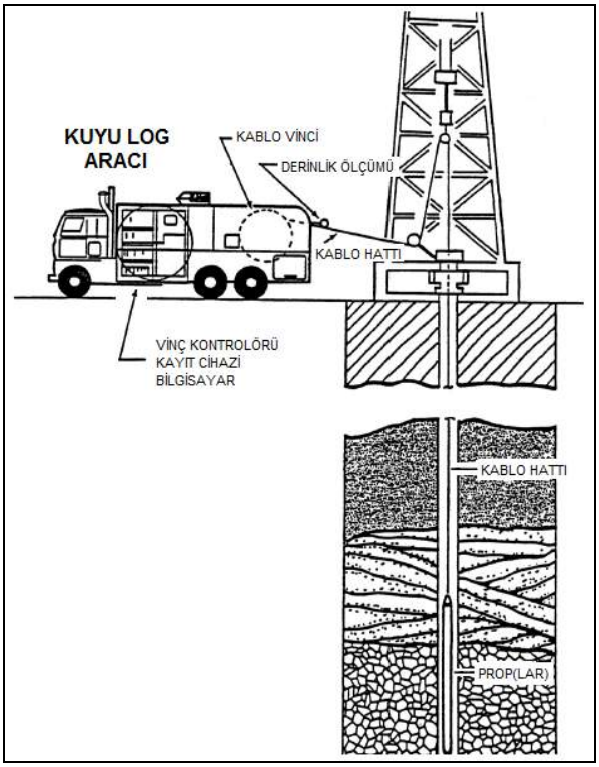
1 GİRİŞ

1.1 Kuyu Loglarının Esasları

Sözlük anlamı "gemi hız kayıtlarına paralel bir ilerleme girdisi" olarak verilen "log" kavramından yola çıkarak, kuyu logları, bir veya daha fazla fiziksel özelliğin derinliğin bir fonksiyonu olarak kaydedilmesi olarak tanımlanabilir (Killen, 1983). Bazı kaynaklarda bu işlemler, genel olarak "kuyu içi jeofiziği" adıyla da anılmaktadır. Fiziksel özelliklerin kuyu derinliğinin bir fonksiyonu olarak kaydedilebilmesi için, bir kablo hattı (wireline) ve kuyu içinde istenen parametreleri ölçebilen cihazlardan (proplara) kurulu bir sisteme gereksinim vardır (Şekil 1).

Parametreleri ölçmekte kullanılan cihazların (propların) kuyuya indirilmesine kullanılan kablo hattının (wireline) gerçekte dört ana işlevi bulunmaktadır:

(i) cihazın ölçüm yapılacak derinliğe iletilmesi
(ii) cihazın ölçün yaptığı noktadaki derinliğinin saptanması
(iii) cihazın delik içinde askıda tutulması ve yeryüzüne çıkarılması
(iv) cihazın topladığı verilerin yerüstündeki donanıma iletilmesi

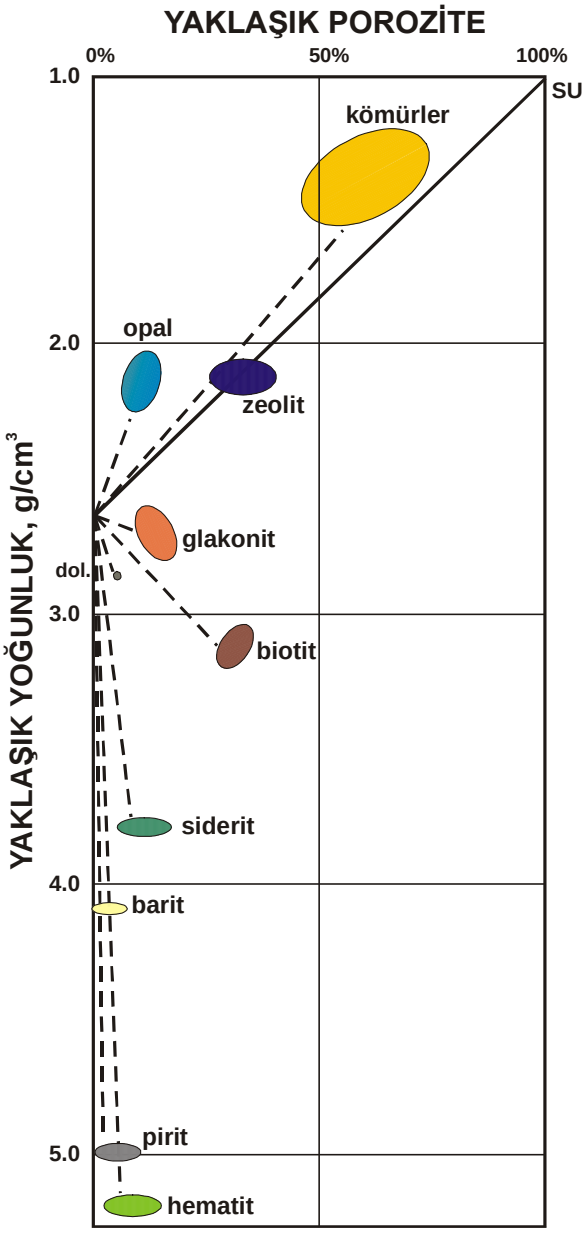


Şekil 1. Genel kuyu logu donanımı.

Ölçülen fiziksel parametrelere ilişkin log çizelgelerinin oluşturulması için kablo hattından iletilen kesintisiz derinlik bilgisine ihtiyaç duyulur. Parametrenin ölçülen değeri ile ilgili derinlik eşlenerek log çizelgesi meydana getirilir. Başka bir deyişle ölçülen parametreye ait değerin tek boyutlu olarak hangi uzaysal konuma karşılık geldiği eşzamanlı olarak ölçülmektedir.

1.2 Jeofizik Log Felsefesi

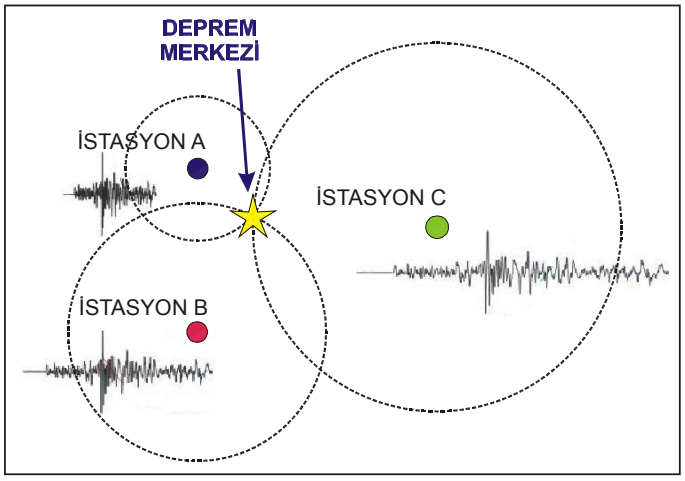
Kuyu logu olgusu, ölçülen fiziksel parametrenin, formasyonlar ve litolojiler arasındaki farklılaşmalarının ortaya konulması ve buna yönelik yorumlar yapma çabası ile ilgilidir. Diğer yandan, ölçülen parametrenin değeri içinde bulunulan ortam hakkında mutlak bir bilgi de sağlanabilir. Örneğin, bir demir yatağından alınan yoğunluk logu, demir cevheri ve çevre kayaçları arasındaki yoğunluk farklılaşması ile cevherleşme gözlenen aralıkların tespit edilmesinin yanı sıra, kesilen litolojilerinin yerindeki yoğunluk bilgisini sağlayabilir (Şekil 2). Hatta uygun bir kalibrasyon yapıldığı taktirde, yerinde yoğunluk ile porozite veya içerik arasında bir görgül bağlantı dahi kurulabilir.



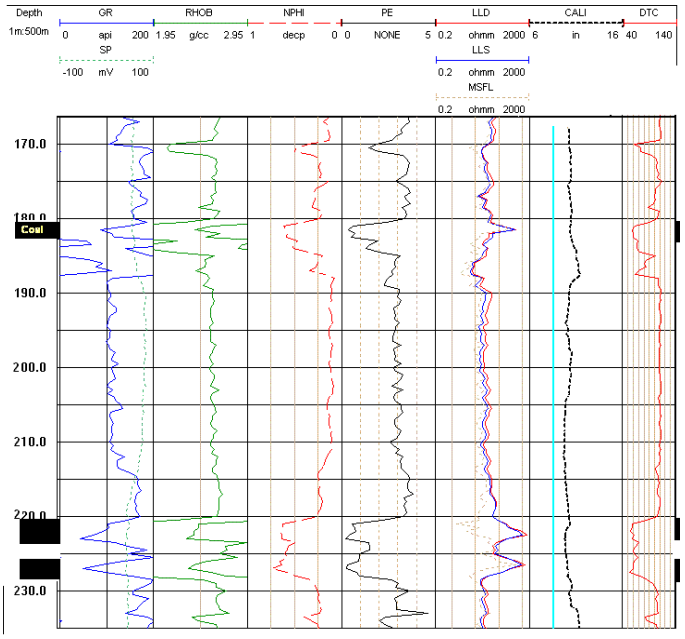
Şekil 2. Yoğunluk farklılaşmasının mineral cinsi ve porozite ile ilişkilendirilmesi.

Kuyu logları, yeraltında istiflenmiş litolojilerin tanımı, onlara ait olan çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerin tespiti ve ortamda bu yapıların farklılaşmasını yorumlama sanatı olarak da tanımlanabilir. Yeraltındaki bir formasyon veya litolojinin log ile belirlenen parametreler doğrultusunda tahmini/tespiti, alınan log (ölçülen parametre) sayısının atmasıyla daha kolaylaşmakta, yorum yapmak ve daha kesin sonuca ulaşmak daha olanaklı hale gelmektedir. Burada deprem mühendisliğinde sismik olay merkezinin belirlenebilmesi ile bir analoji kurulabilir. Bir depremin merkezini belirlemek için bilindiği gibi en az üç istasyondan alınan mesafe bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Böylece üç çemberin kesişim noktası deprem merkezini gösterir (Şekil 3). Benzer şekilde, incelemenin yapıldığı ortamda alınan log sayısı artırılırsa daha doğru ve güvenilir bir tanımlama ve yorumlama yapılabilir. Güvenilir yorumlara ulaşabilmek için hangi tür loglara ihtiyaç duyulacağı ise çalışılmakta olan projeye göre değişkenlik gösterebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Üç izleme istasyonuna ait veri yardımıyla deprem merkez noktasının tayini.



Şekil 4. Altı farklı parametrenin ölçüldüğü bir kuyu logu çizelgesinde kömür damarlarının tayin edilmesi.

2 KUYU LOGLARININ SAĞLAYACAĞI AVANTAJLAR

Cevher aramacılığı ve madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan temel veri toplama yöntemi karotlu sondajlardır. Karotlu sondaj tekniği, günümüz şartlarında herhangi bir potansiyel cevher yatağının tanımlanmasına hizmet eden vazgeçilemez bir yöntemdir. Ancak, zor litolojik şartlarda karot veriminin çok düşük olması sağlanacak bilgiyi de tartışmalı hale getirebilir. Örneğin, %30 karot verimine ulaşılabilen bir manevrada kurtarılabilen karotların manevra aralığının hangi bölgesine tekabül ettiğinin tespiti çoğu zaman zor olabilir. Hiç karot alınamayan aralıklarda ise yatak geometrisi tanımlamaları ve kaynak hesapları etkilenecektir.

Karot alımı ve litolojik loglama harcanan eforun sadece ilk aşaması olup örneklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için ileri laboratuvar testlerine ve analizlere gereksinim duyulmaktadır; karotlar bütün halde mekanik testlere tabi tutulabilir veya kesilip yarılandıktan sonra, yoğunluk, porozite tayini, kimyasal analiz gibi işlemlerden geçtikten sonra istenen sonuçlara ulaşılabilir. Bu ilave bir zaman, kaynak ve emek gerektirir.

Bahsedilen tüm çabaların yanı sıra, ölçülen parametreler süreklilik arz etmez ve çoğunlukla daha kaba ve geniş aralıkları temsil edecek şekilde bir girdi sağlar. Şöyle ki, analiz örneklerinin –herhangi bir karot kaybı olmasa dahi– 10cm aralıklarla hazırlanarak laboratuarda jeokimyasal analize tabi tutulması ve bunun tüm kuyu kesiti boyunca yapılması pratik değildir. Karotların her bir kesiminden mekanik test örneği alınabilmesi ve Young modülü ile Poisson oranının tespiti olanaksızdır. Benzer şekilde tüm kuyu kesiti boyunca yoğunluk tayini yapmak büyük bir emek ve masraf gerektirir. Buna ek olarak, çatlak sıklığı ve yönelimi, yeraltı suyunun mevcudiyeti ve kalitesi, ortam sıcaklığı, kuyu geometrisi gibi bazı parametrelerin karot örneklerinden tayini hem mümkün değildir hem de çeşitli zorluklar ve hatalı sonuçlara yol açabilir.

Buna karşın kuyu logları yukarıdaki zorlukları ve olumsuzlukları ortadan

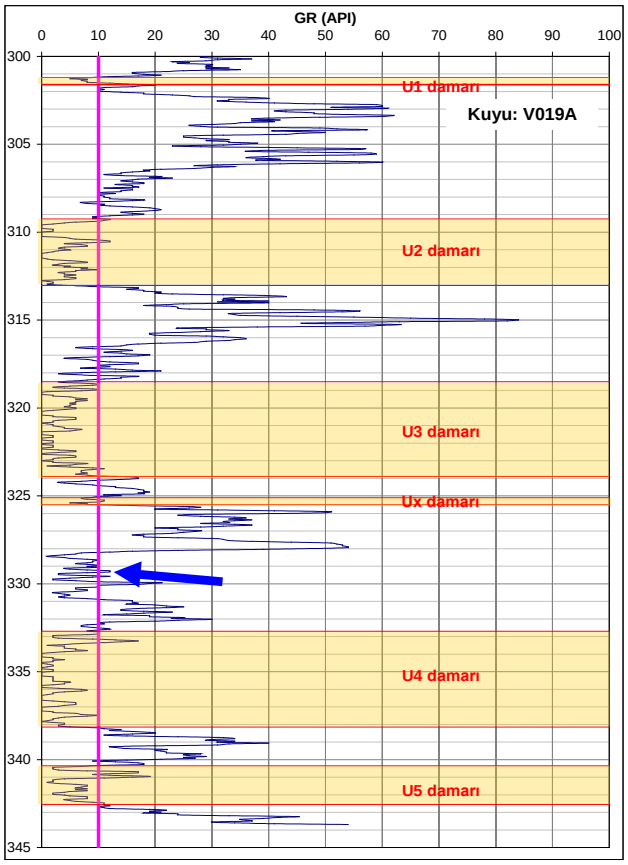
kaldıran birtakım avantajlar sunmaktadır. Gerçekten de kuyu loglarının yeraltı ortamına ait bilgilerin derlenmesinde tercih edilmesinin bazı somut ve güçlü nedenleri vardır. Bunlar arasında;

- kolay, hızlı ve ekonomik veri sağlanabilmesi
- verilerin hassas ve süreklilik arz eden bir karaktere sahip olması ve
- kuyular arası korelasyonda (deneştirmede) yardımcı girdiler sağlanması bulunmaktadır.

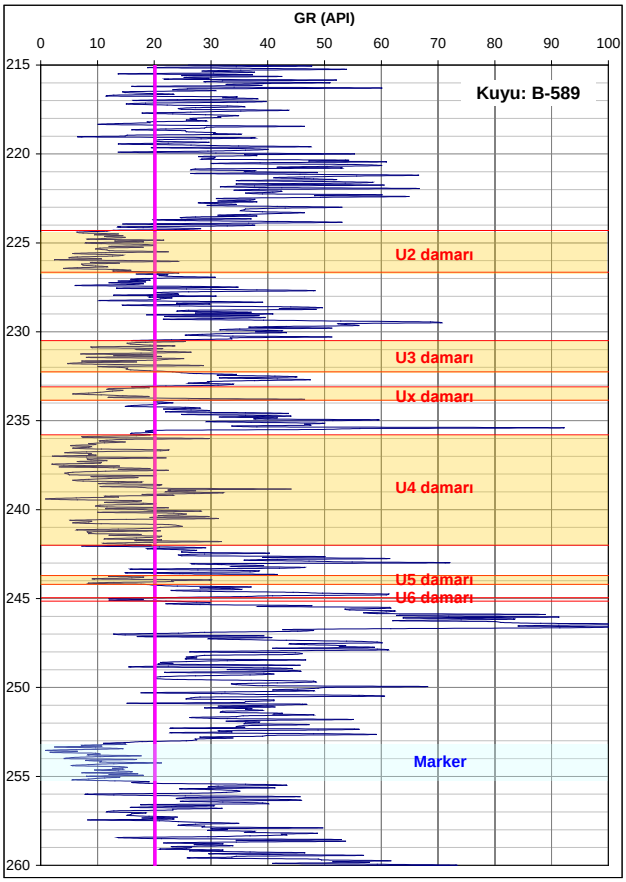
Son maddede değinilen husus, özellikle yoğunluk, tenör, su doygunluğu gibi karotlardan çıplak gözle (veya herhangi bir yardımcı araç kullanmaksızın) tespit edilerek yatak tanımlamalarının yapılamayacağı veya sanal geometrik sınırların (control volume) oluşturulamayacağı durumlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Çünkü bazı yeraltı yapılarının kömür ve tavan-taban kayaçlarındaki geçişler gibi çıplak gözle izlenebilen net bir geometrik geçiş sergilemediği aşikârdır. Şekil 5'te buna ilişkin bir örnek sunulmuştur. Şekil 5a'da bir trona yatağındaki arama kuyusundan alınan doğal gama logundan trona damarları rahatlıkla izlenmektedir. Ancak, aynı sahada cevher kesmeyen diğer bir arama kuyusunda trona minerali ile ornatılan kil minerallerinin izleri kolaylıkla izlenebilmektedir. Böylece yapıların yatak dışında kalan kuyularla korelasyonu mümkün olmaktadır. Diğer yandan, bu türde bir korelasyonun sadece jeolojik loglar yardımıyla yapılabilmesi çoğunlukla zordur.

Kuyu loglarının yer bilimleri ile ilgili araştırmalarda ve madencilik/mühendislik projelerinde getireceği fayda potansiyeli geniş bir yelpazede yer almaktadır:

- *bilimsel jeolojik araştırmalar;* litolojik tanımlamalar, jeolojik ortam tahmini ve korelasyonu
- *cevher arama çalışmaları;* cevher ve yan kayaç tanımlamaları ve korelasyon



(a) Cevherli kuyudaki damar dizilimi.



(b) Cevhersiz kuyuda ilgili damara karşılık gelen kil seviyelerinin dizilimi.

Şekil 5. Bir trona yatağında cevherli ve cevhersiz kuyulardan alınan gama logları.

- *jeokimyasal cevher etütleri;* nitel cevher kalitesi ve nicel içerik tahminleri
- *yapısal çalışmalar;* kaya kütle bütünlüğü ve kalitesi, yapısal süreksizliklerin tespiti ve geometrik olarak tanımlanması
- *mühendislik çalışmaları;* tünel, şev, temel vs. tasarımına yönelik kayaç mekanik parametrelerinin tayini, yerinde gerilmelerin tahmini
- *kuyu şartları, yapısı, geometrisi ve kuyu inşa kalitesi;* uzun hizmet süreli kuyuların (su pompaj kuyuları, gözlem kuyuları, çözelti madenciliği kuyuları vs.) tamamlama kalitesi ve güncel bütünlük durumunun tespiti
- *ortam akışkanlarının tetkiki;* kuyudaki sondaj çamur özellikleri, yeraltı suyu varlığı, seviyesi ve su kimyası, petrol ve doğalgaz varlığı
- *kayaç ortam özellikleri;* porozite ve permeabilite, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, jeoermal gradyan tayini, vs.
- *izleme çalışmaları;* yeraltı suyu ve madencilik faaliyetlerinin olası etkilerinin takibine yönelik zamana yayılmış düzenli izleme faaliyetleri, parametrelerin dönemsel değişimleri

Bu listenin daha da uzatılması ve detaylandırılması mümkündür. Günümüz modern kuyu loglarının sağladığı faydalar çok daha geniş ve detaylıdır. Örneğin görüntüleme logları (MSI, 2014a,b) formasyonların veya kuyu teçhiz şartlarının doğrudan izlenebilmesine olanak vermektedir.

3 KUYU LOGLARININ TÜRLERİ

Kuyu logları çok farklı prensiplerle, çok farklı parametrelerin ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Modern tekniklerin; elektronik sistemler ve bilgisayarların, malzeme teknolojisinin ilerlemesi ile son derece sofistike log cihazları geliştirilmekte ve log çıktıları elde edilebilmektedir. Jeofizik kuyu logları genel olarak ölçüm prensipleri veya ölçülen değerler bakımından aşağıdaki ana sınıflar altında incelenebilir:

- Mekanik loglar (örn., kaliper logları)
- Elektrik logları (örn., rezistivite, indüksiyon ve SP logları)
- Nükleer loglar
  a. Doğal nükleer loglar (örn., gama ve spektral gama logları)
  b. Yapay nükleer loglar (örn., yoğunluk ve nötron logları)
- Akustik (sonik) loglar (örn., çimento bağ logu, akustik kaliper logu)
- Basınç ve sıcaklık logları
- Kuyu akışkan logları (örn., iletkenlik, su kimyası, akış hızı logları)
- Görüntüleme logları (örn., dipmetre, akustik ve optik görüntüleme logları, kuyu kameraları)
- Özel loglar (örn., manyetik rezonans logu)

Kuyu log türleri farklı kriterlerle de kategorize edilebilirler, örneğin, sadece açık kuyularda alınan loglar, sadece muhafazalı kuyularda alınan loglar, hem açık hem de muhafazalı kuyularda alınan loglar, gibi. Bu sınıflamaya göre log türlerinin büyük bir kısmı ilk gruba girdiğinin söylenmesi yerinde olur. Amaca yönelik olarak, kaliper gibi kuyu çapını belirleyen bir logun sadece açık, muhafaza borusu çimentolama kalitesini belirlemeye yönelik CBL/VDL (cement-bond log/variable density log) loglarının da muhafazalı bir kuyuda alınması doğaldır.

Bu noktadan hareketle kuyu loglarının amaca yönelik genel bir sınıflamasını yapmak da mümkündür.

(i) Formasyon/litoloji/mineral tanımına, kayaçların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik loglar (örn., doğal gama, yerinde yoğunluk, jeokimyasal loglar, nötron porozitesi, sonik hız)

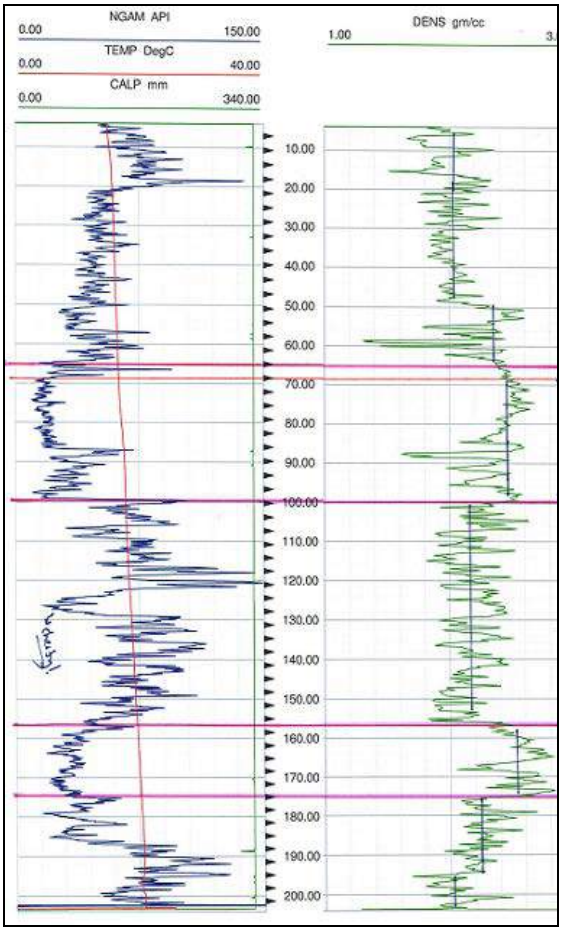
(ii) Kuyu geometrisi ve inşa kalitesini ya da bulunduğu güncel durumu tespite yönelik loglar (örn., kaliper, sapma, çimento bağ logu, boru serbest nokta logu, korozyon logları)

(iii) Kuyu içi şartları ve akışkan durumunu belirlemeye yönelik loglar (örn., basınç, sıcaklık, sıvı akışı, sıvı iletkenliği ve kimyası)

4 LOG UYGULAMA ÖRNEKLERİ

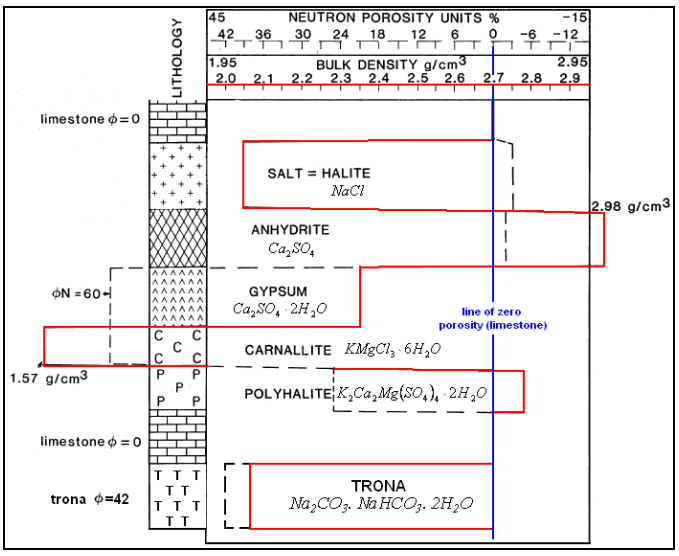
4.1 Formasyon ve Cevherli Zon Tayini

Şekil 6'da bir kuyuda alınan kombine doğal gama ve yoğunluk logu, formasyon giriş-çıkış seviyelerinin tayininde yardımcı olmuştur. Yine aynı log çizelgesinde yer alan sıcaklık logu formasyonun jeotermal gradyanını belirlemede kullanılabilir.



Şekil 6. Doğal gama ve yoğunluk logları kullanılarak formasyonların belirlenmesi.

Yoğunluk ve nötron porozite logları bazı formasyonların (hatta minerallerin) tanımlanmasında faydalı olmaktadır. Örneğin, evaporitik bazı minerallerin bu loglara verdiği tipik reaksiyon değerleri ile tespit edilmesi oldukça kolaydır (Şekil 7).

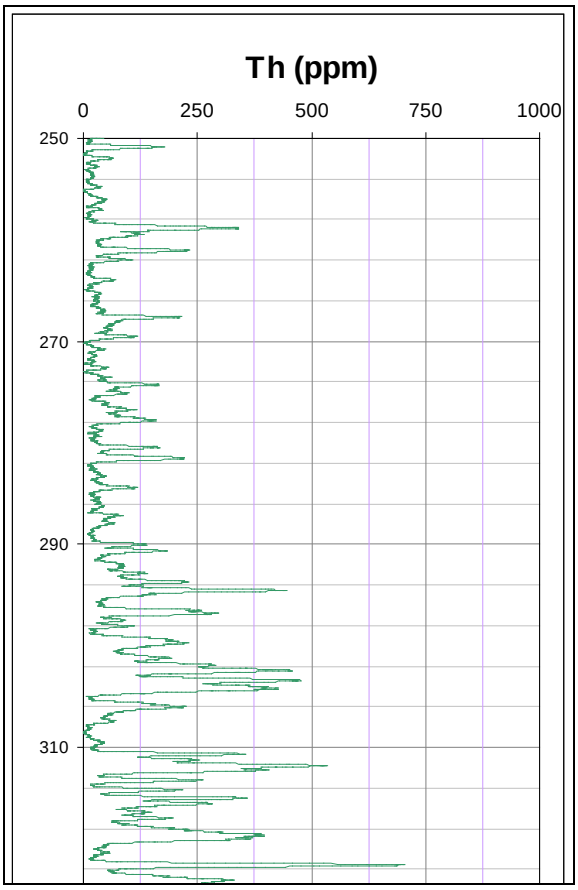


Şekil 7. Yoğunluk ve nötron porozite loglarına karşı bazı evaporitlerin verdiği aletsel tepki.

4.2 Jeokimyasal İçerik Tayini

Loglardan sağlanan element veya mineral konsantrasyonlarının laboratuvar analizlerini ikame etme potansiyeli, gelecekte maden aramaları için önemli bir husustur.

Gerçekten de ölçülen bazı log parametreleri doğaları gereği kayaç içindeki bir elementin veya mineralin konsantrasyonu hakkında fikir verebilmektedir. Örneğin doğal gama spektroskopi logu yardımıyla, gama ışıması veren U, Th ve K elementlerinin formasyondaki içerikleri belirlenebilir. Ancak, alınan sinyal ile içerik arasında uygun bir kalibrasyon sağlanması elzemdir. Bunda kuyu çapı ve kalitesi, kuyunun teçhiz durumu, kullanılan gama sensörünün boyutu ve türü gibi etmenler rol oynamaktadır. Konsantrasyonu bilinen kalibrasyon malzemeleri kullanılarak gama sayım miktarı ile içerik arasında bağıntı kurulmakta ve böylece kuyudan alınan sayım miktarları içerik (konsantrasyon) bilgisine dönüştürülmektedir. Şekil 8'de bu türdeki örnek bir logla toryumun ppm mertebesindeki içeriğinin derinliğe bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 8. Doğal gama spektroskopisi yardımıyla çizilen toryum içerik logu.

Birden fazla log parametresine bağlı olarak içerik tahminleri yapmak da mümkün olabilmektedir. Literatürde mineral ya da kayaçlara yönelik genel geçer ve belirgin kurallar olmamasına karşın, araştırmacılar amaca yönelik bazı sonuçlara ulaşabilmektedir. Örneğin, batı Teksas'taki kükürt aramalarında incelenen şeyl yapılarında, kükürt içeriğini iyi bir hassasiyetle tahmin eden aşağıdaki görgül bağıntılar geliştirilmiştir (Tixier ve Alger, 1970). Log sonuçları ve bu bağıntılarla elde edilen içerikler karot analiz değerleri ile iyi bir uyum sergilemektedir. Diğer sahalarda yapılacak benzer çalışmalarda burada kullanılan katsayıların revizyonu gerekecektir.

$$\Delta t = 122.0S + 47.5L + 125.0X + 189.0\phi \quad \text{.....(1)}$$

$$\rho_b = 2.03S + 2.71L + 2.30X + 1.00\phi \quad \text{.....(2)}$$

$$\phi_{SNP} = 0.00S + 0.00L + 0.25X + 1.00\phi \quad \text{.....(3)}$$

$$1.00 = 1.00S + 1.00L + 1.00X + 1.00\phi \quad \text{.....(4)}$$

Burada;

Δt : sonik yavaşlığı $(1/V_p)$ (µs/ft)

ρ_b : yerinde yoğunluğu (g/cc)

ϕ_{SNP} : SNP nötron logundan elde edilen bağıl kireçtaşı porozitesini ve

S, L, X ve ϕ: sırasıyla hacimsel fraksiyon olarak, kükürt, kireçtaşı, silt ve formasyon porozitesini temsil etmektedir.

Dikkat edilirse 1 – 4 no.lu bağıntılar lineerdir ve aşağıdaki matris eşitliği kullanılarak formasyondaki boşluk oranı ile birlikte, kükürt, kireçtaşı ve silt içerikleri tahmin edilebilir.

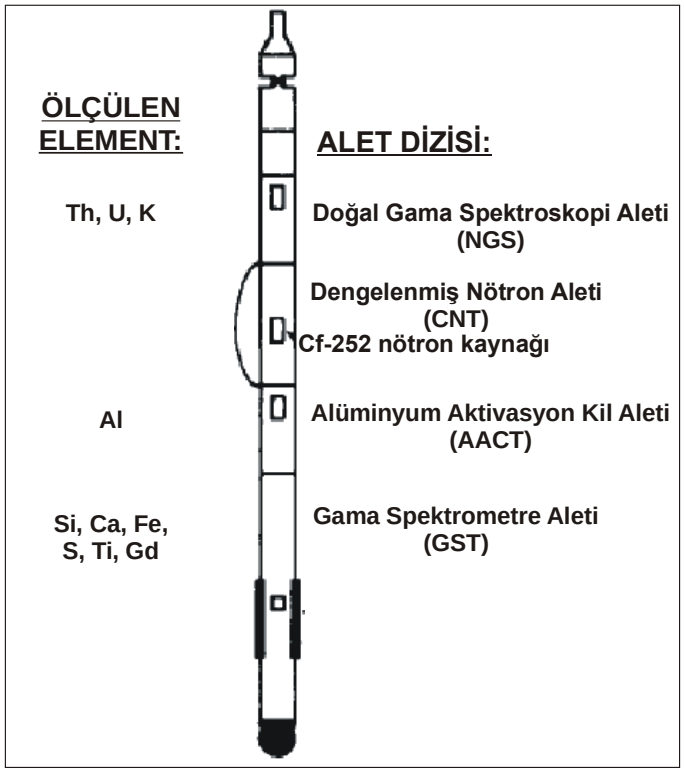
$$\begin{bmatrix} S \\ L \\ X \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 122.0 & 47.5 & 125.0 & 189.0 \\ 2.03 & 2.71 & 2.30 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.25 & 1.00 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta t \\ \rho_b \\ \phi_{SNP} \\ 1.00 \end{bmatrix} \quad \text{..... (5)}$$

Madencilik açısından ilgi konusu olan element içeriğini belirlemek üzere bazı spesifik log alımlarının yapılması da mümkün olmaktadır. Örneğin, lateritik topraklarda uygulanan açık ocak nikel madenciliğinde kullanılabilecek bir jeokimyasal log cihazı örneği Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu türde bir cihazla karotsuz şekilde hızlıca açılacak sığ sondaj kuyularında, yine hızlı bir şekilde nikel içeriği belirlenebilir ve düzensiz dağılım gösteren nikelin dağılım haritaları düşük bir maliyetle, son derece pratik şekilde oluşturulabilir. Delik içi analizörü olarak da anılan bu cihaz kömür, kireçtaşı veya bakır gibi hammaddeler için kalibre edilebilmektedir.

Şekil 9. Delik içi analizörü (Sodern, 2014).

Jeokimyasal logların teknolojik olarak geldiği en üst teknoloji spektrometre logları olup bunlar yardımıyla temel toprak elementlerinin büyük bir bölümü tespit edilip içerik yönüyle tetkik edilebilmekte ve laboratuar analizi yapılmaksızın formasyon içindeki dağılımları ortaya

konulabilmektedir. Şekil 10'da şematik olarak gösterilen jeokimyasal log aleti dizisi ile şeklin sol yanında sıralanan element içeriklerinin tespiti mümkün olmaktadır. Yine alınan ölçümlerden özel prosedürlerle Mg ve Na içerikleri de belirlenebilmektedir. Element içerikleri belirlendikten sonra oksit kapanım modeli adı verilen bir stokiyometrik tahmin modeli ile mineral içeriklerine dönüştürülmektedir (Hertzog vd., 1989). Bu bilgi, log alınan projenin kapsamına göre bir sedimantolog, bir arama jeoloğu veya bir petrofizikçi için eşsiz bir girdi oluşturacaktır.



Şekil 10. Jeokimyasal log alet dizisi (Hertzog vd., 1989).

4.3 Kayaçlarda Mekanik Parametrelerin Tayini

Elastik parametrelere ait temel bağıntılar genel bir hatırlatma yapmak maksadıyla aşağıda sunulmuştur.

$$\nu = \frac{V_p^2 + V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad \text{.....(6)}$$

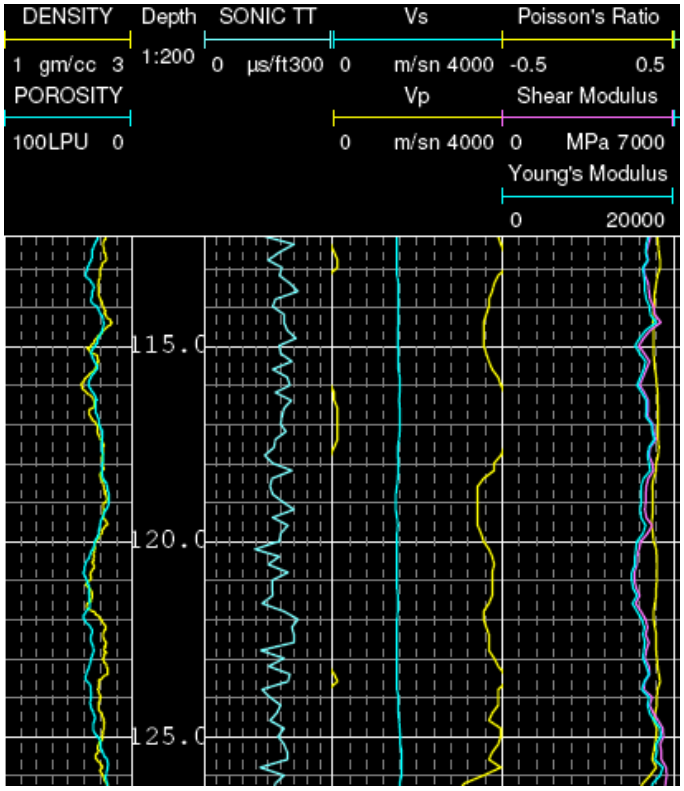
$$G = \rho_b V_s^2 \quad \text{.....(7)}$$

$$E = 2G(1+\nu) \quad \text{.....(8)}$$

Burada;

V_p : P dalga hızını ($1/\Delta t$) (m/s)
V_s : S dalga hızını (m/s)
ν : Poisson oranını
ρ_b : yerinde yoğunluğu (g/cc)
G : makaslama modülünü (MPa)
E : elastisite modülünü (MPa)
ifade etmektedir.

Dolayısıyla, peş peşe veya aynı ölçüm sırasında alınan sonik ve formasyon yoğunluk ölçümlerinin değerlendirmesi sonucu dinamik elastisite modülü ve Poisson oranının derinliğe bağlı olarak kesintisiz bir çizelge halinde değişimi ortaya konulmaktadır. Konvansiyonel bir laboratuvar testi ile bu türde bir sürekli değer dizisine ulaşmak mümkün değildir. Statik ve dinamik parametreler arasında bir korelasyon kurulabilirse aynı çizelge statik parametreler için de çizilebilir. Bu değerler, mühendislik projelerinde, özellikle temel tasarımlarında ve buna bağlı modelleme çalışmalarında esas girdi olarak kullanılabilir.



Şekil 11. Sonik ve yoğunluk logları yardımıyla türetilen mekanik parametreler.

Dolayısıyla, peş peşe veya aynı ölçüm sırasında alınan sonik hız ve formasyon yoğunluk bilgilerinin değerlendirmesi

sonucu dinamik elastisite modülü ve Poisson oranının derinliğe bağlı olarak kesintisiz bir çizelge halinde değişimi ortaya konulmaktadır. Konvansiyonel bir laboratuvar testi ile bu şekilde süreklilik arz eden bir parametre bilgisine ulaşmak mümkün değildir. Statik ve dinamik parametreler arasında bir korelasyon kurulabilirse aynı çizelge statik parametreler için de çizilebilir. Bu değerler, mühendislik projelerinde, özellikle temel tasarımlarında ve buna bağlı modelleme çalışmalarında esas girdi olarak kullanılabilmektedir.

Bir ortamdaki P dalgası hızı malzemenin mukavemeti ile doğru yoğunluğu ile ters orantılıdır. Sonik logdan doğrudan ölçülen sonik yavaşlık (hızın tersi) ile P dalga hızına ulaşılabilir (Glover, 2012). Başka bir deyişle mukavemetin, P dalga hızı ve yoğunluk çarpımı ile doğru orantılı olduğu da söylenebilir.

$$V_p \propto \frac{Mukavemet}{\rho_b} \quad \text{.....(9)}$$

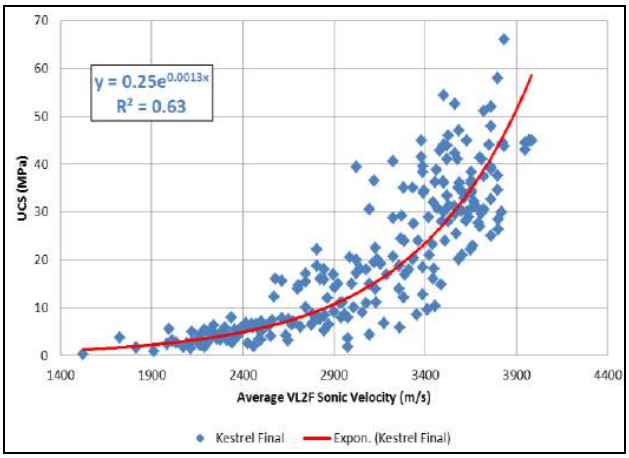
$$Mukavemet \propto V_p \rho_b \quad \text{.....(10)}$$

Yoğunluk verisi alınmasa dahi sadece sonik log verisi kullanılarak dalga hızı ile mukavemet arasında görgül bir ilişki kurmak mümkündür. Dünyada sonik log verisi ile kayaç dayanımı ilişkisinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Butel vd., 2014).

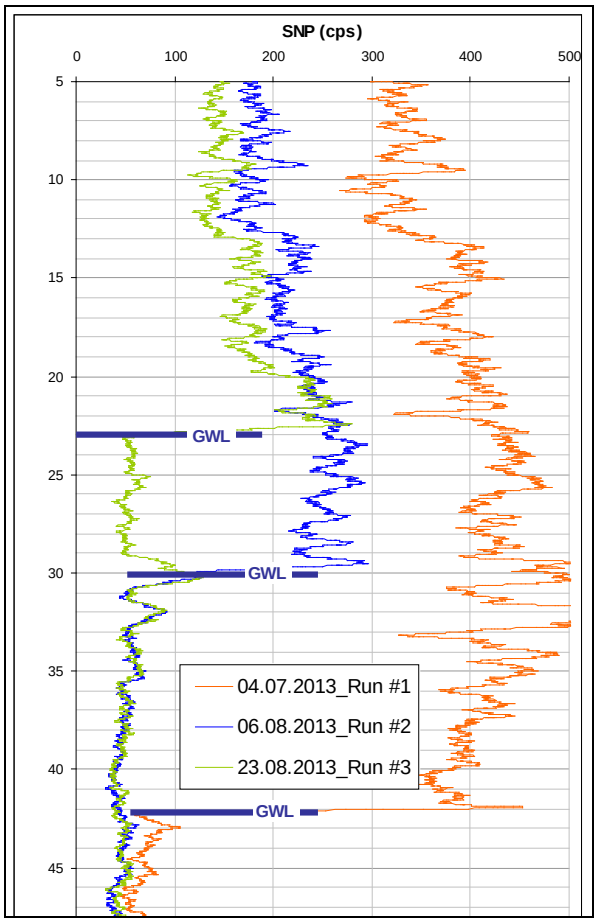
Şekil 12'de Avustralya'daki Kestrel Madeni'nde P dalga hızı ile tek eksenli basma dayanımı arasında kurulan üstel görgül bağıntı ve deneysel veriler sunulmaktadır. Herhangi bir sahaya ait korelasyon kurulduktan sonra sadece log çalışması ile dayanım parametresi kestirimi rahatlıkla yapılabilir. Yoğunluk logları da alındığında iki değişkenli bir bağıntı kurulması da mümkün olabilir.

4.4 Yeraltı Su Seviyesi ve Kalitesi Takibi

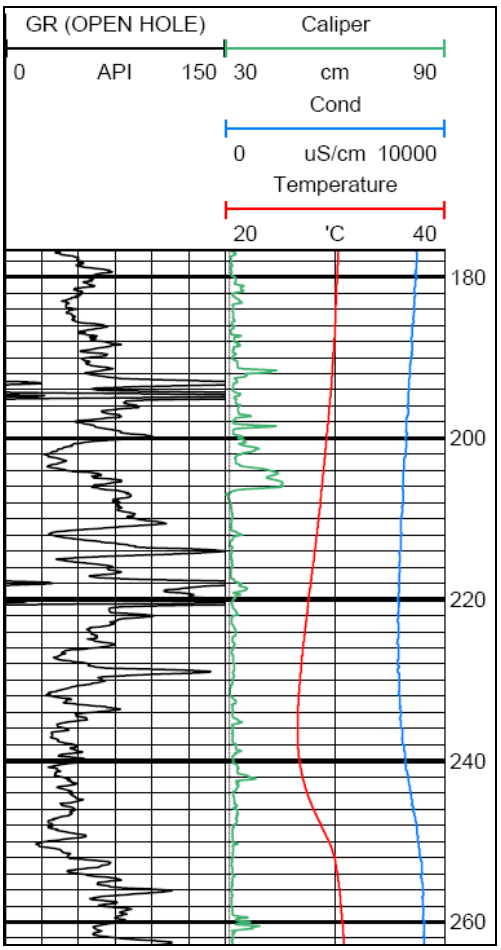
Daha konvansiyonel yollarla ölçülebilen basit bir parametre olmakla birlikte, yeraltı suyu seviyesi kuyu logları ile de tespit edilebilir. Kuyu içindeki suyun iletkenliğine yönelik loglar, rezistivite logları ve nötron logları yer altı su seviyesinin belirlenmesinde yardımcı olabilmektedir. Şekil 13'te aynı kuyuya ait su seviyesinin değişik tarihlerdeki değişimi nötron logu esaslı olarak verilmektedir. Ortamdaki atom çekirdekleri ile çarpışarak yavaşlayan (termalize olan) nötronlar, sensör tarafından sayılmaktadır. Dolayısıyla, ölçüm probu, suyun bulunduğu ortama girdiğinde nötronlar bol miktardaki hidrojen atomları ile çarpışarak daha çok miktarda soğrulmakta ve böylece sensöre daha az miktarda termalize nötron ulaşabilmektedir. Başka bir deyişle su içine girildiğinde sayım miktarı aniden azalmaktadır.



Şekil 12. Sonik log sonuçlarının tek eksenli basma dayanımı ile korelasyonu (Butel vd, 2014).



Şekil 13. Nötron logu ile statik yeraltı suyu seviyesinin zamana bağlı değişiminin belirlenmesi.



Şekil 14. Kuyu içi akışkan iletkenliği, sıcaklık, kuyu çapı ve doğal gama logları.

Su kimyası çalışmalarında, su kalitesini vurgulayan çok önemli bir parametre olan toplam çözünmüş katı miktarı (TDS) ve bunun doğrudan bir göstergesi olan iletkenlik kuyu logları ile rahatlıkla ortaya belirlenebilmektedir. Şekil 14'te bununla ilgili örnek bir log verilmekte, su iletkenliği mikro Siemens/cm birimi ile sunulmaktadır. Aynı logda yer alan sıcaklık logu da ilave yorumlar yapılmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin, 180-254 metreler arasında olağan jeotermal gradyan davranışını bozan sıcaklık düşüşünün formasyondan kuyuya doğru bir soğuk su girişinden kaynaklandığı da logdan çıkarılabilmektedir. Dolayısıyla bu aralık, basınçlı bir akifer zonunu işaret etmektedir.

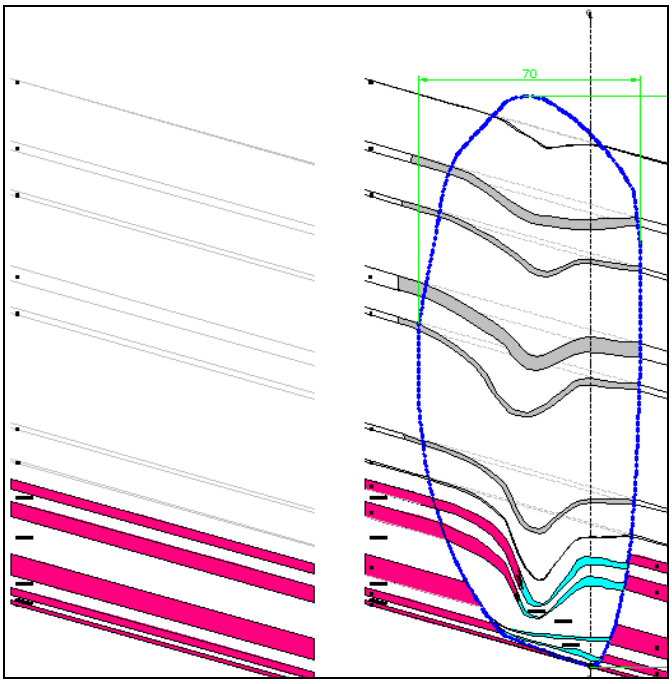
Hidrojeolojik inceleme ve izleme çalışmalarında kullanılmak üzere tasarlanmış çözünmüş oksijen, pH gibi ilave birçok su parametresinin takibine yönelik log propları bulunmaktadır (MSI, 2014c). Ayrıca istenen derinlikten akışkan/su örneği alınmasını sağlayan özel amaçlı proplar dahi mevcuttur.

4.5 Yeraltı Açıklıklarında Deformasyon İzlemesi

Bu son alt başlıkta loglara ilişkin özel bir uygulama sunulmaktadır. Cevher seviyelerinin veya birtakım karakteristik özellikler sergileyen kılavuz tabakaların madencilik öncesinde, madencilik sırasında ve madencilik sonrasında log alımları ile tespit edilmesi ile alınan cevher ve geride kalan tabakaların deformasyonları ortaya konulabilmektedir.

Zemin içi deformasyonların takibi için kullanılan ve gözlem kuyularına yerleştirilen koaksiyel kabloların kontrolüne dayalı TDR (time-domain reflectometry) yöntemi

özellikle uzunayak madenciliğinde ayak yaklaşması ve geçişinden sonra tavanda oluşan deformasyonları izlemede sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 15'te verilen örnekte buna benzer bir izleme çalışması yapılmıştır. Ancak, bu örnekte izleme amacıyla açılıp çelik muhafaza borusu ile koruma altına alınan birkaç gözlem kuyusu içinden alınan toplam doğal gama logundan faydalanılmıştır. Orijinal şartlarda gama logu ile konumu belirlenen kılavuz seviyeler, tavanda gevşeme zonunun gelişmesi ile yer değiştirmiştir.



(a) *(b)*

Şekil 15. Çok damarlı yapı sergileyen bir cevher yatağında, *(a)* çıkarım öncesi, *(b)* çıkarım sonrası tabaka dizilimlerinin kuyu logu ile ortaya konulması.

Cevher türünün ve çevre kayaçları karakterize eden her türlü kuyu logu benzer bir çalışma için kullanılabilir. Kuyu logları gözlem kuyularında TDR'de olduğu gibi özel bir kuyu tamamlaması gerektirmediği için işlem pratikliği ve maliyetler bakımından daha çok tercih edilebilir. Şekil 15'teki sunulan örnekte, litoloji korelasyonunda en yaygın şekilde kullanılan ve muhafazalı kuyularda da uygulanabilen doğal gama logu tercih edilmiştir.

Ancak, madencilik faaliyetlerini izleme amacıyla zaman içinde belli periyotlarda alınan loglarda ortam şartlarına dikkat edilmesi, yanlış yorumlara mahal vermemek bakımından şartlardaki değişimlerin değerlendirilmesi önemli bir konudur.

5 SONUÇ

Jeofizik kuyu loglarının, doğrudan doğruya madencilik ve dolaylı olarak madenciliğe destek olan jeoloji, hidrojeoloji, jeoteknik gibi alanlardaki uygulamaları bu makalede verilen örneklerin daha ötesine götürülebilir. Kuyu loglarına, literatürde sıklıkla rastlanan standart bazı uygulamaların ötesinde yaratıcı düşüncelerle çok farklı şekilde işlerlik kazandırılabilir.

Kuyu loglarının madencilikte tespit ve izleme faaliyetlerinde büyük bir uygulama potansiyeli olmasına karşın ülkemiz şartlarındaki önemli dezavantajlardan birisi de bu konuda hizmet sağlanabilecek kurum veya kuruluş sayısının yetersizliğidir. Bu nedenden ötürü, bazı uygulayıcı madencilik firmaları kendi log altyapılarını ve ekiplerini bünyelerinde teşkil etmektedirler.

KAYNAKLAR

Killeen, P.G., 1983. Borehole Logging for Uranium by Measurement of Natural Gamma Radiation, *Int. Journal of Applied Radiation and Isotopes*. Cilt: 34, Sayı:1, Ocak 1983, s.231–260.

Mount Sopris Instruments (MSI), 2014a. Web Sayfası, http://mountsopris.com/items/ql40-abi-2g-acoustic-televiewer/

Mount Sopris Instruments (MSI), 2014b. Web Sayfası, http://mountsopris.com/items/ql40-obi-optical-televiewer/

Mount Sopris Instruments (MSI), 2014c. Web Sayfası, http://mountsopris.com/items/ql40-ocean-water-quality-probe/

Tixier, M.P. ve Alger, R.P., 1970. Log Evaluation of Nonmetallic Mineral Deposits, Geophysics. Cilt: 35, Sayı: 1, Şubat 1970, s.124–142.

SODERN, 2014. Web Sayfası, http://www.sodern.com/sites/fr/ref/Downhole-Analyser_72.html

Hertzog, R., Colson, L., Seeman, B., O'Brien, M. Scott, H., McKeon, D., Wraight, P., Grau, J., Ellis, D. Schweitzer, J. ve Herron, M. 1989. Geochemical Logging with Spectrometry Tools, *SPE Formation Evaluation*, makale 16792, Haziran 1989, s. 153-162.

Glover, P.W.J., 2012. Petrofizik Yüksek Lisans Ders Notları, *Aberdeen Üniversitesi, Jeoloji ve Petrol Jeolojisi Bölümü,* s. 174.

Butel, N., Hossack, A. ve Kızıl, M.S., 2014. Prediction of In-Situ Rock Strength Using Sonic Velocity, *Proc. of Coal Operators' Conference*, University of Wollongong, Avustralya, s.89-102.

Porfiri Altın Sisteminde Tenör Kontrol ve QA/QC Uygulamaları - Kışladag Altın Madeni Örneği

Grade Control and QA/QC Applications in Porphyry Au Deposit-Kisladag Gold Mine Model

Y.Öztaş, A.Beliceli
Tüprag Metal Madencilik San.ve Tic.A.Ş Kışladag Altın Madeni, Uşak

ÖZET Altın madenciliği endüstrisinde tenör kontrolü en kritik işlerden birisidir. Tenör kontrol sistemin ilk adımı açık ocak içinden doğru numune alınmasıdır. Açık ocak üretiminde cevher ve pasa sınırları, patlatma deliklerden alınan numunelerden gelen analiz sonuçlarına göre belirlenir. Burada hatalı numune alınması yada analiz edilmesi, cevherin pasa, pasanın da cevher olarak tanımlanması ihtimalini doğurur. Bu da şüphesiz üretimi ve tesisi olumsuz yönde etkiler. Bunun yanı sıra kalite kontrol (QA/QC-Quality Assurance-Quality Control) numuneleri analiz sonuçlarının kalitesi üzerinde sayısal bilgi sağlar. Arazi şahit numunesi (field duplicate), cevher içermeyen numune (blank) ve tekrar üretilebilirlik numunesi (pulp duplicate), sonucu önceden bilinen standard numuneleri gibi QA/QC numunelerini toplamak ve onları analiz etmek potansiyel zaman ve para kaybı gibi algılansa da çalışmanın ve veri kalitesinin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak için gereklidir.

Kışladağ Altın Madeninde QA/QC numuneleri, laboratuvar analizlerindeki potansiyel hataların ortaya çıkartılmasında ve/veya varsa çevresel dış etkileri (numunelemedeki hatalar, numune hazırlama aşamasındaki hatalar gibi) saptamakta kullanılmaktadır. QA/QC numunelerinin yararlılığı onların ocak içinde ve laboratuvar ortamında doğru ve titiz bir şekilde toplanması ve işlenmesine bağlıdır. Her bir QA/QC numunesine açık ocaktan alınan diğer orjinal numunelerde olduğu gibi tüm iş akışındaki şekilde davranılması gereklidir. Bu bildiri hem açık ocak numuneleri için hem de QA/QC numuneleri için iş akışını anlatmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kışladağ Altın Madeni, QA/QC uygulamaları, tenör kontrolü

ABSTRACT Grade control is the one of the most critical works in the gold mine industry. The first step of grade control is to get reliable samples from pit. Ore and waste boundaries are determined by the assay results of the samples which are taken from blastholes. Incorrect sampling may result in that the ore is defined as waste, waste is defined as ore as well. Incorrect sampling effects the pit production and plant efficiency in a negative way. At the same time QA/QC (Quality Assurance-Quality Control) samples, which provide quantitative information on the quality of the assay results. QA/QC samples, such as blanks, pulps duplicates and certificated standarts can only add to the robustness of a study and are critical even despite a potential perceived lack of time and money to collect and assay them.

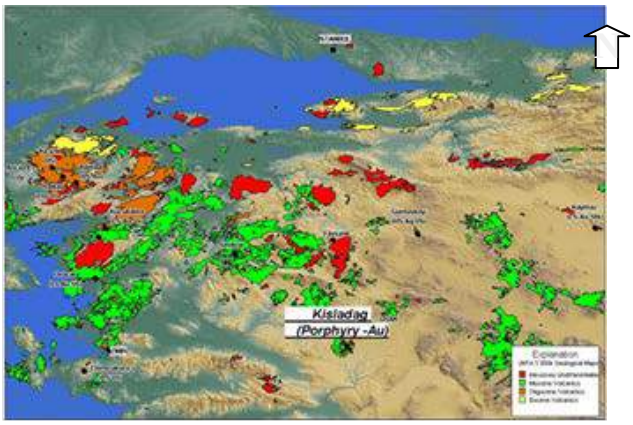
They can be used to account for any outside influences and offer insight into potential assay problems at Kısladag Gold Mine. The usefulness of QA/QC samples depends on how honestly they are collected and treated. Each of the QA/QC samples should be treated like other samples which are taken from open pit. In this paper, the workflow describes both open pit samples and QA/QC samples.

Keywords: Kışladağ Gold Mine, QA/QC applications, grade control

1 CEVHERLEŞME

1.1 Yerel Jeoloji

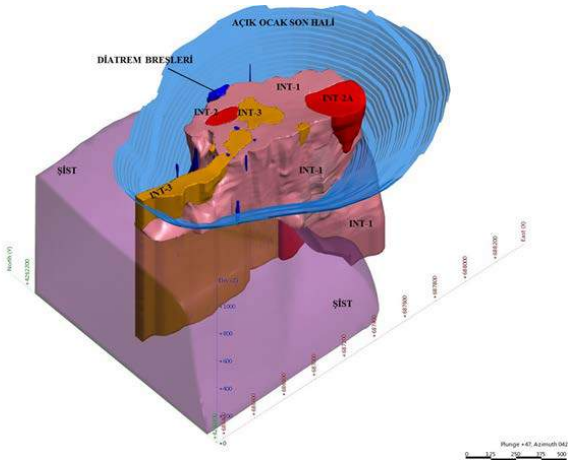
Kışladağ altın madeni İzmir ilinin yaklaşık 180 km doğusunda ve Ankara'nın yaklaşık 350 km güneybatısında, Uşak ilinde Ulubey ve Eşme ilçeleri sınırlarında yer almaktadır. Kışladağ, Batı Türkiye'deki orta-geç Tersiyer yaşlı birkaç volkanik kompleksten biri içerisinde yer almaktadır. (Şekil 1) Bölge batıda metamorfik temel üzerinde gelişmiş peneplen düzlükleri, doğuda yatay konumdaki Neojen sedimanter kayaçlardan oluşan platoları ve ortada bunlar arasında yer alan geniş volkan konilerini içermektedir. Altın cevherleşmesi bir dizi latitik sokulum kayacı içinde bulunmaktadır. Kışladağ yatağının içerisinde yer aldığı Gökgöz Tepe alterasyon zonu yaklaşık 12 kilometre karelik bir alanı kaplamaktadır. Gökgöz'de iri/orta taneli porfiritik latit altın cevherleşmesine ait ana kayaç olarak gözlenmekte olup bu ana kayaç yaygın ve yoğun hidrotermal alterasyona uğramıştır.



Şekil 1. Türkiye'nin batısındaki Tersiyer yaşlı volkaniklerin genelleştirilmiş haritası

1.2 Cevherli İntrüzyonlar

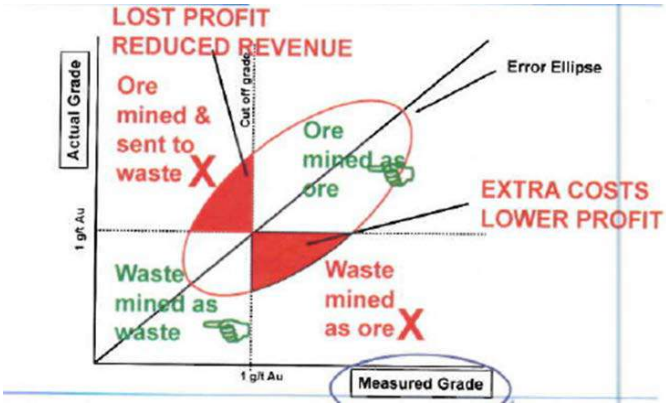
Bütün cevherli intrüzyonlar birbirine çok benzer jeokimyasal ve mineralojik komposizyona sahiptir. İntrüzyonlar arasındaki farklar fenokristal tane boyu ve hamurdaki küçük dokusal farklardır. INT-1, iri taneli bir porfiritik dokuya sahiptir ve cevherleşmenin büyük kısmını içerir. Ortalama tenör INT-1 için 0.9-1.0 g/t Au civarındadır. INT-2 gene latitik kompozisyondadır ve ve INT-1'e göre biraz daha az altere olmuştur ve ortalama olarak 0.7 g/t altın içerir. INT-2A çok kuvvetli bir kil alterasyonuna maruz kalmıştır ve genelde ortalama olarak 0.3-0.4 g/t altın içerir. INT-3 en ince taneli ve en genç latitik intrüzyondur ve tamamına yakını cevhersizdir. Kendisinden daha yaşlı olan INT-1-2 ve 2A'yı kesen dayklar şeklindedir (Şekil 2).



Şekil 2. Kışladağ jeolojisi 3 boyutlu görünüşü

2 ÜRETİM PATLATMA DELİKLERİNDEN NUMUNE ALIMI

Numune alımının, üretimi doğrudan etkileyebileceği görülmüştür. Üretimin ilk aşaması patlatma deliklerinin delinmesi ve numunesinin alınmasıdır. Numune alımı için yapılacak bazı işlemlerin zaman kaybına yol açtığı düşünülebilir. Ancak yanlış numune alınması halinde cevher ve pasanın birbirine karışma ihtimali ve üretimi etkilemesi söz konusudur. Bunun için zaman kaybı olarak düşünülen şey aslında doğru üretim için yapılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Tenör kontrolünde hata elipsi (Heberlein, D., 2014)

2.1 Delme

Açık ocakta jeoloji, planlanan üretim miktarı, jeoteknik verileri ve üretimde kullanılan makinaların teknik özelliklerine dayanarak basamak yüksekliği 10m olarak belirlenmiştir. Planlama esnasında belirlenen üretim poligonlarının delme ve patlatma krokileri Gemcom programı ile hazırlanmaktadır. Programda, delme işlemi öncesinde bu poligonlar topograflar tarafından yapılmış olan haritalandırma ile belirlenmiştir. Aylık ve yıllık plana uygun haftalık üretim planı dahilinde patlatılacak poligonlarda delik konumları belirlenerek delici makinalarla delik delme işlemi başlatılmaktadır.

Patlatılacak bölgedeki deliklerin derinlikleri inilecek kot farkının 10 m oluşundan dolayı ortalama olarak 10 m civarlarındadır. Bırakılan sub-drill (alt delgi) mesafesi standart 10 m'lik delik boyuna ek olarak yumuşak zeminde 0.5 m, sert zeminde 0.8 m olarak uygulanmaktadır. Run of mine (ROM) olarak adlandırılan yumuşak ve düşük tenörlü cevherde yaklaşık 3.6x4.1m, yüksek tenörlü cevherde yaklaşık 4.5x5.2m, pasada yaklaşık 4.8x6.2m yada 5.0x5.5m delik-yük mesafesi (spacing–burden) denkliğiyle delikler delinmektedir. İşletmede Tüprag A.Ş.'ye ait olmak üzere iki adet Atlas Copco DM45, üç adet Atlas Copco Pit Viper 235, bir adet ROCL6, bir adet ROCL8 bulunmaktadır. Bu ekipmanlarla numune alma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.2 Açık Ocaktan Numune Alımı

Numune alımında öncelikle tavaların ve delme platformunun çok sık temizlenmesi gerekmektedir (Şekil 4). Önceki delikten, tavalarda kalan az miktarda numune, toz, çamur vb malzeme veya platformdan gelecek malzeme diğer numunenin kirlenmesine yol açacak ve sonuçları olumsuz yönde etkileyecektir. Bunun için numune tavalarının ve delme platformundaki tablanın temizliği tenör kontrol aşamalarının arazide dikkat edilmesi gereken en önemli konusudur (Şekil 5).

Şekil 4. Numune tavalarının temizlenmesi

Şekil 5. Ekipman tablasının temizlenmesi

Kule dik delme pozisyona geldiğinde tavalar yerleştirilir ve delme işlemine geçilir. Kule delme pozisyonuna gelmeden önce tavalar zemine konursa önceki deliklere ait yapışan malzemeler kule platformu üzerindeki tabladan tavalara malzeme düşebilir bu da numunenin yanlış bir şekilde analiz edilmesine sebep olur.

Tavaların konulacağı zemin mümkün olduğu kadar düz olmalıdır. Dolan tavalardaki numune, barkodlu etiketleri yapıştırılmış numune poşetlerine konulmalıdır. Tavaları en geç her 5m'de bir numune torbasına boşaltmak gerekmektedir. 5m aralıklarda numune almak tavanın ölçülerine göre uyumludur. Tavaların taşması önlenmelidir. Delikten alınacak numune sub-drill kısmına kadar olan derinlikten alınır. Sub-drill (alt delgi) kısmı numunelendirilmez.

Delme işlemi tamamlandıktan sonra tavadaki numuneler poşetlere konur,

herhangi bir kontaminasyon olmaması için poşetlerin ağzı paket bandı ile sıkıca kapatılır (Şekil 6).

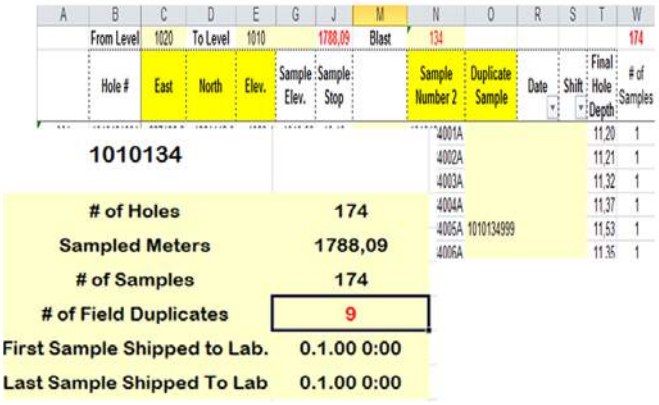
Şekil 6. Patlatma deliklerinden alınan numuneler

Tavalar her numune alımından sonra mutlaka temizlenmelidir. Gruptan toplanan numuneler ocakta bekletilmeden tutanak doldurularak Laboratuvara teslim edilir.

Platformdaki toz lastiğinin aşınma süresi kısa olduğundan sürekli olarak kontrol edilmelidir. Aşınmış lastikler mutlaka değiştirilmelidir. Çünkü aşınmış lastikler numunenin platformdan çıkmasına engel olamaz ve yine doğrudan numune alımını etkilemiş olur.

2.1.1 Arazi Şahit Numune Alınması (Field Duplicate)

Arazi şahit numuneleri bir patlatma poligonundaki numunesi alınan deliklerin %5 i kadardır (Şekil 7). Arazi şahit numunesi, aynı patlatma deliğinden alınan üretim numunesiyle birlikte alınmaktadır. Bu numuneler farklı bir numaralama ve barkotlama yapıldıktan sonra diğer üretim numuneleriyle birlikte laboratuvara taşınır. Arazi şahit numunelerinin alınmasındaki asıl amaç aynı zamanda ve aynı kaynaktan alınan numunenin toplanması, taşınması esnasında çevresel bir kontaminasyonu ayırt etmektir. Ayrıca numunelendirilen metaryelin homojenliği ve analitiksel doğruluğu hakkında bilgi sağlar.

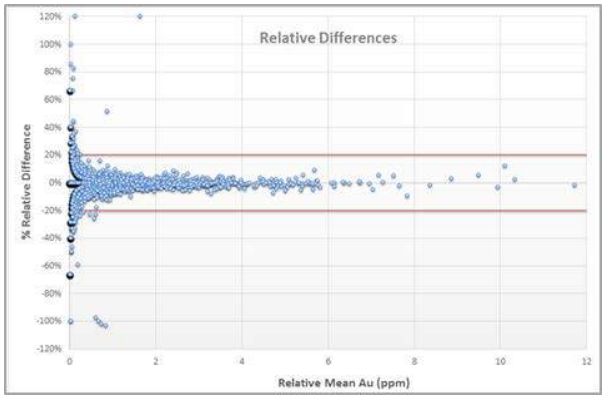


Şekil 7. Patlatma ve duplicate numunesi için transmittal listesi

Arazi şahit numuneleri, delici operatörüne verilen listede yerleri belirtilmiştir. Delici makinanın operatörü, numuneciye arazi şahit numunesi sırası geldiğinde haber verir. Arazi şahit numuneleri alınacağı sırada delici ekipmanın kulesinin altına 4 tava birden yerleştirilir. Bu sebeple bir delikte 4 adet numune torbası olmalıdır (Şekil 8).

Şekil 8. Arazi şahit numunesinin toplanması

Kışladağ altın madeninde analizlerin tenör değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olması için analiz edilen numunelerin relatif farkının arazi şahit numuneleri (field duplicate) için ± % 20 sınırları içerisinde, tekrar üretilebilirlik (pulp duplicate) numunelerinin ise ± % 10 sınırları içerisinde olması gerekir. Dedection limitin altında gelen tenör sonuçlarında relatif sapma yüksektir (Şekil 9).



Şekil 9. Arazi şahit numuneleri için relatif fark grafiği

2.1.2 Cevher içermeyen kontrol numunesi (blank)

Kışladag Altın Madeninde cevher içermeyen kontrol (blank) numuneleri, kapsamlı bir tenör kontrol veritabanının önemli bir parçasıdır. Kontrol numune hazırlama ve analiz sırasında olabilecek kontaminasyonları kontrol etmek için kullanılmaktadır. Kontrol numunelerinin birçok formu kullanılmaktadır. Bu formlardan biri de açık ocakta pasa olduğu kesin bilinen bir lokasyondan yeterli miktarda oksitli ve sülfitli malzeme toplanmasıdır. Bu malzemenin matriksi ve karakteristik özellikleri üretim ve arazi şahit numuneleri ile özdeştir. Toplanan numuneler, barkotlu ve numaralandırılmış şekilde numune torbalarına konup yurtdışında özel ve uluslararası akreditasyona sahip bir laboratuvara analiz edilmesi için gönderilmektedir. Bu numunelerin içerisinde cevher olmadığı teyit edildikten sonra Kışladağ Altın Madeninde QA/QC için blank olarak kullanılmaktadır.

Bu kontrol numuneleri, her patlatma poligonunda numune sayısının %1 ile %3 arasında test edilmesi için konur. Kontrol numuneleri ocaktan gelen numuneler ile birlikte eş zamanlı olarak laboratuvara teslim edilir. Laboratuvar personeli hangi numunenin orijinal, hangisinin tekrar, hangisinin kontrol olduğunu bilmemektedir.

Kışladag Altın Madeni laboratuvarı Au tenörü <0.01 ppm (10 ppb) dedection limit (tespit edilebilir limit) ile çalışmaktadır.

2.3 Tekrar Üretilebilirlik Numunesi (Pulp Duplicate Numunesi)

Analitiksel değişkenlik kaynağına karar vermede ve bu değişkenliğin miktarını belirlemede iki numunenin karşılaştırılması yararlı olmaktadır. Arazi şahit numunelerine göre hassasiyet daha fazladır, tekrar üretilebilirlik numuneleri, arazi şahit numunelerine göre daha homojen olduğu düşünülmektedir. Tekrar üretilebilirlik numuneleri arasındaki analitiksel hassasiyet standart sapma ile hesaplanır (Geboy, N., Engle M., 2011).

Üretim gruplarında delinmiş olan patlatma deliklerinden %5 kadarı tekrar üretilebilirlik numunesi olarak seçilir. Tekrar üretilebilirlik, öğütülmüş (pulverize edilmiş) yaklaşık 200gr numunenin belli bir miktarının bölünmesiyle tekrar analizinin yapılması işlemidir.

Çizelge 1. Haftalık pulp listesi

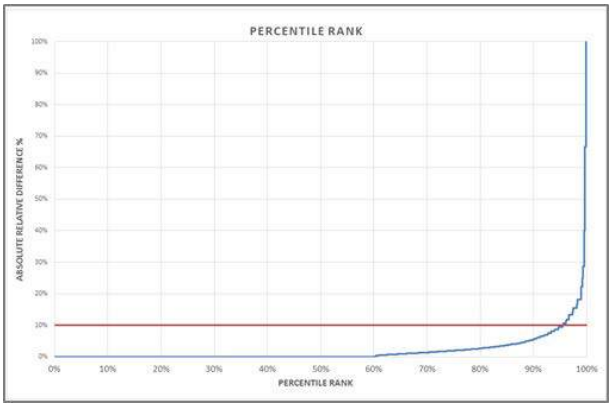
No	BLAST	SAMPLE#	TRAVERSE	Pulp #
1	920164	920164005A	920164005	**1500022259**
2	920164	920164025A	920164025	**1500022334**
3	920164	920164051A	920164051	**1500022258**
4	920169	920169011A	920169011	**1500022302**
5	920169	920169025A	920169025	**1500022310**
6	920169	920169043A	920169043	**1500022294**
7	920169	920169063A	920169063	**1500022282**
8	920169	920169079A	920169079	**1500022251**
9	920169	920169101A	920169101	**1500022286**
10	920169	920169113A	920169113	**1500022303**

Önceki haftada verilen en son pulp numarasını takip edecek numara ile orijinal numaraların değiştirilmesi sağlanmaktadır. (Çizelge 1). Numaraların uygunluğunun kontrolünden sonra laboratuvardan özel kağıt torbada gelen numune, yeni pulp numaralı naylon torbaya boşaltılır (Şekil 10).

Numunelerin üzerine dizileceği sehpalar temiz olmalıdır. Bu sehpaların pulp numuneleri üzerinde çalışmaya başlamadan önce mutlaka yıkanarak temizlenmesi sağlanır. Bu şekilde önceden kalmış olması muhtemel döküntüler, numuneler üzerinde kontaminasyon yaratabilecek etkiler giderilir.

Şekil 10. Numunelerin yeni pulp numaraları ile eşleştirilmesi

Kışladağ altın madeninde tekrar üretilebilirlik numunelerinin analizlerinde tenör değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olması için relatif farkının ± % 10 sınırları içerisinde olması gerekir (Şekil 11). Aşağıdaki grafik %10 dan az sapma yapan numune yüzdesini göstermektedir.



Şekil 11. Relatif fark-sıralama yüzdesi grafiği

2.4 Sertifikalı Standart Numune

Kışladag altın madeninde kullanılan sertifikalı standartlar, laboratuvarın takip dogruluğunu onaylamak için önceden tenörü bilinen numunelerdir. Yani bilinen sonuç üzerinden laboratuvar performansı test edilir. Analiz edilen gruplar arasında ve kendi içinde önemli sapmaları laboratuvar kalite kontrol presüdürlerini uygularken kullanılır.

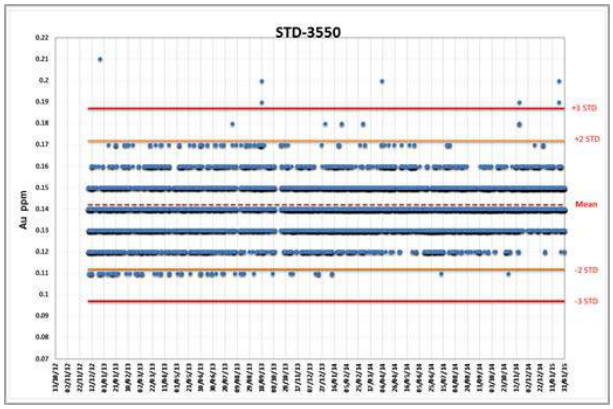
Kisladag'da kullanılan sertifikalı standartlar maden sahasından toplanan malzemeden yapılmış olup standard numune hazırlaması konusunda uzmanlaşmış laboratuvarlarda özel olarak hazırlatılır. Standard numunesi hazırlatılırken Kışladağ cevherinin kullanılmasının amacı analizi yapılan patlatma numuneleri ile aynı özelliklere sahip malzeme kullanmaktır. Standard numuneleri hazırlanırken rastgele seçilen numuneler, Kışladağ altın madeni laboratuvarıda dahil olmak üzere 5-10 farklı uluslararası akreditasyonu olan özel laboratuvarlara gönderilerek sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilir (Çizelge 2). Standartlar 3 farklı tenör aralığında 1 set oksitli, 2 set sülfitli malzemeden, biri cevherli olmak üzere ikisi pasada standart numuneler oluşturulmuştur. Bu 3 farklı standartlar her 15 numunede bir sırasıyla seriye konur (Şekil 12).

Şekil 12. Sertifikalı standart kaplar

Çizelge 2. Kışladağ standart metodları

Location	Standard Name	Assay Method	Mean Value	Two Standard Deviation	Rock Type	Oxide/Sulfide
Kisladag	SP003523	FA Au	0.184 g/t	0.024 g/t	INT-3	Sulfide
Kisladag	SP003523	Aqua Regia Au	0.193 g/t	0.028 g/t	INT-3	Sulfide
Kisladag	OP003550	FA Au	0.145 g/t	0.018 g/t	PYCL	Oxide
Kisladag	OP003550	Aqua Regia Au	0.142 g/t	0.030 g/t	PYCL	Oxide
Kisladag	SC003530	FA Au	0.872 g/t	0.048 g/t	INT-1	Sulfide
Kisladag	SC003530	Aqua Regia Au	0.828 g/t	0.078 g/t	INT-1	Sulfide

Üç farklı standart için yapılan Aqua Regia altın analizleri, ortalama, +2Std, +3Std, -2Std, -3Std standart deviyasyonlarda hazırlanmış grafiğe aktarılarak laboratuvar performansı test edilir (Şekil 13).



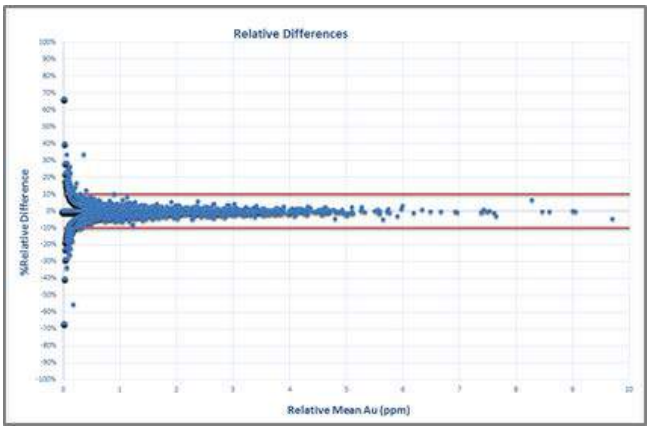
Şekil 13. Sertifikalı standart numunelerinin Au analizleri

2.5 Tekrar Edilebilirlik Numunesi

Günlük üretim patlatma deliklerinde gelen numuneler laboratuvarda bölme, kurutma, öğütme işlemleri yapıldıktan sonra pulp haline gelmiş numunelerden tartım aşamasında rastgele içlerinden 5 tanesi seçilir pulplardan 50 şer gram numune ayrılarak ayrı bir pakete konur ve orjinal numarasından farklı bir etiket verilmek süretiyle bu beş numune diğer numunelerle birlikte asitleme, ekstraksiyon ve atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) işlemleri görür. Gelen sonuçlar orjinaliyle karşılaştırılmak suretiyle hassasiyeti ortaya konmaya çalışılır.

Burada yapılmak istenen asıl amaç günlük olarak analizlere etki edebilecek personal, ekipman, vardiya, asit vb. etkenlerin incelenip sonuça negative etki edenlerin düzeltilmesidir.

Kışladağ altın madeninde analizlerin tenör değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olması için analiz edilen numunelerin relatif farkının ± % 10 sınırları içerisinde olması gerekir (Şekil 14).



Şekil 14. Tekrar edilebilirlik numunelerinin relatif farkının değişimi grafiği

3. SONUÇLAR

1- Sağlıklı bir QAQC yapılabilmesi için numune tavalarının ve delme platformundaki tablanın temizliği, numune torbalarının doğru etiketlenmesi, herhangi bir kontaminasyona fırsat vermeden paketlenmesi ve taşınması tenör kontrol aşamalarının arazide dikkat edilmesi gereken en önemli konusudur.

2- Doğruluk, tutarlılık ve kontaminasyon QA/QC analizlerinin en önemli parametreleridir. Kışladağ Altın Madeninde doğruluk için sertifikalı standartlar, kontamisyon olup olmadığı için cevhersiz kontrol numuneleri (blank), tutarlılık için arazi şahit numuneleri (field duplicate) ve tekrar üretilebilirlik (pulp duplicate) numuneleri kullanılmaktadır.

3- Laboratuvardan gelen sonuçları takip etmek ve yorumlamak için en iyi method kontrol grafikleridir (şekil 9, 11, 13, 14 gibi). Bu grafikler laboratuvardan gelen sonuçların kabul edilebilir yada olmadığı hakkında bilgi verir.

KAYNAKLAR

Heberlein, D., 2014. *Principals and Strategies in Exploration Geochemistry*, Short Course, 99 s, İstanbul.

Geboy, N., Engle M., 2011. Quality Assurance and Quality Control of Geochemical Data: A Primer for the Research Scientist, Open –File Report 2011-1187, (s.9-14).

Uzaklığa Bağlı İlişkiyi Kullanan Regresyona Dayalı Bir Algoritmayla Mineral Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Mineral Resources Assessment via a Spatial Correlation-Based Regression Algorithm

S. Çoban
Polimetal Madencilik, Ankara

B. Tütmez
İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

ÖZET Maden yataklarının değerlendirilmesinde; geleneksel istatistiksel yaklaşımlara ek olarak, doğal yapının heterojenliği, ölçüm sayısının maliyet ve zaman gibi parametrelerle kısıtlı olması gibi nedenlerle arazi koşullarını ve 'uzaklığa bağlı değişkenliği' dikkate alan gelişmiş kestirim tekniklerinin kullanımı zorunlu olmaktadır**.** Bu çalışmada, genelleştirilmiş doğrusal sistemleri (GLS) esas alan regresyon kriging (RK) yöntemiyle çoklu metal içeren bir maden yatağında parametre (tenor) kestirimleri gerçekleştirilmiştir. Modelleme yaklaşımı uzaklığa bağlı ilişkiyi ve yardımcı değişkenleri bir arada aynı hesaplama yöntemi içinde kullanmaktadır. Bu yolla kestirim hatalarını esas alan bir yaklaşımla performansı yüksek bir modelin önerilmesi amaçlanmaktadır. Test çalışmaları dikkate değer bir performansı ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: GLS, RK, jeoistatistiksel yönem, modelleme

ABSTRACT To appraise the mineral resources; in addition to conventional statistical approaches, it is necessary to use advanced estimation techniques which utilize spatial variability and geographical conditions, due to natural heterogeneity, limited number of observations resourced from time and cost. In the present study, grade estimations for multi-metal resources were carried out using generalized least squares (GLS) based regression kriging (RK) method. The model structure employs spatial relationship and auxiliary variables in the same computing method. By this way, it is aimed to suggest a high performance model which considers the prediction errors. Testing works showed a notable performance.

Keywords: GLS, RK, geostatistical approach, modelling

1 GİRİŞ

Maden rezervlerinin belirlenmesi, tenör ve kalınlık gibi parametrelerin kestirimini zorunlu kılmaktadır. Çok sayıda sondaj ve benzeri ölçüm yapılması özellikle zaman ve maliyet gibi parametrelerle sınırlanmaktadır. Bazen ise bu sınırlamayı teknolojik zorluklar (arazinin yapısı gibi) yaratabilmektedir. Sonuçta belirli sayıda ölçüm ile maden sahasını en iyi tanımlayabilecek modelin oluşturulması önem taşımaktadır.

Maden kaynakları tükenebilir kaynaklar olup bu kaynakların ekonomik olarak işletilebilmeleri rezerv ve tenörlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Rezerv ve tenörünün doğru tespit edildiği mineral kaynakları, tesis yatırımları ve uzun vadeli maden üretim planlamalarının yapılmasında önemli avantajlara sahip olmaktadır. Piyasa

şartlarında değişkenlik gösteren mineral fiyatlarının yapılan madencilik faaliyetine etkilerini asgari düzeye indirmesi yanında ekonomik olan kısımların işletilebilmesine olanak tanıması nedeniyle de etkili rezerv/tenör tahmini önem taşımaktadır.

Maden yataklarının değerlendirilmesinde klasik matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlara ek olarak son yıllarda jeoistatistiksel yöntemlerin öneminin arttığı görülmektedir. Bazı yeni çalışmalarda ise; esnek hesaplama yoluyla rezerv parametrelerinin tahmin edilmesi yoluna gidilmekte ve bu yeni yöntemlerin başarısı çeşitli performans ölçümleriyle desteklenerek sunulmaktadır (Sinclair and Blackwell, 2002).

Jeoistatistiksel yöntemlerin en önemli üstünlüğü, verilerin uzaysal konumlarını ve uzaklığa bağlı ilişkilerini (spatial correlation) dikkate alarak çözüm üretmeleridir (Tercan ve Saraç, 1998). Kriging kestirimi, uzaklığa bağlı ilişkinin esas olarak alındığı en yüksek performansa sahip analiz yöntemi olarak literatürde geniş kabul görmektedir.

Regresyon yaklaşımı ile kriging kestiriminin birleşiminden oluşan Regresyon Kriging (RK) model yapısı, geleneksel Ordinary Regresyon (OR) ile Ordinary Kriging (OK) yöntemlerinin birleşimidir (Hengl, 2007). Bu çalışmada, Genelleştirilmiş Doğrusal Model (Generalized Least Squares - GLS) ile OK yaklaşımı hataların jeoistatistiksel modellenmesi perspektifi üzerinden bir arada aynı modelde birleştirilmiş ve bir metalik maden yatağına uygulanmıştır.

Metalik maden yatağından alınan örneklerin analiz sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak maden yatağı içerisinde yer alan bakır (Cu) tenörlerinin uzaklığa bağlı ilişki yardımı ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Analiz, cevherleşmenin boyutlarını ve arama çalışmları kapsamında yapılacak olan yarma veya sondaj lokasyonlarının tespit edilmesi açısından büyük fayda sağlayabilecektir.

2 YÖNTEM

2.1 Uzaklığa Bağlı İlişki ve Jeoistatistiksel Kestirim

Uzaklığa bağlı ilişki, jeoistatistiksel hesaplama yöntemlerini klasik rezerv/tenör hesaplama yöntemlerinden ayırır ve üstünlüğünü ortaya koyar. Klasik rezerv hesaplama yöntemleri (poligon, üçgen, kesit) ilgili kestirim alanları içerisinde tenör değerlerinin değişmediğini, dolayısıyla tenör değerleri arasındaki farkın uzaklığın fonksiyonu olmadığını varsayar. Gerçekte, tenör değerleri arasındaki farkın bunlar arasındaki uzaklık arttıkça artması veya azaldıkça azalması beklenir. (Webster and Oliver, 2004).

Bir maden yatağının, ölçüm değerleri ve bu değerler arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak değerlendirilmesi yatağın uzaysal konumunu ve heterojenliğini bir arada değerlendirmeyi olanaklı kılar. Bu amaçla çeşitli jeoistatistiksel model yapıları geliştirilmiştir. Genel olarak jeoistatistiksel kestirimin üç temel aşaması: (1) uzaklığa bağlı ilişkinin belirlenmesi, (2) variogram modelin oluşturulması,(3) kestirim için kriging uygulamasıdır.

Variogram fonksiyonu veri setinin saha içerisinde ne kadar değişiklik gösterdiğini tanımlaması açısından önemlidir. Bu noktalar arasındaki değişiklik semivariogram kullanılarak ölçülür.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \qquad (1)$$

$N(h)$, örnek çiftlerinin sayısını, $Z(x_i)$ ve $Z(x_i+h)$ is tenör gibi ölçüm değerlerini göstermektedir. Bir deneysel variogram yapısı farklı lokasyonlardaki örnekler kullanılarak hesaplandıktan sonra ağırlıklı en küçük kareler yöntemi gibi yöntemlerle parametrik variogram modeli oluşturulabilir (Cressie 1993).

Variogram model parametreleri ve değerleri kriging kestiriminin esasını oluşturmaktadır. Ordinary Kriging (OK), ölçülmemiş lokasyonlardaki değişken

değerlerinin tahminini içeren ağırlıklandırmaya dayalı bir yöntemdir.

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

Burada $Z^*(x_0)$ kestirilecek değeri, $Z(x_i)$ mevcut ölçüm değerlerini ve λ ise sistemin çözümündeki ağırlıkları göstermektedir. (Goovaerts 1997).

2.2 Hataların Kestirimine Dayalı Genelleştirilmiş Doğrusal Analiz

Regresyon veya Universal Kriging olarak literatürde yer alan hesaplama tekniği, bölgeselleşmiş değişkenin durağansızlık (non-stationary) durumunda (trend mevcut olduğunda) kestirimine olanak sağlayan gelişmiş bir tekniktir. Uzaklığa bağlı ilişkinin var olduğu bir sistemde büyük ölçekteki değişim, değişkenlerin bilinen fonksiyonlarının doğrusal bileşimi olarak düşünülür. Bu yöntemde, hedef değişkenin regresyonu yanında regresyonla oluşan hataların kriging kestirimi de kullanılır (Tutmez and Dag, 2013).

Eşitlik (3)' te görüldüğü gibi bir model, drift veya trend olarak tanımlanan ana yapı ile hataların birleşimidir.

$$\hat{z}(k_0) = \hat{m}(k_0) + \hat{e}(k_0) \quad (3)$$

Modelin drift kısmı doğrusal regresyon ile elde edilebilirken ve ikinci bileşeni olan hata terimi OK yöntemi ile kestirilerek ikinci aşamada kestirime dahil edilir.

$$\hat{z}(k_0) = \sum_{i=0}^{p} \hat{\beta}_j + q_j(k_0) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i e(k_i) \quad ; q_0(k_0) = 1 \quad (4)$$

İkinci aşamada hataların kestiriminde kullanılacak kovaryans fonksiyonunun belirlenmesinde OR yerine GLS yaklaşımı kullanılarak daha güçlü bir model yapısına ulaşılması hedeflenmiştir.

$$\hat{B}_{GLS} = (q^T.C^{-1}.q)^{-1} q^T.C^{-1}.z \quad (5)$$

Burada β_{GLS} tahmin edilen drift model katsayılarını; *C*, hataların kovaryans matrisini; *q*, bağımsız değişken matrisini ve *z* ise hedef değişkenin gözlem değerlerini göstermektedir. gözlemlenen z değerlerinin değişkenliğini göstermektedir.
Sonuçta kestirim modeli aşağıdaki gibi şekillenir.

$$\hat{z}(k_0) = q_0^T.\hat{\beta}_{GLS} + \lambda_0^T.(z - q.\hat{B}_{GLS}) \quad (6)$$

Burada λ_0 ise n kriging vektörünün haralarının ağırlığını kullanır.

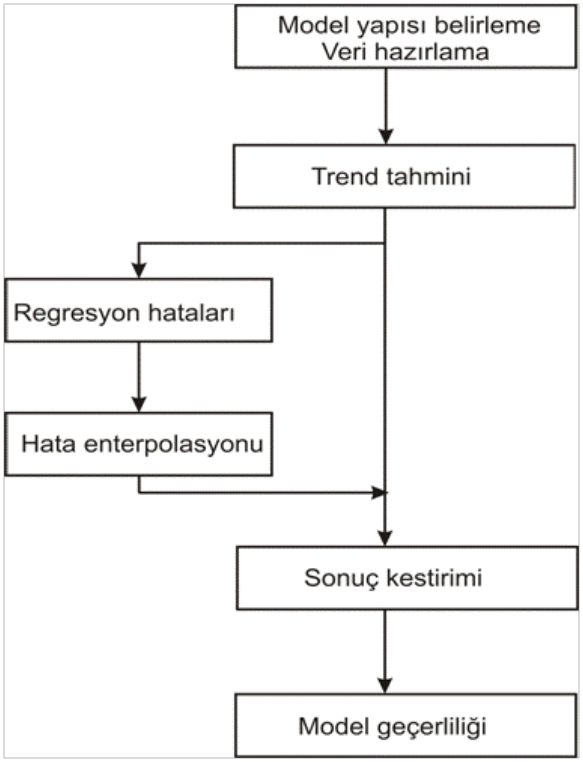
3 UYGULAMA

3.1 Sahanın Jeolojisi

Çalışma sahasının yer aldığı Ordu Akoluk çevresinde çeşitli volkanik ve sedimanter kayaçlar egemendir. Bunların yaşları Jura ile Eosen arasında değişmektedir. Çalışma alanında en yaşlı kayaç birimi olarak Üst Kretase yaşlı trakit- trakiandezit lav anglomeralar izlenmektedir. Bu birim üzerine uyumlu olarak volkano sedimanter seri gelmektedir. Bu birimlerin üzerinde tersiyer yaşlı dasitik trakitik tüfler ile tüm bu birimleri kesen dasitler ile bazaltik dayk ve siller yerleşmiştir (MTA, 1991).

3.2 Veri Seti ve Model

Akoluk bölgesine ait çok metalli toprak verisini içeren set 250 ölçüm değerinden oluşmaktadır. Öncelikle veriler 0-1 değerleri arasında standartlaştırılmıştır. Jeoistatistiksel analiz çalışmaları test verisi üzerinden değerlendirildiğinden, 200 veri model oluşturmak için ve 50 veri de test çalışmaları için ayrılmıştır. Çalışmada Cu test değerleri koordinat verilerinden haraketle tahmin edilirken, modelin oluşturulmasında yardımcı değişkenler Pb ve Zn ölçümlerinden yararlanılmıştır. Şekil 1 geliştirilen modelin yapısını ve aşamalarını ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Model yapısı

Model çalışması öncelikle veri analizi ve trend tahmini aşamalarını içermektedir. Daha sonra regresyon hataları tahmin edilmekte ve bu hatalar OK yöntemiyle kestirilerek ana modele eklenmektedir. İkinci aşamada ana modelin trend bölümü ve kovaryans yapısının belirlenmesinde GLS yaklaşımı kullanarak birinci aşamaya benzer aşama tekrar edilmektedir. Birinci ve ikinci aşamada GS^+ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen hataların variogram analizleri Şekil 2 ve 3' te özetlenmiştir.

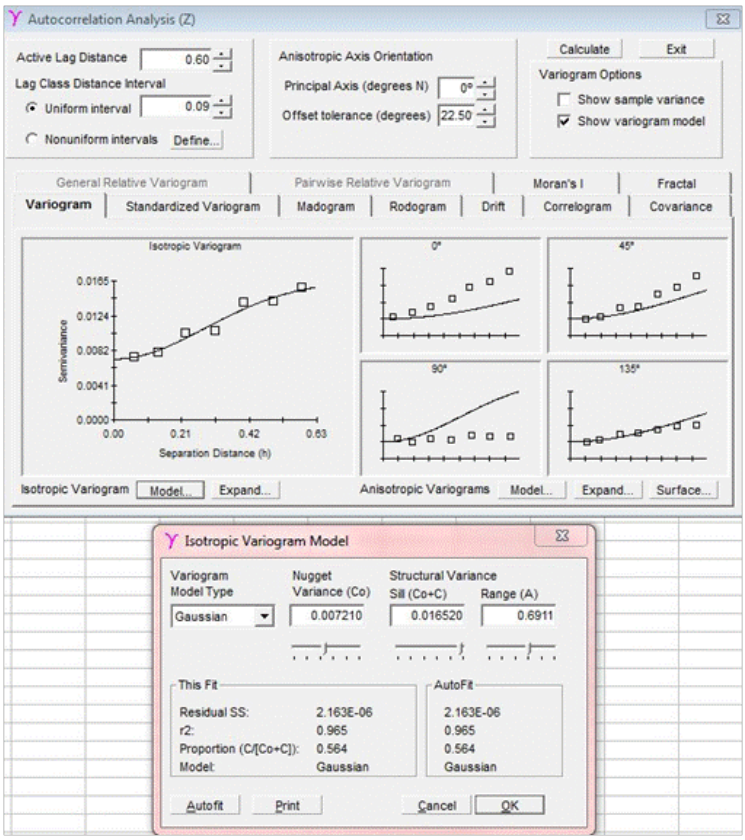
İkinci aşamada elde edilen model, test verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Burada yönteme ilişkin vurgulanması gereken en önemli nokta; test verisinde yer alan yardımcı değişkenler (Zn, Pb) kullanılmadan, sadece Kartezyen koordinat değerleriyle test için ayrılan Cu tenörlerine ilişkin kestirim yapılabilmesidir.

3.3 Değerlendirme ve Tartışma

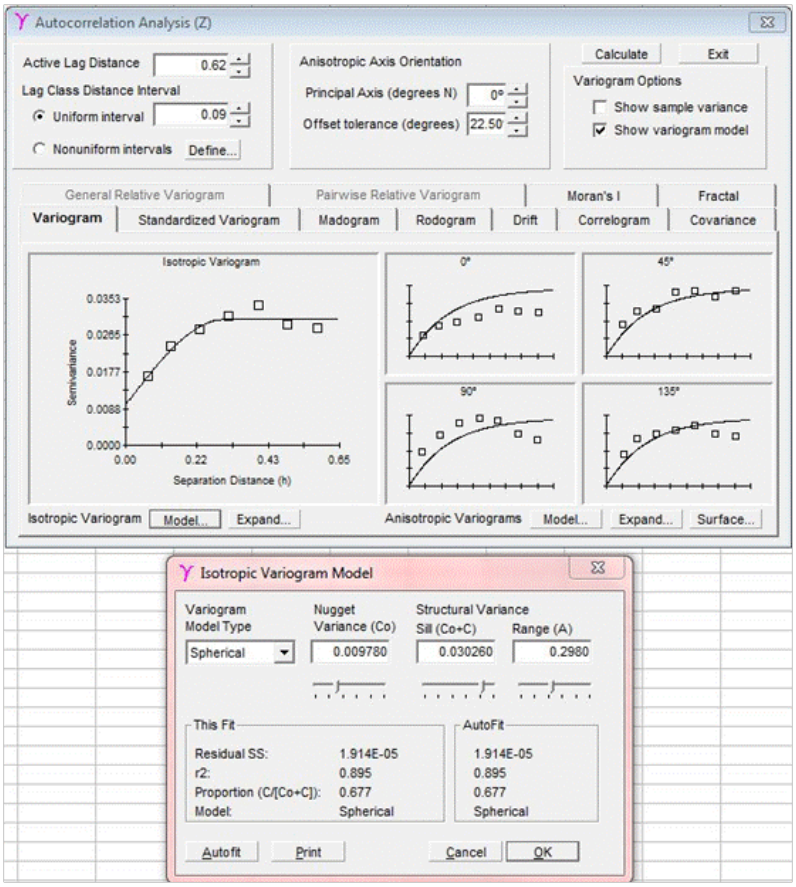
Jeoistatistiksel kestirimler test verisi üzerinden yapıldığında anlam kazanmaktadır. Standartlaştırılmış değerlere sahip model, test ve test-kestirim değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Model ve test çalışmaları için istatistikler

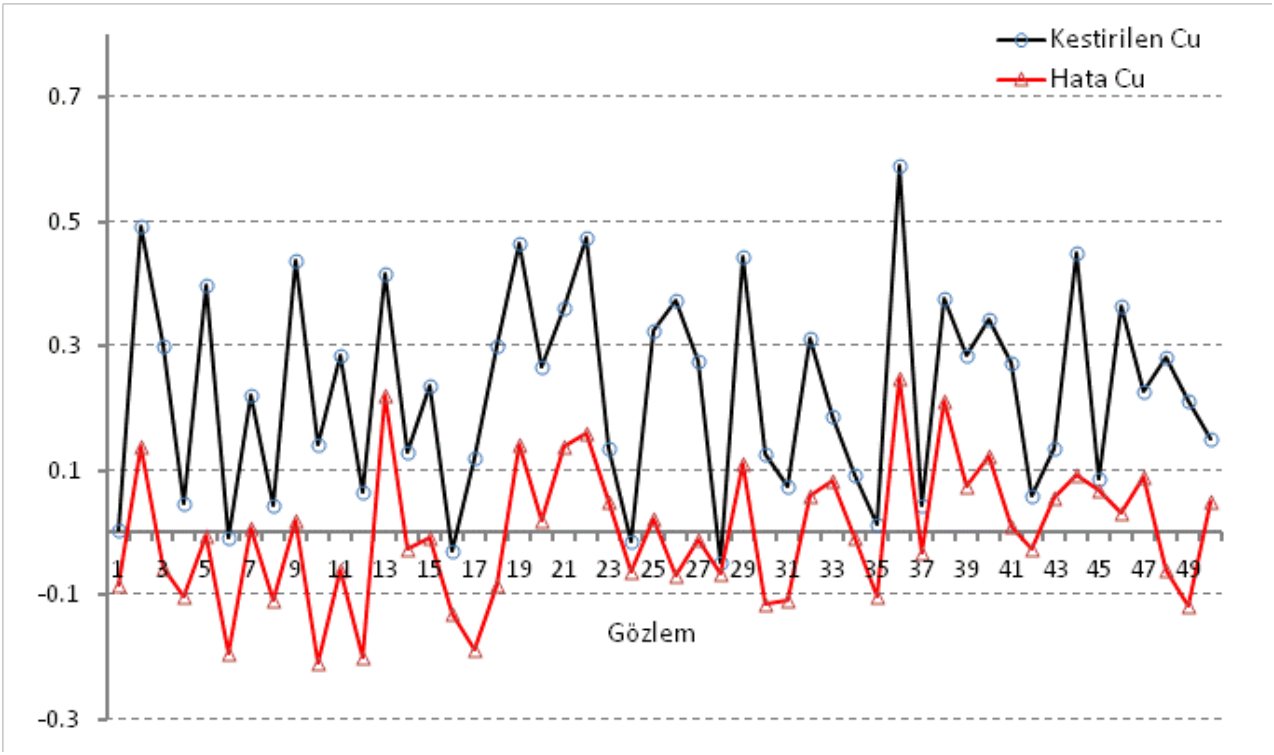
Ölçülen parametre	Model-Ölçülen	Test-Ölçülen	Test-Kestirilen
Ortalama	0.244	0.243	0.227
Standart Sapma	0.200	0.216	0.162
Korelasyon katsayısı	-	0.74	



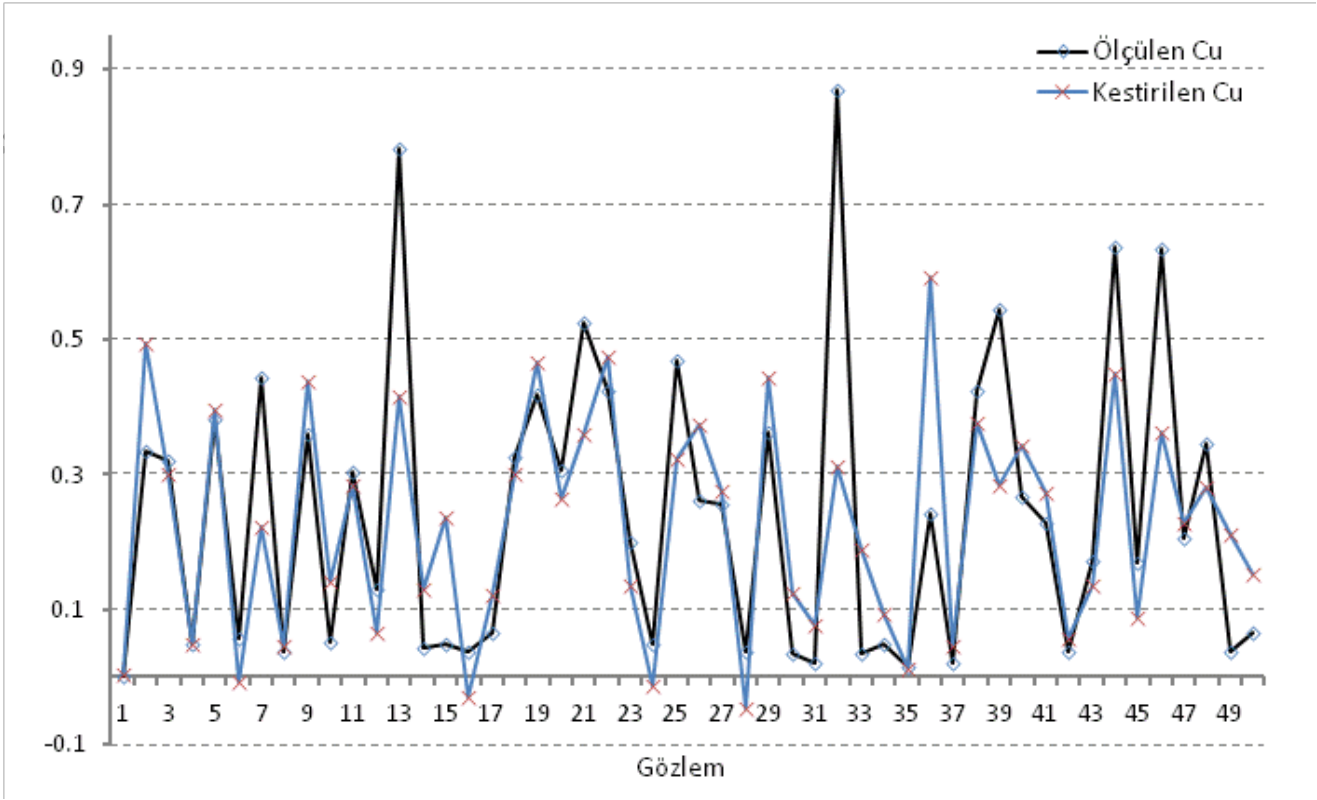
Şekil 2. Birinci model hatalarının variogram analizi



Şekil 3. GLS' ye dayalı ikinci model hatalarının variogram analizi



Şekil 4. Kestirim değerleri ve hatalar.



Şekil 5. Ölçülen ve kestirilen değerlerin değişimi.

Çizelge 1 ayrıca ölçülen ve kestirilen Cu tenörlerinin test verisi üzerinden ilişkisini r=0.74 değeriyle ortaya koymaktadır. Oldukça heterojen yapıya sahip bu yatak için korelasyon katsayısı başarılı sayılabilecek bir kestirime işaret etmektedir. Burada test kestirimlerinin standart sapmasının bir miktar düşük

çıkması enterpolasyondan kaynaklı düzgünleştirme (smoothing) probleminin kısmen etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 4, test değerlerinin kestiriminde oluşan hataların kestirim değerleriyle değişimini vermektedir. Değişim izlendiğinde, birkaç gözlem dışında model ile hatalar arasında paralellik olduğu görülebilmektedir. Öte yandan Şekil 5 açık biçimde ölçülen ve kestirilen test değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Şekil 5 yardımıyla aykırı ölçüm değerleri dışındaki ölçümlerde model başarısının yüksek olduğu görülebilmektedir.

4 SONUÇLAR

Jeoistatistiksel analiz, uzaklığa bağlı ilişkiyi dikkate alarak rezerv değerlendirmesi yapmaya olanak tanımaktadır. Hataların jeoistatistiksel değerlendirilmesinin genelleştirilmiş doğrusal modelleme yapısı ile birleştirilmesi ve bu yolla tenör kestirimi yapılması amaçlanmıştır. Çok sayıda metali aynı anda içeren maden yataklarında yapılan uygulama yöntemin başarıyla uygulanabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar veri setinin kullanımına izin veren Polimetal Madencilik A.Ş. (Ankara)' ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Cressie, N., 1993. *Statistics for spatial data*, Wiley, New York

Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*, Oxford University Press, New York

Hengl, T., 2007. *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*, JRC European Commission.

MTA Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü, 1991. *Akoluk cevherleşmesi ve jeoloji ve jeokimya ön değerlendirme raporu*, Ankara.

Sinclair, A.J., Blackwell, G.H., 2002. *Applied mineral inventory estimation*, Cambridge University Press.

Tercan, A.E., Sarac, C., 1988. *Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeoistatiksel yöntemler*, TMMOB JMO Yayınları, No 48, Ankara.

Tutmez, B.,Dag, A., 2013. Mapping water chemical variables with spatially correlated errors, *Environ Ecol Stat*, 20, 19-35.

Webster; R., Oliver, M.A., 2004. Geostatistics for environmental scientists, Wiley.

Yüzey Modelleme Teknikleri ve Bir Kömür Yatağına Uygulanması

Surface Modeling Techiques and Aplication to a Coal Deposit

A.C. Özdemir, A. Dağ
Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

B.A. Mert
Mustafa Kemal Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay

ÖZET Madencilik sektöründe yapılan faaliyetler kapsamlı ve detaylı çalışmalardan oluşmaktadır. Bu faaliyetlerin başında maden yatağının işletilmeye alınmasından önce yapılması gereken planlama aşamaları gelmektedir. Optimum planların yapılabilmesi için maden yatağının üç boyutlu katı modelinin hassas bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Günümüzde, geliştirilen bilgisayar yazılımları ile katı modelleme kolay bir şekilde yapılmaktadır. Ancak, katı model oluşturulması sırasında hangi yöntemin kullanılacağı ve katı modelin sınırlarını gösteren yüzeylerin nasıl belirleneceği önemli bir tartışma konusudur. Bu bildiri, yüzey modelleme de kullanılan yöntemlerin teorik olarak incelenmesini ve farklı yöntemlerin bir kömür yatağına uygulanması ile elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı modelleme, yüzey modelleme, interpolasyon yöntemleri

ABSTRACT Mining activities comprise comprehensive and detailed studies. Mine planning stages come at the start of these activities. For performing of optimal plans, obtaining of sensitive three-dimensional solid model of mine deposit is required. The solid model has been made easily by the recently developed software packages. However, which method is used during the creation of a solid model, and how to determine the surface which indicated boundaries of the solid model is an important subject of discussion. This paper covers investigation of methods which are used on surface modeling in theory and comparison of obtained results with different methods apply to a coal deposit.

Keywords: Solid modeling, surface modeling, interpolation methods

1 GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomik durumlarına bakıldığında, madencilik faaliyetlerinden elde ettikleri gelirlerin göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir düzeyde olduğu görülmektedir. Madencilik ekonomik ve sosyal kalkınmanın sağlanması bakımından kritik bir önem taşımaktadır. Bu nedenle üzerinde durulması gereken bir sektör olma özelliğini korumaktadır.

Maden sahası, işletilmeye başlanılmadan önce bir takım çalışmaların yapılması ve ortaya çıkan sonuçların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi zorunludur. Söz konusu çalışmaların başında da üretim planlaması gelmektedir. Planlama aşamasında dikkate alınacak en önemli faktörler; maden sahası içerisinde var olan cevher kütlesinin konumu, yataklanma şekli ve miktarıdır.

Madencilik projeleri esnasında yapılan iki boyutlu çizimler, çıkarılan kesitler ve buna benzer işlemlerin yapılması maden yatağının

güvenilir bir şekilde temsil edilmesine izin vermemektedir (Jiang, 1998; Gülmez, 2008). Bu nedenle planlama aşamasında maden yatağının en iyi şekilde temsil edilmesi ve incelenmesi üç boyutlu modelleme işlemiyle sağlanabilir.

Bilgisayar yardımıyla maden yatağının modellenmesi işlemi ilk defa 1960'ların başlarında kullanılmıştır (Çetiner, 1991; Gülmez, 2008). Zamanla geliştirilen bilgisayarların ve bilgisayar programlarının günümüzde cevher modellenmesi için aktif olarak kullanılması birçok yenilik getirmiştir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları geçmiş yıllardan beri ocak dizaynı ve planlama prosedürlerinde kullanılmaktadır (Jiang, 1998; Gülmez, 2008). Bu uygulamaların geliştirilmesi ve CAD tabanlı bilgisayar programlarının yardımıyla gün geçtikçe yaygınlaşan katı model yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Katı model yaklaşımı, temelde CAD/CAM (Bilgisayar destekli tasarım/Bilgisayar destekli üretim) endüstrisinde üç boyutlu objelerin sunumu için geliştirilmiştir (Mantyla ve Tamminen, 1983; Liu ve diğ., 2001; Wang ve diğ., 2001; Calcagno ve diğ., 2008). Ayrıca katı modelleme yaklaşımı, jeolojik yapıların üç boyutlu modellerini oluşturmak için yardımcı bir araç olarak pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Fisher ve Wales, 1990; Lemon ve Jones, 2003; Zhu ve diğ., 2012). Katı model tam ve açık bir şekilde, herhangi bir yerde biçimlenmiş, karmaşık sınırlar ve gömülmüş damarlar içeren bir varlığın stratigrafisi olarak tanımlanabilmektedir. Stratigrafinin her bir bileşeni ayrılmış üç boyutlu bir cisim tarafından temsil edilmektedir (Lemon ve Jones, 2003; Gülmez, 2008).

Yer kabuğunun tamamının cevher olamayacağı ve cevherleşmenin belirli bir sınır içerisinde olacağı düşünüldüğünde, katı modelin oluşturulması için maden sahasında sınırların belirlenmesi gerekmektedir. Ancak; katı modeli kapsayacak olan bu sınırların farklı yöntemlerle elde edilebilir olması tartışma konusu yaratmaktadır. Bu çalışmanın amacı, literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan farklı interpolasyon yöntemlerinin yanı sıra polinom interpolasyon yöntemi de kullanılarak maden yatağının katı modelinin sınırlarını belirleyecek olan yüzey modellerin elde edilmesi, bu modellerin doğruluğunun karşılaştırılması ve en iyi sonucu veren tahmin yönteminin belirlenmesidir. Ayrıca bu çalışma, performansı en iyi olan tahmin yönteminin Afşin-Elbistan linyit sahasına uygulanmasını ve elde edilen yüzey modellerin yardımıyla kömür yatağının katı modelinin oluşturulmasını kapsamaktadır.

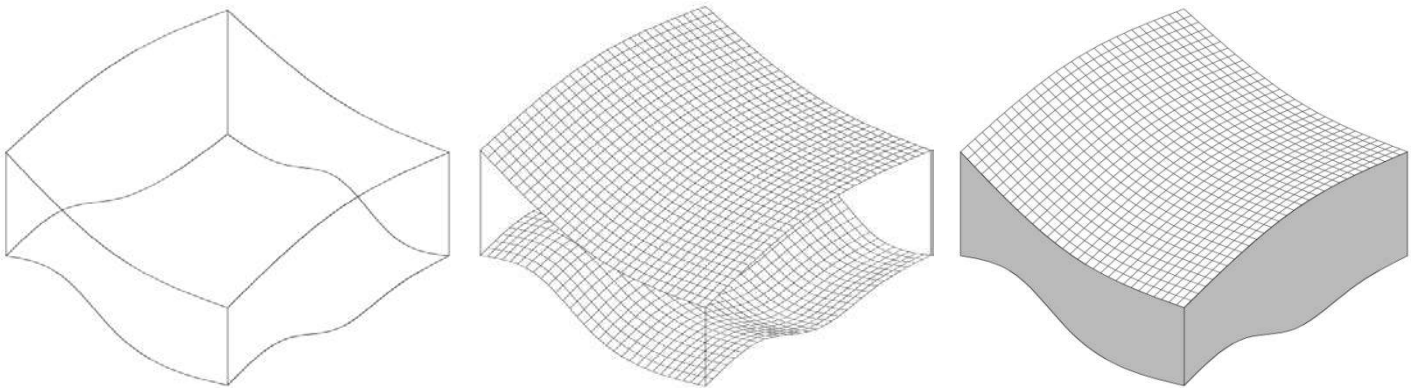
2 METODOLOJİ

2.1 Problemin Tanımı

Günümüzde sürekli gelişen teknoloji birçok alana olduğu gibi madencilik sektörüne de yenilikler getirmiştir. Geçmiş yıllarda planlama çalışmaları sırasında herhangi bir işlemin uzun süreler alması, hesaplamaların güvenilirliğinin tartışılması, elde edilen çıktıların görsel açıdan zayıf olması araştırmacıları yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Özellikle son zamanlarda kullanılan bilgisayar yazılımları ile 3 boyutlu modelleme yani maden yatağının katı modelinin elde edilmesi mümkün olmaktadır (Dağ ve Özdemir, 2013).

Genellikle çalışma alanında yapılan sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak maden yatağının, tüm formasyonlarını içerisinde bulunduran, doğadaki konumunu ve kapladığı sınırları 3 boyutlu olarak temsil eden cisim katı model olarak tanımlanabilir.

Katı model kavramının, kafes model ve yüzey model kavramları ile karıştırılmaması ve daha iyi anlaşılması için aralarındaki farklar Şekil 1a-c'de görülmektedir. Kafes model, çizgilerle maden yatağının sadece doğada kapladığı sınırları gösteren ancak içinin boş olduğu modeldir (Şek. 1a). Yüzey model, 3 boyutlu olmasına rağmen maden yatağının sadece alt ve üst yüzeylerini gösteren, yüzeyler arasının boş olduğu modeldir (Şek. 1b). Katı model ise tanımında olduğu gibi maden yatağının, sadece çizgilerle veya 3 boyutlu yüzeylerle değil aynı zamanda doğada 3 boyutlu bir şekilde temsil edildiği, sınırlarının ve yüzeylerinin içerisinin tamamen dolu olduğu modeldir (Şek. 1c).



(a) (b) (c)

Şekil 1. 3 Boyutlu modeller (a) Kafes; (b) Yüzey; (c) Katı

Katı model kavramının geliştirilmesi madencilik sektöründe çalışan kişilere birçok kolaylık getirmiştir. Katı modelin en önemli avantajı yer kabuğunda bulunan maden yatağının sınırlarının tam anlamıyla tespit edilmesine yardımcı olmasıdır. Bu sayede yer üstü ya da yer altı işletmesine karar verilmesi, ilk kazı noktasının belirlenmesi, üretim planlamasının nasıl yapılacağı v.b. gibi madencilikte hayati önem taşıyan soruların çoğuna daha doğru ve güvenilir cevaplar verilecektir. Ayrıca sondaj verilerinin değerlendirilmesi, maden yatağının rezervinin hesaplanması, 3 boyutlu kesit görünüşlerin, yüzey ve katı modellerin, katı model üzerinden maden yatağının blok modelinin elde edilmesi, açık veya kapalı ocak dizaynı, patlatma tasarımının yapılması v.b. konularda oldukça faydalı olacağı bilinmektedir.

2.2 Yüzey Modellemenin Önemi ve İnterpolasyon Metodları

Günümüz teknolojisi sayesinde gelişen bilgisayar programlarının madencilik sektörüne de katkıları olmuştur. Bu gelişmelerin başında, maden yataklarının 3 boyutlu modellenmesi sayesinde cevherin doğadaki konumu hakkında daha ayrıntılı ve kapsamlı bilgilere ulaşılabilmesi gelmektedir.

Yüzey modelin en büyük faydası maden yatağının sınırlarının net bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamasıdır. Bunun yanı sıra katı modelleme aşamasında da oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Blok modelin elde edilmesi, yatağın 3 boyutlu analizinin yapılması, istenilen yönde kesit alabilme imkanı sağlaması, açık veya kapalı maden işletmesinin planlanması, ocak sınırlarının belirlenmesi v.b. planlama aşamalarında yardımcı olabileceği diğer işlemler olarak sıralanabilir.

Araştırmacılar tarafından geliştirilen ve yüzey modelleme amacıyla kullanılan farklı interpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanlar; mesafenin tersi ağırlıklı interpolasyon, en yakın komşu, kriging, polinom interpolasyonu, üçgenleme v.b. şeklinde sıralanabilir (Nayak ve diğ., 2002; Falivene ve diğ., 2010). Modelleme sırasında kullanılacak olan yöntemin belirlenmesini; cevherin yataklanma şekli, modellemede kullanılacak olan veri seti ve madencilik programı gibi birçok parametre etkilemektedir.

2.2.1 Üçgenleme yöntemi

Fiziksel yeryüzü gibi düzgün olmayan yüzeylerin matematiksel olarak ifade edilmesinde zorluklar vardır. Bir yüzeyin tam olarak ifade edilebilmesi için yüzeydeki tüm noktaların tanımlı olması gerekmektedir. Ancak bu durum pratik olarak mümkün değildir.

Yüzey modellemesi yüzeyin tek bir fonksiyonla bütün olarak ifade edilmesiyle yapılabileceği gibi üçgen, kare, dikdörtgen ve benzeri geometrik şekillere bölünerek parça parça ifade edilmesiyle de yapılabilmektedir. Özellikle düzensiz dağılım gösteren dayanak noktalarına bağlı yüzey modellemesinde, dayanak noktalarının

işlenerek üçgenler ağı oluşturulması (üçgenleme) sıkça kullanılan bir çözüm yöntemidir (Yanalak, 2001).

Üçgenlemenin amacı söz konusu yüzeyi, birbirleri üzerine binmeyen üçgen elemanların toplamı şeklinde ifade etmektir. Yüzeyi oluşturan üçgenlerin köşe noktaları dayanak noktalarıdır ve her bir dayanak noktası en az bir üçgenin köşe noktasını oluşturur. Üçgenleme, dayanak noktalarının (x, y) konum koordinatları kullanılarak 2, 3 ve daha büyük boyutlu uzaylarda gerçekleştirilebilir.

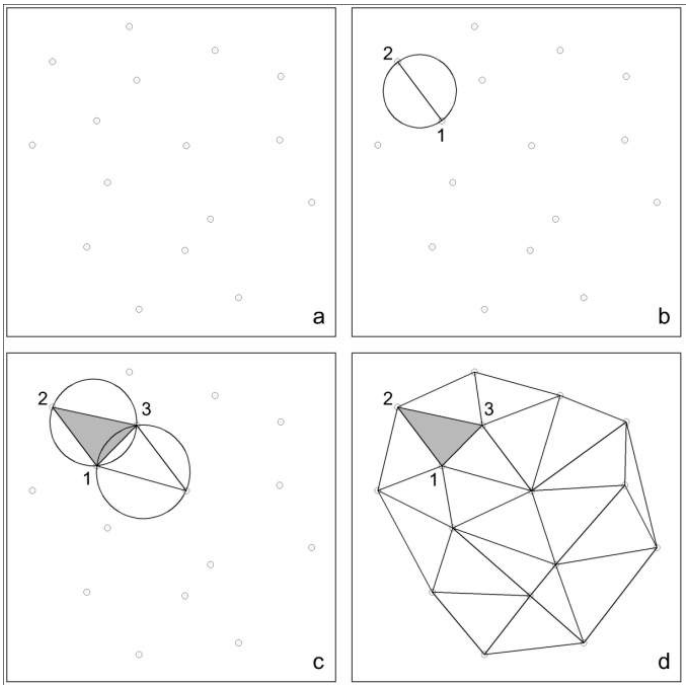
Şekil 2'de üçgenlerin oluşturulması için noktaların hangi kurallara göre seçileceği, bir üçgenin oluşturulması için gerçekleştirilen adımlar ve örnek bir üçgen model görülmektedir. Şekil 2a'da örnek verilerinin dağılımı görülmektedir. Şekil 2b'de bir nokta seçilmiş ve bu noktaya komşu olan en yakın 2. nokta belirlenmiş ardından bu iki nokta birleştirilerek üçgenin bir kenarı oluşturulmuştur. Daha sonra Şekil 2c'de görüldüğü gibi üçgeni oluşturacak 3. en yakın komşu noktası belirlenmiş olup bu 3 nokta birleştirilerek üçgenin diğer kenarları da oluşturulmuştur. Bir nokta seçildikten sonra üçgeni oluşturacak diğer en yakın komşu noktalar bir çember çizilerek belirlenmektedir. Sınırları örnek noktalardan geçirilerek çizilen bu çember içerisine üçgeni oluşturan noktalardan başka nokta girmemelidir. Bu durum hem Şekil 2b'de hem de Şekil 2c'de görülmektedir. Son olarak Şekil 2d'de örnek verilerinin tamamı kullanılarak oluşturulan üçgen model görünümü verilmiştir.

Üçgenleme yönteminde, üçgenin köşelerinden geçen basit bir düzlemsel yüzey denklemi belirlenir. Belirli lokasyonların (φ, λ) sahip olduğu seviye (z) değerini belirleyen düzlemsel yüzey denklemi aşağıdaki şekildedir:

$$z(\varphi,\lambda) = b_0 + b_1\varphi + b_2\lambda \quad (1)$$

Burada b_0, b_1 ve b_2 bilinmeyen katsayılardır. Bu değerler üç noktasının (φ_i, λ_i, z_i) koordinatları bilinen bir üçgen için Denklem (2)'de bulunan eşitlikler çözülerek hesaplanır (i=1, 2, 3).

$$\begin{aligned} z_1 &= b_0 + b_1\varphi_1 + b_2\lambda_1 \\ z_2 &= b_0 + b_1\varphi_2 + b_2\lambda_2 \\ z_3 &= b_0 + b_1\varphi_3 + b_2\lambda_3 \end{aligned} \quad (2)$$



Şekil 2. Üçgen modelleme aşamalarının gösterimi

2.2.2 Ordinary kriging

Belirli bir yöreye özgü olan ve en azından bir koordinat değeri ile ifade edilen değişkenler, yöresel değişkenler olarak tanımlanır. Maden sahalarında yöresel değişkenin aldığı değerler o sahada yapılan sondajlar ile belirlenmiş noktalarda bilinir, diğer noktalarda ki bilinmeyen değerleri hesaplamak gerekir. Bilinmeyen bir değerin hesaplanması, sondajlar ile elde edilen değerler yardımıyla yapılır ve bu işlem kestirim olarak adlandırılır. Genel kestirim problemi için, yöresel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel gösterimle ifade edilemeyecek kadar karmaşık ve düzensizdir (Saraç ve Tercan, 1998; Mert, 2010). Ancak; jeoistatistiksel yöntem ile bu problemi çözmek mümkündür. Jeoistatistik, belli bir gözlem alanı içerisinde belirli bir yapıya sahip, gözlemi bulunmayan yöresel değişkenler ile gözlemi bulunan değişkenler arasında konumlarına göre interpolasyon yaparak değişkenlerin tahmin edilmesini sağlar (Keskiner, 2008).

Bir maden yatağının x noktasındaki tenör değeri z(x), bundan h kadar uzaklıktaki tenör değeri z(x+h) ile ifade edilirse, tenör değerleri arasındaki fark h uzaklığının bir fonksiyonu olarak f(h)= z(x) – z(x+h) şeklinde gösterilebilir. Buradaki f(h) fonksiyonunun modellenmesi jeoistatistiğin temelini oluşturmaktadır (Tercan, 1999; Mert, 2010).

Klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak, örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları hesaba katarak ele alan bu yöntem maden yataklarının modellenmesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Mert, 2010). Jeoistatistiksel yöntemin en büyük avantajı yapılan tahmin hatalarının sayısal bir değer olarak ifade edebilmesidir. Bu sayede, tahmin işleminin ne kadar güvenilir olduğu hakkında fikir elde edilebilir. Ancak; mevcut veri setinde az sayıda örnek verisi olduğu durumlarda bu tahmin yöntemi olumlu sonuçlar vermeyebilir. Jeoistatistiksel yöntem kullanılarak yapılan bir çalışma dört ana gruba ayrılabilir. Bunlar;

(i) Yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkların, uzaklığı bağlı değişimlerini belirlemeye yarayan yarıvariogram modellerinin tespit edilmesi,

(ii) Yarıvariogram modellerinin test edilmesi,

(iii) Kriging tahmin tekniği ile tahminlerin yapılması,

(iiii) Yapılan tahmin hatalarının belirlenmesi.

Jeoistatistiksel bir çalışmada bu aşamaların hepsinin sırası ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Çetin, 1996; Mert, 2010).

Variogram fonksiyonu tesadüfi değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve 2γ(h) ile gösterilir. Yarıvariogram fonksiyonu ise variogram fonksiyonun yarısını ifade etmektedir ve γ(h) ile gösterilir (Çetin, 1996; Goovaerts, 1997; Mert, 2010).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[Z(x_i) - Z(x_i + h) \right]^2 \qquad (3)$$

Yapılan yarıvariogram analizi sonucunda elde edilen modellerin doğruluğu ve geçerliliği çapraz doğrulama tekniği ile belirlenir. Bu teknikte aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur;

(i) İndirgenmiş hataların beklenen değerlerinin 0'a ve varyanslarının da 1'e yakın olup olmadığına veya $1 \mp 2\sqrt{2/N}$ sınırları arasında kalıp kalmadığına bakılmalıdır.

(ii) Gerçek değerler ile kestirilen değerler arasındaki doğrusal regresyonun orijinden geçen 45 derece eğimli bir doğru olmasıdır. Bu durum koşullu yansızlık olarak bilinir.

(iii) Kestirim hatalarının kareler ortalaması, kriging varyanslarının ortalamasına eşit ya da küçük olmalıdır, $\sigma_E^2 < \sigma_k^2$ (Dowd, 1992; Çetin ve Kırda, 2003; Mert, 2010).

Yöresel değişkenlerin örneklenmemiş noktalarının tahminlerinde, en iyi ve yansız bir tahmin edici olan kriging yöntemi kullanılır. Genel olarak tahmin işlemi, bilinen değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak yapılır (Denklem 4).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (4)$$

Z*, x_0 noktasında tahmin edilen değeri; $Z(x_i)$, x_0 noktasının tahmininde kullanılacak gözlemlerin değerini; λ_i, değişkenin değerlerine verilecek ağırlıkları ifade etmektedir. Tahminin yansızlığını sağlamak için ağırlıkların toplam değeri 1 olmalıdır (Webster ve Oliver, 2007).

2.3 Polinom İnterpolasyonu

Pratikte basit bir deneysel model gerektiği zaman, polinom interpolasyon yöntemi yaygın bir şekilde kullanılır. Polinom model, karakterize edilmiş veriler yardımıyla interpolasyon, ekstrapolasyon ya da model uydurma gibi amaçlar doğrultusunda uygulanabilir. Polinom interpolasyon yöntemi, örnek veri setinde bulunan noktalar üzerinden geçecek olan eğrinin teorik modelini bulma işleminden meydana gelmektedir. Bu yöntemde, veri setinde bulunan gerçek değerler (x, y) doğrudan

kullanılmazlar. Bu değerler yerine normalize edildikten sonra elde edilen yeni değerler (φ, λ) kullanılır. Örnek verilerinin normalize edilmiş değerleri Denklem (5-6) ile elde edilmektedir.

$$\varphi_k = \frac{x_k - \bar{x}}{std_x}, \qquad k = 1,2,\ldots,n_k \tag{5}$$

$$\lambda_k = \frac{y_k - \bar{y}}{std_y}, \qquad k = 1,2,\ldots,n_k \tag{6}$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, x ve y değerlerinin ortalama değerleri ve std_x ve std_y, x ve y değerlerinin standart sapma değerlerini ifade eder ve n_k ise örnek nokta sayısını göstermektedir.

Herhangi bir yüzeyin elde edilmesi için kullanılacak olan polinom modeli Denklem (7)'de formüle edilmiştir.

$$z^*(\varphi,\lambda) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m} b_{ij}\varphi^i\lambda^j \tag{7}$$

Burada; z*, z noktasının φ ve λ ile belirlenmiş olan tahmin değerini; n, φ katsayısının derecesini ve m ise λ katsayısının derecesini sembolize etmektedir. Ayrıca b_{ij}, $\varphi^i\lambda^j$ ifadesinin katsayısını göstermektedir.

z^*_k-z_k, değeri yani sapmaların kabul edilebilir ölçüde olması için hataların karelerinin toplamı minimum olmalıdır. Bu durum Denklem (8)'de ifade edilmiştir (Davis, 2002).

$$\sum_{k=1}^{n_k}(z^*_k - z_k)^2 = \text{Minimum} \tag{8}$$

En küçük kareler yöntemi kullanılarak en az sapma ile polinom fonksiyonunun katsayıları (b_{ij}) belirlenir. Polinomun derecesi maksimum φ ve λ'nin dereceleri olabilir ve pratikte oldukça dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Polinom interpolasyon yöntemi ile yüzey modelleme işleminde, polinomun derecesi serbestlik katsayısına ve noktaların sayısına bağlıdır. En uygun katsayılar belirlenirken, mümkün olduğu kadar en yüksek derece ile başlanmalı ve istatistiksel testler ile belirlenmelidir. Polinom model için φ ve λ katsayılarının dereceleri en fazla 5 olabilir. Polinom modelin türü, "poly" terimini modelin katsayılarının derecesi takip ederek belirlenir. Örneğin, φ'nın derecesi 3 ve λ'nın derecesi 2 ise polinom model "poly32" olarak isimlendirilir.

3 UYGULAMA ÇALIŞMASI

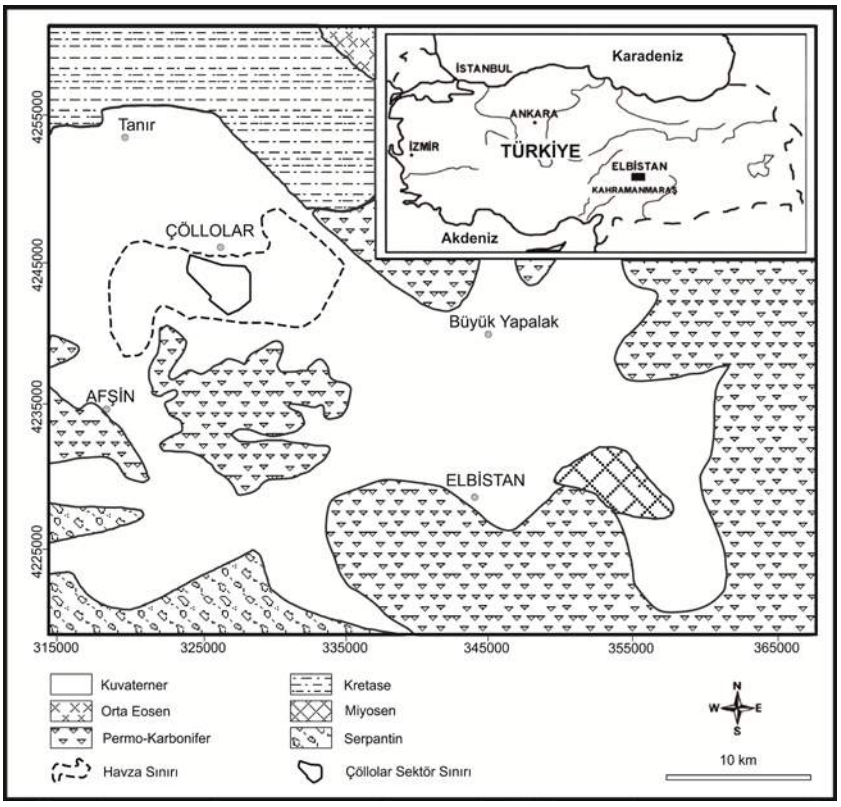
3.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti

Afşin-Elbistan linyit havzası Kahramanmaraş iline bağlı Afşin ve Elbistan ilçelerinin kuzeyinde bulunmaktadır ve Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %46'sını oluşturmaktadır.

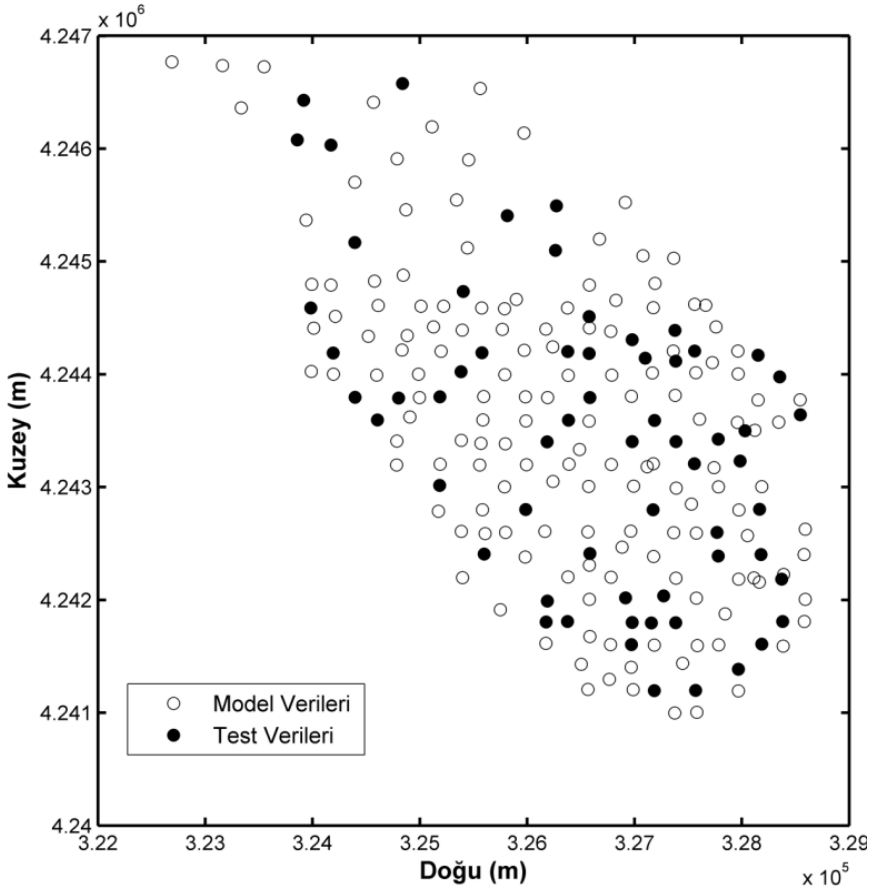
Havzada toplam 3,25 milyar ton linyit bulunmaktadır. Yaklaşık 120 km^2'lik bir alanı kapsayan linyit havzası; Kışlaköy (A), Çöllolar (B) ve Afşin (C) adı verilen üç ana sektör ile D, E ve F sektörlerinden oluşmaktadır. Havzanın ortasından geçen Hurman Çayı'nın batısındaki linyit rezervi, C ve E sektörleri, doğusundaki linyit rezervi A, B, D, F sektörleri ile tanımlanmaktadır. İşletme sahası Kahramanmaraş ili Afşin ilçesinin kuzeydoğu'sunda ilçe merkezine 15 km uzaklıktadır.

Havzanın ve çalışma alanı olan Çöllolar sektörünün genel konumu Şekil 3'de gösterilmiştir.

Bir modelin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en basit yöntem basit geçerlilik testi yöntemidir. Bu yöntemde verilerin %70'lik kısmı model verileri olarak ayrılır ve geri kalan %30'luk kısmı ise test verileri olarak adlandırılır. Model verileri üzerinden herhangi bir modelleme yöntemi kullanılarak modelleme işlemi yapılır ve daha sonra oluşturulan modelin test edilmesi aşamasında test verileri kullanılır. Bu amaçla veri seti, rastgele seçilerek model (150 adet) ve test verileri (62 adet) olmak üzere 2 ana gruba ayrılmıştır. Sondaj lokasyonlarının dağılımı Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanının yerbulduru haritası



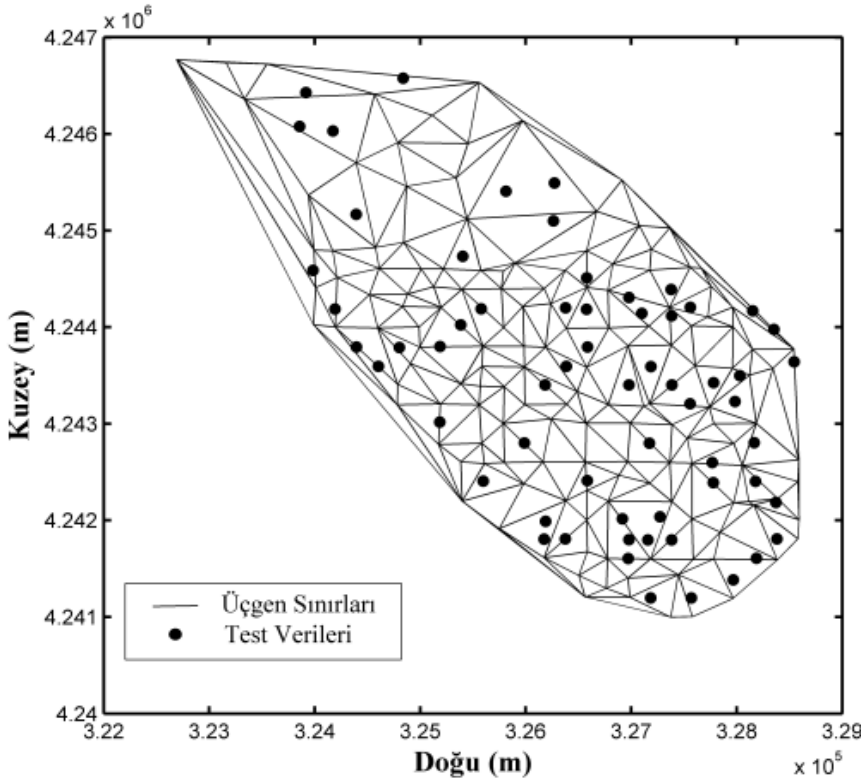
Şekil 4. Model ve test veri setlerine ait sondajların lokasyonları

Bütün modelleme işlemleri model veri seti üzerinden yapılmış olup, modellerin geçerliliği ise test veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir. Sondaj verileri; sondaj numaraları ve sondaj noktalarının 3 boyutlu koordinat değerlerinden (X, Y, Z) oluşmaktadır.

3.2 Üçgen Model

Kömür damarının üst yüzeyinin modellenmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerden biri üçgenleme yöntemidir. Bu yöntem ile oluşturulan üçgenler ve test verilerinin dağılımı Şekil 5'de görülmektedir.

Üçgen model oluşturulurken bilindiği gibi bazı formüller ve bu formüllerde kullanılmak üzere katsayılar hesaplanmıştır. Çizelge 1'de rastgele seçilen üç adet üçgen için hesaplanan parametreler ve katsayılar görülmektedir.



Şekil 5. Oluşturulan üçgenler ve test verilerinin dağılımı

Çizelge 1. Üçgen model için hesaplanan parametreler

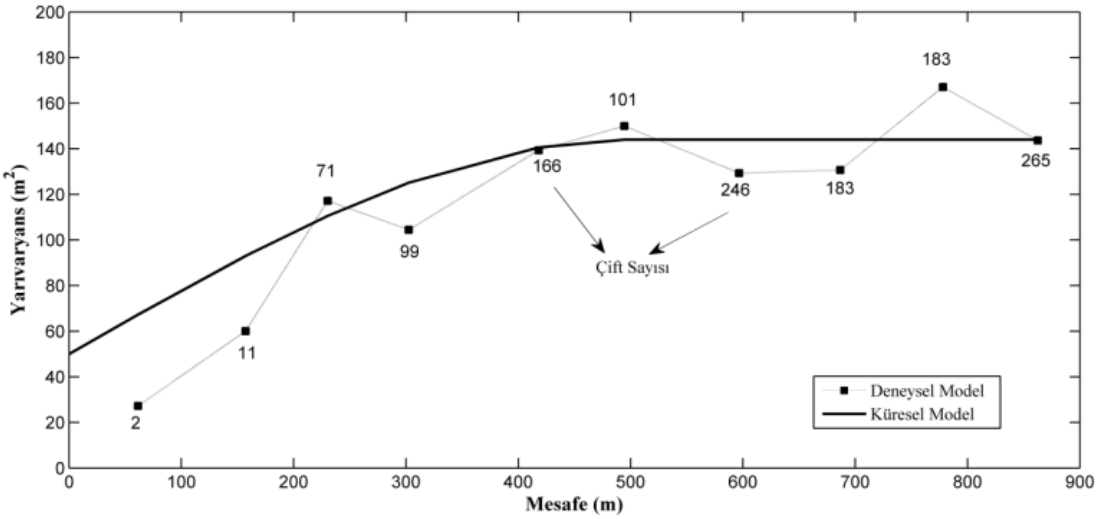
Örnek No	Örnek Lokasyonları		Üçgen Noktalarının Lokasyonu			Katsayılar*			Örnek Seviyeleri	
	Doğu-x	Kuzey-y	Doğu-x	Kuzey-y	Seviye-z	b_0	b_1	b_2	Gerçek	Tahmin
			323547.3	4246726.4	1130.09					
1	324838.5	4246577.6	325561.8	4246533.3	1137.07	1131.72	6.00	4.11	1128.34	1133.91
			324567.3	4246412.5	1128.01					
			325443.0	4245120.3	1089.65					
2	326263.4	4245099.7	326674.2	4245199.3	1083.42	1083.47	-3.97	5.95	1089.88	1083.99
			325899.5	4244665.7	1077.35					
			325189.2	4243204.1	1069.40					
3	325184.6	4243016.5	325557.6	4243196.0	1065.22	1067.19	-2.44	1.50	1072.37	1068.27
			325173.4	4242786.9	1066.95					

* Lokasyonlar (x, y), ortalama ve standart sapma değerleri ile normalize edilmiştir.

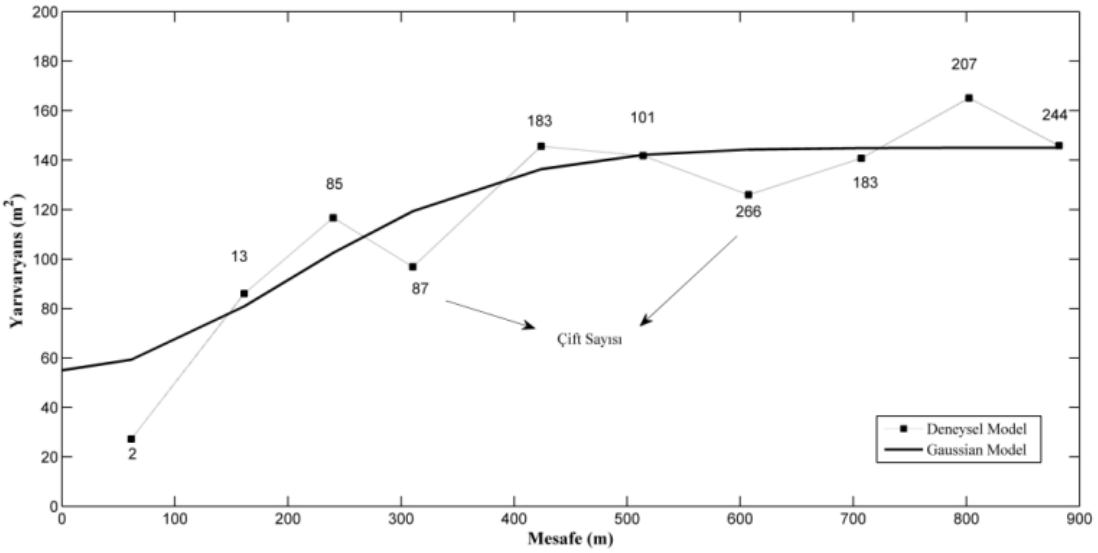
3.3 Ordinary Kriging Model

Jeoistatistiksel bir yöntem olan ordinary kriging kullanılarak kömür damarının üst yüzeyi modellenmiştir. Variogram analizi aşamasında deneysel model elde edilmiş olup, bu deneysel modele en uygun teorik model uydurulmaya çalışılmıştır. Bu aşamada pratikte yaygın bir şekilde kullanılan teorik model tiplerinden küresel ve gaussian model seçilerek 2 ayrı teorik model uygulanmıştır.

Çapraz doğrulama yöntemi ile farklı variogram parametreleri değerlendirilerek en uygun variogram modeli belirlenmiştir. Model veri seti kullanılarak elde edilen deneysel yarıvariogram modeli ve bu modele ait küresel tip ve gaussian tip teorik yarıvariogram modelleri Şekil 6-7'de görülmektedir.



Şekil 6. Deneysel ve küresel tip yarıvariogram modelleri



Şekil 7. Deneysel ve gaussian tip yarıvariogram modelleri

Kriging tahmin işleminde kullanılacak olan yarıvariogram model ve parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu parametreler kriging tahmini için oldukça önemlidir ve sonuçları doğrudan etkileyeceğinden hassas hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2. Yarıvariogram model ve parametreleri

Model	Külçe Etkisi (C_0), (m^2)	Eşik Değeri (C_0+C_1), (m^2)	Etki Mesafesi (a), (m)
Küresel	50	144	498
Gaussian	55	145	480

3.4 Polinom Model

Veri değerlendirmesi aşamasında hazırlanan model veri setine polinom interpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Modelleme yapılırken farklı modelleme seçenekleri ve yöntemler test edilmiş olup istatistik değerleri göz önünde bulundurularak en iyi sonucu veren polinom model belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Poly55 olarak isimlendirilen 5. dereceden polinom modeli ile modelleme yapılmıştır. Yüzey modelleme için kullanılan polinom fonksiyonu Denklem (9)'da verilmiştir.

$$Z(x,y) = b_0 + b_1x + b_2 + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + b_6x^3 + b_7x^2y + b_8xy^2 + b_9y^3 + b_{10}x^4 + b_{11}x^3y + b_{12}x^2y^2 + b_{13}xy^3 + b_{14}y^4 + b_{15}x^5 + b_{16}x^4y + b_{17}x^3y^2 + b_{18}x^2y^3 + b_{19}xy^4 + b_{20}y^5 \quad (9)$$

Polinom fonksiyonunda yer alan katsayı değerleri ise Çizelge 3'de topluca verilmiştir. Model veri seti ile elde edilen polinom yüzey modeli Şekil 8'de görülmektedir.

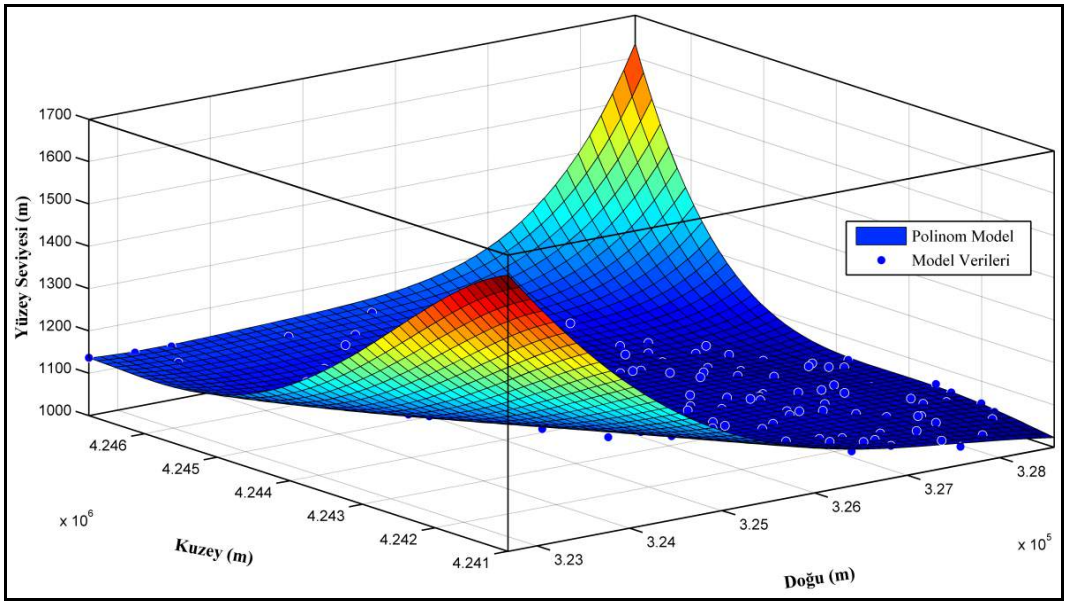
Çizelge 3. Polinom interpolasyon fonksiyonu için hesaplanan katsayılar

Katsayı	**b_0**	**b_1**	**b_2**	**b_3**	**b_4**	**b_5**	**b_6**	**b_7**	**b_8**	**b_9**	**b_{10}**
Değer*	1069	-1.144	3.918	-4.002	-4.195	4.598	-6.319	-15.59	-14.15	2.005	2.858
Katsayı	**b_{11}**	**b_{12}**	**b_{13}**	**b_{14}**	**b_{15}**	**b_{16}**	**b_{17}**	**b_{18}**	**b_{19}**	**b_{20}**	
Değer*	8.061	8.064	6.222	1.584	0.3882	1.498	2.736	3.803	2.238	-0.1576	

***** Lokasyonlar (x, y), ortalama ve standart sapma değerleri ile normalize edilmiştir.

4 MODEL PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İstatistiksel olarak tahmin sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan birçok parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada; standart sapma (s), korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) parametrelerine göre sonuçlar değerlendirilmiştir. Tahmin değerlerinin, standart sapmasının gerçek değerlerin standart sapmasına, korelasyon katsayının 1'e yakın çıkması modelin geçerliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, ortalama bağıl hata ve hataların kareler ortalaması değerini ne kadar küçük çıkarsa yapılan modelleme işlemi o kadar güvenilir ve doğrudur şeklinde yorumlanmaktadır (Bardossy ve Fodor, 2004; Tutmez, 2012). Çizelge 4'te çalışmada kullanılan modelleme yöntemleri ve bu yöntemler kullanılarak elde edilen parametre değerleri görülmektedir. Burada kriterleri en iyi sağlayan modelleme yönteminin polinom interpolasyon yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.



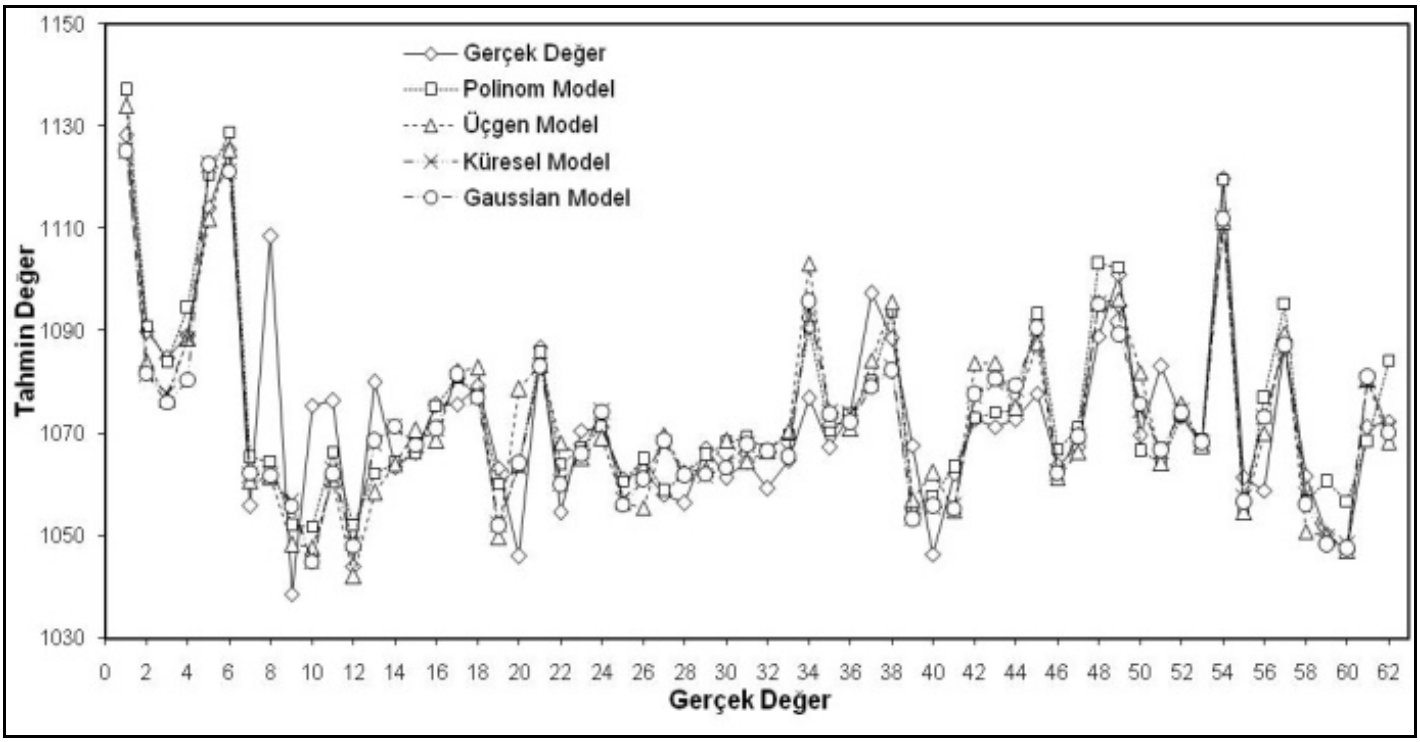
Şekil 8. Model veri seti ile elde edilen polinom yüzey model görünümü

Çizelge 4. Modelleme yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması

	Gerçek Değer	Ordinary Kriging		Üçgen Model	Polinom Model
		Küresel Model	Gaussian Model		
s	18,647	17,240	17,277	18,636	18,530
r	-	0,829	0,819	0,796	0,851
Ort. RE	-	0,693	0,734	0,787	0,648
RMSE	-	10,606	10,925	11,884	10,215

Tahmin edilen ve gerçek test değerlerinin, modelleme yöntemine göre değişimi ise Şekil 9'da grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Çalışmada yüzey modellemenin önemi ve planlama aşamasında yapılacak olan hesaplamalar üzerine etkisi vurgulanmıştır. Ayrıca, yüzey modelle yönteminin seçiminin ne kadar önemli olduğu konusu üzerinde durulmuştur.



Şekil 9. Tahmin edilen ve gerçek test değerlerinin grafiksel görünümü

5 SONUÇLAR

Bir kömür yatağının yüzey modellenmesinde kullanılan modelleme sonuçlarının karşılaştırılması için, standart sapma (s), korelasyon katsayısı (r), ortalama bağıl hata (RE), hataların kareler ortalaması (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar değerlendirilerek; en yüksek korelasyon katsayısı (0,851), gerçek değerlerin standart sapmasına daha yakın standart sapma değeri (18,530), en küçük ortalama bağıl hata (0,648) ve en küçük hataların kareler ortalaması (10,215) değerleri ile polinom interpolasyon yönteminin daha güçlü bir model oluşturduğu görülmüştür.

Bir kömür yatağında modelleme çalışmaları yapılırken, geleneksel modelleme tekniklerinin yanı sıra polinom interpolasyon gibi yeni yöntemlerin de bu çalışmadaki gibi basit test tekniği ile test edilip, güçlü olan yöntemin kullanılarak modelleme çalışmalarının yapılması daha doğru olacaktır.

KAYNAKLAR

Bardossy, G., Fodor, J., 2004. Evaluation of uncertainties and risks in geology. Springer-Verlag, Heidelberg.

Calcagno, P., Chiles, J.P., Courrioux, G. and Guillen, A., 2008. Geological modelling from field data and geological knowledge Part I. Modelling method coupling 3D potential-field interpolation and geological rules. Physics of the Earth and Plenetary Interiors, 171(1-4), 14-157.

Çetin, M., 1996. Jeoistatistiksel Yöntem İle Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi. Örnek Havza Uygulamaları, Çukurova Üniv., Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Adana.

Çetin, M., ve Kırda, C., 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. *Journal of Hydrology*, Vol. 272, Issues 1-4, p. 238-249.

Çetiner, E., 1991. Bilgisayar Destekli Maden Yatağı Modellemesi ve Kesit Yöntemiyle Rezerv Tahmininin Hüsamlar Kömür Sahasına Uygulanması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 71s.

Dağ, A. ve Özdemir, A. C., 2013. A comparative study for 3D surface modeling of coal deposit by spatial interpolation approaches. Resource Geology, Vol. 63, No. 4, 394-403.

Davis, J.C., 2002. Statistics and data analysis in geology. John Wiley and Sons, 638p.

Dowd, P. A., 1992. Basic geostatistics for the mining industry. The university of leeds. UK, p. 226.

Falivene, O., Cabrera, L., Tolosana-Delgado, R. and Saez, A., 2010. Interpolation algorithm ranking using cross-validation and the role of smoothing effect. A coal zone example. Computers & Geosciences, 36(4), 512-519.

Fisher, T.R., Wales, R.Q., 1990. 3D solid modeling of sandstone reservoirs using NURBS. Geobyte, 5(1), 39-41.

Gülmez, A., 2008. Bir maden yatağının katı modelinin oluşturulması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 93.

Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Jiang, Y. D., 1998. An Interactive 3-D Mine Modelling, Visualization and Information System. Queen's University, Minning Enginering, The Degree of Doctor of Philosophy, Canada, 213p.

Keskiner, A. D., 2008. Farklı Olasılıklı Yağış ve Sıcaklıkların CBS Ortamında Haritalanmasında Uygun Yöntem Belirlenmesi ve M. TURC Yüzey Akış Haritasının Geliştirilmesi: Seyhan Havzası Örneği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 100.

Lemon, A.M., Jones N.L., 2003. Building solid models from boreholes and user-defined cross-sections. Computers & Geosciences, 29(5), 547-555.

Liu, S.X., Hu, S.M., Chen, Y.J. and Sun, J.G., 2001. Reconstruction of curved solids from engineering drawings. Computer-Aided Desing, 33(14), 1059-1072.

Mantyla, M., Tamminen, M., 1983. Localized Set Operations for Solid Modeling. Computer Graphics, 17 (3), 279-288.

Mert, B.A., 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Çukurova Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 323s.

Nayak, B.K., Sahu, S.K. and Sahoo, R.K., 2002. Trend Surface Modelling of Karlapat Bauxite Deposit, Eastern Ghat Group, Orissa, India. Resource Geology, 52(3), 239-248.

Saraç, C. ve Tercan, A. E., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeoistatistiksel yöntemler. JMO yayınları, Ankara, s. 48.

Tercan, A.E., 1999. Importance of orthogonalization algorithm in modeling conditional distributions by orthogonal transformed indicator methods. Mathematical Geology, vol.31, No.2, pp. 155-173.

Tutmez, B., 2012. Spatial dependence-based fuzzy regression clustering. Applied Soft Computing, 12(1), 1-13.

Wang, J., Chen, H. and Wang, W., 2001. A sufficient condition for a wire-frame representing a solid modeling uniquely. Journal of Computer Science and Technology, 16(6), 595-598.

Webster, R., Oliver, M., 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. 2nd edn. John Wiley & Sons, 318p.

Yanalak, M., 2001. Transformation of Ellipsoid Heights to Local Leveling Heights. Journal of Surveying Engineering. 127, 3, s. 90-103.

Zhu, L., Zhang, C., Li, M., Pan, X. and Sun, J., 2012. Building 3D solid models of sedimentary stratigraphic systems from borehole data: An automatic method and case studies. Engineering Geology, 127, 1-13.

Kaya Mekaniği ve Jeoteknik Uygulamalar

Bir Kireçtaşı Ocağında (Araklı-Trabzon) Sondajların 3 Boyutlu Analizi Yoluyla Kaya Şev Duraylılığı Değerlendirmesi

The Assessment of Rock Slope Stability by 3 Dimensional Drillhole Analysis in a Limestone Quarry (Araklı-Trabzon)

Ş. Aliyazıcıoğlu, K. Karaman, A. Kesimal, F. Cihangir, B. Erçıkdı
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Taşönü (Trabzon-Araklı) kireçtaşı ocağında 2005-2007 yılları arasında 3 büyük ölçekli düzlemsel yenilme meydana gelmiştir. Bu yenilmelerin sonrasında, yenilme bölgesinin arkasında gerilme çatlakları oluşmuştur. Bu yenilmelerden kayma düzlemleri kalınlığı yaklaşık 110 santimetreye varan killi seviyeler sorumlu tutulmuştur. Bu çalışmanın amacı kil tabakasının mevcut durumunu gözlemlemek ve potansiyel yenilme zonlarını araştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak toplam 193 metre olmak üzere 5 adet araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj bulguları kil tabakasına ilave olarak çalışma sahasında olası bir yenilme düzleminin de olabileceğini göstermiştir. Olası yenilme düzleminin eğim açıları ile arazi gözlemleri değerlendirilerek yenilmenin boyutları ve içerdiği riskler ortaya konulmuştur. Sondaj verileri ile arazi modeli 3 boyutlu (3D) olarak Gemcom Surpac 6.2 programında oluşturulmuştur. Bu çalışmada araştırma sondajlarının ve üç boyutlu modellemelerin şev duraylılığı değerlendirmesinde önemli olduğu vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Şev duraylılığı, Surpac, üç boyutlu analiz.

ABSTRACT In Taşönü (Trabzon-Araklı) limestone quarry, 3 large-scale planar failures have occurred between 2005 and 2007 years. After these failures, new tension joints formed behind the failure zone. Clay layer having up to 110 centimeter thickness has been held responsible for these failures. The purpose of this study is to observe recent condition of clay zone and research potential failure zones. To achieve this purpose, 5 different exploratory drillings, totally 193 meters, bored. Evaluation of drillholes indicated the existence of potential failure zone additional to existing clay zone. By assessing inclination angle of the potential failure plane and field observations, dimensions of the failure and risks involved have been demonstrated. Drillhole data and digital terrain model (DTM) have been created in 3 dimensional (3D) by using Gemcom Surpac 6.2 program. In this study, the importance of exploratory drillings and 3D modeling has been emphasized in the assessment of rock slope stability.

Keywords: Slope stability, Surpac, three dimensional analysis

1 GİRİŞ

Kaya şev duraylılığı, açık ocak madenciliğinde güvenli ve işlevsel şevlerin tasarlanması için oldukça önemlidir. Uygun ve doğru yöntemlerle yapılan şev analizi, şevlerin duraylılığını ve güvenliğini artırmanın yanında, maliyetler ile sıyırma oranını azaltır ve maden ömrünü artırır (Karaman vd., 2013).

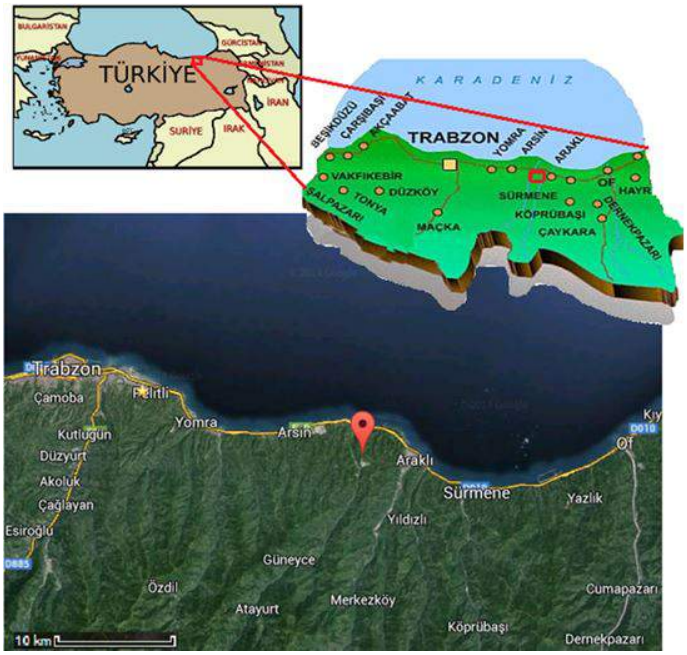
Kaya şev duraylılığını değerlendirmek için genellikle kinematik analiz, limit denge analizleri ve sayısal analizler ile kaya kütle sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2001; Pantelidis, 2009; Alejano, 2011; Karaman, 2013). Şev geometrisi ile içsel sürtünme açısının veri olarak kullanıldığı kinematik analizler, süreksizlikler tarafından kontrol edilen kaya şevlerinde kullanılmaktadır (Kliche, 1999; Kıncal ve Koca, 2009; Kulatilake vd., 2011).

Kaymaya karşı duran kuvvetlerin kaymayı tetikleyen kuvvetlere oranı olarak ifade edilen limit denge analizleri ise, yenilme düzlemine etki eden makaslama dayanımını, boşluk suyu basıncını ve dış kuvvetleri dikkate almaktadır (Kentli ve Topal, 2004; Gürocak vd., 2008). Ayrıca tünel ve yeraltı madenciliğinde yıllarca başarılı bir şekilde kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri (Barton 1976, 1988; Bieniawski, 1989; Laubscher, 1990), sonraki yıllarda şevler için de uygulama alanı bulmuştur (Bieniawski, 1989) ya da yeniden revize edilerek kullanılmıştır (Haines ve Terbrugge, 1991; Romana, 1985, 1991; Selby, 1980, 1982).

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemelerin madencilik uygulamalarına yansımasıyla, 3 boyutlu modelleme yazılımları (Surpac, Vulcan, Datamine, Micromine) madenciliğin neredeyse her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Madencilikte 3 boyutlu modelleme programlarından biri olan Surpac programı ile topografik haritanın 3 boyutlu yüzey modeli haline getirilmesi, sondaj karotlarının modellenerek görselleştirilmesi ve yüzey modeli ile birleştirilmesi, veritabanı oluşturularak jeoistatistiksel analizlerin yapılması, sondajlardan cevher yatağı modelleme, blok modelleme, yeraltı ve açık ocak madenciliği modellenmesi gibi işlevler yerine getirilebilmektedir (Aliyazıcıoğlu, 2012). Bu çalışmanın amacı, 3 farklı düzlemsel kaymanın gözlemlendiği Taşönü kireçtaşı ocağında araştırma sondajları değerlendirilerek daha önce heyelanın nedeni olarak gösterilen kil tabakasının mevcut durumunu ve muhtemel yenilme zonlarını araştırmaktır.

2 ÇALIŞMA SAHASININ ÖZELLİKLERİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma sahası Trabzon ili Araklı ilçesi Taşönü köyünde bulunmaktadır (Şek. 1). Sahada bulunan kireçtaşı ocağı, Trabzon'daki Çimento fabrikasının hammadde ihtiyacını karşılamaktadır. Çalışma sahasında Kireçhane Formasyonuna ait çeşitli kireçtaşları bulunmaktadır (biyomikritik kireçtaşı, makro fosilli boşluklu kireçtaşı, kumlu-killi kireçtaşı) (Karaman vd. 2013). Çalışma sahasında 2005-2007 yılları arasında 15-110 cm arasında değişen killi seviyeler üzerinde 3 ayrı düzlemsel kayma meydana gelmiştir (Şek. 2) (Ceryan, 2009). Killi tabakanın şev dışına eğimli olması kaymayı kolaylaştıran en önemli sebeplerden biri olarak gösterilmesinin yanında (Ceryan vd., 2009), ocakta düzensiz ve dike yakın basamakların olması, kontrolsüz patlatmaların yapılması ve bölgeye aşırı miktarda yağış düşmesi de tetikleyici etkenler olarak belirtilmiştir (Erçıkdı vd., 2006).



Şekil 1. Çalışma sahası yer bulduru haritası

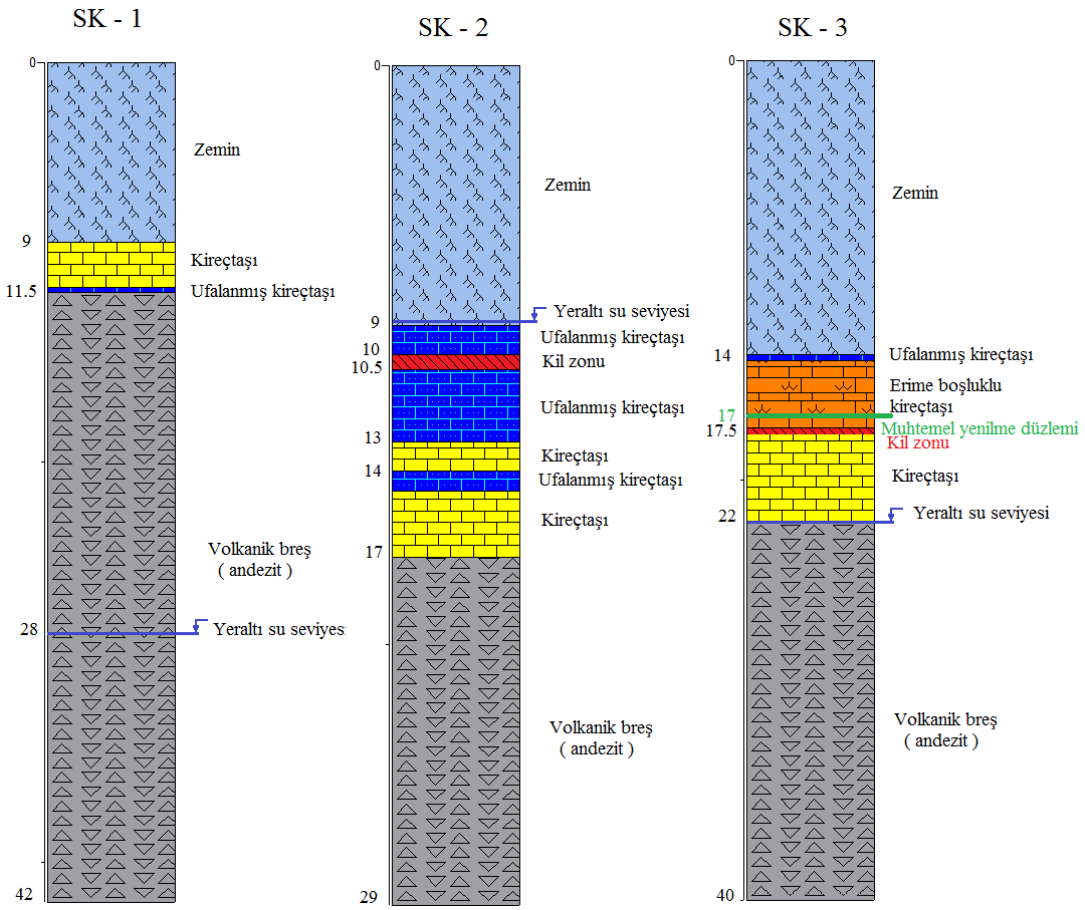
Şekil 2. Heyelan sahasından bir görünüm (Karaman vd. 2013)

Söz konusu yenilmelerden sonra sahada kil tabakasının son durumunu ve ilave olarak muhtemel yenilme/makaslama zonlarını belirlemek adına 5 adet araştırma sondajı yapılmıştır (Şek. 3). Toplamda 193 metre uzunluğunda yapılan sondaj kuyuları ortalama % 42 su ihtiva etmektedir. Sondajlarla ilgili derinlik, yeraltı su seviyeleri, kil zonu seviyeleri ile makaslama zonları Çizelge 1'de verilmiştir. Sondaj karotları incelenerek sondaj litolojisi çıkarılmıştır ve Rockware Logplot 7 programı ile modellenmiştir (Şek. 4-5)

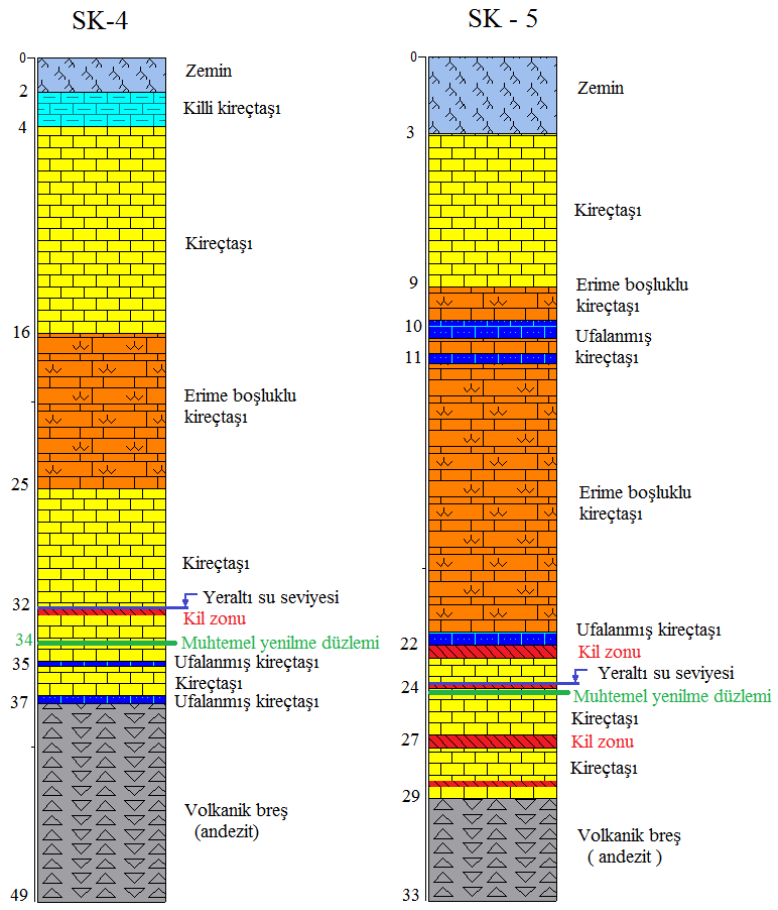
Çizelge 1. Sahada yapılan 5 ayrı sondaj bilgisi

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltı Su Seviyesi (m)	Kil Zonu seviyesi (m)	Makaslama Zonu Seviyesi (m)
SK-1	42	27.85	11.5	-
SK-2	29	8.75	10.5	-
SK-3	40	22	17.5	17
SK-4	49	31.6	32	34.5
SK-5	33	24	22 ve 27	24.5

Şekil 3. SK-4'e ait karot sandıkları

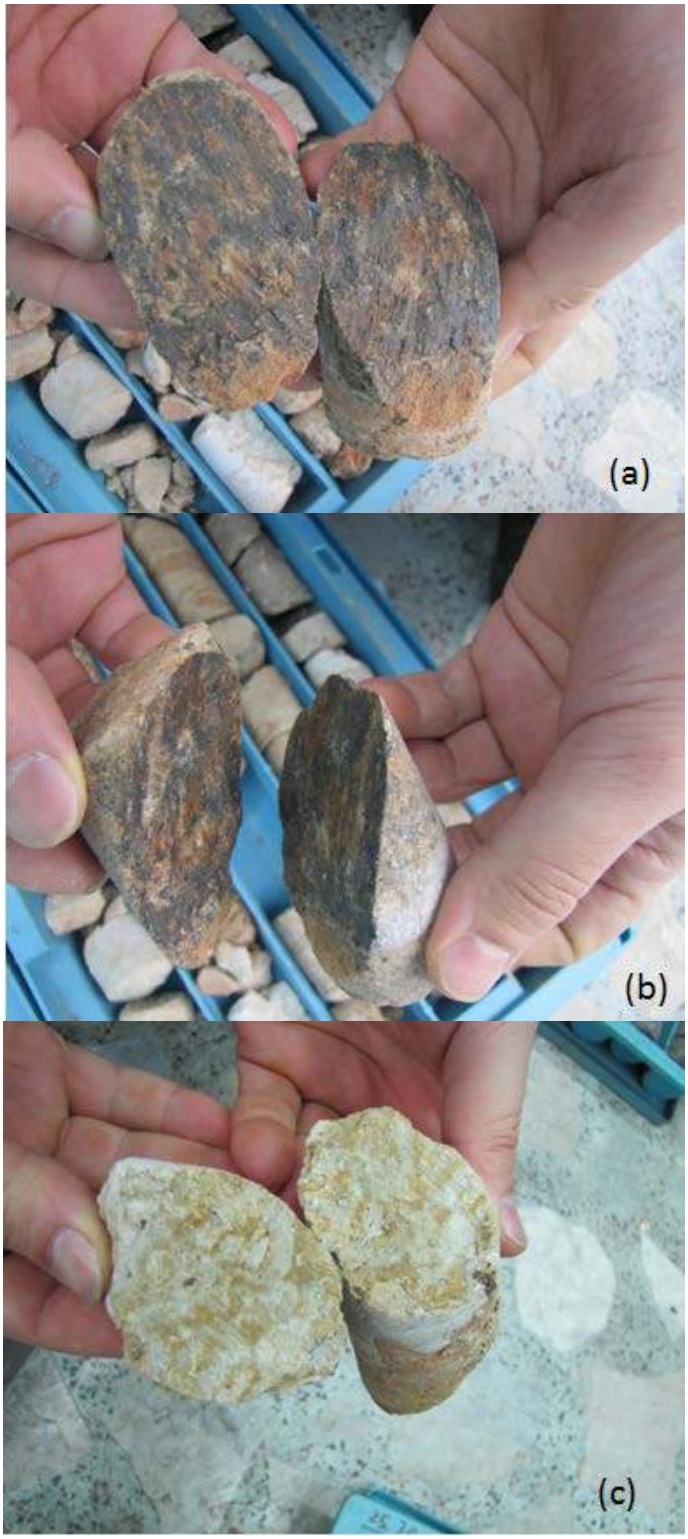


Şekil 4. SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajlarının stratigrafik kesiti (Kesimal vd.,2012)



Şekil 5. SK-4 ve SK-5 sondajlarının stratigrafik kesiti (Kesimal vd., 2012)

Kireçtaşı ocağından alınan sondaj karotlarının incelenmesi sırasında SK-3, SK-4 ve SK-5 sondajlarında sırasıyla yaklaşık 17, 34, ve 24. metrelerde makaslama zonları tespit edilmiştir (Şek. 6). Muhtemel makaslama düzlem açıları ise SK-3, SK-4 ve SK-5 için sırasıyla 38, 54 ve 45˚ olduğu sondajlardan tespit edilmiştir.

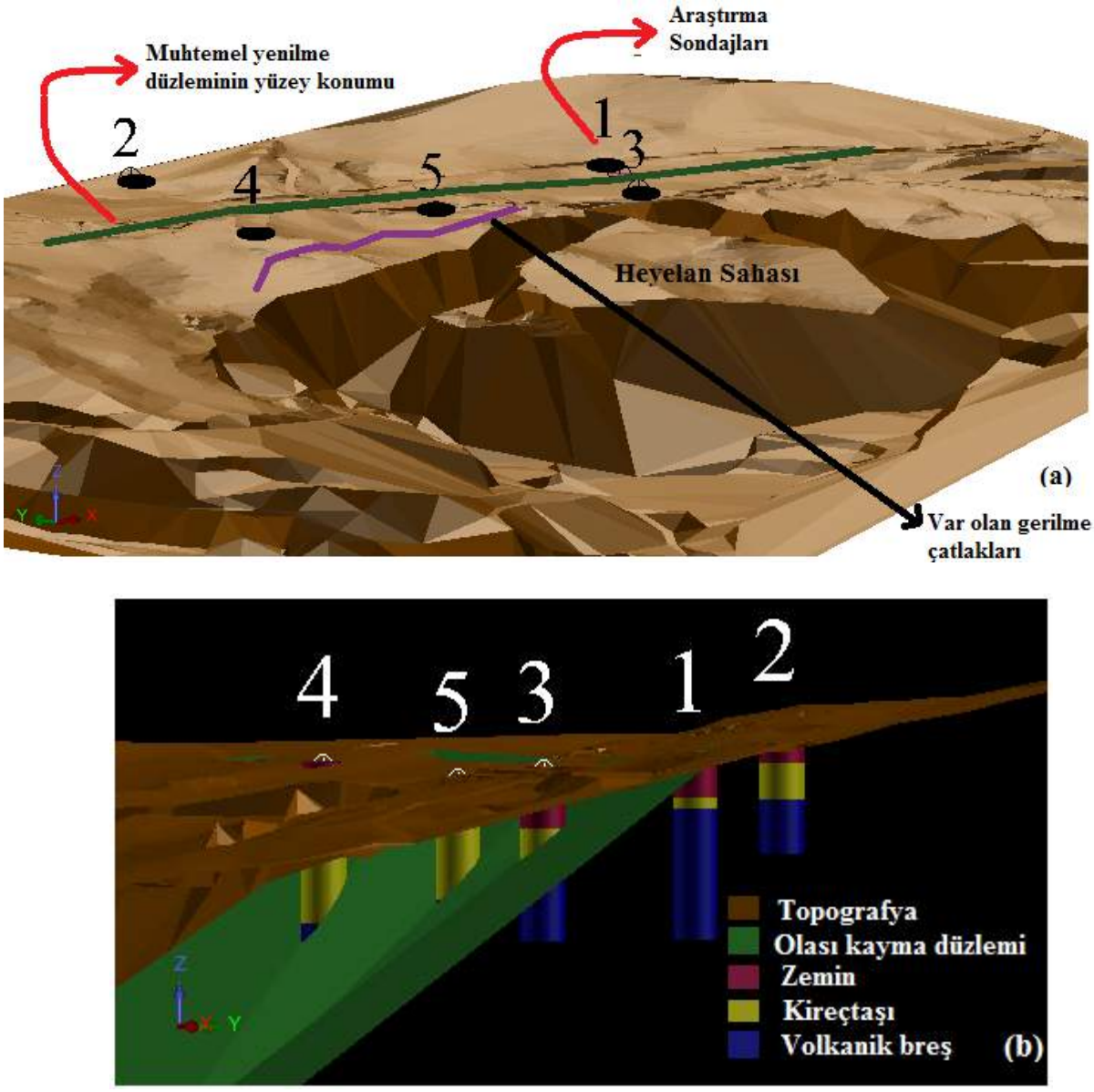


Şekil 6. Makaslama zonlarına ait görüntüler

İncelenen sondaj bilgileri, makaslama zonları ve eğim açılarıyla birlikte veritabanı oluşturularak Surpac programında modellenmiştir (Şek. 7). Sondaj karotlarının içerdiği jeolojik verilere göre 3 ayrı kayma çizgisi oluşturulmuş ve çizgiler arası DTM (Digital Terrain Model) modülü ile üçgenleme yapılmış ve kayma düzlemi oluşturulmuştur. Ayrıca, sahaya ait düzlemsel kayma sonrası yeniden şekillenen topografik harita da Surpac programında DTM olarak modellenerek 3 boyutlu yüzey modeli oluşturulmuştur Kayma düzleminin oluşturulan topografik haritanın yüzeyine kadar uzatılması sağlanmıştır. Böylece sondaj karotlarındaki makaslama yüzeylerinden yola çıkarak oluşturulan potansiyel kayma düzleminin şevin gerisinde nereye denk geldiği belirlenmiştir. (Şek. 7). Bu model ile topografik yüzey modeli birleştirilerek olası yeni kaymanın, yenilme bölgesinin ne kadar arkasına düştüğü tespit edilmiştir.

Ocakta hali hazırda yenilme zonu göstergesi olarak gözlemlenen gerilme çatlakları bulunmamaktadır. Ancak önceki yenilmeler sonrasında şev gerisinde 25 ile 38 metre arasında değişen mesafede ve genişlikleri yaklaşık 60 cm civarında olan gerilme çatlakları mevcuttur (Karaman, 2011).

Çalışma sahasında yapılan bu çalışma sonucunda ise daha önce gerçekleşen düzlemsel kayma bölgesinin 30 metreden 100 metreye kadar (ortalama 60 metre) arkasında olası yenilme zonu oluşabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle olası yenilmelerin önceden kestirilebilmesi için araştırma sondajlarının önemi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sondajlardan elde edilen bulguların 3 boyutlu olarak değerlendirmesi ile riskli alanların tespiti büyük önem taşımaktadır.



Şekil 7. Heyelan sahası 3D topografik görünümü ile olası kayma düzleminin yüzey konumu

3 SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 farklı düzlemsel kaymaya maruz kalmış bir kireçtaşı ocağında, daha önce kaymalara neden olduğu düşünülen kil dolgusunun mevcut durumunu ve muhtemel yenilme zonlarını belirlemek amacıyla 5 ayrı lokasyonda araştırma sondajları yapılmıştır. Sondaj verileri ile arazi modeli 3 boyutlu olarak Surpac programında oluşturulmuştur. Sahada önceden var olan gerilme çatlakları ile olası yenilme düzleminin konumu değerlendirilmiştir. 3 farklı sondaja ait karotların ayrıntılı analizi, mevcut kil dolgusunun varlığına ilave olarak makaslama zonlarının da mevcut olabileceğini göstermiştir. Olası yenilme düzleminin eğim açıları ile arazi gözlemleri değerlendirilerek yenilmenin boyutları ve içerdiği riskler ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, üç boyutlu modellemelerin daha geniş kayma yüzeylerini görebilmek ve risk alanlarını daha sağlıklı tespit edebilmek için şev duraylılığı değerlendirmelerine önemli katkılar sağlayacağı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Alejano, L.R, Ferrero, A.M, Oyanguren, P.R, Fernandes, M.I.A, 2011. Comparison of limit–equilibrium, numerical and physical models of wall slope stability. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 48, s.16–26.

Aliyazıcıoğlu, Ş, 2011. Örnek bir bakır madeninin Surpac programı ile modellenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 65 s. (yayımlanmamış).

Barton, N.R, 1976. Recent experiences with the Q system of tunnel support design. In: Bieniawski ZT (ed) Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg. Balkema, Rotterdam, s.107–117.

Barton, N.R, 1988. Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q-system. In: Kirkaldie L (ed). Proceedings Symposium on Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publication 984, AmericanSociety for Testing and Materials, Philadelphia, s.59–88.

Bieniawski, Z.T, 1989. Engineering Rock Mass Classification. Wiley, Chichester. 251 s.

Ceryan, N, 2009. Taşönü kalker ocağındaki (Trabzon) kaya şevleri duraylılığının olasılık yöntemle analizi ve kazılabilirlik, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Trabzon, 185 s.

Ceryan, N, Çellek, S, Kesimal, A, 2009. Taşönü (Araklı/Trabzon) heyelanının kayma düzlemindeki killerin mühendislik özellikleri. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, Trabzon, s.351-360.

Erçıkdı, B, Cihangir, F, Kesimal, A, 2006. Düzlemsel kaymanın oluştuğu bir kireçtaşı ocağında güvenlik katsayılarının belirlenmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 19, 2, 121–129.

Gürocak, Z, Alemdag, S, Zaman, M.M, 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey. Engineering Geology, 96, s.17–27.

Haines, A, Terbrugge, P.J, 1991. Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. In: Wittke, W. (editor) Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM. Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam, s.887–892.

Karaman, K, 2011. Taşönü (Trabzon–Araklı) kalker ocağındaki şevlerin duraylılık açısından incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 123 s (yayımlanmamış).

Karaman, K, Erçıkdı, B, Kesimal, A, (2013). The assessment of slope stability and rock excavatability in a limestone quarry. Earth Sciences Research Journal. 17, 2, s.169 – 181.

Karaman, K, 2013. Kaya şev duraylılığının farklı yöntemlerle değerlendirilmesi (Ünye, Ordu). Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37, 1, s.27–47.

Kentli, B, Topal, T, 2004. Assessment of rock slope stability for a segment of the Ankara–Pozanti motorway, Turkey. Engineering Geology, 74, s.73–90.

Kesimal, A, Erçıkdı, B, Cihangir, F, Karaman, K, Aliyazıcıoğlu, Ş, 2012. Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü köyü kalker ocağındaki heyelanlı bölgenin kazısı ve ıslahı, Döner Sermaye Projesi, Aşkale Çimento Sanayii T.A.Ş. Trabzon, 65 s.

Kıncal, C, Koca, M.Y, 2009. A proposed method for drawing the great circle representing dip angle and strike changes. Environmental and Engineering Geoscience, 15, s.145–165.

Kliche, C.A, 1999. Rock slope stability. SME, Littleton, CO.

Kulatilake, P.H.S.W, Wang, L, Tang, H, Liang, Y, 2011. Evaluation of rock slope stability for Yujian River dam site by kinematic and block theory analyses. Computers and Geotechnics, 38, s.846–860.

Laubscher, D.H, 1990. A geomechanics classification system for rating of rock mass in mine design. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 90, 10, s.257–273.

Pantalidis, L, 2009. Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 46, s.315–325.

Romana, M, 1985. New adjustment rating for application of the Bieniawski classification to slopes. Proceedings International Symposium on Rock Mechanics, Mining Civil Works, ISRM, Zacatecas, Mexico, s.59–63.

Romana, M, 1991. SMR classification. In: Wittke W (editor) Proceedings 7th Congress on Rock Mechanics 2, ISRM, Aachen, Germany. Balkema, Rotterdam, s.955–960.

Selby, M.J, 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. Geomorphology, 23, s.31–51.

Selby, M.J, 1982. Hillslope materials and processes. Oxford University Press, Oxford, 264 s.

Ulusay, R, Gökçeoğlu, C, Sönmez, H, Tuncay, E, 2001. Causes, mechanism and environmental impacts of instabilities at Himmetoğlu coal mine and possible remedial measures. Environmental Geology, 40, 6, s.769–786.

Doğal Taş Ocaklarında Süreksizliklerin Blok Alma Verimine Etkisi

The Effect of Discontinuities to Block Extraction Efficiency in Natural Stone Quarries

M. Yetkin, A. H. Deliormanlı
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Buca/İzmir

B. Yavuz
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Buca/İzmir

ÖZET Mermer madenciliğinde mermer sahalarının işletmeye açılmasından önce ocak ağzının ve üretim yönünün belirlenmesi ve ocaktan daha verimli bir üretim yapılabilmesi için bir takım saha etüdleri yapılması gerekmektedir. Özellikle mermer ocaklarından alınabilecek olan blok boyutlarının önceden bilinmesi; açılması planlanan ocağın ekonomikliği ve verimliliği açısından büyük önem taşır. Bu çalışmada mermer ocaklarında blok boyutlarını direk olarak sınırlayan süreksizlik düzlemlerinin genel özellikleri ele alınmış ve örnek bir mermer ocağında bulunan süreksizlikler arası mesafeler hat etüdü yöntemi ile ölçülmüş ve elde edilen veriler ışığında ocaktan alınabilecek ortalama blok boyutu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, mermer, blok boyutları

ABSTRACT Some field surveys should be carried out in marble sites to indentify the initial production location and to direct the quarry for efficiency production . Especially, extracted block sizes from quarry which are known in advance is of great importance in terms of affordability and efficiency of quarry. In this study, site investigation were carried out in a marble quarry located in Muğla region and the main discontinuity properties like spacing and orientations seen on the rock slope faces were measured by using line survey method and average block sizes which can be obtained from the quarry were calculated in the light of the obtained data.

Keywords: Natural stone, marble, block size

1 GİRİŞ

Mermer ocaklarında üretim planlaması yapılmadan önce ocaktan çıkarılacak olan mermerin özelliklerinin ve ocak içerisindeki kalite dağılımının önceden bilinmesi planlama açısından oldukça önemlidir. Elde edilen bu bilgiler sayesinde ocak içinden seçimli üretimde yapılabilir.

Mermer ocaklarında ekonomik bir üretim planlaması yapılabilmesi için ocak içindeki hangi bloğun işletilebilir, hangisinin işletilemez olduğunun önceden belirlenmesi ve bu blokların ocak içinde hangi bölgelerde bulunduklarının bilinmesi gerekir.

Bu konuda özellikle mermer ocaklarında süreksizliklerin devamlılığı ve konumlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Ocak içinde bulunan süreksizliklerin dağılımları ve sayısı, ocaktan istenilen boyutlarda blok alınmasını sınırlar.

Mermer ocaklarında yüzeyde gözlemlenen süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri, açıklığı, aralığı, pürüzlülüğü vb. parametreler sayesinde süreksizlikler tanımlanabilmekte, ocak içindeki dağılımları saptanabilmekte ve

bu sayede de ocak içinden alınabilecek blok boyutları bulunabilmektedir.

1.1 Kaya Kütlelerinin Tanımlanması

Kaya kütleleri; sürekli, homojen ve izotrop malzemeler olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler. Ayrıca farklı derecede bozunmaya uğramış kaya türlerini de içerirler. Bu nedenle, dış yüklere maruz kalabilen söz konusu kaya kütlelerinin davranışı, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan gerçeğe yakın şekilde analiz veya önceden tahmin edilemez. Bu durum, kaya kütlelerinin özelliklerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanmasına ve kaya mühendisliği uygulamalarında önem kazanmasına neden olmaktadır. Kaya kütlelerinin tanımlanması; mühendislik yapısının duraylılığını denetleyecek jeolojik unsurların ve bunların fiziksel özelliklerinin tanımlanmasıyla ilgili verilerin toplanması ve kaya kütlesini temsil edecek bir modelin oluşturulması işlemidir. Bu işlemde en önemli aşama, süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır.

l.2 Süreksizlik Özelliklerinin Tanımlaması

Süreksizlik, kaya kütlelerindeki tabakalanma düzlemi, eklem, fay, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. gibi jeolojik anlamda zayıflık düzlemlerinin tümünü içeren genel bir kavramdır.

Süreksizliklerin özellikleri, konumları ve yönelimleri kayacın özelliklerini ve dolayısıyla kaya mühendisliği uygulamalarını etkiler. Kaya kütlesi içinde süreksizliklerin üç boyutlu yapısı süreksizlik ağını oluşturur. Süreksizlikler, sağlam kayaca oranla düşük makaslama dayanımına sahiptirler ve sıvı iletme kapasiteleri yüksektir.

Mermer sahalarında blok mermer üretimine geçilmeden önce kayaca ait süreksizlik düzlemlerinin genel özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Hali hazırda blok mermer üretimi yapılan bir mermer ocağında yürütülen bu çalışmada ocak üretim aynaları üzerinde gözlenen süreksizlik düzlemleri incelenmiş ve hat ölçüm tekniği kullanılarak süreksizlik düzlemlerinin aralığı belirlenmiştir.

Süreksizliklerin özellikleri aşağıda belirtilen amaçlara yönelik olarak tayin edilir.

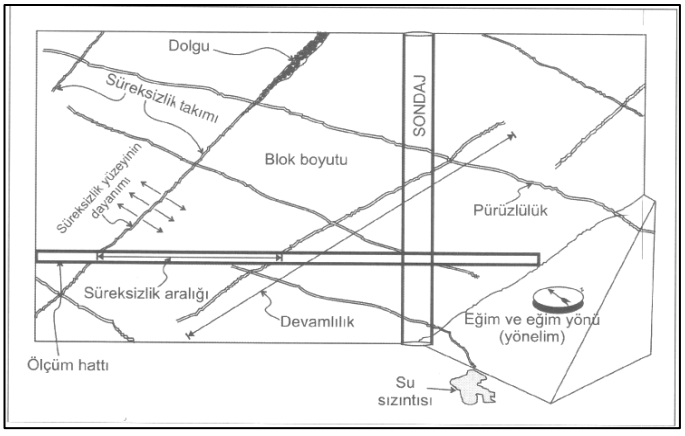
a)Jeolojik yapının ortaya konulması

b)Kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması ve

c)Kaya kütlelerinin duraylılığı (örneğin, şev duraylılığı veya yeraltı açıklıklarının tavanlarında oluşan blokların duraylılığı vb.), deformasyonu, sıvı iletimi, patlama ve destek tasarımı gibi uygulamalarda kullanılan kinematik, analitik, sayısal veya görgül yöntemler için veri sağlanması. (Ulusay & Sönmez 2007)

Süreksizliklerin başlıca özellikleri (Şek. 1) aşağıdaki gibidir;

a) Süreksizlik türü
b) Süreksizlik aralığı
c) Süreksizliğin devamlılığı
d) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
e) Süreksizlik yüzeyinin açıklılığı
f) Dolgu malzemesinin özellikleri
g) Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve bozunmanın derecesi
h) Süreksizlik yüzeyindeki su durumu
i) Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik seti(takımı)sayısı
j) Blok boyutu



Şekil 1. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Hudson, 1989'dan yararlanılmıştır).

Yapılan arazi çalışmalarında ve hesaplamalarda süreksizlik özeliiklerinden süreksizliklerin aralığı, kaya kütlesine ait hacimsel eklem sayısı ve hat etüdü yöntemi

dikkate alındığı için aşağıdaki bölümlerde bu kavramlardan bahsedilmiştir.

1.3 Süreksizlik Aralığı

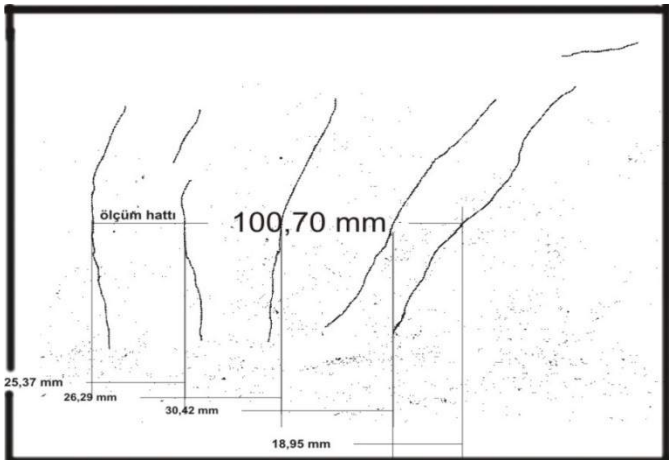
Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik takımındaki iki süreksizlik arasındaki dik uzaklıktır. Bu parametre, kaya kütlelerinin dayanımı ve davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için, yer üstü kazılarının veya açıklıklarının duyarlılıklarını da doğrudan etkilemektedir. Süreksizlik aralığının düşük olması, özellikle yeraltı açıklıklarının duraylılığının sağlanmasını güçleştiren bir faktör olarak bilinir. Bu nedenle, süreksizlik aralığı parametresinin ölçülüp tanımlanması kaya mühendisliği uygulamalarında önem taşır. (Ulusay & Sönmez 2007)

Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyi üzerinde belirli bir yönde serilen şerit metre boyunca şerit metreyi kesen süreksizliklerden ölçülebileceği gibi (Şekil 2), sondaj karotlarından da tayin edilebilir. Ancak uygulamada şerit metrenin her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilmesi mümkün olmadığından, iki tür açıklık ölçülebilmektedir.

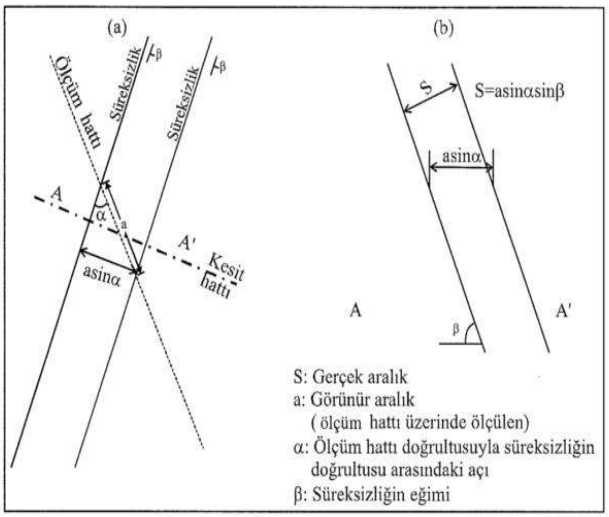
a)Görünür aralık (şerit metre veya sondaj ekseni boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık; Şekil 3a'da "a" mesafesi)

b)Gerçek aralık (birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir süreksizlik takımına ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe; Şekil 3b'de S mesafesi)

Bir süreksizlik takımını oluşturan süreksizliklerin birbirlerine tam paralel olması çok ender olarak görüldüğü için, gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı yüzleğin, ya da kazı aynasının konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, süreksizlik aralığının belirlenmesinde görünür aralık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir.



Şekil 2. Hat etüdü yöntemi ile süreksizlik aralıklarının ölçülmesi (Yetkin, 2012).



Şekil 3. Görünür (a) ve gerçek aralık (b) parametreleri arasındaki ilişki.

Arazide alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (bir metredeki süreksizlik sayısı, λ)(Şekil 2) aşağıdaki ifadelerden belirlenir.

$$x=L/N \quad (1)$$

$$\lambda=N/L \quad (2)$$

Burada; L ölçüm hattının uzunluğu, N ise ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır.

1.4 Hacimsel Eklem Sayısı

Hacimsel eklem sayısı (J_v) birim hacimdeki bir kaya kütlesinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rastgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir ve J_v'yi önemli ölçüde etkilemez. Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 m arasında

seçilebileceğini göstermiştir (Palmstrom 1996).
J_v,aşağıdaki ifadeden hesaplanır.

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{S_n} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{S_i}\right) \quad (3)$$

burada,
n: Eklem takımı sayısı (Aynı yönde ölçülen)
S: Gerçek süreksizlik aralığı (m)
(Palmstrom,1982 ve 1996)

Hesaplanan J_v değerleri kullanılarak, kaya kütleleri sınıflandırılmıştır. Buna göre Güncel J_v sınıflaması ve blok boyutları sınıflaması Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Güncel Jv sınıflaması (Palmstrom,1982 ve 1996).

Sınıf No	Eklem tanımı	J_v tanımı	J_v (eklem/m^3)
1	Masif	İleri derecede düşük	< 0,3
2	Çok az eklemli	Çok düşük	0,3-10
3	Az eklemli	Düşük	1-3
4	Orta derece eklemli	Orta derecede düşük	3-10
5	Çok eklemli	Yüksek	10-30
6	İleri derecede eklemli	Çok yüksek	30-100
7	Parçalanmış	Aşırı derecede yüksek	> 100

Tablo 2. Hacimsel eklem sayısına (Jv) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981)

Tanım	J_v (eklem/m^3)
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükte bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

1.5 Hat Etüdü Yöntemi

Kaya kütlesi ve içerdiği süreksizlik düzlemlerine ait özellikler kaya yüzleğinden yapılan ölçümlerle belirlenir. Yüzlekte yapılan çalışmalar geniş bir alanda kaya kütlesinin incelenmesi, doğrudan ölçüm alınması ve çeşitli süreksizlik takımları arasındaki ilişkilerin gözlenebilmesi açısından oldukça yararlıdır (Yavuz 2001). Veri toplamak amacıyla "hat etüdü" yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Hat etüdü yönteminde; Döküntülerden arındırılmış düz bir kaya yüzeyi üzerine serilmiş çelik bir metre boyunca metreyi kesen tüm süreksizliklerin özellikleri kaydedilir. Mümkünse 150-200 arasında süreksizlikten ölçüm alınır ve bu süreksizliklerin yaklaşık %50'sinin bir ucunun gözlenmesinde yarar vardır. Hat etüdü uzunluğu, kaya yüzeyinin döküntü veya bitki ile kaplı olmasına bağlı olarak değişim sunabilir. Şerit metre aynanın doğrultusuna veya eğimin en yüksek olduğu yöne paralel şekilde serilir. Ek hat etüdü için şerit metre birinci hattı dik kesecek şekilde serilir (Şekil 2). Böylelikle hatalı örneklemenin en aza indirilmesi sağlanır. (Ulusay & Sönmez 2007)

Şekil 4.Ayna üzerinde yapılan hat etüdü yöntemi.

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

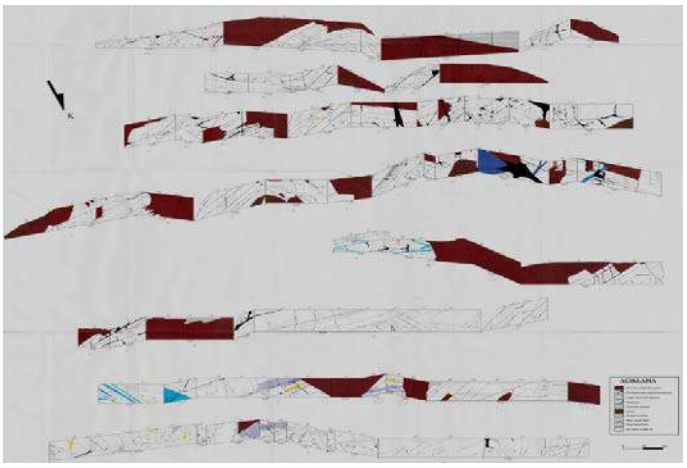
Özel sektöre ait ve hali hazırda blok mermer üretimi yapılan bir mermer ocağında yürütülen bu çalışmada kaya şevleri üzerinde yer alan süreksizlik düzlemleri incelenmiş ve süreksizlikler arası mesafeler harita üzerinde hat etüdü yöntemi ile Kuzey Batı-Güney Doğu (KB-GD), Kuzey Doğu-Güney Batı (KD-GB) ve Doğu-Batı (D-B) olmak üzere farklı yönlerde gruplandırılarak ölçülmüştür.

Daha sonra saha verileri kullanılarak ocaktan üretilmesi mümkün olan bloklara ait hacimsel eklem sayıları hesaplanmış ve elde edilen değerlere göre ocaktan alınabilecek ortalama blok boyutları tespit edilmiştir.

2.1 Ölçümler ve Hesaplamalar

Çalışılan mermer ocağında süreksizlikler arası mesafeler haritada bulunan aynalar üzerinde yapılan gözlemler sonucu, KD-GB yönünde 28, KB-GD yönünde 16, D-B yönünde ise 17 adet ölçüm hattı boyunca hat etüdü yöntemi ile ölçülmüş, ortalama süreksizlikler arası mesafeler bulunmuş, blokların hacimsel eklem sayıları hesaplanmış ve buna bağlı olarak ocaktan alınabilecek ortalama blok boyutu hesaplanmıştır (Tablo 3, Tablo 4).(Şekil 5)

Yapılan çalışmada, hacimsel eklem sayılarının hesabında; eşitlik 3 kullanılmış ve her bir yön için hacimsel eklem sayıları hesaplanmıştır. Bulunan hacimsel eklem sayılarına göre farklı yönlerde oluşan kaya kütleleri sınıflandırılmıştır.



Şekil 5. Çalışma sahasının süreksizlik haritası

Tablo 3. Hat etüdü yöntemi ile farklı yönlerde ölçülen ortalama süreksizlik aralıkları

Yön	**KD-GB**	**KB-GD**	**D-B**
Ölçüm Hattı	**Ortalama Süreksizlik Aralığı (cm)**		
Tanımlama	**a**	**b**	**c**
1	700	260	100
2	120	210	53,33
3	160	160	40
4	320	275	80
5	240	140	60
6	183,33	400	193,33
7	116,67	180	153,33
8	213,33	440	88
9	112,50	205	160
10	210	195	50
11	75	240	180
12	128,57	95	130
13	136,67	266,67	140
14	128,57	223,33	151,43
15	144	85,71	146,67
16	125	200	73,33
17	50	-	150
18	110	-	-
19	330	-	-
20	100	-	-
21	83,64	-	-
22	205	-	-
23	136,67	-	-
24	180	-	-
25	92	-	-
26	270	-	-
27	60	-	-
28	145	-	-
Ortalama (m)	**1,74**	**2,24**	**1,15**

Tablo 4. Hacimsel eklem sayıları J_v (eklem/m^3).

Yön	**KD-GB**	**KB-GD**	**D-B**
Ölçüm Hattı	**Hacimsel Eklem Sayısı (eklem/m^3)**		
Tanımlama	**1/a**	**1/b**	**1/c**
1	0,14	0,38	1,00
2	0,83	0,48	1,88
3	0,63	0,63	2,50
4	0,31	0,36	1,25
5	0,42	0,71	1,67
6	0,55	0,25	0,52
7	0,86	0,56	0,65
8	0,47	0,23	1,14
9	0,89	0,49	0,63
10	0,48	0,51	2,00
11	1,33	0,42	0,56
12	0,78	1,05	0,77
13	0,73	0,37	0,71
14	0,78	0,45	0,66
15	0,69	1,17	0,68
16	0,80	0,50	1,36
17	2,00	-	0,67
18	0,91	-	-
19	0,30	-	-
20	1,00	-	-
21	1,20	-	-
22	0,49	-	-
23	0,73	-	-
24	0,56	-	-
25	1,09	-	-
26	0,37	-	-
27	1,67	-	-
28	0,69	-	-
Toplam	**21,68**	**8,56**	**18,63**

3 DEĞERLENDİRME

Her bir ölçüm hattı için hesaplanan ortalama süreksizler arası mesafe değerleri eşitlik (3)'teki formülde yerlerine konularak, 3 farklı doğrultuda bulunan süreksizliklerin hacimsel eklem sayısı hesaplanmış ve Tablo 1'deki değerlerle karşılaştırılarak blok boyutları tanımlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

KD-GB yönünde hacimsel eklem sayısı;
Jv= 21,68 eklem/m^3 (çok eklemli-küçük blok)
KB-GD yönünde hacimsel eklem sayısı;
Jv = 8,56 eklem/m^3 (orta derece eklemli-orta büyüklükte blok).
D-B yönünde hacimsel eklem sayısı;
Jv = 18,63 eklem/m^3 (çok eklemli-küçük blok) olarak bulunmuştur.

Daha sonra yapılan hat etüdü sonucunda KD-GB, KB-GD ve D-B olmak üzere 3 yönde hesaplanan ortalama süreksizlik aralıklarının aritmetik ortalaması alınmış (Tablo 3) ve 3 farklı yön için ortalama süreksizlik aralığı değeri bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

KD-GB yönünde ortalama süreksizlik aralığı: 1,74 m
KB-GD yönünde ortalama süreksizlik aralığı: 2,24 m
D-B yönünde ortalama süreksizlik aralığı: 1,15 m olarak hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu ortalama süreksizlik aralıkları dikkate alınarak ocaktan alınabilecek olan ortalama blok boyutu;

Vort = 1,74 m x 2,24 m x 1,15 m = 4,48 m^3 olarak hesaplanmıştır.

4 SONUÇLAR

Günümüzde bir kayanın blok mermer olarak kullanılabilmesi için ekonomik boyutlarda 1,5-12 m^3 aralığında bloklar veriyor olması esastır (Kaya, 2005). Kayaçların içerdikleri süreksizlik düzlemleri, o kayadan alınabilecek blok boyutlarını doğal olarak sınıflandırmaktadırlar. Bu nedenle bir sahada blok mermer üretimine geçilmeden önce, o kayanın içerdiği süreksizlik düzlemleri tanımlanmalı ve genel özellikleri belirlenmelidir.

Yapılan bu çalışma neticesinde mermer ocağından alınabilecek ortalama blok boyutu 4,48 m^3 olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Hudson, J. A., 1989. *Rock mechanics principles in rock engineering practice*. England: Butterworth-Heinemann Ltd

ISRM., 1981. Basic geotechnical description of rock masses, Int. Society of Rock Mech. Commission

on the classification of rock and rock masses, *Int. Journal of Rock Mech. and Mining Sciences and Geomechanical Abstract*, 18, 85-110 pp.

Kaya, K., 2005. RMI kayaç kütle sınıflama yönteminin mermer ocaklarında blok üretim boyutlarının belirlenmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Palmström A., 1982. The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of jointing. *Proc. int. congr. IAEG*, New Delhi, 1982, pp. V.221 - V.228.

Palmström, A.., 1996. RMI-a system for characterising rock mass strength for use in rock engineering. *J. Of Rock Mech. and Tunnelling Tech*, 1 (2), 69-108.

Ulusay, R ve Sönmez, H., 2007. *Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.

Yavuz, A.B., 2001. Muğla Yöresi Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler, Doktora Tezi, D.E.Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl., İZMİR.

Yetkin E.M., 2012. Örselenme faktörünün süreksizliklerin seçilmiş bazı jeoteknik özelliklerine olan etkileri, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Küre Bakır Madenindeki Tesis ve Baraj Atıklarının Macun Dolgu Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of the Potential Use of Process and Dam Tailings as Paste Backfill Material at Küre Copper Mine

B. Erçıkdı, F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

A. Tezcan, K. Küçükateş, F. Enisoğlu, V. Karaoğlu
Eti Bakır A.Ş., Küre, Kastamonu

ÖZET Bu çalışmada Küre bakır madeni cevher zenginleştirme tesisinden (PA) ve atık barajından (AB) alınan atıkların macun dolgu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Farklı çimento tipi (CEM III/A 42.5 N, CEM II/A 42.5, CEM I 42.5) ve oranlarında (%5.5-10) hazırlanan macun dolgu numuneleri tek eksenli basınç testine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca şlamı uzaklaştırılmış atıklar (SPA ve SAB) kullanılarak tane boyut dağılımının macun dolgu dayanımına etkisi incelenmiştir.

Bağlayıcı olarak CEM III/A 42.5 N kullanıldığı durumda 28 ve 90 günde ≥1.0 MPa dayanım kazanımı için bağlayıcı dozajının baraj (AB) ve tesis (PA) atıkları için sırasıyla ≥159 kg/m^3 ve ≥127 kg/m^3 olması gerektiği belirlenmiştir. Tesis (PA) ve şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) ile %6.5-8.5 çimento oranında hazırlanan dolguda bağlayıcı olarak normal Portland çimentosu (CEM I 42.5) kullanıldığı durumda macun dolgu numunelerinin 28 günde ≥1.0 MPa dayanım kazanımı sağladığı gözlenmiştir. Şlam uzaklaştırma işlemi; baraj atığının dayanım ve duraylılığını arttırırken, şlamı uzaklaştırılmış pirit atığın (SPA) dayanım kazanımını olumsuz yönde etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tesis ve baraj atıkları, macun dolgu, tek eksenli basınç testi

ABSTRACT In this study, the potential use of process (PA) and dam tailings (AB) of Küre copper mine for paste backfill material was investigated. Cemented paste backfill samples prepared using various binder types (CEM III/A 42.5 N, CEM II/A 42.5, CEM I 42.5) at different dosages (%5.5-10) were subjected to the uniaxial compressive strength test. Additionally, the effect of desliming on paste backfill performance was also evaluated using the deslimed tailings (SPT and SAB).

The binder dosage required to achieve 28- and 90-day UCSs of ≥1.0 MPa was determined to be ≥159 kg/m^3 and ≥127 kg/m^3 for the dam (AB) and mill tailings (PA) when the CEM III/A 42.5 N was used as the binder. The CPB samples of ordinary Portland cement (CEM I 42.5) at 6.5-8.5 wt% binder dosages were observed to produce a 28-day UCS of ≥1.0 MPa for the mill (PA) and deslimed dam tailings (SAB). Desliming appeared to improve the strength and stability of CPB samples of dam tailings (SAB). In contrast, it adversely affected the strength development of CPB samples of mill tailings (SPA).

Keywords: Process and dam tailings, paste backfill, uniaxial compression test

1 GİRİŞ

Son yıllarda cevher zenginleştirme atıklarının çimentolu macun dolgu (CPB) ile yeraltı üretim boşluklarına depolanması teknik, ekonomik ve çevresel açıdan sağladığı yararlar göz önünde bulundurulduğunda birçok yeraltı madeni için madencilik faaliyetlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Yumlu, 2010; Erçıkdı vd., 2012).

Genellikle yerüstü atık barajlarına, deniz ve okyanusların derin bölgelerine deşarj edilmekte olan maden atıkları, son yıllarda meydana gelen atık barajı kazaları ve artan çevresel kaygılar nedeniyle çimentolu macun dolgu teknolojisi ile arakatlı kazı veya kes-doldur yöntemiyle üretim yapılan yeraltı üretim boşluklarında güvenli bir şekilde depolanabilmektedir. Bu atıkların, yeraltı üretim boşluklarına doldurulmasıyla;

i. Tahkimat amaçlı bırakılan büyük boyutlu topuklardan cevher kazanımı sağlamakta ve tahkimat işlevi görerek yan odaların (stope) üretimi esnasında emniyetli çalışma koşulları sağlamaktadır (Fall ve Samb, 2009).
ii. Yerüstü tasman oluşumunu minimize etmektedir.
iii. Tesis atıklarının %65-70'inin yeraltı üretim boşluklarında depolanmasına imkan sağlamakta ve yerüstü atık depolama ve rehabilitasyon maliyetlerini azaltmaktadır (Benzaazoua vd., 2002).
iv. Uygun bir atık yönetimi yöntemi olan macun dolgu ayrıca, atmosferik koşullar altında depolanması durumunda çevresel problemlere (AMD oluşumu vb.) yol açabilecek sülfürlü atıkların emniyetli bir şekilde depolanabilmesini sağlamaktadır (Çetiner vd., 2006).

Çimentolu macun dolgu; ince boyutlu cevher zenginleştirme atıkları (ağırlıkça katı oranı %75-85), bağlayıcı (ağırlıkça %3-9) ve istenen akışkanlığı ve katı oranını (%70-80) sağlamak için ilave edilen suyun başarılı bir karışımı olarak ifade edilmektedir. Çimentolu macun dolgunun kalitesini belirleyen en önemli parametre ise dolgunun kısa ve uzun dönemde gösterdiği mekanik davranışıdır. Dolguyu oluşturan bileşenlerin (atık, bağlayıcı ve karışım suyu) fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri dolgunun kısa ve uzun dönem performansı (dayanım, duraylılık vb.), taşınması ve yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Yapılan çalışmalar, bir macun dolgu uygulamasında yüksek dayanım ve duraylılık sağlayan bir karışım dizaynının tüm işletmeler için genelleştirilemeyeceğini, bu nedenle her bir dolgu uygulaması için en uygun karışım dizaynının (optimum bağlayıcı oranı, bağlayıcı tipi, optimum tane boyut dağılımı vb.) ayrı olarak belirlenmesi gerektiğini göstermiştir (Kesimal vd., 2004; Erçıkdı vd., 2010a,b; Cihangir vd., 2012). Bu çalışma Kastamonu Küre bakır madeni macun dolgu tesisi için optimum macun dolgu dizaynının belirlenmesine yönelik proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hem atık barajına depolanmış atık malzeme (AB) hem de cevher zenginleştirme sonucu açığa çıkan atık malzeme (PA) kullanılarak farklı karışım özelliklerinde numuneler hazırlanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar atık ve bağlayıcıların fiziksel, kimyasal, mineralojik ve reolojik karakteristikleri ile ilişkilendirilerek her bir atık en uygun bağlayıcı tipi ve dozajı belirlenmiştir.

1.1 Bağlayıcı Tipi ve Oranının Önemi

Yeraltı maden işletmelerinde kullanılan çimentolu macun dolgu uygulamasının mekanik davranışında (dayanım, duraylılık vb.) bağlayıcı tipi önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, çimento masrafları macun dolgu tesisinin işletme maliyetleri açısından önemli bir faktördür. Tipik bir macun dolgu tesisinde, çimento masrafları (her %1'lik çimento artışı için ton başına 1$ maliyet artışı) işletme maliyetlerinin %50-70'ini oluşturmaktadır. Bundan dolayı, uygun ve düşük maliyetli ve macun dolgunun kısa ve uzun dönemdeki dayanım ve duraylılığını olumsuz yönde etkileyebilecek faktörlere (asit ve sülfat etkisi vb.) karşı dirençli bir çimento tipinin seçilmesi önemlidir.

Sülfürlü cevher zenginleştirme atıklarından oluşan macun dolguda, uzun dönemde bazı duraylılık problemlerinin (dayanım kaybı vb.) meydana geldiği bildirilmektedir (Hassani vd., 2001; Erçıkdı vd., 2009). Yeraltına yerleştirilen çimentolu macun dolgu, su ve oksijenle temas ettiğinde sülfürlü mineraller (pirit vb.) oksidasyona uğrar. Açığa çıkan sülfat (SO_4^{-2}) daha sonra kalsiyum hidroksit (CH) ve kalsiyum alüminat (C_3A) gibi bağlayıcı fazları ve hidratasyon ürünleri ile reaksiyona girerek genleşme özelliğine sahip etrenjit ve alçıtaşı oluşumuna neden olur. Bu mineraller dolgunun dayanım ve duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Portland çimentosu gibi C_3A içeriği yüksek bağlayıcılar özellikle asit ve sülfat ataklara karşı dirençsizdirler. Aktif mineral katkı maddesi (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu veya doğal puzolan) içeren Portland kompoze çimentosu sülfürce zengin atıklardan hazırlanan macun dolguda kullanılabilir (Benzaazoua vd., 2002; Erçıkdı vd., 2009). Ayrıca uzun dönem duraylılık kaybını engellemek için C_3A içeriği düşük bağlayıcı (sülfata dayanıklı çimento) kullanımı önerilmiştir (Tariq ve Nehdi, 2007). Ancak sülfata dayanıklı çimento diğer çimentolara nazaran daha pahalıdır. Bu nedenle Portland çimentosu ile sülfata dayanıklı çimentonun belli oranlarda (örneğin %50 - 50 oranında) karıştırılarak kullanımı önerilmiştir (Erçıkdı vd., 2009).

Dolguda uzun dönemde oluşan duraylılık kaybını engellemek için genellikle bağlayıcı miktarı arttırılmaktadır. Bağlayıcı oranındaki artış macun dolgu tesisinin işletme maliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir.

1.2 Atık Tane Boyutunun Önemi

Macun dolgu hazırlanmasında kullanılan atık malzemenin tane boyut dağılımı, dolgu performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Bu yüzden atık, optimum tane boyut dağılımına sahip olmalı ve her fraksiyon boyutunda gerektiği kadar malzeme içermelidir. Optimum tane boyut dağılımından kasıt, iri tanelerin arasını ince tanelerin doldurması ve çimento ile daha iyi bir etkileşim sağlayacak karışım oluşturulmasıdır (Erçıkdı, 2009). Tane boyut dağılımı, macun dolgunun dayanımını, dolgu içerisindeki boşluk oranını, drenaj koşullarını ve dolgunun yeraltına naklini etkilemektedir. Macun dolgu üretiminde kullanılan atık malzemenin macun oluşturabilmesi ve yeraltına taşınabilmesi için 20 μm altı malzeme (şlam) miktarının ağırlıkça en az %15 olması istenmektedir. Atık malzeme içersindeki ince taneli (<20 μm) malzeme miktarı azaldığında macun dolgu örneklerinin toplam gözenekliliği azalmaktadır (Fall vd., 2005). Atık içerisinde bulunan 20 μm altı malzeme miktarı arttıkça karışımın su tutma kapasitesi artar ve dolgunun dayanımı olumsuz etkilenir.

20 μm altı malzeme miktarının artması, çimento ile kaplanması gereken yüzey alanını arttırmaktadır. Bu da macun dolgunun dayanımının düşmesine neden olmakta veya istenen dayanımı elde etmek için daha fazla çimento kullanılmasını gerektirmektedir. Aynı su-çimento oranında iri taneli malzeme içeren atıklardan hazırlanan macun dolgu karışımının ince taneli atıklardan hazırlanan karışıma kıyasla daha hızlı dayanım kazanacağı ifade edilmiştir (Erçıkdı vd., 2008). Fall vd. (2005), 20 μm altı malzeme miktarının %20'den %50'ye çıkartıldığında macun dolgu örneklerinin 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarının en yüksek seviyeye ulaştığını belirtmiştir. Fakat %50'den daha fazla ince taneli malzeme içeren macun dolgu örneklerinin dayanımlarında sürekli düşüş gözlenmiştir. Kesimal vd. (2003) referans (sınıflandırılmamış) atıkta yapılan ince boyutlu tanelerin (-20 μm) uzaklaştırılması işleminin macun dolgu örneklerinin basınç dayanımları üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada 20 μm altı malzeme içeriği %25 olduğunda en yüksek dayanımın elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sınıflandırılmış atık malzeme ile referans atık malzemeye kıyasla %12-52 arasında daha yüksek basınç dayanımı üretildiğini belirtmişlerdir (Kesimal vd., 2003). Erçıkdı vd. (2013) iki farklı normal ve sınıflandırılmış atık (spek ve bornitli atık) ile

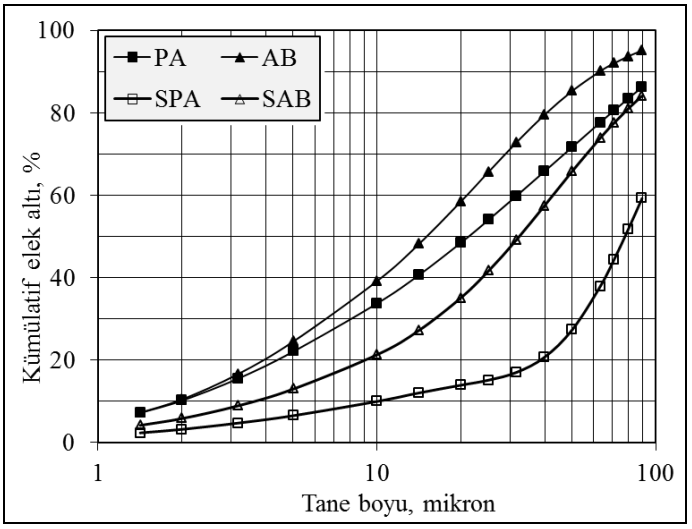
hazırlamış oldukları macun dolgu örneklerini 14 ve 28 günlük kür sürelerinde basınç dayanımı testine tabii tutmuşlardır. Test sonuçlarına göre her iki atık tipinde sınıflandırılmış atıklar ile hazırlanan örneklerin referans atıklar ile hazırlanan örneklere kıyasla kısa dönemde (14-28 gün) daha yüksek basınç dayanımı ürettiklerini belirlemişlerdir. Ayrıca 20 μm altı malzeme miktarı daha fazla olan spek atık (-20 μm = 27,7 > 16,1) ile hazırlanan örneklerin bornitli atığa göre 1,6-3,0 kat daha yüksek dayanım ürettiğini belirtmişlerdir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Atık Malzeme

Etibakır A.Ş. işletmeleri cevher zenginleştirme tesisinden açığa çıkan atık malzeme (PA), atık barajı boşaltım noktasına 40 m uzaklıktan alınan baraj atığı (AB) ve tesiste hidrosiklon yardımıyla şlamı uzaklaştırılmış atık malzemeler (SPA ve SAB) Eti Bakır A.Ş. ve KTÜ proje ekibi tarafından alınmıştır. Atıkların özellikleri KTÜ (Kaya Mekaniği ve Macun Dolgu Laboratuvarı), Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TCMA) ve ACME aboratuvarlarında belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerinden önce atıklar dekantasyona tabi tutularak homojenleştirilmiştir. Atıkların tane boyut dağılımı, özgül ağırlığı, mineralojik bileşimi, kimyasal bileşimi ve reolojik özellikleri belirlenmiştir.

Tane boyut dağılımları Malvern Mastersizer cihazı ile belirlenen atıkların 20 mikron altı malzeme miktarları ağırlıkça %13.9-58.4 arasında değişmekte olup, macun oluşturmak için gerekli limit değerden (ağırlıkça %15) daha yüksektir (Şekil 1). 20 μm altı malzeme miktarı %13.9 oranında olan şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı (SPA), Landriault (2001)'e göre iri boyutlu (malzemenin ağırlıkça %15-35<20 μm) macun dolgu malzemesi sınıfı sınırında, 20 μm altı malzeme miktarı %58.4 olan baraj atığı (AB) ise ince boyutlu (malzemenin ağırlıkça %60-90<20 μm) macun dolgu malzemesi sınıfı sınırında yer almaktadır. Şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) ve tesis atığı (PA) ise orta boyutlu (malzemenin ağırlıkça %35-60<20 μm) macun dolgu malzemesi sınıfındadır. Atık barajından alınan atığın (AB) tesis atığına göre daha ince boyutta olması atığın atık barajına boşaltım noktasından 40 m. uzaklıktan alınması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1. Atıkların tane boyut dağılımı

Atıkların özgül ağırlığı piknometre kullanılarak belirlenmiştir. Baraj atığının 3.66 olan özgül ağırlığı, şlamı uzaklaştırıldıktan sonra 3.81'e çıkmıştır. SBA'nın özgül ağırlığının daha yüksek olması şlam uzaklaştırma işlemi sonrası ince boyutlu kil minerallerinin uzaklaşması ve karışım içerisinde sülfürlü mineral içeriğinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. (Tablo 1). Ancak, şlam uzaklaştırma işlemi tesis atığı içerisindeki kil minerallerinin artmasına ve sülfür içeriğinin azalmasına neden olarak özgül ağırlığının düşmesine yol açmıştır. Bunun nedeni ise şlam uzaklaştırma işleminden önce tesis atığı içerisindeki pirit konsantre olarak öncelikle tesiste üretilmiş ve daha sonra hidrosiklonlama işlemine tabi tutulmuştur. Özgül yüzey alanı ölçümleri atık içerisindeki ince tane miktarının artmasıyla birlikte yüzey alanının arttığını göstermiştir (Tablo 1).

Atıkların kimyasal bileşimi XRF ve yaş kimyasal analiz sonrası ICP AES cihazı kullanılarak yapılmıştır (Tablo 1). Sülfür içeriği gravimetrik analizle belirlenmiştir.

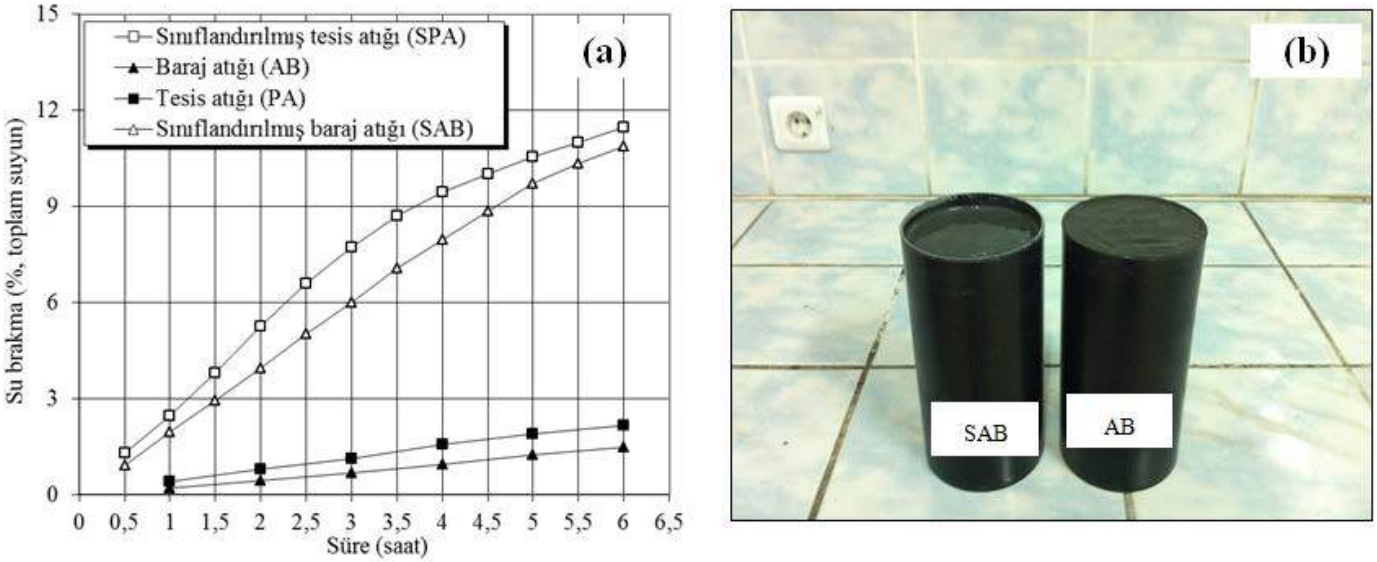
Tesis ve baraj atıklarının sülfür içeriği oldukça yüksektir (%16.88-23.18 S). Şlam uzaklaştırma işlemi sonucu ince fraksiyondaki silikat minerallerinin uzaklaşmasıyla baraj atıklarının SiO_2 + Al_2O_3 içeriği azalmış ve sülfür içeriği artmıştır (%27.82). Tesis atıklarında ise şlam uzaklaştırma işlemi ile birlikte silikat minerallerinde artış, pirit miktarında azalma gerçekleşmiştir (%3.15). X-ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılarak belirlenen atıkların mineralojik bileşiminden de şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı içerisindeki pirit mineralinin XRD cihazının ölçüm limiti değerinin altında kaldığından yer almadığı görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Atıkların fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakterizasyonu

Karakteristik	Tesis Atığı (PA) **(%)**	Baraj Atığı (AB) **(%)**	Şlamı uzaklaştr. Tesis Atığı (SPA) **(%)**	Şlamı uzaklaştr. Baraj Atığı (SAB) **(%)**
Kimyasal bileşim				
SiO_2	31.68	25.80	49.44	21.21
Al_2O_3	9.13	6.68	13.38	5.42
Fe_2O_3	33.06	39.83	17.61	45.43
MgO	3.99	2.14	5.09	2.21
CaO	3.50	2.79	3.95	1.64
Na_2O	0.79	0.35	0.57	0.24
K_2O	0.38	0.42	0.81	0.31
TiO_2	0.67	0.43	0.95	0.38
P_2O_5	0.01	0.03	0.10	0.03
MnO	0.08	0.06	0.10	0.05
Cr_2O_3	0.035	0.02	0.032	0.017
Kızdırma kaybı (LOI)	16.0	20.6	7.5	21.9
Toplam	**99.33**	**99.15**	**99.53**	**98.84**
Piritik kükürt (S^{-2})	16.88	23.18	1.68	27.82
Pirit içeriği (FeS_2)	31.65	43.47	3.15	52.16
Fiziksel özellikler				
Özgül ağırlık	3.37	3.66	2.92	3.81
Özgül yüzey (cm^2/g)	4440	4630	1710	1810
-20 µm (%)	48.4	58.4	13.9	35
Mineralojik bileşim				
	Pirit Kuvars Albit Kalsit Klorit	Pirit Kuvars Kalsit Albit Muskovit Klorit	Kuvars Albit Muskovit Klorit Hematit Basanit	Pirit Kuvars Ankerit Kalsit Klorit

Şlamın uzaklaştırılması ile atıkların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinde meydana gelen değişim aynı zamanda atıkların zamana bağlı bünyelerindeki suyu drene etme kabiliyetlerini de etkilemiştir. Şekil 2. incelendiğinde tesis ve baraj atığının (PA ve AB) şlamı uzaklaştırılmış atıklara kıyasla genel olarak aynı süre içerisinde bünyelerinde daha fazla su tutma özelliğine sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 2a). Su tutma özelliğine sahip kil mineral içeriği yüksek olmasına rağmen su bırakma özelliği en fazla olan atık SPA'dır. Bunun nedeni SPA'nın 20 µm altı malzeme miktarı %13.9 oranında olup oldukça iri taneli malzeme sınıfına gimektedir. Su bırakma

özellliklerinin artmasıyla birlikte meydana gelen oturma miktarları da artış göstermiştir (Şekil 2b).



Şekil 2. Atıkların zamana bağlı su bırakma (a) ve oturma (b) özellikleri

2.2 Bağlayıcı Malzeme

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı malzeme olarak normal Portland çimento (CEM I 42.5), yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42.5 N) ve Portland kompoze çimento (CEM II/A 42.5) kullanılmıştır. CEM III/A 42.5 N tipi çimento dayanım ve duraylılığı artırmak ve bağlayıcı maliyetlerini azaltmak için %35 oranında öğütülmüş yüksek fırın cürufu, CEM II/A 42.5 N tipi çimento ise %20 oranında puzolanik malzeme (puzolan, uçucu kül, silisli dolgu maddesi) içermektedir. Tesis (PA) ve baraj (AB) atığı kullanılarak yapılan bağlayıcı oranının etkisine yönelik yapılan çalışmalarda bağlayıcı olarak CEM III/A 42.5 N kullanılmıştır. Bağlayıcı miktarı karışıma katı oranına göre ilave edilmiştir.

2.3 Numune Hazırlama ve Dayanım Testi

Çimentolu macun dolgu karışımı oluşturmak için gerekli bileşenlerin (atık, bağlayıcı ve su) miktarı önceden belirlenen dizayna göre ölçülmüştür. İstenen oranda atık, bağlayıcı ve musluk suyu tartılarak 14.2 litre kapasiteli kovaya yerleştirilmiştir. Daha sonra karışımı homojenleştirmek ve istenen akışkanlığa getirmek için Univex SRMF 20 model mikserde 7 dakika süreyle karışım işlemi gerçekleştirilmiştir.

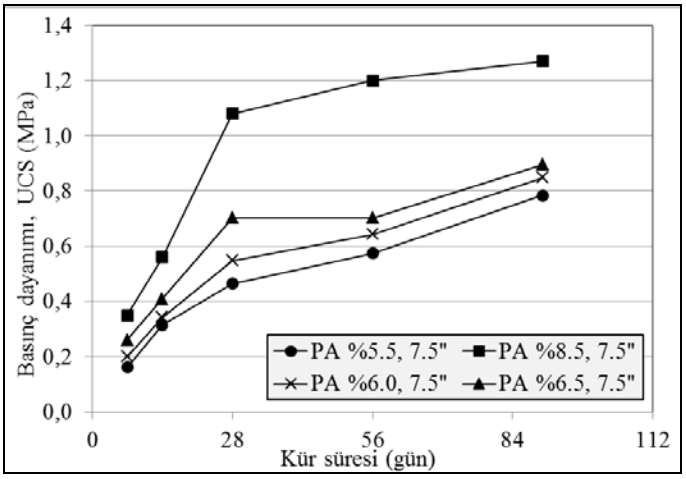
Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) testleri için 4" çapında ve 8" yüksekliğinde plastik silindir numune kapları kullanılmıştır. Karışım içerisindeki fazla suyun drene olması için silindir kapların tabanında 7 adet 2 mm çapında delikler mevcuttur. Öncelikle silindir kabın 1/3'lük hacmi istenen akışkanlıktaki dolgu karışımı ile doldurulmuştur. Her bir kısmın doldurulmasından sonra ince bir çubuk ile 25 defa sıkılama yapılmıştır. Nununeler hazırlandıktan sonra plastik poşetle kapatılmış ve 7-180 günlük kür süresi aralığında yeraltı kür koşullarını yansıtacak şekilde %80 nem ve 25°C'de küre tabi tutulmuştur.

Proje kapsamında toplam 225 adet numune hazırlanmış ve test edilmiştir. Dayanım testleri 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Macun dolgu karışımları genellikle 28 günde 0.7-2.0 MPa dayanım üretecek şekilde dizayn edilmektedir (Brackebusch, 1994). Bu proje kapsamında, numunelerin 28 günde ≥1.0 MPa dayanım üretmesi ve 90 gün boyunda dayanımlarını koruması (duraylılık) kriter olarak baz alınmıştır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

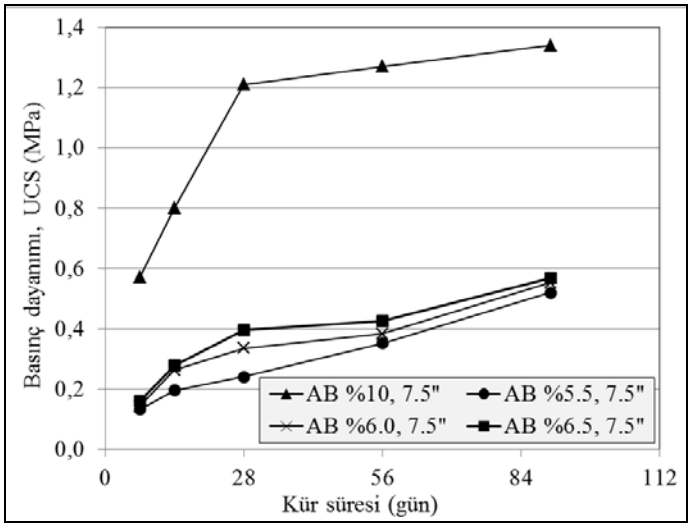
3.1 Bağlayıcı Oranının Etkisi

Şekil 3 yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42.5 N) ve tesis atığı (PA) kullanılarak %5.5-8.0 çimento oranlarında hazırlanan macun dolgu numunelerinin 7-90 günlük kür süresi sonundaki dayanım sonuçlarını göstermektedir. Bağlayıcı oranı ve kür süresi arttıkça genel olarak dayanım kazanımı artmıştır. Düşük çimento oranlarında (%5.5-6.5) hazırlanan macun dolgu numuneleri 28 günde istenen ≥1.0 MPa dayanım kazanımını sağlayamamıştır. İstenen dayanım kazanımını (28 günde ≥1.0 MPa) %8.5 bağlayıcı oranında ve 7.5" slampta hazırlanan numuneler sağlamıştır. %8.5 çimento oranına karşılık gelen bağlayıcı dozajı 1 m^3 dolgu için 127 kg çimentoya eşdeğerdir (Tablo 2). Ayrıca numunelerde 90 gün boyunca herhangi bir dayanım kaybı oluşmamıştır.



Şekil 3. Tesis atığı ve CEM III/A 42.5 N ile hazırlanan numunelerin dayanım özellikleri

Baraj atığı (AB) ve yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42.5 N) kullanılarak hazırlanan numuneler ise aynı bağlayıcı ve kür sürelerinde PA ile hazırlanan numunelere kıyasla %23-75 oranında daha düşük dayanım üretmiştir (Şekil 4). Aynı bağlayıcı oranında m^3 başına düşen bağlayıcı miktarları yaklaşık aynı (97 kg karşılık 99.5 kg/m^3) olmasına karşın düşük dayanım kazanımının, AB atığının daha fazla kil minerali ve ince malzeme içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 1). Ayrıca uzun süre atık barajında bekletilmiş olan atık malzemesinin çimento ile etkileşiminin düşük olduğu görülmüştür. 28 günde istenen dayanım (≥ 1.0 MPa), baraj atığı (AB) kullanılarak hazırlanan numuneler için 159 kg/m^3 çimento dozajında elde edilmiştir (Tablo 2).



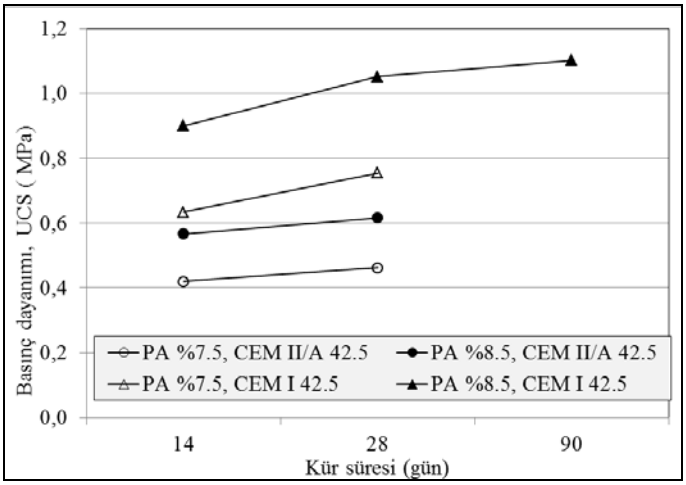
Şekil 4. Baraj atığı ve CEM III/A 42.5 N ile hazırlanan numunelerin dayanım özellikleri

Tablo 2. İstenen akışkanlık ve dayanımı (7.5" slamp ve 28-90 günde ≥1.0 MPa) sağlayacak 1 m^3 CPB karışımı için gerekli bağlayıcı miktarları

Atık tipi	Katı Oranı (%)	Bağlayıcı tipi		
		CEM III/A 42.5 N	CEM I 42.5	CEM II/A 42.5
Tesis atığı (PA)		127 kg/m^3	134.5 kg/m^3	-
Baraj atığı (AB)		159 kg/m^3	-	-
Şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı (SPA)		-	-	-
Şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB)		-	127 kg/m^3	>165 kg/m^3

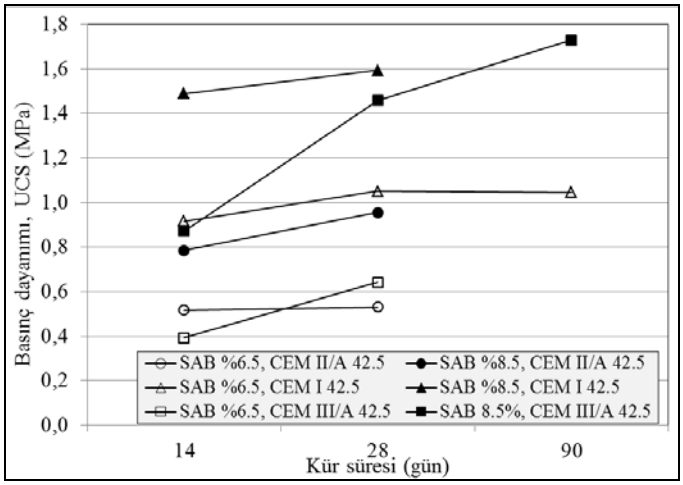
3.2 Atık Tane Boyutunun Etkisi

Şekil 5 bağlayıcı tipinin tesis (PA) atığı kullanılarak 7.5" slamp ve %7.5-8.5 çimento oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin dayanım kazanımına etkisini göstermektedir. CEM II/A 42.5 kullanılarak %7.5-8.5 oranında hazırlanan numuneler 28 günde istenen ≥1.0 MPa dayanımı sağlayamamıştır. Bunun nedeninin puzolanik malzeme içeren CEM II/A 42.5'in klinker içeriğinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Normal Portland çimentosu (CEM I 42.5) ve PA kullanılarak hazırlanan numunelerde ise istenen dayanım %8.5 çimento oranında (134.5 kg/m^3) elde edilmiştir. Ayrıca 28 günde ≥1.0 MPa dayanım veren numuneler 90 gün boyunca dayanımını korumuştur (Şekil 5). Elde edilen sonuçlardan tesis atığı (PA) için en uygun bağlayıcı tipinin, istenen dayanım ve duraylılık daha düşük çimento dozajında (127 kg/m^3) sağlaması nedeniyle yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42.5 N) olduğu anlaşılmıştır.



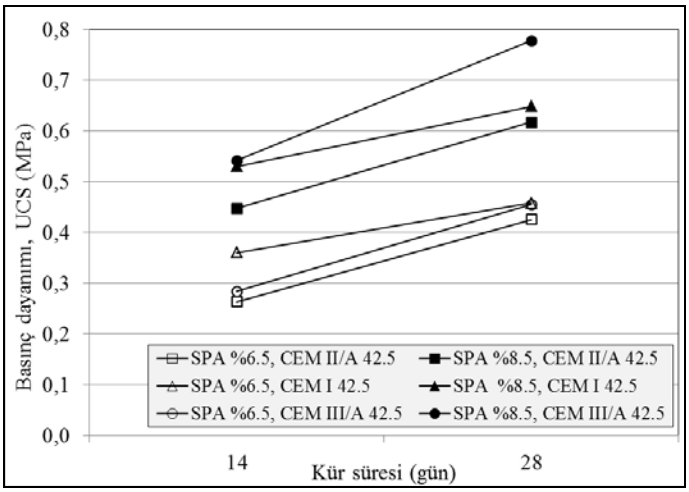
Şekil 5. Bağlayıcı tipinin tesis atığı ile hazırlanan numunelerin dayanımına etkisi

Şekil 6 şlamı uzaklaştırılmış baraj atıkları (SAB) kullanılarak %6.5-8.5 çimento oranında ve 7.5" slamp akışkanlıkta hazırlanan macun dolgu numunelerinin dayanım kazanımını göstermektedir. SAB ve CEM I 42.5 (Ankara) tipi çimento kullanılarak hazırlanan numuneler 28 günde istenen ≥1.0 MPa dayanımı en düşük çimento oranında (ağırlıkça %6.5) bile üretmiştir. Ancak SAB kullanılarak hazırlanan numunelerin 28 günde ≥1.0 MPa dayanım kazanımı sağlaması için bağlayıcı oranının CEM II A 42.5 çimento kullanıldığı durumda %8.5'ten, CEM III A 42.5 N çimento kullanıldığı zaman %7.5'ten daha yüksek olması gerekmektedir. Şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) kullanılarak hazırlanan dolguda bağlayıcı olarak CEM I 42.5 (Ankara) çimento kullanıldığı zaman ≥1.0 MPa dayanım kazanımı için gerekli çimento miktarı 127 kg/m^3'tür. Ancak, CEM III A 42.5 (Karçimsa) çimento kullanıldığı zaman mevcut baraj atıkları istenen dayanımı 159 kg/m^3 bağlayıcı dozajında elde etmiştir (Tablo 2). Sınıflandırmanın (şlam uzaklaştırma) dayanım kazanımına olumlu etkisi su bırakma kapasitesindeki artış (çimento/su oranında artış vb.) ve tane boyut dağılımındaki iyileşme ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 6. Bağlayıcı tipinin şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı ile hazırlanan numunelerin dayanımına etkisi

Şlamı uzaklaştırılmış baraj atıklarından (SAB) hazırlanan numunelerin aksine, şlamı uzaklaştırılmış tesis atıklardan (SPA) üretilen numunelerin hiç birisi 28 günde istenen ≥1.0 MPa dayanımı üretmemiştir (Şekil 7). Şlamı uzaklaştırılmış baraj atıkları (SAB) ile karşılaştırıldığında, şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) kullanılarak hazırlanan numuneler aynı çimento oranında 1 m^3 macun dolgu karışımı için %33.1 daha az çimento içermektedir (Kesimal vd., 2012).



Şekil 7. Bağlayıcı tipinin şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı ile hazırlanan numunelerin dayanımına etkisi

Üstelik, şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı (SPA) kullanılarak %8.5 çimento oranında hazırlanan 1 m^3 dolgu karışımı bile %6.5 çimento oranında şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) kullanılarak hazırlanan karışıma kıyasla %2.5 oranında daha az çimento ihtiva etmektedir. Kesimal vd (2003) iki farklı şlamı uzaklaştırılmış atık kullanarak 20 µm altı malzeme miktarının dolgu dayanımına etkisini incelemiştir. Araştırmacılar şlamı uzaklaştırılmış atıkların en yüksek dayanımı 20 µm altı malzeme miktarının ağırlıkça %25 olduğu durumda verdiğini belirtmişlerdir. Benzer olarak Fall vd (2005) 20 µm altı malzeme miktarının dolgu dayanımına etkisini altın atığı ve farklı bağlayıcılar kullanarak 56 günlük kür süresi boyunca araştırmıştır. Numunelerin en yüksek dayanımı 20 µm altı malzeme miktarının ağırlıkça %25-30 olduğu durumda sağladığı ve macun dolgu dizaynı için optimum aralığın %25-30 oranında olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu anlamda, şlamı uzaklaştırılmış tesis atığı (SPA) kullanılarak hazırlanan numunelerin nispeten düşük dayanım üretmesi düşük miktarda (ağırlıkça %13.85) ince taneli malzeme içermesinden kaynaklanabilir. Şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) ise ağırlıkça %35.04 oranında ince taneli malzeme içermektedir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Kastamonu Küre bakır işletmeleri cevher zenginleştirme tesisinden ve atık barajından alınan atıkların macun dolgu performansları değerlendirilmiştir. 28 ve 90 günlük kür sürelerinde numunelerin elde ettiği dayanım ve duraylılık özelliklerine göre tesis atığı (PA) ve baraj atığı (AB) için en uygun bağlayıcı tipinin yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42.5 N) olduğu belirlenmiştir. 28 ve 90 günlük kür sürelerinde ≥1.0 MPa dayanımı sağlamak için baraj atığı ile hazırlanan numunelerde %25 oranında daha fazla CEM III/A 42.5 N tipi bağlayıcı gerektiği anlaşılmıştır. Şlam uzaklaştırma işlemi atıkların reolojik, mineralojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Şlamı uzaklaştırılmış baraj atığı (SAB) için en uygun bağlayıcı tipinin CEM I 42.5 (127 kg/m^3) olduğu belirlenmiştir. 20 µm altı malzeme miktarının optimum seviyede olmaması durumunda şlam uzaklaştırma işleminin dayanımı her zaman olumlu yönde etkilemediği anlaşılmıştır. Ayrıca şlamı uzaklaştırılmış atıklardan daha fazla suyun drene olması, macun dolgunun borularla yeraltına taşınması ve mikserde karıştırılması esnasında oturmalara neden olabilir. Elde edilen sonuçlar dayanım ve duraylılık açısından atıkların macun dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte yeraltına depolanması düşünülen atıkların jeokimyasal özelliklerinin incelenmesine yönelik ilave testlere (asit maden drenajı (AMD) oluşturma potansiyeli ve ağır metal salınımına yönelik statik ve kinetik testler) gereksinim bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

Benzaazoua, M., Belem, T. ve Bussiere, B., 2002. Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill, *Cement and Concrete Research*, 32,7, s.1133-1144.

Brackebusch, F.W., 1994. Basics of cemented paste backfill systems, *Mining Engineering*, 46, 10, s.1175-1178.

Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., Turan, A. ve Deveci, H., 2012. Utilization of alkali–activated

blast furnace slag in paste backfill of high–sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage, *Minerals Engineering*, 30, s.33-43.

Çetiner, E.G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Regulations related with mining wastes: European Community and Turkey, *Madencilik*, 45, 1, s. 23-34.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2008. Drenaj koşullarının macun dolgu dayanımına etkisi, *Madencilik*, 47, 2, s.15-24.

Erçıkdı, B., 2009. Mineral ve kimyasal katkı maddelerinin macun dolgu performansına etkisi, *Doktora Tezi*, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 128 s.

Erçıkdı, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H. ve Alp, İ., 2009a. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: importance of binder type and dosage, *Cement and Concrete Composites*, 31,4, s.268-274.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2010a. Effect of natural pozzolans as mineral admixture on the performance of cemented paste backfill of sulphide–rich tailings, *Waste Management Research*, 28,5, s.430-435.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2010b. Utilization of water–reducing admixtures in cemented paste backfill of sulphide–rich mill tailings, *Journal of Hazardous Materials*, 179, s.940–946.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A. ve Deveci, H., 2012. Tesis atıklarının yönetiminde macun dolgu teknolojisi, *Madencilik Türkiye*, 24, s.54-59.

Erçıkdı, B., Baki, H. ve İzki, M., 2013. Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill, *Journal of Environmental Management*, 115, s.5-13.

Fall, M., Benzaazoua, M. ve Ouellet, S., 2005. Experimental characterization of the influence of tailings fineness and density on the quality of cemented paste backfill, *Minerals Engineering*, 18, s.41-44.

Fall, M. ve Samb, S.S., 2009. Effect of high temperature on strength and microstructural properties of cemented paste backfill, *Fire Safety Journal*, 44,4, s.642-651.

Hassani, F.P., Ouellet, J. ve Hossein, M., 2001. Strength development in underground high sulphate paste backfill operation, *CIM Bulletin*, 94, 1050, s.57-62.

Kesimal, A., Ercikdi, B. ve Yilmaz, E., 2003. The effect of desliming by sedimentation on paste backfill performance, *Minerals Engineering*, 16, s.1009-1011.

Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Ercikdi, B., 2004. Evaluation of paste backfill test results obtained from different size slumps with varying cement contents for sulphure rich mill tailings, *Cement and Concrete Research*, 34, 10, s.1817-1822.

Kesimal, A., Deveci, H., Alp, İ., Erçıkdı, B., ve Cihangir, F., 2010. Optimization of paste backfill performance for different ore types in Cayeli copper mine, *Project report*, s.42, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Kesimal, A., Deveci, H., Erçıkdı, B., Cihangir, F., İzki, M., ve Baki, H., 2012. Evaluation of paste backfill performance of different mill tailings in Küre copper mine, *Project report*, s.42, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Landriault, D., 2001. Backfill in underground mining, In: Hustrulid, W.A. (ed.), *Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies*, SME, USA, s.608–609.

Tariq, A. ve Nehdi, M., 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Waste Management Research*, 160, 4, s.155–166.

Yumlu, M., 2010. Pastefill - becoming a feasible and popular option for ensuring recovery of high grade deposits, *Cobar Mining Seminar 2010*, The Australasian Institute of Mining & Metallurgy, New South Wales, Australia, s.26.

Macun Dolguda Duraylılığın Mikroyapısal Değerlendirmesi
Microstructural Evaluation of Paste Backfill durability

F. Cihangir, B. Erçıkdı, A. Kesimal, H. Deveci
Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

S. Ocak, Y. Akyol
Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye

ÖZET Bu çalışmada sülfür içeriği yüksek normal atık (NA) ve şlam uzaklaştırılmış tesis atıklarından (deslimed atık; DA) hazırlanan macun dolgunun dayanım özellikleri; asit ve sülfat etkileri, porozite ve taramalı elektron mikroskop-noktasal kimyasal analizleri ile değerlendirilmiştir. Bağlayıcı oranının %5'ten %7'ye artırılmasıyla çimentoya kıyasla yaklaşık 3.23 kata kadar yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Şlam uzaklaştırma işlemi dayanım artışına ve dolgu duraylılığına pozitif yönde etki etmiştir. DA kullanımında en iyi etkileşimi gözenek gelişimi bakımından normal çimento (CEM I 42.5R; NPÇ) örnekleri vermiştir. Bazı macun dolgu numunelerinde uzun dönemde dayanım kayıplarının meydana gelmiştir. Gözeneklilik analizlerine göre, NA ve DA için bağlayıcı oranının %5'ten %7'ye çıkarılmasıyla porozite değerleri aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu (LSS-SG) örneklerinde %7.83, NPÇ numunelerinde ise %10.09 oranında azalmıştır. DA kullanılması durumunda bütün bileşimlerde porozitenin azaldığı ve poroziteli yapıda yaklaşık LSS-SG için %11.82 ve NPÇ için %20.52 oranında iyileşme sağlanmıştır. Taramalı elektron mikroskop analizlerine (SEM) göre uzun dönemde dolgu bünyesindeki gözeneklerin arttığı ve genişlediği, C-S-H ürünlerinin ise zayıfladığı gözlenmiştir. Asit ve sülfat etkileri nedeniyle Ca/Si oranları kür süresiyle birlikte düşmüştür. NPÇ kullanıldığı durumda C-S-H bünyesindeki Ca/Si oranı 28-360 günlük kür sürelerinde 1-3 aralığında ölçülürken, LSS-SG içeren numunelerde bu oran 0.4-1 aralığında elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, uzun dönemde görülen dayanım kayıplarının asit ve sülfat etkileri nedeniyle C-S-H yapısında meydana gelen heterojen yapıdan dolayı bağ kuvvetinin düşmesinden kaynaklanmıştır. Düşük Ca/Si oranına sahip LSS-SG numunelerinin asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Macun dolgu, yüksek normal atık, (NA), şlam uzaklaştırılmış tesis atıkları (deslimed atık; DA), porozite, taramalı elektron mikroskobu, mikroyapı.

ABSTRACT In this study, strength properties of paste backfill materials prepared from suphide rich full (FT) and deslimed tailings (DT) were investigated via acid and sulfate monitoring, porosity measurements and scanning electron microscopy tests by spot chemical analysis. 3.23 fold strength values were obtained in case of slag geopolimer activated with liquid sodium silicate (LSS-SG) with an increase in binder content from 5 wt.% to 7 wt.% than ordinary Portland cement (OPC) samples. Desliming of the total tailings was seen to a positive impact on strength development and backfill durability. Best interaction was obtained in case of DT and OPC in terms of porosity improvement. Some strength losses were observed to occur in long-term. According to porosity analysis, as the binder content was increased from 5 wt.% to 7 wt.% for FT and DT, total porosity was seen to decrease by 7.83% and 10.09% for LSS-SG and OPC samples, respectively. In case of DT, a refinement in porosity was obtained and decrease in total porosities up to 11.82% and 20.52% were observed for LSS-SG and OPC samples, respectively. Scanning electron microscopy analyses (SEM) showed that paste backfill had a loose structure due to the Ca leaching from C-S-H

structure to neutralize the acid products and therefore the C-S-H products had been weakened. Ca/Si ratio of C-S-H decreased with curing time due to acid and sulfate attack. Ca/Si ratio was measured in the range of 1.0-3.0 and 0.4-1.0 for OPC and LSS-SG samples between 28-360 days curing period. According to the findings, strength loss derived from the weakened bond strength of cementitious products and heterogeneous structure of C-S-H due to acid and sulphate attack. LSS-SG has a pronounced resistance against acid and sulphate attack owing to lower Ca/Si ratio.

Keywords: Paste backfill, full tailings (FT), deslimed tailings (DT), porosity, scanning electron microscopy (SEM), microstructure.

1 GİRİŞ

Madencilikte dolgu; kaya, yan kayaç, katı atık ve cevher zenginleştirme proses atıklarının çimento ile karıştırılarak yada doğrudan çimentosuz yeraltı boşluklarına doldurulduğu hem yeraltı madencilik çalışmalarının bir parçasıdır. Kaya dolgusu, hidrolik dolgu ve macun dolgu, yeraltında açılan boşlukları doldurmak amacı ile kullanılan dolgu yöntemleridir. Çalışma platformlarının oluşturulması ve çevre blokların emniyetli bir şekilde üretiminin sağlanması yeraltı boşluklarının doldurulması yada tahkimatı ile mümkündür. Bu bakımından dolgu yeraltı madenciliğinin ayrılmaz parçalarından biridir.

Diğer taraftan, madencilik çalışmaları büyük miktarlarda sülfürlü mineral içeren atık oluşturmaktadır. Bu atıklar çevresel açıdan risk teşkil ettiği için etkili bir şekilde yönetiminin sağlanması gerekmektedir. Bu noktadan hareketle, dolgu aynı zamanda etkili bir atık kontrol tekniğidir. Her atık kontrol tekniğinin öncelikli amacı da çevresel açıdan zararlı ve tehlikeli bu tür atıkları çevreden izole etmektir.

Cevher zenginleştirme atıklarının depolanmasında kullanılan macun dolgu yöntemi, kaya dolgusu ve hidrolik dolguya göre daha ekonomik bir yöntemdir. Çevresel problemleri azaltması, yeraltında güvenli çalışma ve üretim ortamları sağlaması, yüzeyde oluşabilecek çökmeleri önlemesi, maksimum cevher üretimi sağlaması ve cevher üretim çalışmalarını hızlandırması macun dolgu yönteminin en önemli avantajlarıdır (Archibald, 1999; Benzaazoua vd., 1999; Celestin, 2008; Cihangir, 2011; Erçıkdı vd. 2013).

Macun dolgu, tesis atıklarının %3-9 oranında bağlayıcı madde ve kıvam ile akışkanlık sağlamak üzere %10-30 oranında suyun karışımından oluşan teknik bir malzemedir. Dolgunun kendi stabilitesini sağlaması için 28 günlük dayanımının minimum 1.0 MPa olması gerekir (Cihangir, 2011; Erçıkdı vd. 2013; Erçıkdı vd. 2014) ve uzun dönemde (>90 gün) bu dayanımı koruması gerekir (Stone, 1993). Dolayısıyla macun dolgu dayanım ve mikro yapısını önemli derecede etkilemesinden dolayı (Benzaazoua vd., 1999; Kesimal vd., 2003; Fall vd., 2005; Erçıkdı vd. 2013; Yılmaz vd. 2014) atık malzemenin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin karakterizasyonu büyük öneme sahiptir.

Atık tane boyu dağılımı, dolgu kalitesini etkileyen en önemli fiziksel özelliklerdendir. Macun dolgunun yeraltındaki boşluklara yerleşinceye kadar kıvamını koruması ve nakliyesi, yerleşmesi ve dayanım özelliklerini kazanması için 20 mikron altı malzeme içeriğin minimum %15 olması gerekmektedir (Brackebusch, 1994; Clark vd., 1995; Landriault, 1995). Atıklardan ince malzemelerin bir kısmının uzaklaştırılması durumunda çok yüksek dayanım sonuçlarının elde edilebileceği belirtilmektedir (Kesimal vd., 2003; Fall vd., 2005; Erçıkdı vd., 2013). Atıkların mineralojik bileşeni ve kimyasal içeriği de dolgu dayanım ve duraylılığını önemli derecede etkilemektedir. Atık malzemelerin çok ince boyutlu olması durumunda su tutma kapasitesi ve dolayısıyla da porozitesi yüksek olmaktadır (Benzaazoua vd., 2004; Erçıkdı vd., 2009a; Erçıkdı vd., 2009b)). Ayrıca sülfürlü mineral içermesi durumunda mineral bozunmasından dolayı asit ve sülfat

ürünleri oluşmaktadır (Erçıkdı vd., 2010; Cihangir vd. 2012; Erçıkdı vd., 2013).

Macun dolgu bileşenlerinden bir diğeri ise dünyada en yaygın kullanılan bağlayıcı olan normal Portland çimentosudur. Bu çimentolar yüksek CaO içeriğinden dolayı asit ve sülfat etkilerine karşı dayanıksızdır. Son yıllarda asit ve sülfat gibi agresif etkenlere karşı dayanıklı çimento kullanımına yönelik çalışmalar oldukça artmıştır (Benzaazoua vd. 1999; Erçıkdı vd., 2009b; Erçıkdı vd., 2010; Benzaazoua vd. 2004; Komljenoviç vd. 2012). Bu çalışmaların genelini yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb. mineral katkı malzemeleri oluşturmaktadır. Bununla birlikte mineral katkı maddelerinin aktifleştirilerek (cüruf jeopolimeri; SG) çimento yerine alternatif bağlayıcı olarak kullanılabilirliğine yönelik endüstriyel ve bilimsel çalışmalar da artış göstermektedir (Fernandez-Jimenez vd. 1999; Shi vd. 2006; Van Deventer vd. 2012; Cihangir vd. 2012).

Macun dolgu duraylılığının araştırılmasına yönelik sınırlı sayıda mikroyapısal çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada sülfürlü mineral içeriği yüksek normal (NA) ve şlam uzaklaştırılmış atıklardan (DA) hazırlanan macun dolgunun dayanım ve duraylılık özellikleri mikroyapı analizleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bağlayıcı olarak aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu içeren jeoplimerler (SG) ve kontrol amacı ile de normal Portland çimentosu (NPÇ) kullanılmıştır. Dayanım testlerinin yanında numunelerin gözenek dağılım analizleri ve elektron mikroskop ile bağlayıcı yapılarda noktasal kimyasal analizler yapılarak dolgu duraylılığı değerlendirilmiştir.

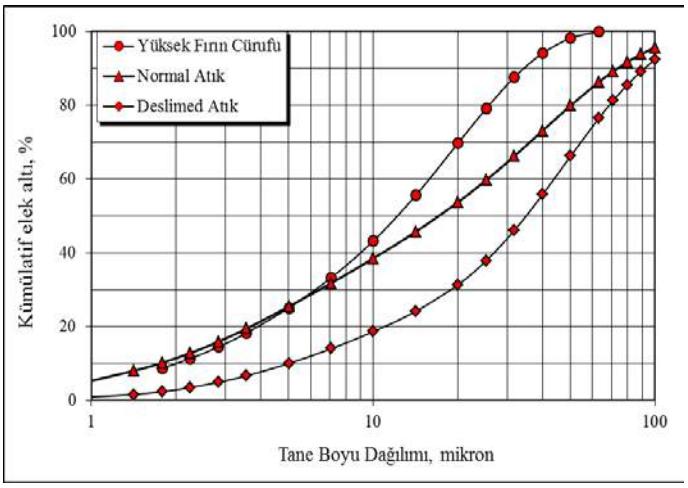
2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Atık Malzemelerin Karakterizasyonu

Bu çalışmada; flotasyon işlemine tabi tutulmuş normal maden tesis atıkları (NA) ile yine flotasyon işleminden sonra şlam malzemesinin bir kısmı hidrosiklon ile uzaklaştırılmış kaba atıklar (DA) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan NA flotasyon işlemine tutulmuş bakır cevherinin zenginleştirildiği cevher zenginleştirme tesisinde tikiner çıkışından yaklaşık %60 katı oranında alınmıştır. Daha sonra laboratuarda homojenizasyonu sağlanmıştır. DA ise disk filtre çıkışından alınmıştır. Laboratuarda yine homojenleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Atık malzemelerin tane boyu dağılımı analizleri, Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU marka tane boyu dağılımı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1'de NA ve DA ile yüksek fırın cürufunun tane boyu dağılımları verilmiştir. Atık malzemeler için 20 μm altı malzeme miktarlarının NA ve DA için ağırlıkça %53.70 ve %31.33 olduğu görülmektedir. Buna göre NA orta boyutlu atık sınıfına girerken, DA iri boyutlu atık sınıfına girmektedir (Landriault, 2001; Kesimal vd., 2010). Dolgu malzemesinin yeraltı üretim boşluklarına nakliyesi esnasında kıvamını koruması ve arzu edilen akışkanlığa sahip olabilmesi için belli oranda suyu bünyesinde tutması gerekmektedir. Macun dolguda su tutmayı sağlayacak kolloidal yapı için atık malzemedeki 20 μm altı malzeme miktarının ağırlıkça en az %15 olması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında iki atığın da macun dolguda kullanılabilecekleri görülmektedir.

Üniformluk katsayıları (C_u) ve eğrilik katsayıları (C_c) göz önüne alındığında, atık malzemelerin iyi derecede tane boyut dağılımına sahip oldukları söylenebilir. Bununla birlikte, şlam uzaklaştırma işlemi sonucunda elde edilen atıkların daha iyi bir granülometriye sahip olduğu söylenebilir (Landriault, 2001). Atık malzemelerin özgül ağırlıkları (G_s) 100 ml'lik piknometreler kullanılarak ASTM C 128-97 (2002) standartlarına göre elde edilmiştir.



Şekil 1. Malzemelerin tane boyut dağılımları

Atık malzemelerin kimyasal analizleri Kanada'da ACME kimyasal analiz laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlere göre atık malzemelerin S^{-2} (Sülfid Kükürdü) içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca SiO_2 + Al_2O_3 içerikleri bakımından DA, NA'ya kıyasla daha az kil mineralleri içermdiği ektedir. Atık malzemelerin bazı kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Malzemelerin özgül yüzey alanları değerlendirildiğinde şlam uzaklaştırma işlemi sonucunda 20 mikron altı malzeme miktarlarına bağlı olarak yüzey alanı azalmıştır.

Tablo 1. Atık malzemelerin kimyasal ve fiziksel ve mineralojik özellikleri

Kimyasal bileşim	Normal Atık (%)	Deslimed Atık (%)
SiO_2	12,78	7,02
Al_2O_3	4,33	1,75
Fe_2O_3	46,32	57,03
CaO	2,55	1,24
MgO	2,37	0,63
TiO_2	0,09	0,13
Cr_2O_3	0,016	0,005
Na_2O	0,17	0,14
K_2O	0,25	0,12
MnO	0,11	0,03
P_2O_5	0,09	<0,01
Kızdırma Kaybı	26,2	30,7
S^{-2} (Sülfid Kükürdü)	30,09	41,22
Toplam Kükürt	34,22	45,18
Başlangıç pH değeri	9,17	7,43
Başlangıç SO_4^{-2} değeri	2500	12964
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık	3,93	4,42
Özgül yüzey (cm2/g)	3000	1550
D10	1,757	5,038
D30	6,464	18,929
D50	17,157	34,95
D60	25,478	43,892
D90	73,836	91,839
Cu	14,5	8,71
Cc	2,88	41,13

2.2 Bağlayıcıların Karakterizasyonu

Bağlayıcı olarak bir çimento fabrikasından normal Portland çimentosu (CEM I 42.5R) (NPÇ) temin edilmiştir. Ayrıca jeopolimer bağlayıcılar için bir demir çelik fabrikasından yüksek fırın cürufu temin edilmiştir. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik analizleri ile fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. NPÇ'nin CaO

yüzdesinin çok yüksek olduğu (%62,72) ve dolayısıyla sülfür içeriği yüksek atıklardan hazırlanacak macun dolguda asit ve sülfat etkilerine karşı dayanıksız olabileceği söylenebilir. Yüksek fırın cürufunun ise kimyasal özellikleri esas alındığında asidik karakterli olduğu görülmüştür.

Bağlayıcı malzemelerin özgül ağırlıkları (G_s) 100 ml'lik piknometreler kullanılarak ASTM C 128-97 (2002) standartlarına göre elde edilmiştir. Malzemelerin özgül yüzey alanları blain (incelik) testleri ile belirlenmiştir. Bağlayıcı malzemelerin kimyasal analizleri Kanada'da bulunan ACME laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Yüksek fırın cüruflarının aktifleştirilmesinde modül oranı 2.0 (ağırlıkça SiO_2/Na_2O oranı; $M_S=SiO_2/Na_2O$) olan sıvı sodyum silikat (LSS: $Na_2O.2SiO_2$) ve %99,5 saflıkta granüle sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. LSS, Ege Kimyasalları Ltd. Şti.'den ve NaOH, Merck Kimyasalları'ndan temin edilmiştir. Aktifleştirme çalışmalarında modül oranı NaOH kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda NaOH granülleri önce suda çözülmüş, daha sonra atık malzeme, yüksek fırın cürufu ve sudan oluşan karışım ortamına ilave edilmiştir.

Tablo 2. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri

Kimyasal bileşim	CEM I 42,5R (%)	Yüksek Fırın Cürufu (%)
SiO_2	19,93	39,62
Al_2O_3	5,12	11,38
Fe_2O_3	3,13	0,68
CaO	62,72	36,15
MgO	2,59	5,87
TiO_2	0,26	0,98
Cr_2O_3	0,04	0,01
Na_2O	0,28	0,29
K_2O	0,69	1,19
MnO	0,07	2,00
P_2O_5	0,11	<0,01
Reaktif SiO_2	-	39,17
Serbest Kireç	2,30	-
Kızdırma Kaybı	2,96	-1,38
SO_3	2,952	2,247
Baziklik İndeksi	-	0,979
Mineralojik bileşim		
C_3S	47,15	
C_2S	21,63	
C_3A	8,27	
C_4AF	9,53	
Fiziksel Özellikler	CEM I 42,5R	Yüksek Fırın Cürufu (%)
Özgül ağırlık	3,16	2,92
Özgül yüzey (cm^2/g)	4170	4270
90 µm elek bakiyesi (%)	-	-
45 µm elek bakiyesi (%)	2,33	3,78
32 µm elek bakiyesi (%)	7,65	9,17

2.3 Macun Dolgu Malzemelerinin Hazırlanması

Macun dolgu malzemeleri, tesis atıkları, karışım suyu, aktivatörler ve bağlayıcı malzemelerin, 20,8 litre kapasiteli bir mikserde (Univex SRMF20 Stand Model) karıştırılarak homojenleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi 105 devir/dk'lık dönme hızında 7 dakika süreyle yapılmıştır. Macun dolgu malzemelerinin başlangıç slampları yaklaşık 7.5 inç (190 mm) slamp olarak hazırlanmıştır.

Macun dolgu numuneleri %5-7 bağlayıcı oranlarında NPÇ ve LSS ile aktifleştirilerek elde edilen yüksek fırın cürufu jeopolimeri (LSS-SG) (%8 Na_2O aktivatör dozajında ve 1.0 modül oranında) kullanılarak hazırlanmıştır. Bağlayıcı oranı, dolgu dizaynında toplam katı miktarının (bağlayıcı+atık) ağırlıkça yüzdesine karşılık gelmektedir. Jeopolimer bağlayıcılarda bağlayıcı faz (her bir farklı dizayn için kullanılan malzemeleri kapsayacak şekilde); cüruf, sodyum silikatın bileşenleri olan sodyum oksit (Na_2O) ve silisyum dioksit (SiO_2) ile sodyum hidroksit kombinasyonlarından oluşmaktadır. NPÇ için bağlayıcı faz ise dolgu bünyesindeki toplam katının ağırlıkça %'sidir. Dolgu dizaynlarında jeopolimer ve normal Portland çimento için bağlayıcı fazları ağırlıkça eşittir (Cihangir vd., 2012). İki farklı atık için macun dolgu malzemeleri 8 farklı bileşimde, 6 farklı kür süresinde (14-28-56-112-224-360 gün) ve her bir kür süresinde 3 adet olmak üzere 6x3=18 adet ve her bir kür süresinde 2'şer adet olacak şekilde civalı porozimetre-taramalı elektron mikroskop testleri için 6x2=12 adet olarak 100x200 mm boyutlarında hazırlanmıştır. NA ve DA kullanılarak sıvı LSS-SG ile 72 ve kontrol amaçlı olarak kullanılan NPÇ ile de 72 olmak üzere toplamda 144 adet macun dolgu numunesi hazırlanmıştır. Numuneler sıcaklık ve nem kontrollü kür dolabında 20 ± 0.5 ^oC kürlenme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 2).

2.4 Numune Dayanım Testleri

Numunelerin dayanım testleri, 28 günlük kür süresi sonunda, yükleme kapasitesi 50 kN olan bilgisayar kontrollü tek eksenli basınç ve deformasyon ölçer ünitesinde 0.5 mm/dk yükleme hızında ASTM C 39 standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 2). Örneklerin alt ve üst yüzeyleri testler öncesinde düzeltilmiştir. Her bir kür süresinde üçer örnek test edilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak tek eksenli basınç dayanımları hesaplanmıştır. Çalışmalarda numunelerin dayanım ve durabilitelerinin değerlendirilmesinde; kısa (28 günlük kür süresi) ve uzun dönem (360 günlük kür süresi) için eşik dayanım değerleri 1,0 MPa olarak esas alınmaktadır. Yaygın üretim bölgelerinde uygulamada 28 günlük kür süresinde 1 MPa'lık dolgu dayanımı yeterli olmaktadır. Dolgunun uzun dönemde duraylı kalması için ise en az 1 MPa dayanıma sahip olması gerekmektedir (Stone, 1999).

2.5 pH ve SO_4^{-2} Analizleri

Atıkların yüksek oranda pirit içermesinden dolayı, piritin bozunması ve buna bağlı olarak oluşan asit ve sülfatın macun dolgu dayanım ve durabilitesine etkisini araştırmak için tek eksenli basınç dayanımı testlerini takiben, bütün kür sürelerinde numunelerin pH ve sülfat analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dolgu bünye suyunun (gözenek suyu) asit ve serbest sülfat içeriğinin belirlenmesi için Cihangir 2011'de ASTM C 265-08, ASTM C 1580-09, ASTM D 4972-01 ve ASTM D 4980-89 standartları esas alınarak geliştirilen ve macun dolguya uyarlanan analiz metodu izlenmiştir.

Şekil 2. Macun dolgu numunelerinin kür dolabında kür işlemine tabi tutulması

2.6 SEM Gözlemleri ve Kimyasal Analizler

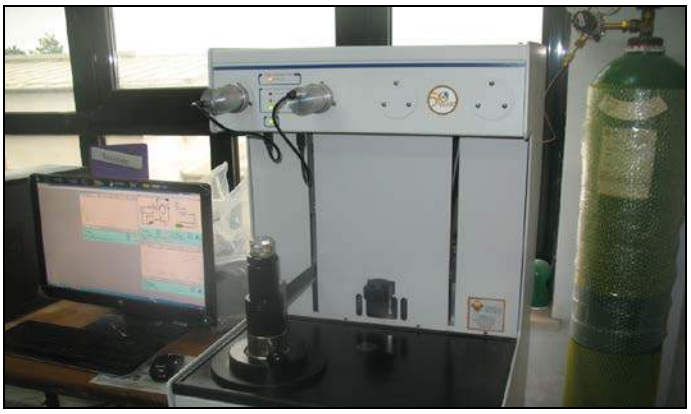
Macun dolgu numunelerinden hazırlanan örnekler üzerinde mikroyapı gözlemleri ve incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Numune incelemelerinde; macun dolgu mikroyapısı ile dayanım kazanımı/kaybı arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla taramalı elektron mikroskobundan (SEM+EDS) faydalanılmıştır. SEM+EDS analizlerinde, KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan ZEISS-EVO MA model taramalı elektron mikroskobu (Şekil 3) kullanılmıştır. SEM analizleri, 28-112 ve 360 günlük kür süresindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3. Macun dolgu numunelerinde SEM cihazı ile görüntü inceleme

2.7 Porozite Analizleri

Bu çalışmada macun dolgu numunelerinin porozite analizleri civalı porozimetre (Micromeritics Autopore IV 9410) kullanılarak ASTM D 4404 (2002) standardına göre gerçekleştirilmektedir (Şekil 4). Numuneler deneysel çalışmalardan önce ağırlıkları sabit oluncaya kadar etüvde 60 ^{o}C'de 36 saat süreyle kurutulmakta ve nemden etkilenmemesi için desikatöre konularak soğutulmaktadır. Daha sonra deneye tabi tutulan numuneler 0.003 µm'lik gözeneklere Hg intrüzyonunu sağlayacak şekilde 0-414 MPa (60,000 psi) aralığında hidrostatik basınç altında deneye tabi tutulmaktadır. Deneysel çalışmalarda Hg yüzey çekimi 0.485 N/m ve Hg ile numune yüzeyleri arasındaki kontak açısı 130° olarak alınmaktadır (Yılmaz, 2010). Bu çalışmada gözenek karakterizasyonu, Uluslararası Kuramsal ve Uygulamalı Kimya Sınıflaması Birliği'nin (IUPAC, 1972) çimentolu malzemeler için karakterize ettiği gözenek boyutu sınıflamasına göre yapılmıştır. Bu sınıflamada 0.002 µm'den küçük çapa sahip gözenekler minik gözenek, 0.002-0.05 µm arası çapa sahip gözenekler orta boyutlu gözenek, 0.05 µm'den büyük çapa sahip gözenekler ise büyük boyutlu gözenek olarak adlandırılmıştır. MIP testleri ile orta boyutlu ve büyük boyutlu gözenekler ölçülebilmektedir. Ayrıca malzeme bünyesinde sıvı taşınımından (permeabilite) sorumlu kritik gözenek çapı (d_{kr}) ile,

gözenek çapının artık değişmediği ve civa intrüzyonunun ve dolayısıyla da gözeneklilik miktarının hemen hemen sabitlendiği eşik çap değerleri (d_e) de belirlenerek, dolgu numunelerinin gözenekli yapıları karakterize edilerek değerlendirilmiştir.

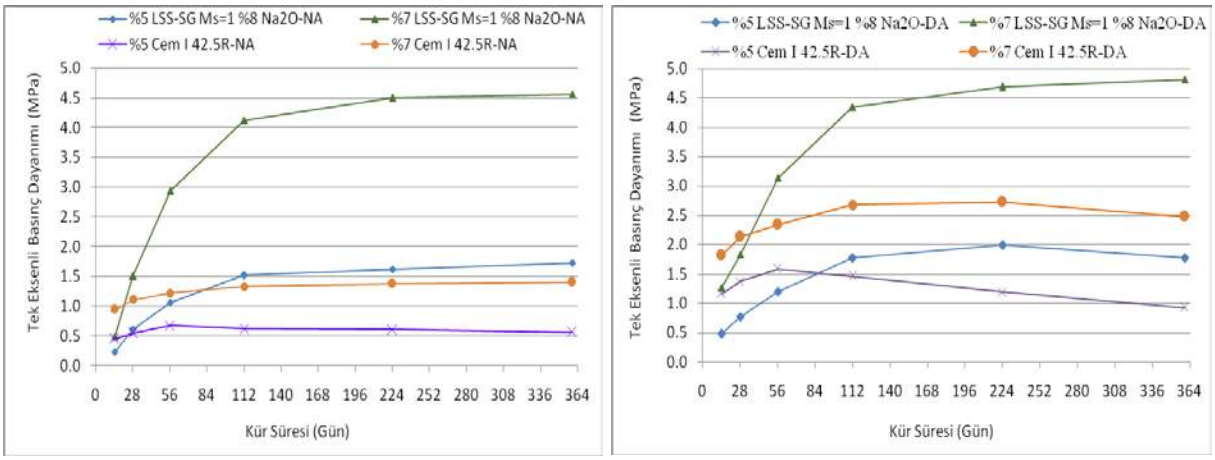


Şekil 4. Macun dolgu malzemelerinin ilgili kür süresinde civalı porozimetre cihazı kullanılarak gözeneklilik analizlerinin yapılması

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Dolgu Numune Dayanımlarının değerlendirilmesi

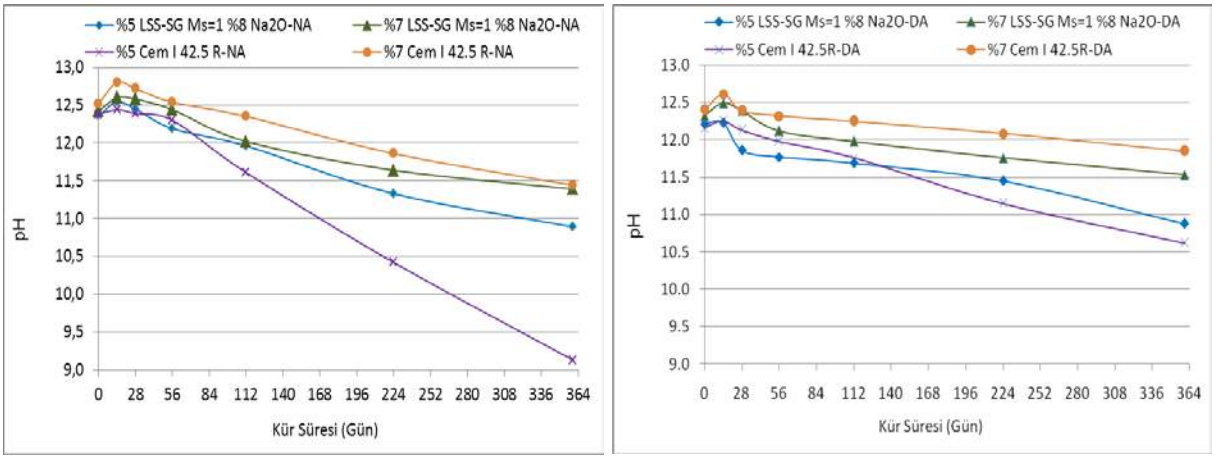
Şekil 5'te NA ve DA kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin dayanım sonuçları görülmektedir. Bağlayıcı oranının artması ve DA kullanılması durumunda özellikle de NPÇ numunelerinde fark edilir şekilde dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir. NA kullanılması durumunda sadece %5 oranında NPÇ kullanılması durumunda dayanım kaybı görülürken, DA kullanılması durumunda uzun dönemde LSS-SG dışında bütün numunelerde dayanım kayıplarının olduğu görülmektedir. %5 NPÇ örneklerinde her iki atık türü için 56 günlük kür süresinden itibaren dayanım kaybı meydana gelmiştir. NA örneklerinde dayanım kaybının asit ve sülfat etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Cihangir vd. 2012). DA örneklerinde de yine başlangıç sülfat değerinin çok yüksek olmasından ve DA durumunda macun dolgu ortamında daha yüksek oranda sülfürlü mineral bulunması nedeniyle dayanım kayıplarının yine asit ve sülfat etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. NA durumunda kısa ve uzun dönem performansları bakımından %5 bağlayıcı oranının yetersiz olduğu görülmektedir. DA durumunda ise kısa dönemdeki dayanım performansı açısından sadece LSS-SG kullanımının uygun olmadığı görülmektedir. Uzun dönemde (>90 gün) ise bütün bağlayıcıların gerekli eşik değeri sağladığı görülmektedir. NA örneklerinde %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında 360 gün sonunda LSS-SG, NPÇ'ye göre 3.09 ve 3.23 oranlarında yüksek dayanım sonuçları elde edilmiştir. DA örneklerinde ise bu oranlar sırasıyla 1.93 ve 1.95 olarak gerçekleşmiştir. NA durumunda dayanım oranlarının yüksek olması, buna karşın DA durumunda bu oran farkının düşük olması NPÇ'nin DA ile daha iyi etkileşim göstermesinden kaynaklanmasına bağlanabilir.



Şekil 5. NA ve DA ile hazırlanan macun dolgu numunelerinin mekanik dayanımları

3.2 pH ve Sülfat İçeriğinin Değerlendirilmesi

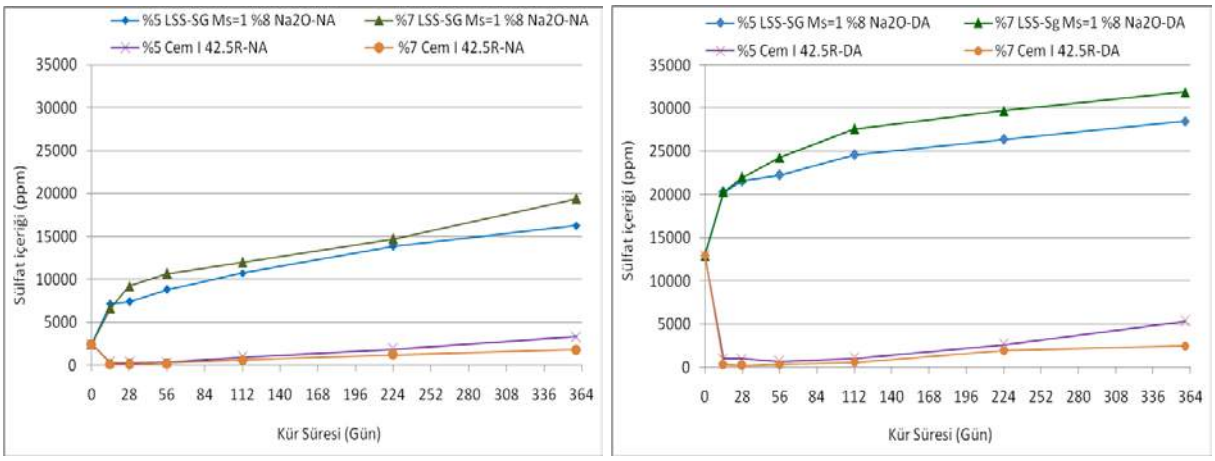
Şekil 6'da macun dolgu numunelerinin pH grafikleri verilmiştir. Başlangıç pH'larının DA örneklerinde az da olsa düşük olmasına rağmen, kür süresinin artması ile birlikte NA örneklerinde pH değerlerinde daha fazla oranda azalma eğilimi gözlenmiştir. DA durumunda gözenek miktarının azalmasının (Erçıkdı vd. 2013; Yılmaz vd. 2014), sülfürce zengin minerallerin reaktivitesini azalttığı düşünülmektedir. Nem ve boşluk durumunda sülfürlü mineraller asit ve sülfat oluşmasına ve ortamın agresif bir hal almasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, asit ve sülfat etkileri nedeniyle bağlayıcı bağlarında heterojen yapıların oluşmasına neden olmaktadır. NPÇ hidratasyonu sonucu oluşan portlandit, bağlayıcı yapılarda en zayıf halkayı oluşturmaktadır. pH 12'nin altında düştüğünde portlandite tamamen çözünür (Shi ve Stegemenn, 2000) ve yüksek oranda büyük boşlukların oluşmasında neden olur (Gaitero vd. 2008). Ortamda portlandit olmadığı durumda ise C-S-H gel yapısında Ca liçi başlar (Chen vd. 2006). Dolayısıyla portlanditin çözülmesi sonucunda çimentolu ürün içeren malzemelerin mekanik dayanımlarında düşme meydana gelir (Komljenoviç vd. 2012). 56 günlük kür süresinden sonra dayanımda meydana gelen düşme, yukarıda değinildiği üzere, pH değerinin 12'nin altına düşmesi sonucu dolgu ortamında portlanditin çözülmesi ve sülfat ürünleri ile reaksiyona girerek ikincil genleşme ürünleri oluşturması nedeniyle meydana gelen dolgu bünyesindeki fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlanabilir (Erçıkdı vd. 2009a; Erçıkdı vd. 2010; Cihangir vd. 2012).



Şekil 6. NA ve DA ile hazırlanan macun dolgu numunelerinin pH eğilimleri

Diğer taraftan, DA durumunda LSS-SG için çok yüksek dayanım değerlerinin elde edilememesi, pH değerinin çok yüksek olmamasından kaynaklanabilir. pH değeri ne kadar yüksek olursa, cüruf aktivasyonunun da o derece yüksek oranda gerçekleştiği ifade edilmektedir (Song vd. 2000; Fernandez-Jimenez ve Puertas 2003).

Şekil 7'de ise kür süresinde bağlı olarak NA ve DA örneklerinin sülfat içeriklerindeki değişim sunulmuştur. NPÇ numunelerinin sülfat tüketimleri NA ve DA örnekleri için birbirlerine yakın gözükmektedir. İlk 14 günlük kür süresinde ortamdaki sülfat iyonlarının tamamının hidratasyon ürünleri tarafından tüketildiği görülmektedir. Dolayısıyla erken kür sürelerinden itibaren, dayanım üzerinde olumsuz etkiye sahip olan (Tariq ve Nehdi, 2007; Erçıkdı vd. 2009a; Cihangir vd. 2012), sülfat tüketimine bağlı ikincil genleşme ürünlerinin (ikincil alçıtaşı, etrenjit vb.) oluşmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 7. NA ve DA ile hazırlanan macun dolgu numunelerinde sülfat iyonu değişimi

LSS-SG numunelerinde ise ortamdaki sülfat iyon derişiminin sürekli arttığı gözlenmiştir. DA örneklerinde atık bünyesindeki başlangıç sülfat yoğunluğunun çok yüksek olmasından dolayı NPÇ ile aradaki makasın NA örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek bağlayıcı oranında sülfat değerlerinin yüksek olması, ortamdan daha az oranda sülfat tüketmesine bağlanabilir.

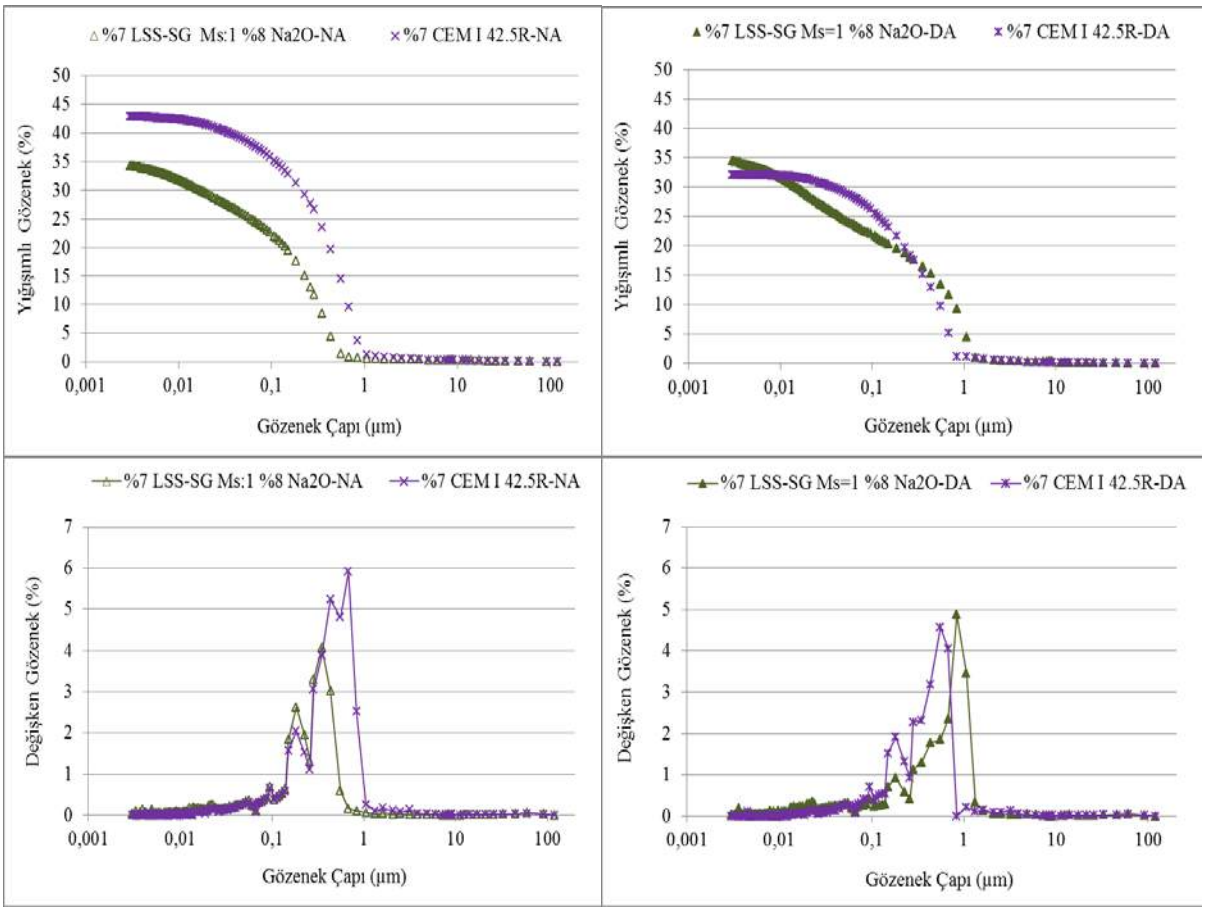
3.3 Gözenek Analizlerinin Değerlendirilmesi

Şekil 8, %7 bağlayıcı oranında NA ve DA ile hazırlanan macun dolgu numunelerine ait yığışımlı (%) ve değişken (%) gözenek miktarlarını temsil etmektedir. 56 günlük kür süresine kadar numune bünyesinde bulunan gözenek miktarlarında devam eden hidratasyondan dolayı azalma olduğu görülmektedir. 360 günlük kür süresinde hidratasyon ürünlerinin yapılarında asit ve sülfat etkileri ile meydana gelen kimyasal ve numune bünyelerinde meydana gelen fiziksel değişimlerden dolayı artış olduğu görülmektedir. Atıklardan şlam uzaklaştırma işlemi sonrası elde edilen orta boyutlu atık kullanımının porozite miktarlarını önemli derecede azalttığı görülmektedir. Özellikle NPÇ kullanılması durumunda boşluklu yapının yaklaşık %20.52 oranında azaltılabileceği görülmektedir. LSS-SG kullanılması durumunda ise yaklaşık %11.82 oranında iyileşme sağlanabilmektedir. LSS-SG örneklerinde değişken gözenek boyutlarının azalan boşluk oranıyla paralel olacak şekilde inceldiği görülmektedir (Şekil 8). Toplam gözenek miktarları NPÇ-NA örneklerinde %40-44, NPÇ-DA örneklerinde %32-37, LSS-SG-NA örneklerinde %36-%38 ve LSS-SG-DA örneklerinde %34-%37 şeklinde gerçekleşmiştir.

56 günlük kür süresine kadar devam eden hidratasyon nedeni ile orta boyutlu gözenek miktarlarında artış olduğu, buna karşın büyük boyutlu gözenek miktarlarında ise azalma meydana gelmiştir. Bu durum büyük boyutlu gözeneklerin bir kısmının hidratasyon ürünleri veya ikincil genleşme ürünleri nedeni ile doldurulmasına bağlanabilir.

Bağlayıcı oranının artırılması, numune bünyesinde sıvı geçişini önemli derecede etkileyen kritik gözenek çapının ve en iri ortalama gözenek boyutunun (eşik gözenek çapı) küçülmesini sağlamıştır. Dolayısıyla bu durum, bağlayıcı oranının artması ile dayanım artışını, bağlayıcı yapıların asit nötralizasyon derecesinin artmasını ve dolgu bünyesinin daha duraylı hale gelmesini sağlamaktadır.

DA örneklerinde boşluklu yapının azalması, dayanım oranlarının (Şekil 5) önemli oranda artması ve pH değerlerinde daha az oranda düşme (Şekil 6) ile paralellik arz etmektedir. Boşluklu yapının DA için düşmesi aynı zamanda bu numunelerin bünyelerinde düşük oranda su tutma potansiyelinden dolayı su-çimento oranını düşürmesine bağlanabilir (Yılmaz vd. 2011; Erçıkdı vd. 2013; Erçıkdı vd. 2014; Yılmaz vd. 2014).



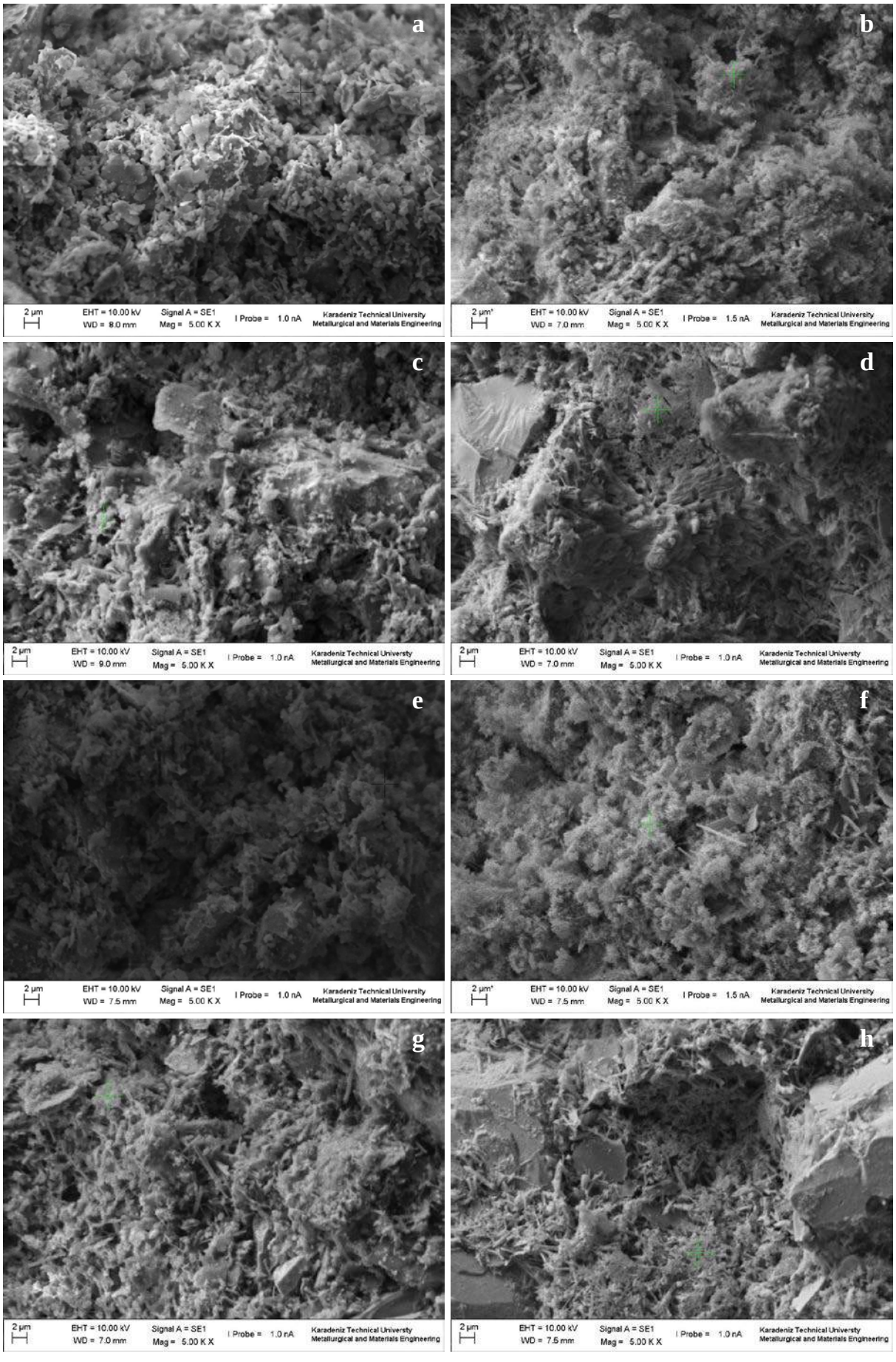
Şekil 8. %7 bağlayıcı oranında NPÇ ve LSS-SG örneklerinin yığışımlı ve değişken gözenek

3.4 SEM ve EDS Analizlerinin Değerlendirilmesi

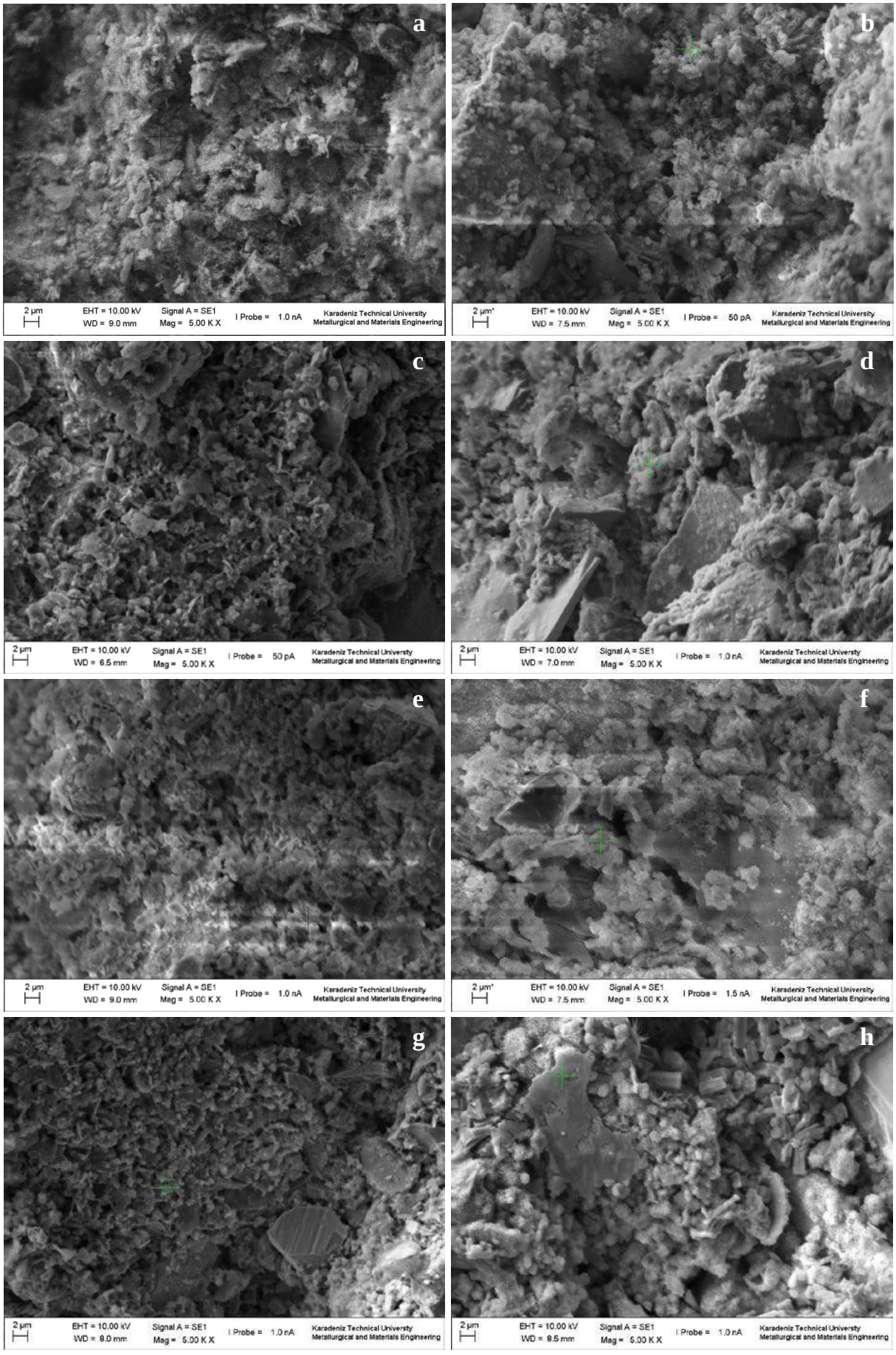
Şekil 9 ve Şekil 10'da %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında NA ve DA numunelerinin 56 ve 360 günlük kür sürelerindeki SEM görüntüleri verilmiştir. 56 günlük kür süresine kadar devam eden hidratasyon reaksiyonları ve oluşan ürünler dolayısıyla dolgu bünyelerinin daha kompakt hale geldiği görülmüştür. 360 günlük kür süresinde çimento örneklerinde boşluklar artmış ve bağlayıcı yapı biraz zayıflamıştır. Bağlayıcı oranının artmasına bağlı olarak yine dolgu örneklerinin daha sıkı bir duruma geldiği gözlenmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10'dan görülebileceği üzere, DA kullanılması macun dolguda mikro yapıda önemli derecede iyileşmeye yol açmıştır. Dolayısıyla gerek bağlayıcı oranının artırılması, gerekse DA kullanımının dolgu bünyesinde gözenekli yapıdaki sağladığı iyileşmeye paralel olarak asit ve sülfat etkileri gibi zararlı reaksiyonları minimize ettiği (Şekil 6-7) ve dayanım ve duraylılık özelliklerini çok önemli oranda artırdığı görülmüştür (Yılmaz vd. 2011; Erçıkdı vd. 2013).

NA ile hazırlanan NPÇ örneklerinde 112 günlük kür süresinden itibaren yaygın şekilde alçıtaşı oluşumları gözlenirken, DA örneklerinde atık numunenin başlangıçta özellikle yüksek sülfat içeriğinin de etkisi ile yaygın şekilde etrenjit mineralleri oluşmuştur. %5 bağlayıcı oranındaki numunelerde dayanım kayıpları, genleşerek yapının bozulmasına neden olan alçıtaşı ve etrenjit minerallerinden (Şekil 9-d,h.) kaynaklanmaktadır.



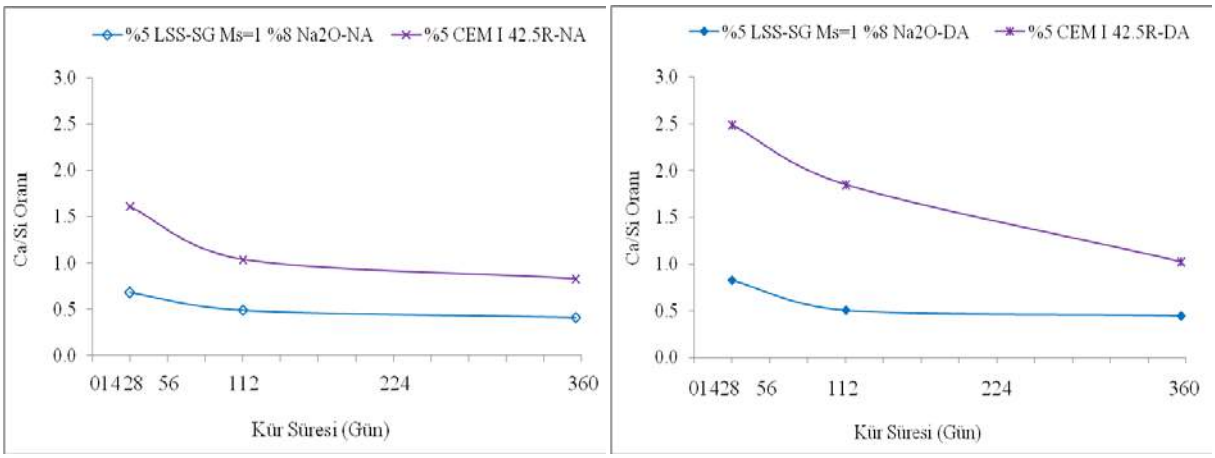
Şekil 9. %5 bağlayıcı oranında NPÇ için 112 gün NA (a); 112 gün DA (b); 360 gün NA (c); 360 gün DA (d) ve %7 bağlayıcı oranında NPÇ için 112 gün NA (e); 112 gün DA (f); 360 gün NA (g); 360 gün DA (h) SEM görüntüleri



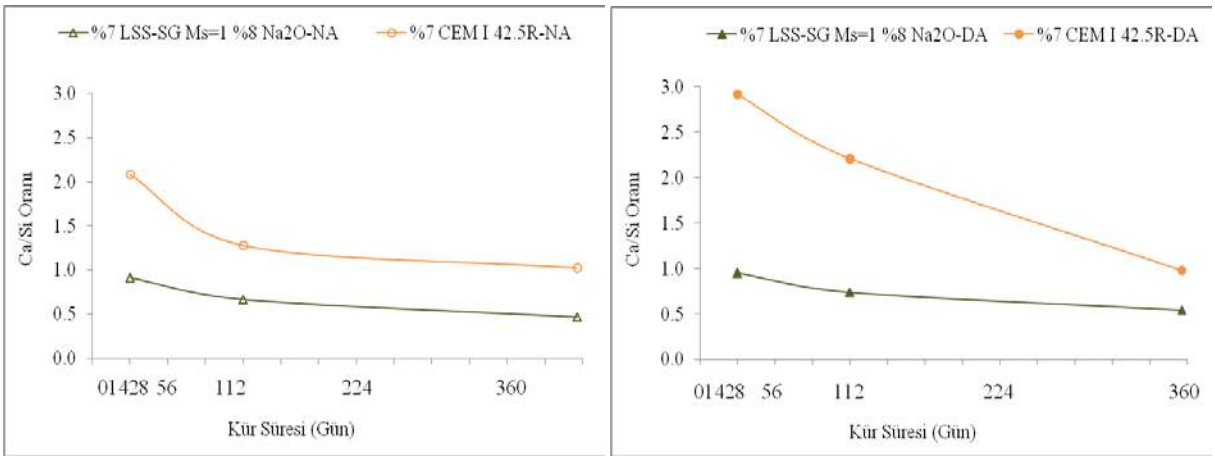
Şekil 10. %5 bağlayıcı oranında LSS-SG için 112 gün NA (a); 112 gün DA (b); 360 gün NA (c); 360 gün DA (d) ve %7 bağlayıcı oranında LSS-SG için 112 gün NA (e); 112 gün DA (f); 360 gün NA (g); 360 gün DA (h) SEM görüntüleri

LSS-SG kullanılması durumunda ise macun dolgu bünyesindeki C-S-H yapısı oldukça artmıştır. Çimento örneklerine kıyasla daha az oranda alçıtaşı oluşumu görülürken, etrenjit minerallerine rastlanmamıştır. C-S-H yapıları NPÇ örneklerine kıyasla daha kristalize bir yapıya sahiptir. SG örneklerinde boşluklu yapının da yine oldukça sıkı olduğu görülmektedir. Bu durum, SG kullanılması durumunda azalan su/çimento oranından ve dolayısıyla azalan toplam gözenek miktarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca SG örneklerinde 360 günlük kür süresi sonunda silikat polimerizasyonu sonucunda 360 günlük kür süresinde silikatça zengin jel yapılarının hakim olduğu ve C-S-H yapılarının kendini nispeten koruduğu görülmektedir (Şekil 10).

%5 ve %7 bağlayıcı oranlarında macun dolgu numunelerinin C-S-H yapılarındaki Ca/Si oranı değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Yüksek sülfürlü mineral içeriği nedeni ile macun dolgu bünyesinde yüksek boşluklu yapı (%32-%44) ve nem içeriği (%15-25) nedeni ile sürekli asit ve sülfat ürünleri oluşmaktadır (Erçıkdı vd. 2009a; Cihangir vd. 2012). Dolayısıyla çimento hidratasyonu nedeniyle oluşan portlanditin dolgu ortamdan devam eden hidratasyon ve reaksiyonlar nedeniyle ilk 56 günlük kür süresine kadar sürekli olarak tüketildiği görülmektedir (Şekil 7). 56 günlük kür süresinde itibaren de asit ve sülfat ürünlerinin oluşmaya devam ettiği Şekil 6 ve Şekil 7'den görülmektedir. Dolayısıyla, ortam giderek agresif hale gelmektedir. Ortamda portlanditin tamamen tüketilmesi sonucunda asit ürünlerini nötralize etmek amacıyla C-S-H yapısında dekalsinasyon (yapıdan Ca iyonunun çözünerek ortama geçmesi-liç edilmesi) işlemi meydana gelmektedir. Ca/Si oranları LSS-SG numunelerine kıyasla NPÇ numunelerinde çok daha yüksek oranda düşme eğilimi göstermiştir. Şekil 11'de NA örneklerinde Ca/Si oranının yaklaşık rezidüel bir eğilim göstermesi, bu numunelerin minimum mekanik özelliğe sahip olma seviyesine ulaştığını (Komljenoviç vd. 2012) göstermektedir (Şekil 5). DA örneklerinde ise bu oran daha yüksek seviyeden başlamasına ragmen daha yüksek düşme eğilimi göstermektedir. Bu durumun, atık bünyesindeki sülfürlü minerallerin yüksek reaktivite özelliğine sahip olmasından ve düşük başlangıç pH seviyesi ve yüksek sülfat içeriğinden (Tablo 1) kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 11. %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında macun dolgu numunelerinin C-S-H yapılarındaki Ca/Si oranı değişimi



Şekil 11.(devamı) %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında macun dolgu numunelerinin C-S-H yapılarındaki Ca/Si oranı değişimi

LSS-SG numunelerinde ise Ca/Si oranının NPÇ örneklerine kıyasla daha az düşme eğilimi gösterdiği ve 112 günlük kür süresinden sonra azalma eğilimi de çok düşük seviyeye inmiştir. Bu durum, LSS-SG numunelerindeki yüksek Si polimerizasyonundan, C-S-H yapısındaki başlangıç Ca oranının düşük olmasından ve Ca çözülmesine bağlı olarak C-S-H yapısında zamanla geçirimsiz Si katmanının oluşmasından kaynaklanmaktadır (Shi vd. 2006; Cihangir vd. 2012; Komljenoviç vd. 2012). Dolayısıyla LSS-SG numunelerinin dayanımının ve duraylılığının yüksek olması, dolgu bünyesinde sürekli olarak üretilen asit ve sülfat etkilerine karşı C-S-H yapısının direncinin çok yüksek olması ile açıklanabilir.

4 SONUÇLAR

Yüksek sülfür içeriğine sahip atıklardan hazırlanan macun dolguda bağlayıcı oranının artırılması, gözenekli yapıda meydana gelen sıkılaşmaya ve oluşan yoğun C-S-H jel yapısına bağlı olarak dayanımla birlikte duraylılığı da artırmıştır. Bağlayıcı oranının %5'ten %7'ye çıkarılması ile LSS-SG örnekleri NPÇ örneklerine kıyasla yaklaşık 3.23 kata kadar yüksek dayanım değerleri üretmiştir. Atıklardan şlam uzaklaştırılma işlemi ile elde edilen atık kullanılması dayanım artışına ve dolgu duraylılığına pozitif yönde etki ederken, için en iyi etkileşimi gözenek gelişimi açısından NPÇ örneklerinin verdiği görülmüştür. Uzun dönemde görülen dayanım kayıplarının asit ve sülfat etkilerinden kaynaklanmıştır. Bağlayıcı oranının %5'ten %7'ye çıkarılması durumunda NA ve DA için porozite değerleri LSS-SG örneklerinde yaklaşık %7.83, NPÇ numunelerinde ise %10.09 oranında azalmıştır. DA kullanılması durumunda toplam gözenek miktarı LSS-SG için %11.82 ve NPÇ için ise %20.52 oranında azalmıştır. SEM çalışmalarından bağlayıcı oranının %5'ten %7'ye artırılması durumunda yoğun jel oluşumundan dolayı C-S-H yapısındaki Ca/Si oranlarının arttığı sonucu elde edilmiştir. NPÇ numunelerinde C-S-H jel yapısındaki Ca/Si oranı 28-360 günlük kür sürelerinde 1.0-3.0 aralığında, LSS-SG içeren numunelerde ise 0.4-1.0 aralığında elde edilmiştir. Kür süresinin artmasına bağlı olarak asit ve sülfat etkileri nedeniyle Ca/Si oranları düşmüştür. Uzun dönemde görülen dayanım kayıplarının asit ve sülfat etkileri nedeniyle C-S-H yapısında meydana gelen heterojen yapıdan dolayı bağ kuvvetinin düşmesinden kaynaklanmıştır. Düşük Ca/Si oranına sahip LSS-SG numunelerinin asit ve sülfat etkilerine karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 112M378 No'lu 1001 TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar ayrıca maddi ve malzeme desteklerinden dolayı ETİ Bakır A.Ş. (Kastamonu/Küre) ve malzeme

desteğinden dolayı ÇBİ A.Ş.'ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Archibald, J. F., Chew, J. L. ve Lausch, P., 1999. Use of Ground Waste Glass and Normal Portland Cement Mixtures for Improving Slurry and Paste Backfill Support Performance, *CIM Bulletin*, 92, 1030, 74-80.

ASTM C128-97, 2002. Standard test method for density, specific gravity, and absorption of fine aggregate. In: Annual *Book of ASTM Standards*, Vol. 04.01, ASTM International, West Conshohocken, PA, 45-52.

ASTM C 1580-09, 2009. Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.

ASTM C 265-08, 2008. Standard Test Method for Water-Extractable Sulfate in Hydrated Hydrolic Cement Mortar, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.

ASTM C39, 2002. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*, 04.02.

ASTM D 4404, 2002. Standard test method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry. In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04-08, ASTM International, West Consho-hocken, PA, 582–586.

ASTM D 4972-01, 2007. Standard Test Method for pH of Soils, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards.*

ASTM D 4980-89, 2003. Standard Test Methods for Screening of pH in Waste, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.

Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman P. ve Verburg, R., 1999. Cementitious Backfill with High Sulfur Content: Physical, Chemical, and Mineralogical Characterization, *Cement and Concrete Research*, 29, 5, 719-725.

Benzaazoua, M, Fall, M and Belem, T, 2004. A Contributing to Understanding the Hardening Process of Cemented Pastefill, Minerals Engineering, 17, 2, (s.141-152).

Brackebusch, F. W.,1994. Basics of Paste Backfill Systems, *Mining Engineering*, 46, 1, 1175-1178.

Celestin, H.J.C., 2008. Geotechnical Properties of Cemented Paste Backfill and Tailings Liners: Effect of Mix Components and Temperature, M. Sc Thesis, Ottawa-Carleton Institute for Civil Engineering, University of Ottowa, 222 pp.

Chen, J.J., Thomas, J.J. Jennings, H.M., 2006. Decalcification shrinkage of cement paste, *Cem. Concr. Res*. 36, 801–809.

Cihangir, F., Erçıkdı, B., Kesimal, A., Turan, A., Deveci, H., 2012. Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage. *Minerals Engineering*, 30, 33-43.

Cihangir, F., 2011. Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cüruflu Yeni Nesil Bağlayıcıların Sülfürlü Atık İçeren Macun Dolguda Çimentoya Alternatif Olarak Kullanılabilirliği ve Mikroyapı Özellikleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 207 s.

Clark, C. C., Vickery, J. D. ve Backer, R. R., 1995. Transport of Total Tailings Paste Backfill: Results of Full-Scale Pipe Test Loop Pumping Tests, *United States Bureau of Mines*, RI 9573, USA.

Erçıkdı, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H. ve Alp, İ., 2009a. Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings: Importance of Binder Type and Dosage, *Cement and Concrete Composites*, 31 (4), 268-274.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2009b. Utilization of Industrial Waste Products as Pozzolanic Material in Cemented Paste Backfill of High Sulphide Mill Tailings, *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2-3), 848-856.

Erçıkdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2010. Effect of Natural Pozzolans as Mineral Admixture on the Performance of Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings, *Waste Management and Research*, 28 (5), 430-435.

Erçıkdı, B., Baki, H., İzki, M., 2013. Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill, *Journal of Environmental Management*, 115, 5-13.

Erçıkdı, B., Yılmaz, T., Külekçi, G., 2014. Strength and ultrasonic properties of cemented paste backfill, *Ultrasonics*, 54, 195–204.

Fall, M., Benzaazoua, M. ve Ouellet, S., 2005. Experimental Characterization of the Influence of Tailings Fineness and Density on the Quality of Cemented Paste Backfill, *Minerals Engineering*, 18, 1, 41–44.

Fernández-Jiménez, A., Palomo, J.G. ve Puertas, F., 1999. Alkali-Activated Slag Mortars: Mechanical Strength Behaviour, *Cement and Concrete Research*, 29, 8, 1313–1321.

Fernandez-Jimenez, A. ve Puertas, F., 2003. Effect of Activator Mix on the Hydration and Strength Behaviour of Alkali-activated Slag Cement, *Advances in Cement Research*, 15, 3, 129-136.

Gaitero, J.J., Campillo, I., Guerrero, A., 2008. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles, *Cem. Concr. Res.* 38, 1112–1118.

IUPAC, 1972. Manual of symbols and terminology. Appendix 2, Part 1: Colloid and surface chemistry. *Journal of Pure Applied Chemistry*, 31 (1), 578–593.

Kesimal, A, Erçıkdı, B, Yılmaz, E, 2003. The Effect of Desliming by Sedimentation on Paste Backfill Performance, *Minerals Engineering*, 16, 10, 1009-1011.

Kesimal, A., Deveci, H., Alp, İ., Erçıkdı, B. ve Cihangir, F., 2010, Optimization of Paste Backfill Performance for Different Ore Types in Cayeli Copper Mine, Karadeniz Technical University, Mining Engineering Department, Revolving Fund Project, Trabzon, Turkey, 36 s.

Komljenoviç, M.M., Başçareviç, Z., Marjanoviç, N., Nikoliç, V., 2012. Decalcification resistance of alkali-activated slag, *Journal of Hazardous Materials*, 233– 234, 112– 121.

Landriault, D., 2001. Backfilling in Underground Mining, in: W.A. Hustrulid (Eds.), *Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies*, SME, 15 s.

Shi, C, Krivenko, P. V. and Roy, D., 2006. Alkali-Activated Cements and Concretes. 1st ed. USA: *Taylor and Francis*, ISBN 10:0-415-70004-3.

Shi, C. ve Stegemann, J. A., 2000. Acid Corrosion Resistance of Different Cementing Materials, *Cement and Concrete Research*, 30, 6, 803-808.

Song, S., Sohn, D., Jennings, H. M. ve Mason, T. O., 2000. Hydration of Alkali-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag, *Journal of Materials Science*, 35, 1, 249-257.

Stone, D. M. R., 1993. The Optimization of Mix Designs for Cemented Rockfill, In *Proceedings 5th International Symposium on Mining with Backfill, Minefill'93*, Johannesburg, SAIMM, 249-253.

Tariq, A. ve Nehdi, M., 2007. Developing Durable Paste Backfill from Sulphidic Tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, 155-166.

Van Deventer, J.S.J. Provis, J.L., Duxson, Peter., 2012. Technical and commercial progress in the adoption of geopolymer cement, *Minerals Engineering*, 29, 89–104.

Yılmaz, E., Belem, T., Bussière, B., Benzaazoua, M. 2011. Relationships between microstructural properties and compressive strength of consolidated and unconsolidated cemented paste backfills, *Cement & Concrete Composites*, 33, 702–715.

Yılmaz, T., Erçıkdı, B., Karaman, K., Külekçi, G., 2014. Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test, *Ultrasonics*, 54, 1386-1394.

Yılmaz, E., 2010. Investigating the hydrogeotechnical and microstructural properties of cemented paste backfill using the CUAPS apparatus, Phd Thesis, University du Québec en Abitibi-Temiscamingue (UQAT), Canada, 432 pp.

Ocak Yangınları ve Tasman İlişkisi: Zonguldak Taşkömürü Havzasında Deneysel Uygulama

Relation between Mine Fires and Subsidence: A Case Study in Zonguldak Hardcoal Basin

H. Akçın
Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

A. Çakır
Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

ÖZET Kömür madenciliğindeki önemli tehlikelerden biri ocak yangınlarıdır. Genel olarak ocak yangınlarının oluşumu incelendiğinde farklı risk faktörlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Ocak Yangınları için bu risk faktörlerinden biri de tasmandır. Ele alınan çalışmada; Zonguldak Taşkömürü Havzasının Gelik üretim merkezinde 2005 yılında başlanan, 2007 ile 2009 arasında önemli bir ocak yangını geçiren ve 2011 sonuna kadar devam eden bir üretim panosunun, tasman oluşum mekanizması 3 Boyutlu sayısal ve fiziksel modellerle incelenmiştir. 2005 ile 2007 tarihleri arasında Japon PALSAR radar uydu görüntüleri kullanılarak İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) analizleri sonucu elde edilen yüzey deformasyon verileri ile tasman ve ocak yangını ilişkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ocak yangınları, tasman, taşkömürü

ABSTRACT One of the major risks in coal mining is mine fires. When the general formation of mine fires is examined, it is seen that different risk factors come to the forefront. The subsidence is one of these risk factors for mine fires. In this study, occurrence mechanism of subsidence was examined by using numerical and physical 3-dimension models for the panel of Gelik Coal Production Region in Zonguldak where the coal production began in 2005, the significant mine fire occurred between 2007 with 2009, completed the coal production at the end of 2011. The relationship between surface deformation data with subsidence and mine fire was investigated by using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) analysis and images taken by Japanese PALSAR Radar Satellite between 2005 with 2007.

Keywords: Mine fires, subsidence, hard coal

1 GİRİŞ VE KAPSAM

Bünyesel açıdan kendiliğinden yanma riski yüksek kömürlere ilişkin pek çok dış faktör olmasına karşın, bu faktörlerden biri veya birkaçı bir araya geldiğinde ocak yangınları için uygun ortam oluşmuş olur. Bu faktörlerin yangın oluşumu üzerindeki önemi havzadan havzaya değişebilir, ancak gözlem ve deneysel çalışmalarla bu faktörler belirli kategorilerde değerlendirilebilir.

Kömür hava ile temas halinde kimyasal tepkimeye girerek oksidasyon (kızışma) meydana gelmekte ve ortamda değişik gazlar açığa çıkmaktadır. Bunlardan en önemlileri; karbondioksit, karbon monoksit, metan, bütan, pentan, penten ve azottur (Şahin ve Didari (2002), Durşen ve Yasun (2012)). Ancak bu reaksiyonun hızla gelişmesi ve bir ocak yangınına dönüşmesi için birçok faktörün oluşuma etki etmesi gerekir. Genel olarak bir kategorilendirme yapıldığında ocak yangınları için risk faktörlerinin

kömürün bünyesel özelliklerinden kaynaklanan iç faktörler ve dış faktörler olmak üzere iki kısımda incelenmesi olasıdır. Dış faktörler ise kendi içinde üretim yapılan bölgenin özelliklerine bağlı olarak jeolojik faktörler, üretim faktörleri ve çevresel faktörler olarak gruplandırılabilir (Kaymakçı ve Didari (2000), Uludağ ve Eroğlu (2001)). Bu bağlamda jeolojik faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz:

- Faylanma
- Damarın derinliği
- Damar içerisinde ara kesmeler
- Damar üzerindeki örtü tabakası
- Yakınındaki diğer damarlar
- Kırılgan ve bozulmuş tabakalar

Madenciliğe ilişkin dış faktörler ise şu şekilde ele alınabilir:

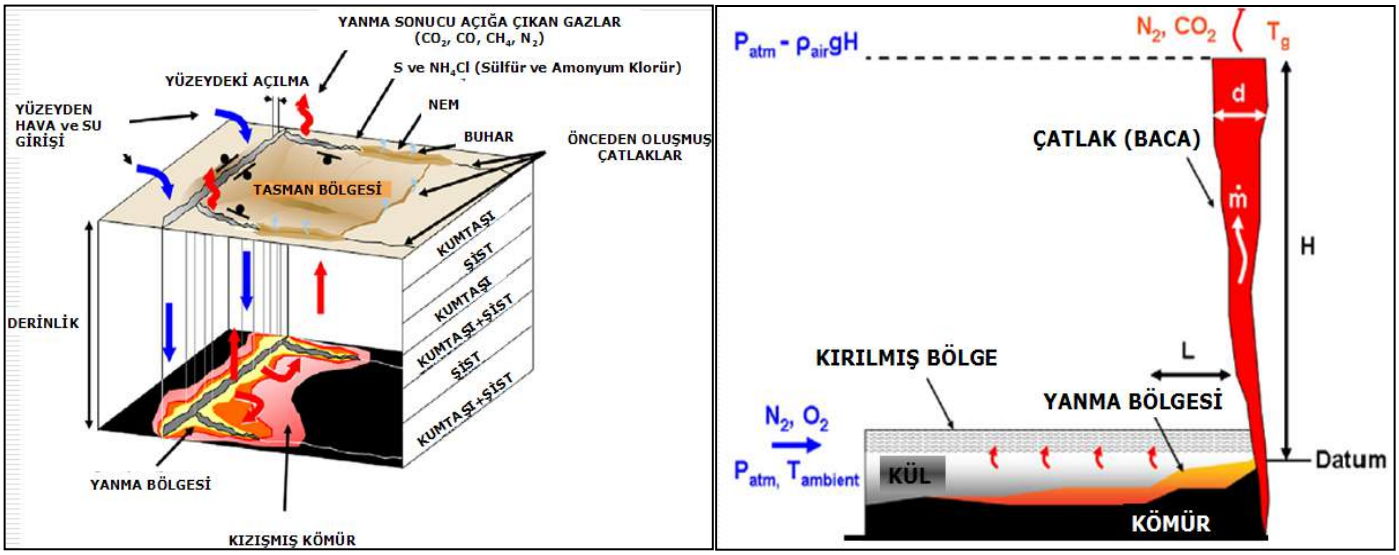
- Üretim yöntemi
- Arın ilerleme hızı
- Kazı yöntemi
- Göçüklerde terk edilen yüksek kayıplar
- Kalın damarların göçertmeli çalışılması, damarların kısmi çalışılması
- Tabaka hareketlerinden dolayı aşırı kırılma (basınç rahatlama zonu)
- Havalandırmada dengesizlik, engeller, yüksek basınç farkları
- Pano geometrisi
- Lağım topuklarını alma

Çevresel faktörler de kendi içerisinde şu şekilde değerlendirilmektedir:

- Yıllık ortalama sıcaklık ve yağış
- Yeraltı suyu
- Tasman
- Yüzeye yakın terk edilmiş ocaklar
- Sıcak su çıkışı, su kaynakları

Makro bir yaklaşımla ocak yangınlarının oluşumunda üretim panosunun 3B konumu ve geometrisi ile pano ilerlemesine bağlı olarak ayak arkasındaki göçüğün özellikle tasman mekanizması ayaktaki havanın kaçması, azalması ve nem açısından ayrı bir önem taşımakta, göçük kısmındaki hava hızı ve kömür tane boyutu değişmekte, yangınların oluşumunu önemli derecede etkileyebilmektedir.

Yeraltında bir üretim panosundaki kömür üretimi için özellikle göçertmeli uzun ayak sistemi ile çalışan ocaklarda, üretim panosu ile yeryüzü arasındaki tabakalarda, üretim göçüğüne doğru kırılma ve çökme meydana gelmekte ve bu durum yeryüzünde final yapmaktadır. Üretim boşluğu üzerindeki bu tasman etki alanında oluşan çatlaklar ve göçük, kömür üretim ortamında bir baca görevi görebilmekte ve kızışmayı yangına çevirebilmektedir (Ide ve Orr Jr, 2011) (Şekil 1a ve b, Şekil 2).



a **b**

Şekil 1. Yüzeyde tasman oluşumu ile ocak yangınlarının ilişkisi; a) oluşumun hava su ilişkisi, b) açılma zonlarıyla temas noktasında kömürün üstten yanışı (Ide ve Orr Jr, (2011)).

Şekil 2. Tasmanlı bölgelerde ocak yangınları ve gaz çıkışı, (Claysville PA, 2008, Office Of Surface Mining Reclamation And Enforcement, 2014).

Kömürün ocak havasının nemini tutması (absorpsiyon) sıcaklık artışına neden olan, dolayısıyla kızışmayı hızlandıran diğer bir olaydır (Didari (1986)). Yeraltındaki üretim panosunun kritik ve kritik üstü pano geometrisine gelmesi durumunda tasman alanındaki gerilme çatlaklarından aşağıya hava ve su girişi olmakta ve kömürün yanması için nemli bir ortam oluşturmaktadır. Bununla birlikte çalışılmakta olan ortamın yeryüzünden derinliği arttıkça kömür üzerindeki kütlesel arazi basıncı ve jeotermal sıcaklık artmakta kömürün yanmasını hızlandırmaktadır (Didari (1986), Ide ve Orr Jr, 2011, Zhou vd. (2013)).

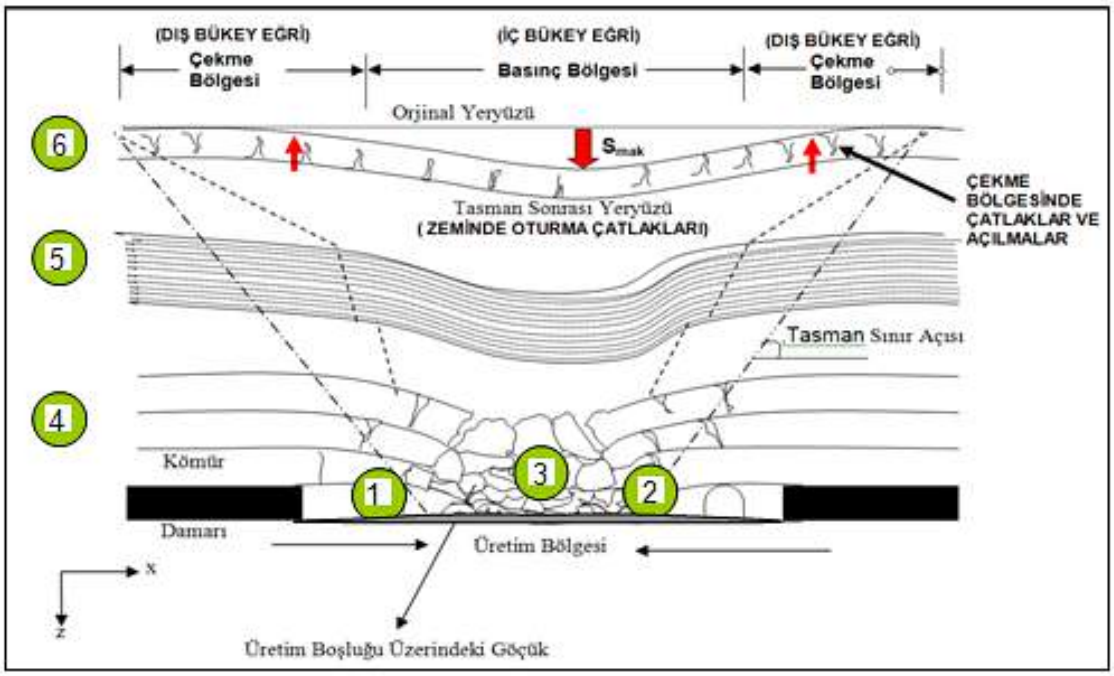
Ele alınan bu çalışmada kendiliğinden yanmaya bünyesel faktörler açısından yatkın kömürler içerisindeki üretim yöntemleri, tasman ve kendiliğinden yanma ilişkisi üzerinde durularak Zonguldak Taşkömürü Havzası Gelik üretim bölgesindeki ocak yangını tasman ilişkisi araştırılmıştır.

2 ÜRETİM ORTAMINDA TASMAN GELİŞİMİ VE KÖMÜR İLE KONTAK NOKTALARININ OLUŞUMU

2.1 Uzunayak Madenciliğinde Tasman

Göçertmeli uzunayak veya göçertmeli dönümlü uzunayak madenciliğinde tasman oluşumlarının hareket mekanizmaları incelendiğinde, Şekil 3'te görüldüğü gibi üretim alanı ile yeryüzü arasındaki katmanda altı temel hareketli bölge oluşmaktadır (Hacıosmanoğlu (2004), Kratzsch (1983),

Kuşçu (1987), Peng (1992), Whittaker ve Reddish (1989)). Bunlardan birincisi çalışılan kömür damarının zemininde arın önünde başlayıp ayak arkasına kadar devam eden, dik yüklenme ile oluşan taban kabarması zonudur. İkincisi arın önü ve arkasındaki oturma bölgesi, üçüncüsü kömür damarı içinde kazı bölgesi, dördüncüsü kazı bölgesi üzerindeki göçük bölgesi, beşincisi deformasyonların oluştuğu orta bölge ve altıncısı gevşek örtü katmanlarında çekme ve basınç bölgeleri şeklinde oluşan yeryüzüdür.

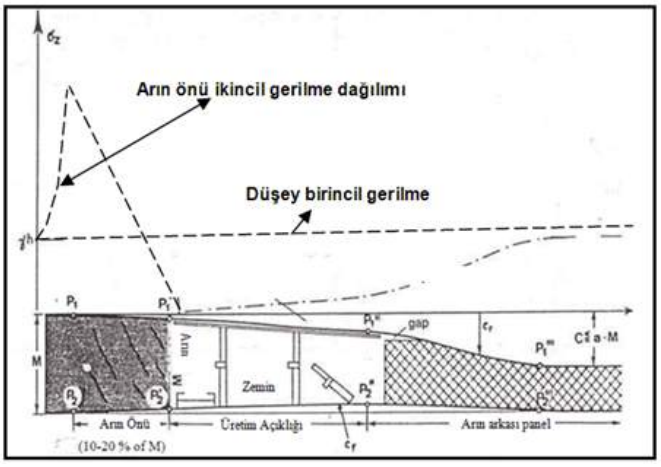


Şekil 3. Bir uzunayak maden üretim bölgesinde tasman oluşum mekanizması ve 1-6 arası numaralandırılmış hareket bölgeleri (Peng (1992)'den geliştirilmiştir).

Tasman oluşumunda Şekil 3.'te görülen bir numaralı bölgede; üretim alanının zemininde, dik yüklenme ile elastik bir eğilme şeklinde görülen yukarı doğru kabarmalar meydana gelebilmektedir. İki ve üç numaralı bölge; özellikle kalın damarların üretiminde oluşumu daha barizdir. Mekanize kazı ile gerçekleştirilen uzun ayak üretimlerinde arın önünde, arında ve arın arakasında 3 değişik konverjans (alçalma veya kabarma) şeklinde görülür. Bunlardan ilki c_0 arının 30-100m önünde damar kalınlığının %10-20'si kadar oluşan konverjans, c_1 arında 10-30cm büyüklüğünde oluşan konverjans ve c_2 son düşen direğin (tahkimatın) yaklaşık 100m gerisinde oluşan konverjanstır. Toplam konverjans Şekil 4'ten de görüldüğü gibi bu üçünün toplamı olup ($C_{mak}= c_0 + c_1 + c_2$), yeryüzünde oluşacak olası en büyük tasman miktarı eşitlik 1'de verilen S_{mak}'a eşdeğerdir (Kratzsch,1983).

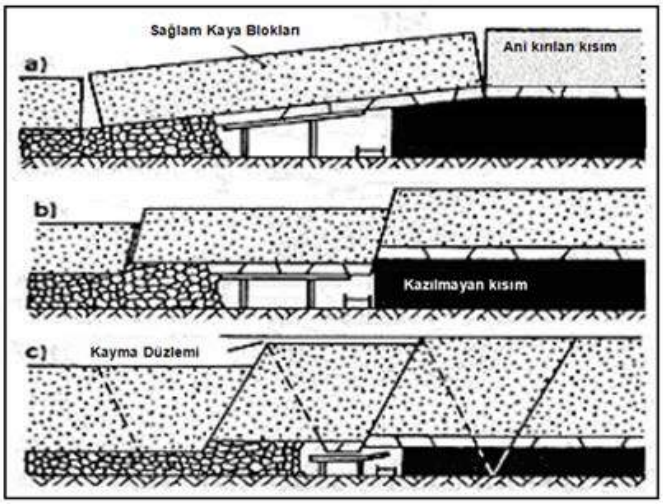
$$C_{mak}= S_{mak} = m \,.\, a \,.\, \cos(\alpha) \qquad (1)$$

Burada m; damar kalınlığı, α; damar eğimi ve a; tasman faktörüdür. Burada konverjans ya da tasman büyüklüğünü belirleyici unsur tasman faktörü olup, üretim alanı ile yeryüzü arasındaki jeolojik yapının mekanik özelliklerine bağlı belirlenen bir büyüklüktür.



Şekil 4. Yeraltı mekanize uzunayak madenciliğinde kazı çalışmaları sonucu oluşan konverjanslar ve düşey doğal arazi basınç dağılımı (Kratzsch, (1983)).

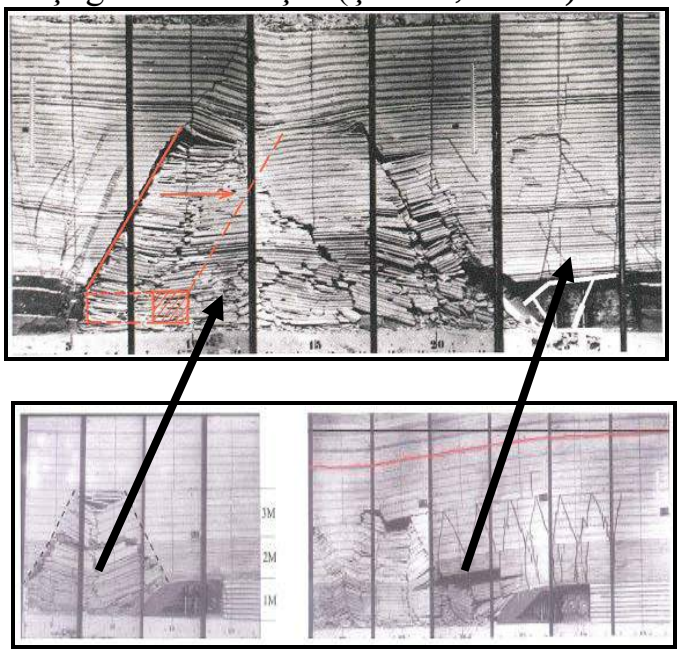
Dördüncü bölgede; hareketler kazı alanının hemen üzerindeki tabaka davranışlarını gösterir, yüksek basınç altında ani gelişen sert eğilmeler ve kırılmalar şeklinde oluşmaktadır. Tavan kayaçları elastik davranıştan elastoplastik bir davranışa geçmekte, permiabilitede ve prozitede yüksek artışlar meydana gelmektedir. Dört no'lu bölgenin toplam yüksekliği kazı bölgesindeki çökmelerde dahil olmak üzere, kazı yüksekliğinin 10 ile 30 katı büyüklüğünde olabilmektedir. Kemerleşme ve kırılma ise topuksuz mekanize kazıda ilerleme yüzeyinin hemen 30m üzerinde oluşabilmektedir (Peng 1992). Bu kırılma ve kemerleşme mekanize kazıda Şekil 5'de görüldüğü gibi üç şekilde oluşmaktadır. Bunlar blok kaya düşmeleri, dik ya da makaslama şeklinde kırılma ve kama tipi kırılmadır.



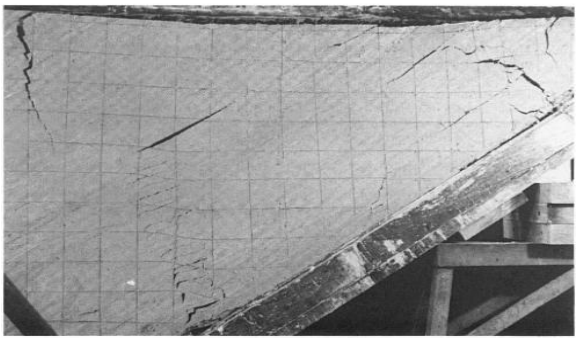
Şekil 5. Mekanize kazıda ana kayanın kırılma tipleri; a) eğik kırılma, b) dik kırılma ve c) kama tipi kırılma. (Kratzsch, (1983)).

Beşinci bölge; dördüncü bölgenin hemen üzerinde kemerleşme şeklinde elastik bir davranış gösteren bir yapıdadır. Altıncı bölge; düşey yönlü deformasyonların yeryüzü seviyesinde etkilediği alanı belirler. Gerek yeryüzündeki deformasyon gözlemleri ve gerekse yeryüzünde etkilenecek yapıların belirlenmesi açısından önemlidir. Eğer altıncı bölgede etki alanı belirlenebilirse, tasman küveti denilen çökme havuzu içinde yatay yer değiştirmeye, bükülmeye veya gerilmeye bağlı deformasyonlarla oluşan yüzey açılmalarının yerleri belirlenebilmektedir. İşletmede üretim yapılan damar içinde oluşturulan panonun üretim yöntemine bağlı boyutsal özellikleri olan pano genişliği, uzunluğu, damar kalınlığı ve eğim açısı ile panonun alt ve üst kotları (jeoitten itibaren alınacak pratik yükseklikleri) ile yeryüzündeki etki alanı kestirilir.

Son otuz yılda bu alanda uzunayak madenciliğine ilişkin fiziksel model testleri ile bu davranışlar incelenmektedir. Yapılan laboratuar çalışmalarından yatay ve eğimli damarlarda gerçekleşen üretimler sonucunda, ocak ortamında meydana gelen göçük mekanizmasının yeryüzüne kadar oluşan çatlaklar ve kırılma hatları şeklinde ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 6, 7 ve 8).

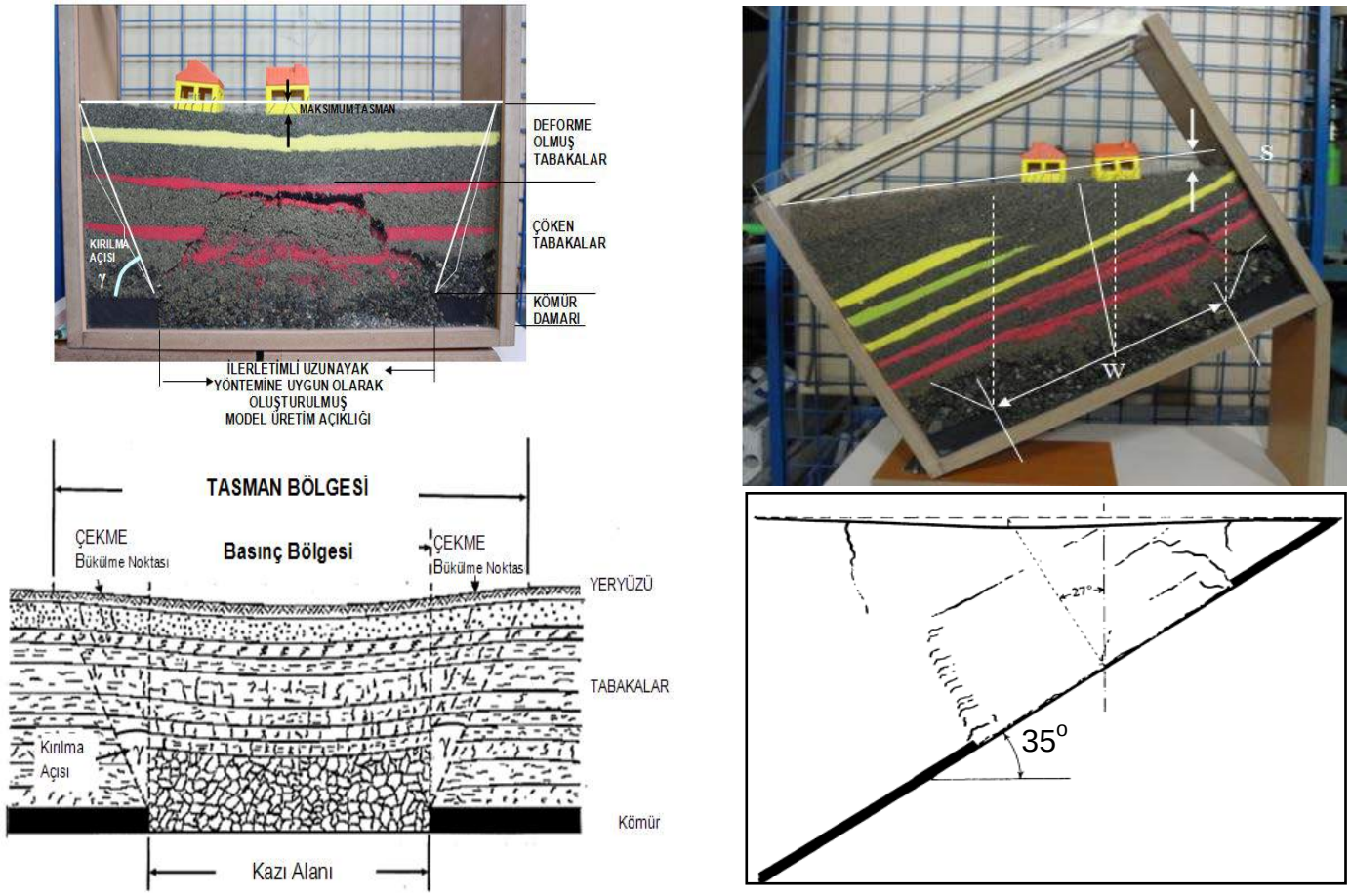


Şekil 6. Yatay damarda uzunayak panosu üzerinde tabakaların kırılma davranışı testi (Kook, Hucke, Studeny, (2009)).



Şekil 7. Eğim açısı 35° olan bir damarda tasman oluşumu model çalışması (Wittaker ve Reddish (1989)).

Bülent Ecevit Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuarında geliştirilen deney setinde de yatay ve 35° eğim açısı altındaki üretimlerin yüzeye yansımaları test edilmiş ve gözlem sonuçları modellenmiş, bu konuda uluslar arası çalışmalardan edinilen sonuçlarla uyumlu olduğu belirlenmiştir (Şekil 8).



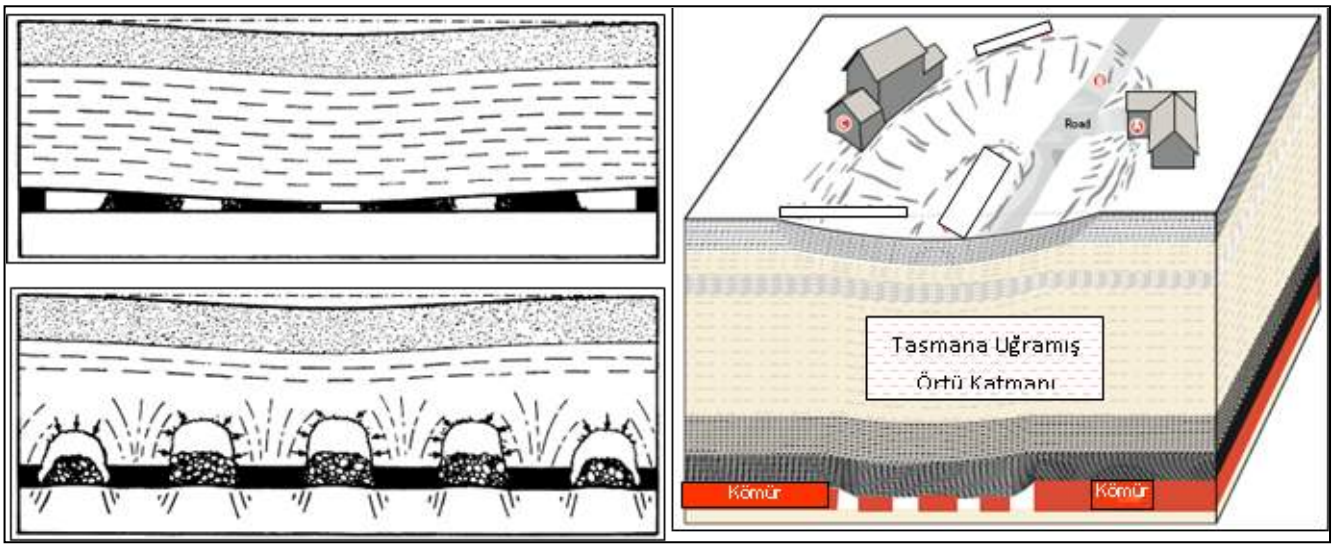
Şekil 8. Yatay eğimli damarlarda tasman oluşumunun fiziksel model testi.

2.2 Oda-Topuk Madenciliğinde Tasman

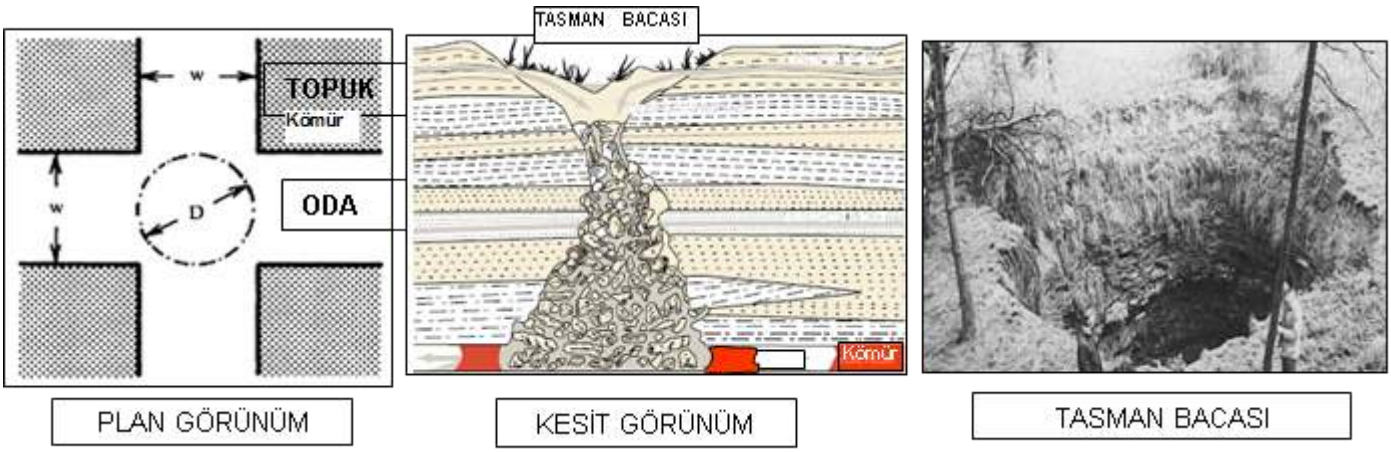
Yer altı madenciliğinde düz ve az eğimli kömür damarlarında verimli çalışılamayan uzunayak yönteminin alternatifi olarak oda-topuk madenciliği uygulanmaktadır. Bu yöntem uzunayak yöntemine göre daha kolay bir üretim yöntemi olup üretim ve tahkimat ekonomisi açısından da düşük maliyetlidir. Bu üretim şeklinde kömür içerisinde tavan üzerindeki arazi basıncını dengelemek için kare veya dikdörtgen kesitli topuklar bırakılır. Topuklar arasında üretim açıklıkları (odalar) oluşturularak üretim gerçekleştirilir.

Yöntemin kritik şekli, odaların geniş tutulması ya da topukların gerekli olan boyutundan küçük tutulması durumunda tavan yükünü taşıyamaz hale gelince oluşur. Topukların ezilmesi, batması ya da yıkılması diğer topukların da dayanımını etkilemektedir. Madenin güvenliği açısından panolar oluşturulup, panoların çevresinde güvenlik bariyerleri oluşturulup panolar içerisinde kalan topuklar alınarak kontrollü göçertme uygulanabilmektedir.

Oda-topuk yönteminde tasman iki şekilde oluşmaktadır. Bunlardan ilki topukların zaman içerisinde dayanımını yitirmesi ile panonun merkezine doğru oluşan arazi basıncı ile yeryüzünde pano açıklığından daha geniş olmayan bir oturma meydana gelir (Şekil 9). Tasmanın ikinci oluşum şekli ise topuklar arasındaki kazı açıklıkları olan odaların özellikle üçlü ve dörtlü kavşaklar üzerindeki çöküntülerle oluşan tasman bacalarıdır (Admunson vd. (2009), Gürgen ve Köse (1991), Saltoğlu (1979), Ünlü (1994), Whittaker ve Reddish (1989)). Şekil 10'da Dörtlü kavşakta oluşan tasman oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 9. Topuk ezilme zonlarında yeryüzünde oluşan tasman (Whittaker ve Reddish (1989), Admunson vd. (2009))



Şekil 10. Dörtlü topuk kavşağında tasman bacasının oluşumu (Whittaker ve Reddish (1989), Admunson vd. (2009)).

3 ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA OCAK YANGINI TASMAN İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

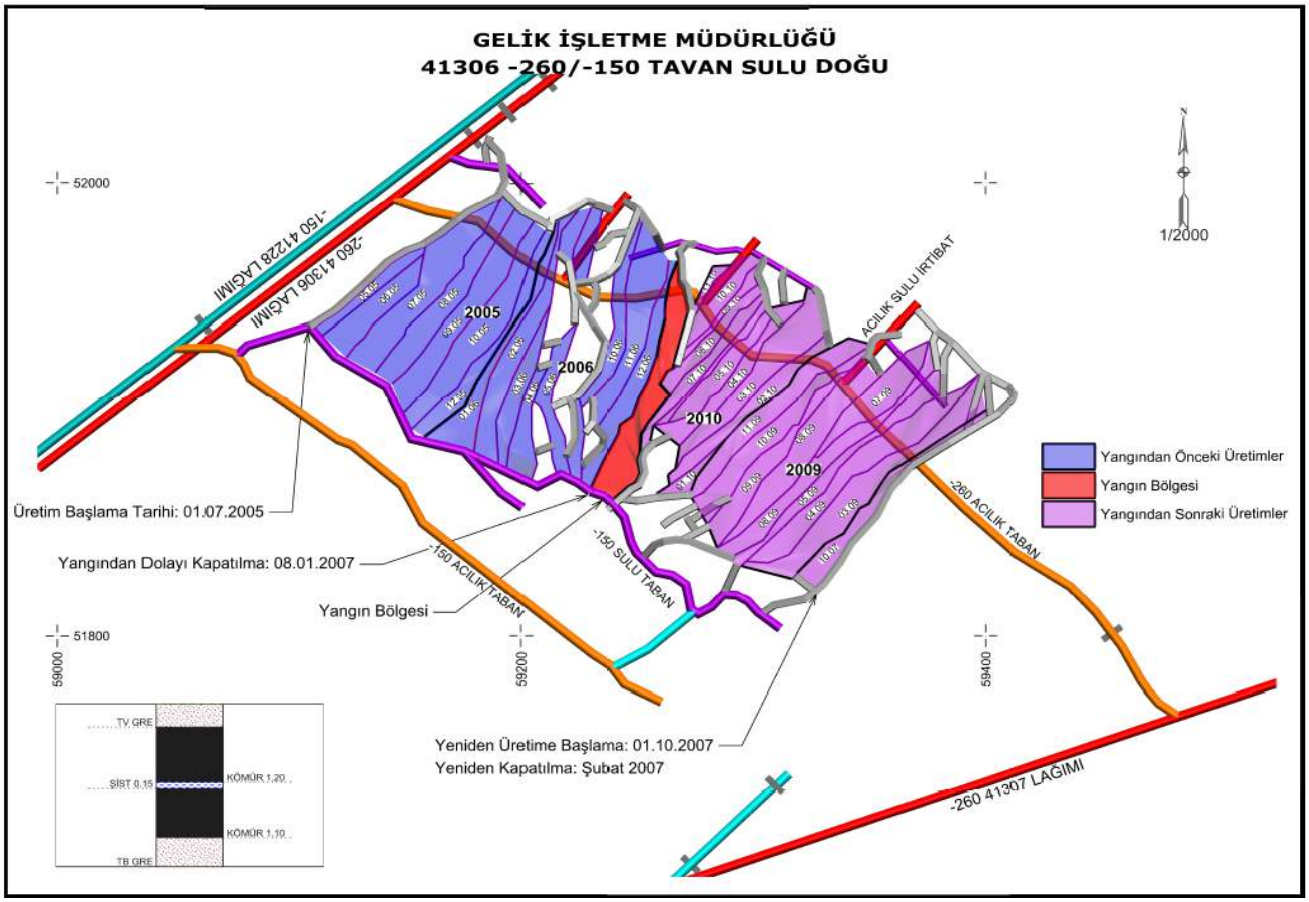
3.1 İnceleme Sahasının Tanıtımı ve Yangın Olayının Gelişimi

Kuramsal temelleri ikinci bölümde açıklanan, üretim yöntemleri-tasman-kendiliğinden yanma ilişkisinin deneysel araştırma çalışmasına ilişkin olarak, Zonguldak Taşkömürü Havzasının Gelik üretim alanındaki bir uzunayak panosu yangını incelenmiştir (Şekil 11). Bu sahadaki üretim 2005 yılında hazırlıkları tamamlanmış bir ilerletimli göçertmeli uzunayak sisteminin uygulandığı, -150 kotu ile -260 kotları arasında Sulu damarında çalışılan Tavan Sulu Doğu Panosundadır (Şekil 12).

Üretimin 15. ayında ocakta açık alevli yanma olayı meydana gelmiştir. Yangının başlamasıyla birlikte eş zamanlı olarak rekup lağımlar ve ana lağımlar üzerine barajlama çalışması gerçekleştirilmiş (Şekil 13) ve 2006 yılının 12. ayından 2007 yılının 10. ayına kadar 11 ay boyunca gaz çıkışı gözlemlenmiş ve yangın sönme işlemi takip edilmiştir.

Üretim panosunda çalışma için uygun ortam oluştuktan sonra, Panonun tersi yönden 2007'nin 10. ayında başlayan hazırlıklar ile 2009'dan itibaren ilerletimli göçertmeli uzunayak metodu uygulanarak damarın yanan bölümüne kadarki üretim açıklığında 2010'un 11.ayına dek üç yıl süren faaliyet gerçekleşmiştir.

Şekil 11. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda Gelik üretim merkezinin konumu.



Şekil 12. Üretim panosunun imalat haritası ve damar stampı.

3.2 Üretim Panosunda Tasman Olayının Gelişimi

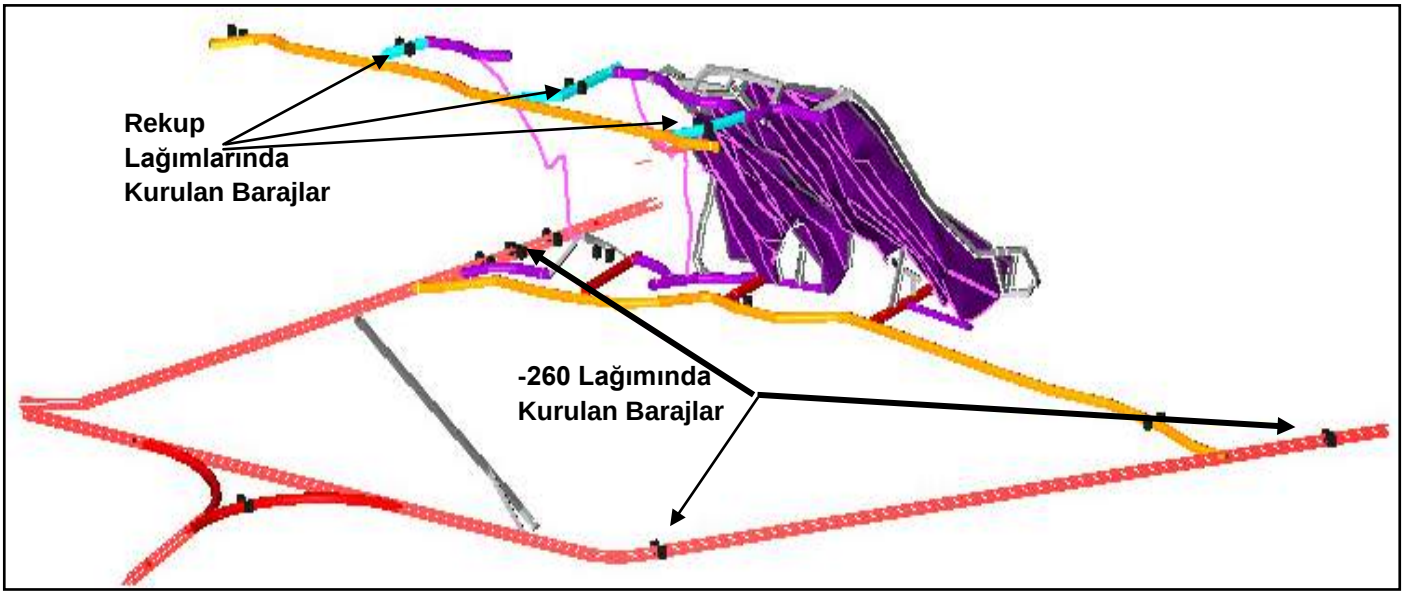
Üretim; 29° eğim açısına sahip Sulu damarında 320m derinlikte, Üst Jurasik Alt Kratese yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve karasal çökeller altında Kozlu Formasyonu içerisinde gerçekleştirilmiştir. Karbonifer yaşlı Kozlu Formasyonu, Litolojik olarak kumtaşları, kalın kömür damarları, şeyller ve çakıllı seviyelerden oluşmaktadır. Üretim panosunun belirlenen bu parametreleri ile yüzeydeki tasman etki alanı modellenmiş ve bu alan içerisindeki en büyük tasman miktarı ayrık elemanlar yöntemi ile 1,44m olarak hesaplanmıştır. Şekil 14'te panonun tasman etki alanın 3 boyutlu görünümü verilmiştir.

Üretim panosunun tasman etkisi; ayrıca Japon PALSAR uydusundan 3 periyot olarak alınan radar görüntüleri ile Diferansiyel İnterferometrik SAR (DİnSAR) yöntemi kullanılarak da belirlenmiştir. Üretim panosu; üretimin başladığı tarih olan 2005 yılından 2006 yılının altıncı ayına kadar kritikaltı pano boyutuna gelerek aktif tasmanı oluşturmuştur. Radar görüntüleri 2006'nın 9. ayından itibaren yangının başlangıcı ile bitiş tarihi olan 2007'nin 9. ayına kadar alınmış ve görüntüler üzerinden tasman alanları belirlenmiştir (Şekil 15).

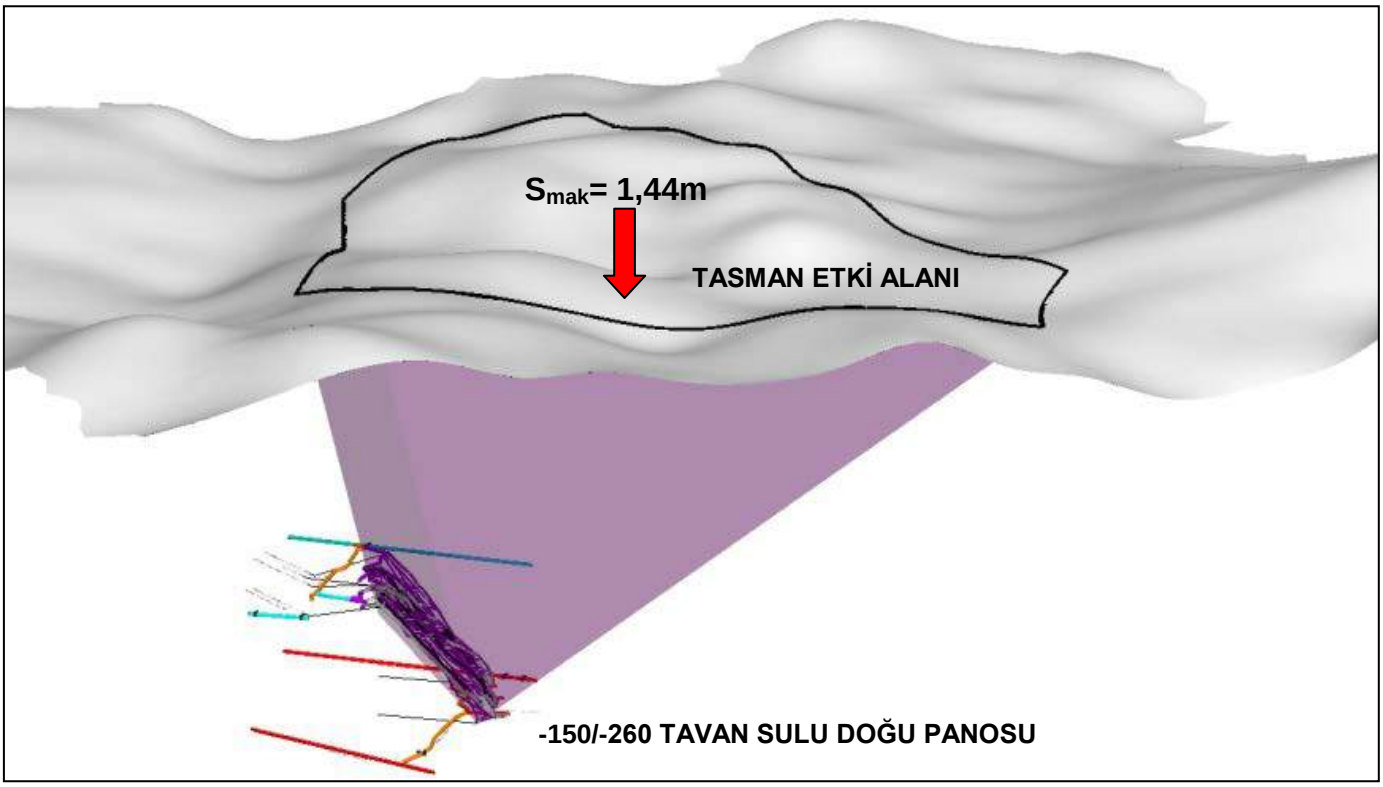
DİnSAR yönteminin uygulamasında aşağıda verilen işlem adımları ele alınmıştır.

- Bir sonraki periyotta elde edilen görüntünün ilk (master) görüntüye göre yeniden örneklenmesi.
- SRTM 30m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli kullanarak SAR görüntüsünün simülasyonun yapılması.
- Simülasyonu yapılmış SAR görüntüsünün yeniden örneklenmesi ve kaydı,
- İki görüntü arasındaki baz mesafesinin kestirimi,
- Faz filtrelemesi,
- Faz açılımı,
- Atmosferik düzeltme,
- Gerekli projeksiyon indirgemeleri yapılarak deformasyon haritasının oluşturulması.

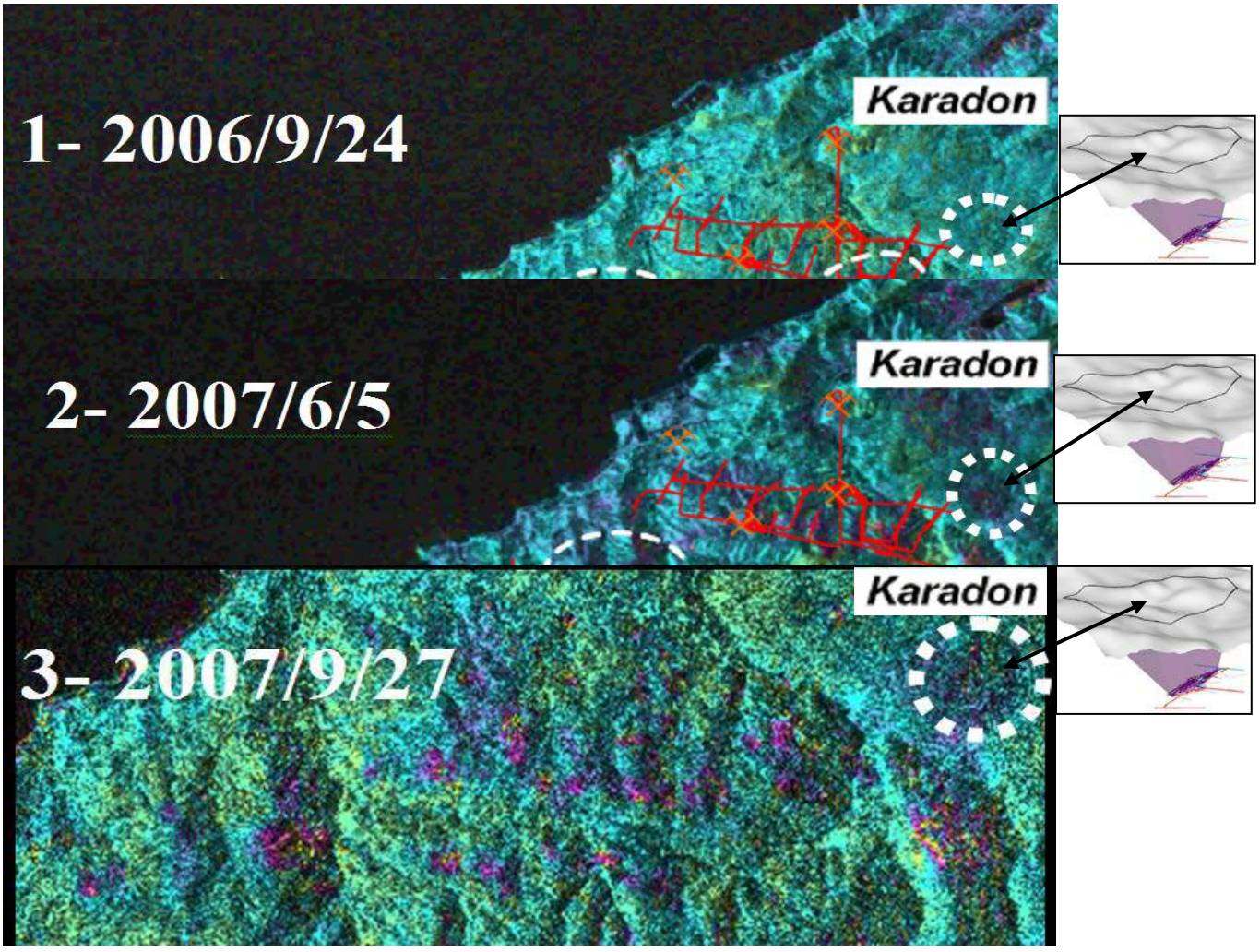
Ele alınan üretim panosunun tasman oluşumu açısından analizinde, değerlendirilmesi gereken diğer bir husus ise, yangından sonra ters yönden başlayan 2007 sonrası üretimdir. Uygulamada, panonun üretiminde kurum tarafından bilinçli bir şekilde uygulanmayan ancak tasman biliminde "Tasman Kontrollü Üretim" olarak adlandırılan bir durum gerçekleştirilmiştir (Whittaker ve Reddish (1989)). Dolayısıyla, aynı damar üzerinde ters istikamette başlayan üretimin tasman etkisi, Şekil 16'da gösterildiği gibi, ilk durumdaki üretimin tasman oluşumu tarafından sönümlendirilmiştir. Bu durum süperpozisyon olarak da adlandırılmaktadır. Süperpozisyon oluşumu ile üretimin bu bölümünde yüzeyde fazla etkin olmayan çok düşük şiddette bir tasmanın meydana gelmesi sağlanmıştır.



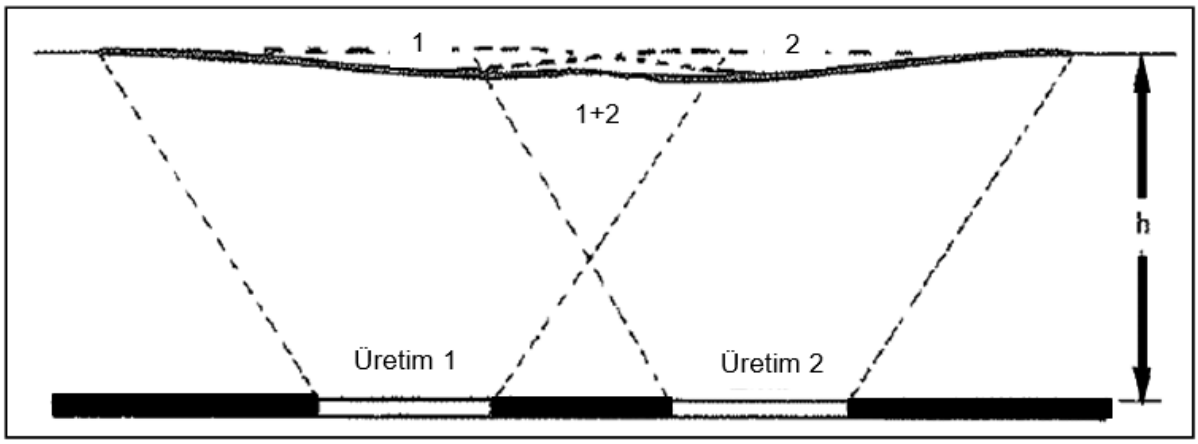
Şekil 13. Üretim panosunun 3 boyutlu görünümü ve yangın sırasında oluşturulan barajlar.



Şekil 14. Tavan Sulu Doğu Panosu tasman etki alanının 3 boyutlu görünümü.



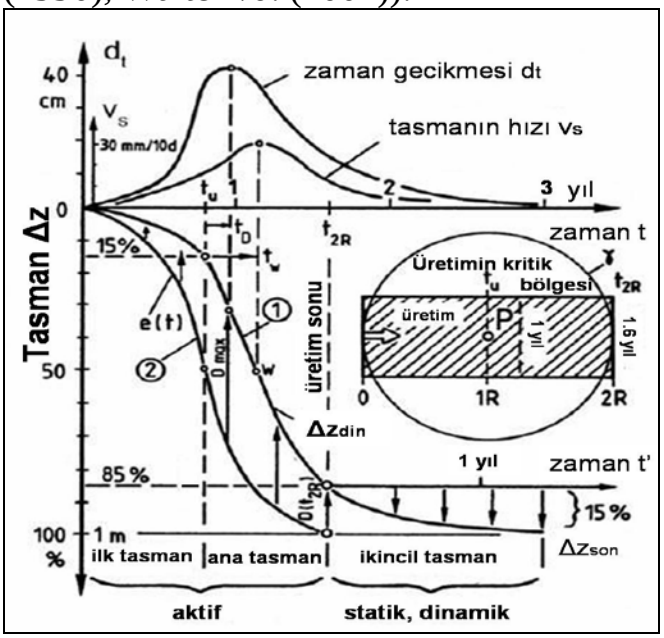
Şekil 15. Üretim panosu üzerinde bir yıllık süreçte gerçekleşen tasman örgeleri (frinçleri).



Şekil 16. Aynı damardaki üretimlerden yüzey tasman oluşumlarının birbirlerini sönümlendirmesi, süperpozisyon (Whittaker ve Reddish (1989)).

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ocak yangınlarında kömürün bünyesel özellikleri ve jeolojik koşullar önlenemez faktörlerdir. Ancak, üretim ve çevresel faktörler önlenebilir faktörlerdir. Bu bağlamda özellikle tasman faktörü çevresel faktörlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Uzunayak madenciliğinde; panolarda üretimin başlamasından 8 ile 12 ay arasında geçen bir sürede pano, Şekil 17'den de görüldüğü gibi kritikaltı seviyeye gelerek tasman oluşumunun meydana geldiği görülmektedir (Arıoğlu (1990), Walter vd. (2004)).



Şekil 17. Kritik boyuttaki bir üretim panosunda P noktası üzerinde oluşan tasmanın zamansal gelişimi (Walter vd. 2004).

Eğer pano ve çevresinde eski üretimler varsa veya zayıf zonlar söz konusu ise bu süre 5-6'aya kadar düşebilmektedir. Bu durum kömürün kızışması için gerekli ortamı sağladığı için kuluçka dönemi olarak da adlandırılmaktadır. Havzadaki pek çok ocak yangınının üretime başladıktan bir yıl sonra gerçekleşmiş olması, konu hakkındaki görüşlerle çakışmaktadır (Değirmenci (1992)).

Aktif tasmana geçmiş bir üretimin, ocak yangınları için bir tehdit unsuru olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir. Özellikle tasman olayını karakterize etmek için geliştirilen fiziksel modeller, üretim panolarındaki göçük bölgelerinden hava kaçışının önlenememesi durumunda ocak yangınları için risk oluşturabileceğini göstermiştir. Sürekli üretim yapılan bir bölgede ya da kalın damarlarda katlı çalışmanın yapıldığı uygulamalarda, bu tehdit unsuru daha da ön plana çıkmaktadır. Özellikle Zonguldak Taşkömürü Havzası gibi büyük üretim alanlarında, mostra madenciliği şeklinde başlayan üretim faaliyetlerinin derin madenciliğe dönüşmesinde tasman özellikle incelenmesi, takip edilmesi ve bu oluşuma yönelik özel önlemlerin alınması gerekli bir çevresel faktör olmaktadır.

Havzada benzer pek çok ocak yangınının panoların göçük bölgesinden ve çevresel faktörlerden kaynaklandığı bilinmektedir (Karaçam vd. (1988), Değirmenci (1992)). Bu tür olaylar, bir Madencilik Bilgi Sistemi yardımıyla üretim bölgelerinin geçmişe yönelik ve güncel veri kayıtları yapılarak,

analiz edilebilir ve sorgulanabilir hale gelebilmektedir. Daha da ötesinde ocak yangınları için detaylı, tüm yönleri ile analiz edilebilir bir risk değerlendirmesi de yapılabilmektedir.

Günümüzde aktif uzaktan algılama tekniği ile yeryüzünün uydu platformlarından radar görüntüleri alınabilmekte ve interferometri yöntemleriyle değerlendirilebilmektedir. Bu sayede yeryüzündeki deformasyon alanları ve deformasyon boyutları yüksek duyarlılıkta saptanabilmektedir. Bu tür analizlerle üretim panolarındaki tasman etkileri incelenerek, kömürün kızışarak ocak yangınına dönüşmeden önce gerekli tedbirlerin ve iş güvenliği önlemlerinin alınabilmesi için, karar vericilere bu tür bilgilerin sağlanması gerekmektedir.

BİLGİLENDİRME

Ele alınan bu çalışmada; radar görüntülerinin alımı ve interferometrik değerlendirmeleri Japon Yer Uzaktan Algılama Veri Analiz Merkezi ERSDAC ve o zamanki ismi ile Zonguldak Karaelmas ve yeni ismi ile Bülent Ecevit Üniversitesi BEÜN ortak projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar ERSDAC ve BEÜN'e teşekkürlerini sunar. Ayrıca, bu konudaki önemli katkılarından dolayı Dr. Tomonori Deguchi'ye ve Hacı Mehmet Bardız'a özel olarak teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Admunson A., Greenman C. ve Stover B. K. 2009, Special Publication 26, *Subsidence Above Inactive Coal Mines: Information for the Homeowner*, State of Colorado Department of Natural Resources

Akçın H., 1993, *Yeraltı Maden Üretimlerinden Kaynaklanan Tasman Hareketlerinin Yapısal ve Jeodezik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arıoğlu E., (1990). Tasman Mühendisliği, *Zonguldak Taşkömürü Havzasında Tasman Çalıştayı*, Zonguldak.

Claysville PA, 2008, *çeşitli fotoğraflar*, ABD

Değirmenci, A. 1992. Kozlu Müessesesindeki Ocak Yangınları ve Alınan Önlemler, *Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, sy. 153-164, Zonguldak.

Didari, V., 1986Yeraltı Ocaklarında Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk indeksleri, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Madencilik dergisi*, Cilt 25, Sayı 4, Sayfa 29-34.

Durşen, M., Yasun, B., 2012, Yeraltı madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı, *İSGÜM yayınları*, Ankara.

Gürgen S., Köse H., 1991, Yer altı Kömür Madenciliğinde Topuklu Üretim Yöntemlerinde Yeni Gelişmeler, *Madencilik*, Cilt XXX, Sayı 2.

Hacıosmanoğlu M., E., 2004, *Development Of A Subsidence Model For Çayırhan Coal Mine*, Y. Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ide S. T., Orr Jr. F.M., 2011, Comparison of methods to estimate the rate of CO_2 emissions and coal consumption from a coal fire near Durango, CO, *International Journal of Coal Geology*, 86(2011), 95, 107.

Karaçam, E., Didari, V., Atalay, T., 1988. Zonguldak Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması, *Türkiye 6. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, sy.91-100, Zonguldak.

Kook J., Hucke A., Studeny A., Edi. Junker M., 2009, *Strata Control in in-seam roadway*, VGE Verlag GmbH, Essen.

Kaymakçı, E., Didari V.,2000. Kömür Özellikleri İle Kendiliğinden Yanma Parametreleri Arasındaki İlişkiler, *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, sy.147-156, Zonguldak.

Kratzsch H., 1983. "Mining Subsidence Engineering", Berlin, New York: Springer-Verlag, 543 pages.

Kuşçu Ş., 1987, *Tasman Mühendisliği (Temel Kavramlar)*. Ders Notu (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 48 s.

Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 2014, *Çeşitli Fotoğraflar*, ABD.

Saltoğlu S., 1979, *Madenlerde Yer altı Üretim Yöntemleri*, İTÜ Kütüphanesi, Sayı 1151, İstanbul.

Peng, S. S., 1992, *Surface Subsidence Engineering*, Published by Society for mining, metallurgy, and exploration, Inc., Littelon, Colorado, 159 p.

Şahin, N., Didari, V., 2002, Zonguldak Kömürlerinde Kendiliğinden Yanmanın Erken Saptanması Amacıyla Yanma Ürünü Gazların İncelenmesi, *Maden Mühendisleri Odası Madencilik Dergisi*, Cilt 41, Sayı 4, sy.37-51

Uludağ S., Eroğlu H., N., 2001. Assessing Spontaneous Combustion Risk in South African Coal Mines Using a GIS Tool, 17. *International*

Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET 2001, 243-249, Antalya.

Ünlü T., 1994, *Stability and reinforcement of pillar workings with particular reference to deep coal Mining*, PhD. Thesis, University of Nottingham, 301 p.

Walter D., Hoffmann J., Kampes B., and Sroka A., 2004, Radar interferometric analysis of mining induced surface subsidence using permanent scatterer. *Proceedings ESA ENVISAT Symposium*, Salzburg, Austria.

Whittaker, B. N. ve Reddish D. J., 1989, *Subsidence occurrence, prediction and control*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-Newyork-Tokyo, 528 p..

Zhou L., Zhang D., Wang J., Huang Z. and Pan D., 2013, Mapping Land Subsidence Related to Underground Coal Fires in the Wuda Coalfield (Northern China) Using a Small Stack of ALOS PALSAR Differential Interferograms *Remote Sensing*, *5*, 1152-1176; doi:10.3390/rs5031152

Sayısal Modelleme Yöntemiyle RMR Sistemince Önerilen Tahkimat Sistemlerinin Analizi

The Analysis Of The Support Systems Proposed By The RMR System Using Numerical Modeling

E. Karakaplan
Pamukkale Üniversitesi, Kale Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Denizli

H. Basarir
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET RMR sınıflama sistemi yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımında yaygınlıkla kullanılmaktadır. Sistem aynı kalite kaya kütlesinde farklı derinliklerde oluşturulacak açıklıklar için herhangi bir fark gözetmeksizin aynı tahkimat sistemi önerisinde bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı varsayılan farklı gerilme koşullar altında aynı kalitede kaya kütlesi için önerilen tahkimat sistemlerinin performanslarının sayısal modelleme tekniği kullanılarak değerlendirilmesidir.

Literatürde yer alan farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olan proje sonuçları incelenerek orta ve zayıf kalitede kaya kütlesi örnekleri saha verisi olarak seçilmiştir. Farklı derinlik değerleri varsayılarak gerilme koşulları değiştirilmiştir. Sayısal olarak modellenen açıklıklara RMR sistemince önerilen tahkimat sistemleri iç basınç cinsinden uygulanmış ve varsayılan farklı gerilme koşullarında açıklıklar etrafındaki gözlemlenen deformasyonlar kaydedilmiştir. Yaygınlıkla kullanılan limit birim deformasyon değerlerinden biri performans ölçütü olarak kullanılmış ve önerilen tahkimat sistemlerinin performanslarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: RMR sistemi, deneysel tasarım, sayısal modelleme, tahkimat sistemi performans değerlendirimi

ABSTRACT RMR rock mass classification system is widely used to design support systems for underground openings. For the underground opening excavated in the same quality rock mass at different depths the system proposes same support system. The purpose of this study is to evaluate the performances of the support systems proposed for the openings excavated in the same quality rock mass but under different stress conditions.

By using current literature and the results of projects conducted by different researchers fair and poor quality rock masses were selected as case studies. The in situ stress conditions were simulated by assuming different depths. The pressure of the support system proposed by RMR was calculated and applied to modeled openings in terms of internal support pressure and corresponding deformations were recorded. One of the most widely used critical strain values was used as a performance evaluator for the support systems.

Keywords: The RMR system, empirical design, numerical modeling, support system performance evaluation

1 GİRİŞ

Maden işletmeciliği amaçlı yeraltında açılan galeriler, kuyular gibi geniş yeraltı açıklıklarının tasarımları karmaşık jeolojik ve jeoteknik özelliklerden dolayı oldukça güçtür. Yeraltı madencilik açıklıklarının mühendislik tasarım yaklaşımları üç ana gruba ayrılabilir. Bunlar; deneysel, sayısal ve analitik yaklaşımlardır.

Günümüzde kullanım kolaylığı nedeniyle deneysel yöntemlerin uygulamacılar tarafından yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bu yöntemlerden birisi kaya kütle puanlama sistemidir (RMR). RMR sınıflama sistemi, Bieniawski (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem Bieniawski'nin sedimanter kayalarda açılmış tünellerde yaptığı gözlemler ve bu gözlemlerden kazandığı deneyimler esas alınarak geliştirilmiştir. Bieniawski (1989) tarafından 1973'ten 1989'a kadar tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri ile ilgili toplam 351 farklı uygulamadan derlenen veriler ve kazanılan deneyimler çerçevesinde sisteme son şekli verilmiştir.

Sistemin girdi parametreleri kaya malzemesi dayanımı, kaya kalite belirteci (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizlik yüzey durumu ve yeraltı suyu koşullarıdır. Her bir parametreye verilen puanların toplamı sonucunda temel RMR değeri elde edilir. Süreksizlik yönelimi düzeltmesi gibi gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra düzeltilmiş RMR değeri elde edilir. Bu elde edilen değere göre ise oluşturulacak olan galeri veya açıklık için tahkimat sistemi önerilir. Sistemin orijinal hali yaygınlıkla kullanılmasına rağmen bazı araştırmacılar tarafından farklı düzeltme gereklilikleri belirtilmiştir. Bu düzeltmeler uygulamalarda yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, gerilme düzeltmesi, patlatma düzeltmesi ve başlıca zayıflık düzlemleri düzeltmesidir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Açıklık boyutu, kaya özellikleri ve gerilmeler duraylılığı etkileyen en önemli parametrelerdendir. Ancak RMR sistemi aynı kaya kütlesinde farklı derinliklerde dolayısıyla farklı gerilme koşullarında oluşturulacak açıklıklar için aynı tahkimat sistemi önermektedir. Bu çalışmanın amacı varsayılan koşullar altında RMR tarafından önerilen tahkimat sisteminin performansını artan derinlikle veya değişen gerilme koşulları altında değerlendirilmesidir.

Belirlenen amaçlar doğrultusunda açıklık duraylılığı ve tahkimat performansı hakkında miktarsal bilgiler verebilen ve yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi esaslı Phase^2 bilgisayar programı (Rocscience, 2009) ile varsayılan gerilme koşulları altında farklı koşullar içeren gerçek saha verileri kullanılarak çok sayıda hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmalar neticesinde RMR sisteminin önerdiği tahkimat elemanlarının performanslarının farklı gerilme koşulları için aynı olmadıkları belirlenmiştir.

2 KAYAÇ ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada daha gerçekçi yaklaşımda bulunabilmek amacı ile literatürden derlenen saha verileri kullanılmıştır. Çalışmaların ortak noktası, kaya sınıflandırmasında ve tahkimat tasarımında, RMR sisteminden ve sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplama yapan yazılımlardan yararlanmış olmalarıdır.

Saha verileri olarak; üç farklı karayolu tüneli projesinden (Ghafoori ve ark., 2006; Sarı ve ark, 2008; Satıcı, 2007) elde edilmiş veriler kullanılmıştır. Bu verilere bağlı olarak hesaplanan dayanım ve deformasyon değerleri Phase^2 yazılımı için girdi olarak kullanılmıştır. Hoek-Brown parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan GSI değerine ulaşılamadığı durumlarda Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen GSI=RMR_{89}-5 ilişkisinden faydalanılmıştır. RMR ve GSI sistemleri arasındaki ilişkilere dair kapsamlı bir derleme çalışması Osgoui ve Ünal (2005) tarafından sunulmuştur.

2.1 Bilecik – İstanbul Karayolu (Osmangazi) Tüneli

Türkiye'nin Bilecik ilinde bulunan Osmangazi tüneli 12.5 m genişliğinde, 9.6 m yüksekliğinde olup yaklaşık 2.5 km uzunluğa sahiptir. Tünel boyunca yedi farklı kaya biriminden geçilmektedir (Sarı ve ark, 2008).

Araştırmacılar tarafından sunulan farklı kaya birimlerine ait RMR, GSI, σ_{ci}, E_i, m_i, ν, değerleri Çizelge 1'de verilmiştir (Sarı ve ark, 2008).

Çizelge 1. Osmangazi tüneli kayaç özellikleri.

Birim	RMR	GSI	σ_{ci}, MPa	E_i, MPa	m_i	ν
1	37	27	3	3976	4	0.25
2	50	45	72	6905	12.79	0.28
3	55	50	90	8715	18.04	0.31
4	63	58	63	6698	22.68	0.30
5	66	61	81	7873	23.38	0.29
6	63	58	75	7675	20.83	0.32
7	65	60	85	7703	18.27	0.31

2.2 Mashhad – Kallat Karayolu (Kallat) Tüneli

İran'ın Mashhad ilinde bulunan Kallat tüneli 8 m genişliğe, 8.4 m yüksekliğe ve 725 m uzunluğa sahiptir. Tünel boyunca 3 farklı kaya kütlesinden geçilmektedir (Ghafoori ve ark., 2006). Araştırmacılar tarafından sunulan tünel boyunca geçilen üç kaya birimine ait; RMR, GSI, σ_{ci}, E_i, m_i, ν, değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur (Ghafoori ve ark., 2006).

Çizelge 2. Kallat tüneli kayaç özellikleri.

Birim	RMR	GSI	σ_{ci}, MPa	E_i, MPa	m_i	ν
1	53	48	55	18000	28.78	0.30
2	46	41	45	19000	19.23	0.31
3	40	35	35.1	12000	10.48	0.32

2.3 Kavak – Merzifon Karayolu (Şehzadeler) Tüneli

Amasya ilinde bulunan Şehzadeler tüneli 12 m genişliğe, 9 m yüksekliğe ve 345 m uzunluğa sahiptir. Tünel boyunca dört farklı kaya biriminden geçilmektedir. Araştırmacılar tarafından hesaplanan dört kaya birimine ait; RMR, GSI, σ_{ci}, E_i, m_i, ν, değerleri Çizelge 3'te sunulmuştur (Satıcı, 2007).

Çizelge 3. Şehzadeler tüneli kayaç özellikleri.

Birim	RMR	GSI	σ_{ci}, MPa	E_i, MPa	m_i	ν
1	58	53	65	19000	17	0.3
2	43	38	45	10000	11	0.3
3	51	46	55	13000	9	0.3
4	34	29	10	10000	12	0.3

3 KAYA KÜTLE ÖZELLİKLERİ VE GERİLMELER

Sayısal modellemede kaya malzemesine ait girdi değerleri Hoek ve ark. (2002) tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir. Açıklık şekilleri birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada ileriki çalışmalar için kolaylaştırıcı olan, farklı şekilde açıklıkların dairesel olarak modellenebilmesine de imkan veren eşdeğer çap yaklaşımı (Curran ve ark., 2003) kullanılmıştır.

Farklı türde tahkimat elemanlarının eşdeğer tahkimat basınçlarının hesaplanmasında Carranza-Torres ve Fairhurst (2000) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır.

Osmangazi, Kallat ve Şehzadeler tünellerinde karşılaşılan kaya kütlelerine ait özellikler dayanım ve deformabilite özellikleri Çizelgeler 4, 5 ve 6 da verilmiştir.

Yatay gerilmelerin tahmini oldukça farklı ve zor bir işlemdir. Bu amaçla Hoek ve Brown (1980) dünya genelinde toplanan verileri analiz etmişlerdir. Bu analiz sonucunda yatay gerilmelerin sığ derinliklerde değişken olduğu daha derinlere inildikçe hidrostatik gerilme halini alma eğiliminde olduklarını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada Hoek ve ark. (1995) tarafından önerildiği gibi ilksel yaklaşım olarak yatay ve düşey gerilmelerin eşit olduğu varsayılmıştır. Geniş topografik gevşemelerin, büyük tektonik kuvvetlerin gözlendiği yerlerde uygulanan yatay gerilmelerin değiştirilmesi gerekli olabilir. Hidrostatik gerilme durumu varsayımı ile kayaç özelliklerinin ve tahkimat performanslarının sayısal modellemedeki etkileri daha açık olarak gözlenebilir. Düşey gerilmeler ise varsayılan derinliğin örtü

tabakası birim hacim ağırlığı ile çarpımı ile elde edilmektedir (Hoek and Brown, 1980).

$$\sigma_v = \gamma * z \quad \{1\}$$

σ_v : Düşey gerilme
γ : Malzemenin birim hacim ağırlığı
z : Derinlik

Çizelge 4. Osmangazi tüneli kaya kütle özellikleri

Kayaç Özelliği	**Kaya birimi**						
	1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***
Kaya kütlesinin deformasyon modülü [MPa] (E_m)	121	878	1648	2389	3564	2738	3221
Kaya kütlesinin Hoek-Brown sabiti (m_b)	0.15	0.89	1.51	2.53	2.90	2.32	2.19
Kaya kütlesinin Hoek-Brown sabiti (s_m)	0.0002	0.0011	0.0019	0.0047	0.0065	0.0047	0.0058
Birim ağırlık - MN/m^3 (γ)	0.0263	0.0267	0.0268	0.0269	0.0269	0.0265	0.0263
Derinlik, H, [m]	30	50	215	275	280	300	280

Çizelge 5. Kallat tüneli kaya kütle özellikleri

Kayaç Özelliği	**Kaya birimi**		
	1	***2***	***3***
Kaya kütlesinin deformasyon modülü [MPa] (E_m)	3965	2397	1496
Kaya kütlesinin Hoek-Brown sabiti (m_b)	0.4	0.15	0.05
Kaya kütlesinin Hoek-Brown sabiti (s_m)	0.0002	0.00006	0.00005
Birim ağırlık [MN/m^3] (γ)	0.0241 - 0.0262	0.021 - 0.034	0.022 - 0.036
Derinlik, H, [m]	80-160	100-150	40-145

Çizelge 6. Şehzadeler tüneli kaya kütle özellikleri

Kayaç Özelliği	**Kaya birimi**			
	1	***2***	***3***	***4***
Kaya kütlesinin deformasyon modülü [MPa] (E_m)	4280	1212	2210	790
Hoek-Brown sabiti (m_b)	1.28	0.316	0.38	0.135
Hoek-Brown sabiti (s_m)	0.0019	0.0002	0.0005	0.00002
Birim ağırlık [MN/m^3] (γ)	0.025	0.022	0.023	0.024
Derinlik, H, [m]	30-100	30-100	30-100	30

4 SAYISAL MODELLEME

Hesaplama yöntemi olarak sonlu elemanlar yöntemi seçilmiştir. Bu çalışmada sonlu elemanlar ile hesaplama yapan yazılımlarından Phase^2 yazılımı (Rocscience, 2009) kullanılmıştır. Hazırlanan bir yama yazılım sayesinde sonlu elemanlar ile hesaplama yapan yazılımda kaya kütle özellikleri, gerilme değerleri gibi girdi değerlerinin değiştirilmesi ve istenilen noktalara ait okumaların alınması kolaylıkla yapılabilmektedir.

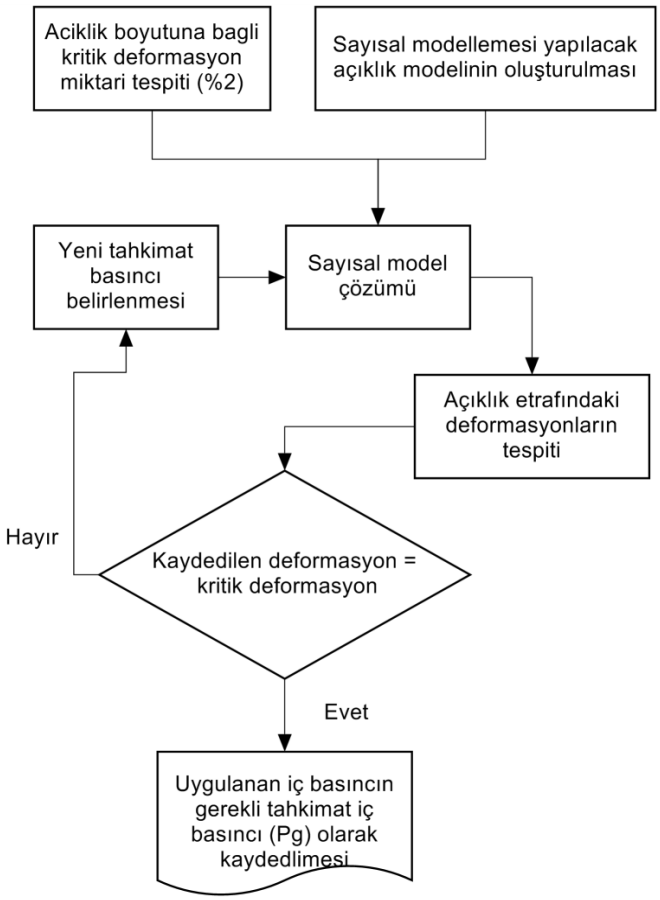
Bu çalışmada üç farklı bölgedeki toplam 14 farklı kaya birimi özelliği kullanılmıştır. Her formasyon değeri için farklı derinlik değerlerinde, tahkimatsız, eşdeğer tahkimatlı ve gerekli tahkimat basıncı analizi olmak üzere toplamda 462 farklı analiz yapılmıştır.

Galerilere uygulanacak tahkimat için RMR sisteminin önerdiği "Ön tahkimat seçimi kılavuzu" baz alınmıştır. Bu tahkimat özellikleri, Carranza-Torres ve Fairhurst, (2000) formülleri kullanılarak (MPa cinsinden) iç tahkimat basıncına dönüştürülmüştür. Varsayılan derinliklerin her biri için hesaplanan iç tahkimat basıncı uygulanmış ve gözlenen deformasyonlar kaydedilmiştir.

Sakurai (1983) tünel duraylılığının tünel birim deformasyonu ile kestirilebileceğini önermiştir. Açıklık yada tünel birim deformasyonu, oluşan/oluşacak olan deformasyonun tünel yada açıklık çapına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Hoek (2000) göre bir galerideki deformasyon miktarı, galeri çapının %2'sini geçerse önlenemez duraylılık problemleri ile karşılaşılacağı düşünülmektedir. Bu öneri dikkate alınarak yapılan bu çalışmada maksimum deformasyon galeri çapının %2'si sınırını geçmesine izin vermeyecek tahkimat

basıncı modelleme sonuçları izlenerek bulunmuş ve gerekli tahkimat basıncı (P_g) olarak isimlendirilmiştir. Gerekli tahkimat basıncı elde edilmesi için izlenen yolu gösterir akım şeması Şekil 1 de verilmektedir.



Şekil 1. Gerekli tahkimat basıncı hesaplanırken izlenilen yol

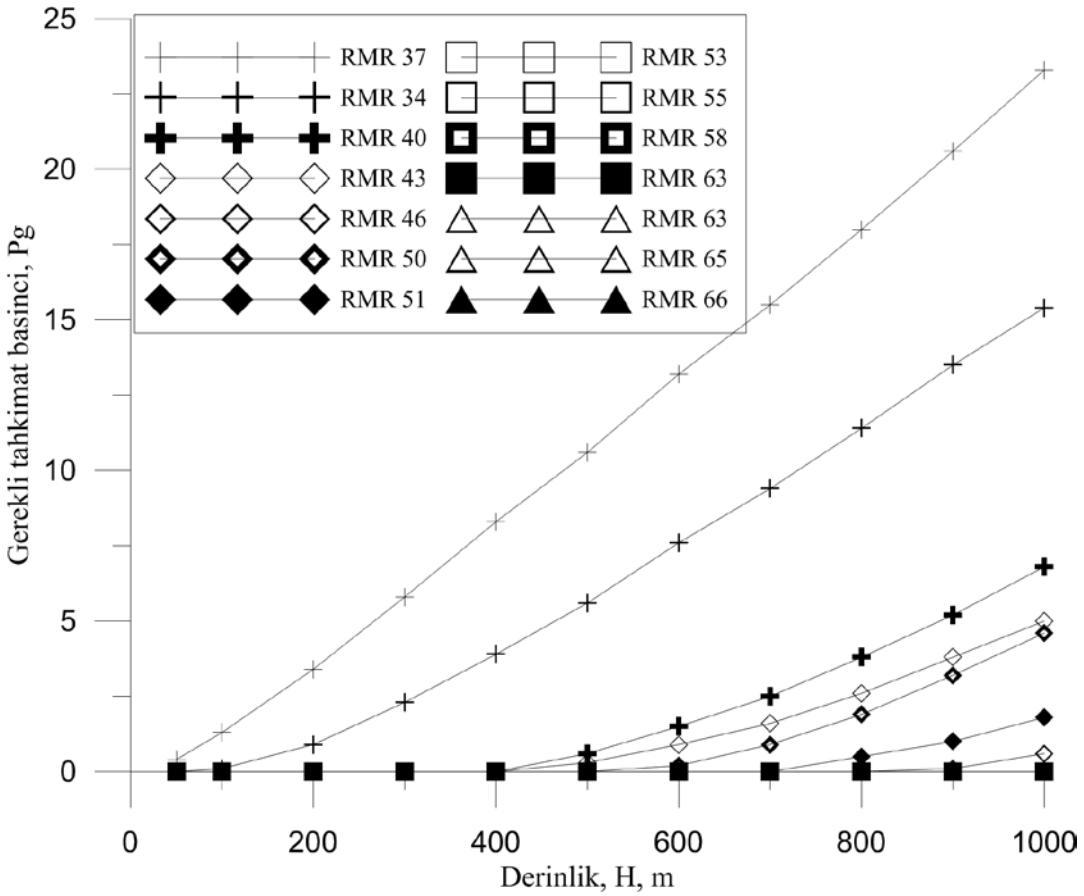
Modellenen açıklıkların boyutları, eşdeğer çapları ve sınır deformasyon (Ks) değerleri Çizelge 7 de verilmektedir.

Çizelge 7. Tüneller ve deformasyon sınırları

Tünel İsmi	Eşdeğer Tünel Çapı, m	Eşdeğer Tünel Yarıçapı, m	Ks, m
Osmangazi	11.44	5.72	0.23
Kallat	9.03	4.52	0.18
Şehzadeler	10.20	5.10	0.20

5 MODELLEME SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Derinliğe göre, deformasyon miktarını galeri çapının %2'sini geçmeyecek sınırda (Ks) tutmak için gereken tahkimat basınçları (P_g) 14 farklı birim için Şekil 2'de verilmiştir. RMR puanı arttıkça gerekli tahkimat basıncı düşmektedir. Herhangi kalitede bir kaya kütlesi için derinlik arttıkça deformasyonu sınır değerde tutmak için uygulanması gerekli tahkimat basıncının da arttığı görülmektedir. Ancak bu artış oranı kaya kalitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2**.** RMR puanlarının derinliğe bağlı olarak değişen gerekli tahkimat basınçları

Çalışma kapsamında içerilmeyen kalitede kaya kütleleri ve RMR sistemince önerilen tahkimat sistemlerinin etkileşiminin kestirilebilmesi için çoklu regresyon modellemesi yapılması düşünülmüştür. Modeldeki bağımlı değişken gerekli tahkimat basıncının, RMR sisteminin önerdiği tahkimat basıncına oranı (P_g/P_{rmr}) olarak seçilirken bağımsız değişkenler ise RMR puanı ve derinlik değerleri olarak seçilmiştir.

Oluşturulan regresyon modeline ait bilgiler aşağıdaki eşitlikte verilmiştir. Çoklu belirleme sabiti değerleri (R^2) %88.27 olarak elde edilmiştir. Bu yüksek değerlerden de anlaşılacağı üzere, önerilen modelin seçilen değişkenlerle arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde kurduğu görülmektedir.

$$P_g/P_{rmr}=a*b^{RMR}*H^c \quad \{2\}$$

Regresyon eşitlik sabitleri;
a= 0.065928
b= 0.889308
c= 1.524772

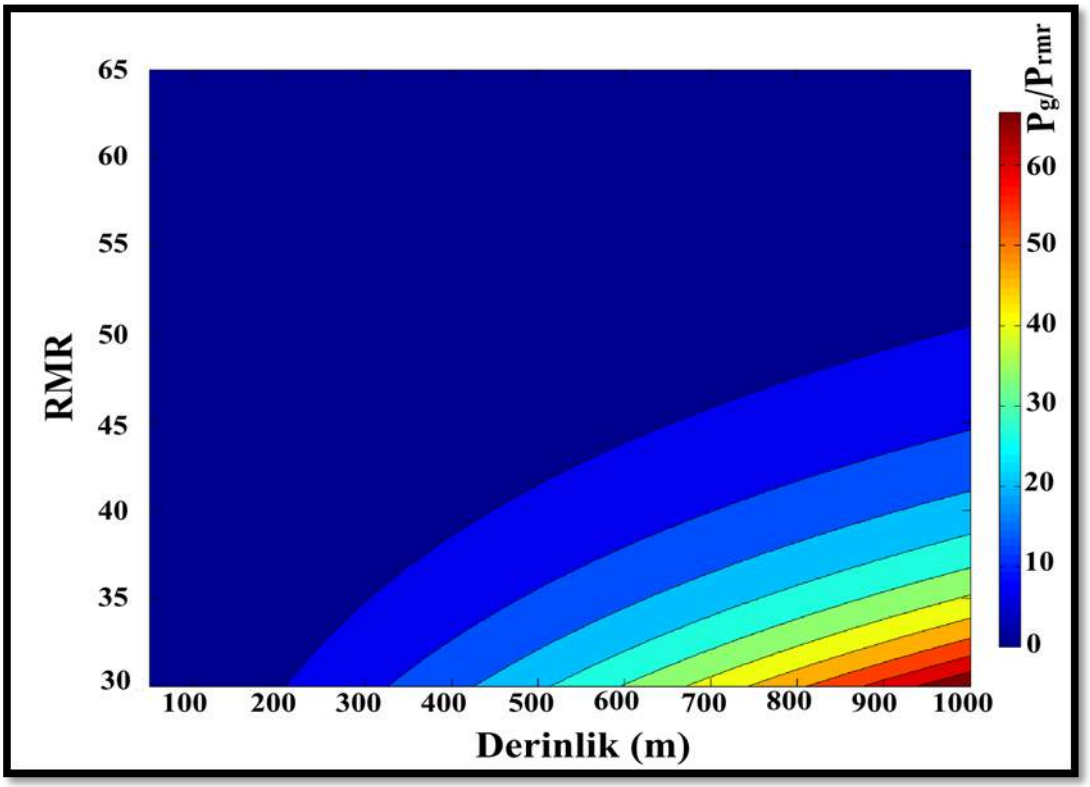
Şekil 3'te regresyon modellemesi sonucu elde edilen, gerekli tahkimat basınçları ile RMR sisteminin önerdiği tahkimat basınçları oranının (P_g/P_{rmr}), derinlik ve RMR puanlarına bağlı olarak değişimini gösterir üç boyutlu eş yükselti haritası gösterilmektedir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında tahkimat tasarımında yaygın olarak kullanılan kaya kütle sınıflama sistemlerden birisi olan RMR tarafından önerilen tahkimat sistemlerinin performansları sayısal yöntemlerle değerlendirilmiştir.

Performans değerlendirme kriteri olarak Hoek (2000) tarafından önerilen kritik birim deformasyon değeri kullanılmıştır.

Analizler için sonlu elemanlar tabanlı hesaplama yapan Phase[2] yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 3. Regresyon sonucunda elde edilen Pg/Prmr ile RMR ve derinlik arasındaki ilişki

Hazırlanan bir yama yazılım sayesinde programa veri girişi ve veri alınması işlemleri kolaylaştırılmıştır. Farklı kalite ve gerilme koşulunda oluşturulacak bir yeraltı açıklığı için deformasyonunu kritik sınır değeri altında tutmak için gerekli olan tahkimat basıncı bulunmuştur. Gerekli tahkimat basıncı ve RMR tarafından önerilen tahkimat basıncı arasındaki oran (P_g/P_{rmr}) hesaplanmıştır. Saha verileri arasında bulunmayan zayıf ve orta kalitede kaya kütlelerinde tahkimat performansı değerlendirilebilmesi için hesaplanan bu oranla derinlik ve RMR puanına bağlı olarak çoklu regresyonla modellemesi yapılmıştır. Model kullanımı ile elde edilen grafiğe dayanarak takip eden çıkarımlarda bulunulmuştur.

Açıklık deformasyonunu belirli bir kritik değerin altında tutabilmek için RMR tarafından önerilen tahkimat sistemleri düşük derinlik ve yüksek kalitede kaya kütleleri için yeterli sayılabilmektedir. Ancak kaya kalitesi düştükçe ve derinlik arttıkça sistemce önerilen tahkimat yetersiz kalabilmektedir.

Varsayılan saha verileri ve gerilme koşulları altında RMR sınıflama sistemince önerilen tahkimat sistemlerinin kaya kütle kalitesine ve derinliğe bağlı olarak değerlendirilmesi gerektiği gözlenmiştir. Bu nedenle önemli projelerde sadece sınıflama sistemlerince önerilen tahkimat tasarımına bağlı kalınmayarak yapılan önerilerin sayısal modelleme yöntemleri ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bu çalışma sonucunda da gösterildiği üzere beklenmedik deformasyon ve duraysızlık sorunları ile karşılaşılabilir.

Çalışmada kullanılan tüm saha verileri ve projeler için önerilen eşitliğe bağlı olarak bulunan gerekli tahkimat basıncının RMR tarafından önerilen tahkimat sistemi basıncına oran (P_g/P_{rmr}) 1'e yakın ve 1'in altındadır. Diğer bir deyişle seçilen saha örnekleri için RMR tarafından önerilen tahkimat sistemince uygulanan basınç değeri (P_{rmr}) gerekli tahkimat basıncına (P_g) yakın veya daha yüksektir. Yazarın bilgisi dâhilinde saha verisi olarak kullanılan projeler kapsamında tasarlanan tünellerde herhangi bir duraysızlık rapor edilmemiştir. Bu durum çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler ile uyuşmaktadır.

KAYNAKLAR

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.

Bieniawski, Z.T. (1974). Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. Proceddings of the third international congress on rock mechanics. (s. 27-32). Denver: International Society of Rock Mechanics.

Carranza-Torres, C., & Fairhurst, C. (2000). Application of the convergence confinemenet method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. Tunneling and Underground Space Technology, 15(2), 187-213.

Curran, J., Hammah, R., & Yacoub, T. (2003). A Two-Dimensional Approach for Designing Tunnel Support in Weak Rock. November 2013 tarihinde Rocscience research papers: http://www.rocscience.com/assets/files/uploads/7689.pdf adresinden alındı.

Ghafoori, M., Lashkaripour, G. R., Sadeghi, H., & Tarigh Azali, S. (2006). Comparison of predicted and actual behavior and engineering geological characterization of Kallat tunnel. IAEG Symposıium (s. 1-8). The Geological Society of London.

Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002). Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition, Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, Vol. 1, p. 267 – 273.

Hoek, E. (2000). Big tunnels in bad rock. ASCE journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 726-740.

Hoek, E., & Brown, E. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 1165-1186.

Hoek, E., Kaiser, P., & WF, B. (1995). Support of underground excavatıons ın hard rock. Rotterdam: AA Balkema.

Hoek, E., & Brown, E. (1980). Underground excavations in rock. London: Instn Min. Metall.

Osgoui, R., & Ünal, R. (2005). Rock reinforcement design for unstable tunnels originally excavated in very poor rock mass. Underground space use: Analysis of the past and lessons for the future, (s. 291-296).

Rocscience-Phase^2. (2009). Finite element analysis of excavations and slopes. Toronto: Rocscience Inc.

Sakurai, S. (1983). Displacement measurements associated with the design of underground openings., 1163-1178, s. Field measurements in geomechanics. Zurich.

Sarı, Y.D., Paşamehmetoğlu, A.G., Çetiner, E., & Dönmez, S. (2008). Numerical analysis of a tunnel support design inconjunction with empirical methods. International journal of geomechanics, 74-81.

Satıcı, Ö. (2007). Kavak Merzifon yolu T4 (Küçükbelvar) tünel duraylılık analizi. Hacettepe Universitesi Y. Lisans tezi.

Ulusay, R., & Sonmez, H. (2007). Kaya kütlesinin mühendislik özellikleri. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları.

Spesifik Enerji Değerinin Çoklu Regresyon Yöntemi ile Tahmin Edilmesi

Prediction of Specific Energy Value by Using Multivariable Linear Regression Method

S. Yaşar, A. O. Yılmaz, M. Çapik
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Makine ile kazı, delme & patlatma yöntemine karşı tek alternatiftir. Kazı makinesinin kazılacak formasyona uygunluğunun ve olası kazı verimliliğinin araştırılması kazı mekaniğinin ana araştırma konularından biridir. Spesifik enerji birim hacimdeki kayacın kazılması için gereken enerjidir ve kazı verimliliğinin en önemli göstergelerindendir. Spesifik enerji tayini çeşitli yollarla yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları; kayaç kesme deneyleri ve ampirik yöntemlerdir. Kayaç kesme deneyleri maliyetli ve zor bulunan deneyler olduğundan araştırmacılar, spesifik enerji tayinini ampirik yöntemler ile dolaylı yollardan belirlemeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada, beş kayaç ve iki cevher numunesi küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca deney numuneleri fiziksel ve mekanik özelliklerinin (porozite, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Schmidt sertliği) tayini için kaya mekaniği deneylerine tabi tutulmuştur. Küçük boyutlu kesme deneyinden elde edilen spesifik enerji değerleri fiziksel ve mekanik özellikler ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca spesifik enerji değeri, çoklu regresyon yöntemi ile birden fazla kayaç özelliği kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak oluşturulan çoklu regresyon bağıntıları ANOVA testi kullanılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Spesifik enerji değeri, çoklu regresyon yöntemi

ABSTRACT Mechanized excavation seems to be the only alternative for drilling & blasting method. Investigation of suitability of rock excavation machine to the formation and rock cutting efficiency is main concern of rock cutting mechanization. Specific energy is the energy consumed per unit volume of excavated rock debris and is also the best indicator for rock cutting efficiency. Assessment of specific energy is made both experimentally and empirically. Researchers made efforts to find specific energies empirically due to a few drawbacks of rock cutting rigs such as, cost and existence in very few research centers.

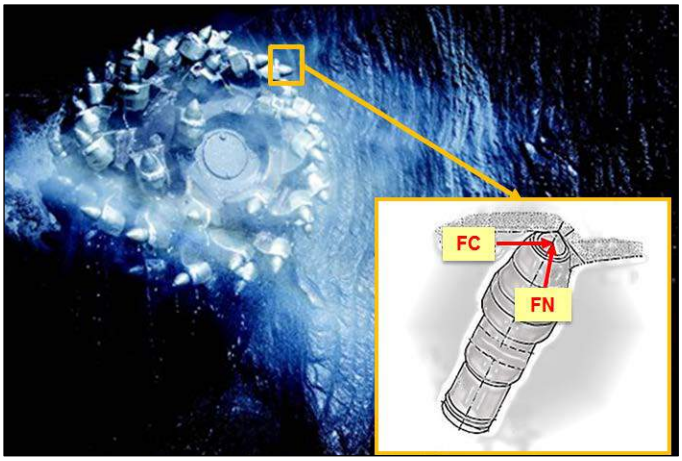
In this study, five rock and two ore samples were conducted to small scale rock cutting test. Additionally, these samples were subjected to rock mechanics tests toward determining physical and mechanical properties (apparent porosity, uniaxial compressive strength, indirect tensile strength and Schmidt hardness). Specific energy values obtained with the aid of rock cutting tests were tried to be correlated with physical and mechanical properties of rocks. Furthermore, specific energy was tried to be predicted with different rock properties using multivariable linear regression. Consequently, derived equations were verified using ANOVA test.

Keywords: Specific energy value, multivariable linear regression method

1 GİRİŞ

Tünel ve galeri açma projelerinin işlemlerinin başarıya ulaşmasının yegane yolu kazı yapması planlanan makinenin formasyona uygun olarak seçilmesi ve tasarımlandırılmasından geçmektedir. Yanlış makine seçimi ya da tasarımı, hem kazıyı imkânsız hale getirmektedir hem de proje ekonomikliğini etkilemektedir. Bu nedenler kazı mekaniği biliminin doğmasına önayak olmuştur. Bir formasyonun muhtemel kazısının ekonomikliği ya da verimliliği spesifik enerji yardımı ile belirlenebilmektedir. Spesifik enerji kazı verimliliğinin en iyi göstergesidir ve birim hacimdeki kayacın kazılması için gereken enerjiyi temsil etmektedir (Rostami vd., 1994).

Spesifik enerjinin belirlenebilmesinin en önemli yolları kayaç kesme deneyleridir. Bu deney setleri tam boyutlu ve küçük boyutlu kesme setleridir. Tam boyutlu kesme setinde 0,5 m^3'e yakın hacimdeki kayaç numuneleri kesme işlemine tabi tutulabilmektedir. Buna ilaveten bu deneyde gerçek keskiler kullanılmaktadır. Bu boyuttaki numunelerin kullanılması ve gerçek keskilerin kullanılması kesme olayının laboratuvarda gerçeğe yakın olarak modellenebilmesini sağlamaktadır. Beton yardımı ile numune kutusuna sabitlenen kayaç numunesi gerçek keskiler yardımı ile kesilmektedir ve kesme işlemi sırasında keskilere gelen kuvvetler dinamometreler yardımı ile kaydedilerek bilgisayara aktarılmaktadır. Kesme işlemi sırasında keskilere üç boyutta kuvvetler etkimektedir. Bunlar; kesme kuvveti (FC), normal kuvvet (FN) ve yanal kuvvettir. Yanal kuvvet tasarım aşamasında genellikle dikkate alınmamaktadır. Şekil 1'de bir kollu galeri açma makinesinin kesici kafası üzerinde bulunan bir keskiye gelen kesme ve normal kuvvet görülmektedir.



Şekil 1. Kazı sırasında keskiye gelen kuvvetler.

Diğer yandan, kazı sırasında keskiye gelecek kuvvetler küçük boyutlu kesme deneyi yardımı ile de bulunabilmektedir. Küçük boyutlu kesme deneyi ilk olarak Roxborough ve Philips (1974) tarafından tasarlanmıştır. Bu deneyde küçük boyutlu blok numuneler ve karot numuneleri kesme işlemine tabi tutulabilmektedir. Küçük boyutlu kesme deneyi ISRM tarafından, kayaçların kesilebilirliğinin tayini için standart deney olarak önerilmiştir (Bamford, 1987). Daha küçük kaya numuneleri ve indeks keskiler kullanıldığından, kesme işlemi tam boyutlu kesme deneyi kadar kesinlikte modellenememektedir. Birbirileri üzerinde birtakım üstünlükleri ve zayıflıkları olmasına rağmen iki deneyinde en büyük zorlukları, çok az sayıda araştırma merkezinde bulunmaları ve çok tecrübeli personele ihtiyaç duymaları olarak gösterilebilir.

Bu deneylerden elde edilen kesme kuvveti yardımı ile spesifik enerji değeri bulunabilmektedir.

$$SE = \frac{FC}{Q} \qquad (1)$$

Burada SE spesifik enerji (MJ/m^3), FC kesme işlemi sırasında keskiye gelen kesme kuvvetlerin ortalaması (kN) ve Q 1 km boyunca kazı yapıldığında ortaya çıkacak olan pasa miktarıdır (m^3/km).

Yukarıda sözü edilen zorluklardan dolayı araştırmacılar, kazı verimliliğinin göstergesi olan spesifik enerji değerinin deney yapılmadan bulunabilmesi için ampirik

bağıntılar önermişlerdir. McFeat-Smith ve Fowell (1979) çeşitli kayaçlar üzerinde küçük boyutlu kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir ve bu deneyden elde ettikleri spesifik enerji değerlerini, plastisite indeksi ve koni delici değerini kullanarak çoklu regresyon yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Roxborough (1987) çeşitli kayaç numuneleri üzerine tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) deneyleri ve kayaç kesme deneyleri uygulamıştır ve sonuç olarak spesifik enerjinin tek eksenli basınç dayanımı ile lineer olarak arttığını belirlemiştir. Çopur vd. (2001) çeşitli cevher ve kayaç numuneleri üzerinde tam boyutlu kesme deneyleri ve kaya mekaniği deneyleri uygulamışlardır ve sonuç olarak SE'nin σ_c ve tek eksenli çekme dayanımı (σ_t) ile arttığını bulmuşlardır. Ayrıca SE'nin σ_c ve σ_t'nin çarpımı ile arttığını da ileri sürmüşlerdir. Altındağ (2003) σ_c ile σ_t'nin çarpımından elde edilen kırılganlık indeksi ile SE arasında anlamlı ilişkiler elde etmiştir. Balcı vd. (2004) kayaçların tüm mekanik özellikleri ile SE arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. Tiryaki ve Dikmen (2006) kumtaşları üzerinde yürüttükleri kesme, kaya mekaniği ve mineralojik araştırmalar sonucunda, SE ile bu deneylerden elde edilen parametreler arasında korelasyonlar elde etmişlerdir. Tümaç vd. (2007) Shore sertliği ve σ_c ile SE arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuşlardır. Yaşar vd. (2014) kayaçların kırılganlık özelliklerinin küçük boyutlu kesme deneyinden elde ettikleri SE üzerindeki etkilerini incelemişlerdir ve sonuç olarak Altındağ (2000) tarafından önerilen kırılganlık indeksi ile SE'nin arttığını göstermişlerdir. Çomaklı vd. (2014) SE ile σ_c ve σ_t arasında üstel bağıntılar elde etmişlerdir. Yaşar vd. (2015) kesilebilirlik parametreleri ile Drilling Rate Index (DRI) ve Sievers J (S_j) değeri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir ve sonuç olarak DRI ve S_j ile SE arasında üstel korelasyonlar elde etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında birçok çalışma incelenmiş ve yukarıda sonuçlarından kısaca bahsedilmiştir. Dikkat edileceği gibi biri hariç hepsi tek kayaç özelliği ile SE değerinin ilişkilendirmiştir. McFeat-Smith ve Fowell (1979) tarafından önerilen çoklu regresyonda kullanılan parametreler ise günümüzde kaya mekaniği uygulamalarında sıklıkla kullanılan parametreler değildir. Bu çalışmada beş farklı kayaç ve iki farklı cevher numunesi küçük boyutlu kesme deneyine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca, aynı numuneler görünür porozite, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Schmidt sertliği deneylerine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen değerler yardımı ile 4 farklı bağımsız değişken kullanılarak (görünür porozite, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Schmidt sertliği) tüm kombinasyonlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda iki, üç ve dört değişkenli toplam 11 çok değişkenli model üretilmiştir. Sonuç olarak bu modellerden yalnızca üçü ANOVA testini geçerek, geçerli olarak kabul edilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kayaç numuneleri Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan işletmelerden ve araziden elde edilmiştir. Numunelerin isimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kayaç numunelerinin kodları ve isimleri.

Kayaç Kodu	Kayaç İsmi
DK	Dolomitik Kireçtaşı
GR	Granadiyorit
LT	Litik Tüf
BK	Biyoklastik Kireçtaşı
VT	Vitrik Tüf
BC	Bakır Cevheri
KC	Kurşun Cevheri

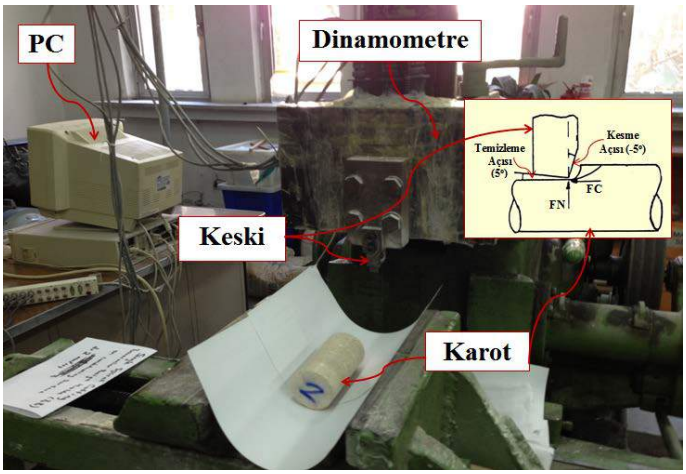
Kayaçların toplanmasının ardından numune hazırlama aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada küçük boyutlu kesme deneyi, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve Schmidt sertliği deneyleri için blok numunelerden karot numuneleri alınarak istenilen boyutlarda hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasının ardından deneylerin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilmiştir.

2.1 Küçük Boyutlu Kesme Deneyi

Küçük boyutlu kesme deneyi İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Teknolojileri ve Maden Makinaları Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney şartları şu şekilde belirlenmiştir:

Kesme derinliği : 5 mm,
Kesme açısı : -5°,
Temizleme açısı : 5°,
Keski genişliği : 12,7 mm,
Keski ucu: Tungsten karbid, % 10 kobalt.

Deney, 54 mm'lik karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karot örnekleri numune kutusuna yerleştirilmiş ve deney başlatılmıştır. Ardından kazı sırasında keskiye gelen üç boyuttaki kuvvetler dinamometre vasıtasıyla elektrik yüküne dönüştürülmüştür. Arabirimler sayesinde elektrik yüküne çevrilen kuvvet kgf cinsinden bilgisayara saniyede 2000 veri hızıyla kaydedilmiştir. Şekil 2'de küçük boyutlu kesme deney düzeneği ve deneyin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. Küçük boyutlu kesme deney düzeneği.

2.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) deneyi kayaçların en önemli mühendislik özelliklerinden bir tanesidir. Deneylerde 54 mm çapında karot numuneleri kullanılmıştır. Numunelerin boy/çap oranları 2/1 olacak şekilde seçilmiştir. Yükleme hızı 1 kN/sn olacak şekilde kırımlar gerçekleştirilmiştir.

2.3 Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılmaktadır. Çapı 54 mm olan deney örnekleri boy/çap oranı 1/2 olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler standart Brazilian çenesi yardımı ile kırılarak numunelerin dolaylı çekme dayanımları (σ_t) hesaplanmıştır. Deneyde yükleme hızı 0,2 kN/sn olarak uygulanmıştır.

2.4 Schmidt Çekici Deneyi

Bu deney, Schmidt çekici kullanarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin (R) tayini ve dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımlarının saptanması amacıyla yapılmaktadır. Schmidt çekiçleri çarpma enerjisi bakımından iki tür olup, bunlar; N ve L-tipidir. L tipi çekicin çarpma enerjisi 0,74 Nm'dir, N tipi çekicin enerjisi ise 2,207 Nm'dir. Deneyler NX karot örnekleri üzerinde yapılmış ve V tipi numune beşiği kullanılmıştır. Her örnek için 10 vuruş yapılmıştır. Kaydedilen 10 vuruş değeri büyükten küçüğe sıralanmış ve alttan 5 değer değerlendirmeden çıkarılarak üstten 5 değerin ortalaması alınmıştır.

2.5 Görünür Porozitenin Belirlenmesi

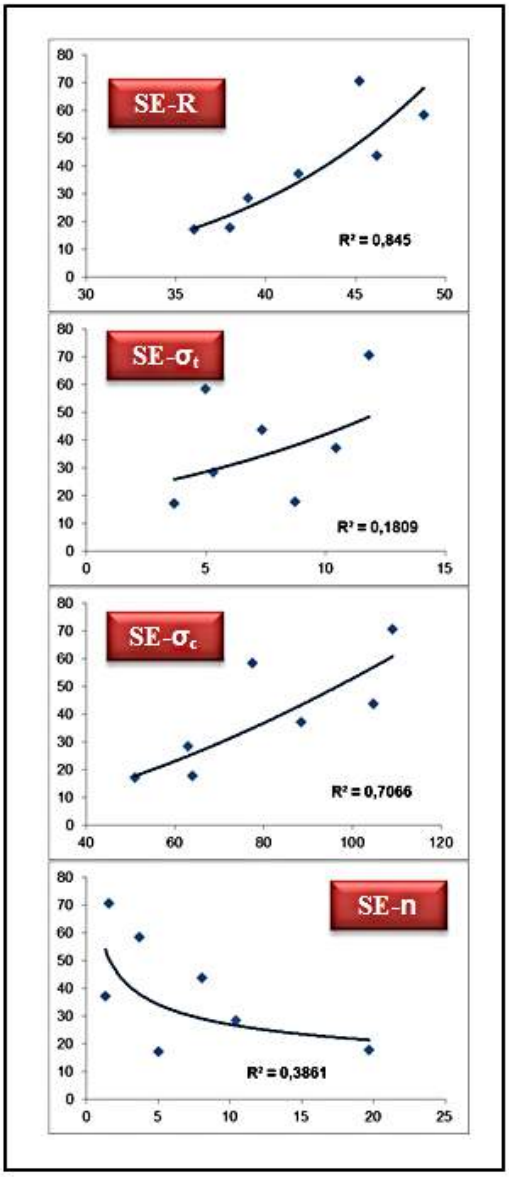
Görünür porozite tayini deneyi ISRM (1981) tarafından önerilen şekilde yapılmıştır. Yoğunluk tespiti deneyinde olduğu gibi öncelikle silindirik örneklerin üç boyutu dijital kumpas yardımı ile 10^{-2} mm duyarlılıkta ölçülerek hacimleri bulunmuştur. Ardından örnekler 10^{-2} g duyarlılıkta hassas terazi ile tartılarak, doğal ağırlıkları belirlenmiştir. Örnekler etüvde 105 ^{o}C'de 12 saat kurutulmuştur ve kuru ağırlığı belirlenmiştir. Ardından örnekler su dolu bir kabın içinde yaklaşık 1 gün bekletilmiştir, çıkarıldıktan sonra yüzeyi kurutularak tekrar tartılarak doygun ağırlığı belirlenmiştir. Bulunan değerler ile birlikte görünür porozite (n) hesap edilmiştir.

3 BULGULAR

Yürütülen deneysel çalışmaların tüm sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Şekil 3'te spesifik enerji değeri ile R, σ_c, σ_t ve n parametreleri arasındaki ilişkiler görülmektedir. Geçmiş çalışmalarla karşılaştırma yapıldığında, bu sonuçların literatürdeki sonuçlar ile örtüştüğü açıkça görülmektedir (Roxborough, 1987; Çopur vd., 2001; Balcı vd., 2004; Tiryaki ve Dikmen, 2006; Tümaç vd., 2007). Bu sonuçlar tek başına bu çalışmada kullanılmak için değil, yalnızca SE değeri ile diğer parametreler arasındaki eğilimlerin gösterilmesi amacıyla çalışmaya eklenmiştir.

Çizelge 2. Tüm deneylerin sonuçları.

Kayaç	σ_c MPa	σ_t MPa	n %	R	SE MJ/m^3
DK	88,51	10,44	1,30	41,80	37,28
GR	77,44	4,98	3,70	48,80	58,44
LT	62,83	5,31	10,41	39,00	28,56
BK	50,88	3,66	4,99	36,00	17,35
VT	63,91	8,73	19,68	38,00	18,03
BC	104,75	7,33	8,05	46,20	43,70
KC	108,97	11,80	1,54	45,20	70,57



Şekil 3. Spesifik enerji değeri ile diğer parametreler arasındaki eğilimler.

3.1 Çok Değişkenli Lineer Regresyon

Lineer korelasyonlarda ya da regresyonlarda yalnızca iki değişken arasındaki ilişki incelenmektedir, örneğin SE ile R arasındaki ilişki. Ancak çok değişkenli lineer regresyonlarda, birden fazla değişenin tek bir bağımlı değişkenin üzerindeki etkisi incelenmektedir. Öncelikle, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin seçilmesi gerekmektedir ki, bu çalışmada bağımsız değişkenler R, σ_c, σ_t ve n'dir ve bağımlı değişken ise SE'dir. Çok değişkenli lineer regresyonun genel yapısı aşağıdaki gibidir.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + ... + \varepsilon \quad (2)$$

Burada Y bağımlı değişken, a sabit, X_1, X_2, X_3 vd. bağımsız değişkenler ve b_1, b_2 ve b_3 bağımsız değişkenlerin katsayılarıdır ve ε ise model ile yapılan tahminde meydana gelecek hatayı temsil etmektedir (Hilton vd., 2004).

SE'nin tahmini için dört değişken kullanılarak olası tüm iki, üç ve dört değişkenli modeller test edilmiştir. Test edilen modellerdeki bağımsız değişkenler ve bu modellerin ANOVA testine anlamlılık düzeyleri Çizelge 3'te verilmiştir. Test edilen modellerin geçerliliği belirlenirken güven derecesi olarak % 95 seçilmiştir. Buna göre anlamlılık düzeyi 0,05'ten küçük olan modeller geçerli olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan bağımsız değişkenler ve modellerin anlamlılık düzeyleri.

Model No	Bağımsız Değişkenler	Anlamlılık Düzeyi	Geçerlilik
1	n, R	0,032	Geçerli
2	n, σ_c	0,079	Geçersiz
3	n, σ_t	0,239	Geçersiz
4	R, σ_c	0,037	Geçerli
5	R, σ_t	0,032	Geçerli
6	σ_c, σ_t	0,118	Geçersiz
7	n, R, σ_c	0,091	Geçersiz
8	n, R, σ_t	0,069	Geçersiz
9	R, σ_c, σ_t	0,120	Geçersiz
10	n, σ_c, σ_t	0,221	Geçersiz
11	n, R, σ_c, σ_t	0,226	Geçersiz

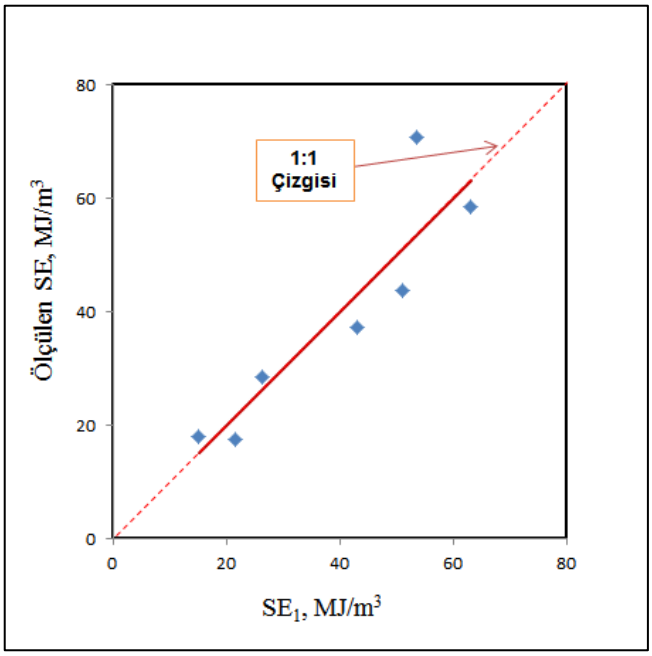
Çizelge 3'ten görüldüğü gibi olası 11 modelden yalnızca 1., 4. ve 5. modeller geçerli olarak görülmektedir. Geçerli kabul edilen model 1, 4 ve 5 sırası ile Eşitlik (3), (4) ve (5)'te verilmiştir.

$$SE_1 = -87,76 + 3,157\,R - 0,865\,n \quad R^2 = 0,82 \quad (3)$$

$$SE_2 = -96,747 + 2,667\,R + 0,295\,\sigma_c \quad R^2 = 0,81 \quad (4)$$

$$SE_3 = -118,43 + 3,439\,R + 1,695\,\sigma_t \quad R^2 = 0,82 \quad (5)$$

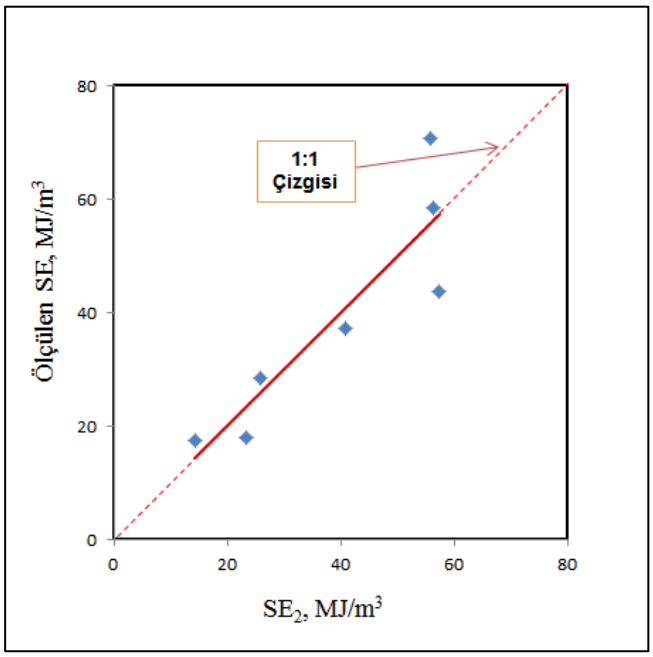
ANOVA testine göre bu üç model geçerli olarak belirlenmiştir. Bu modeller yardımı ile küçük boyutlu kesme deneyindeki keski ile 5 mm kesme derinliğinde yapılacak olan kesme işlemi sırasında oluşacak spesifik enerji belirli bir hata payı ile hesap edilebilecektir. Geliştirilen modeller ile hesap edilen spesifik enerji değerleri ile kesme deneyinde bulunan spesifik enerji değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca bu modellerden bulunan değerler ile gerçek değerlerin 1:1 çizgisi üzerindeki durumu Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



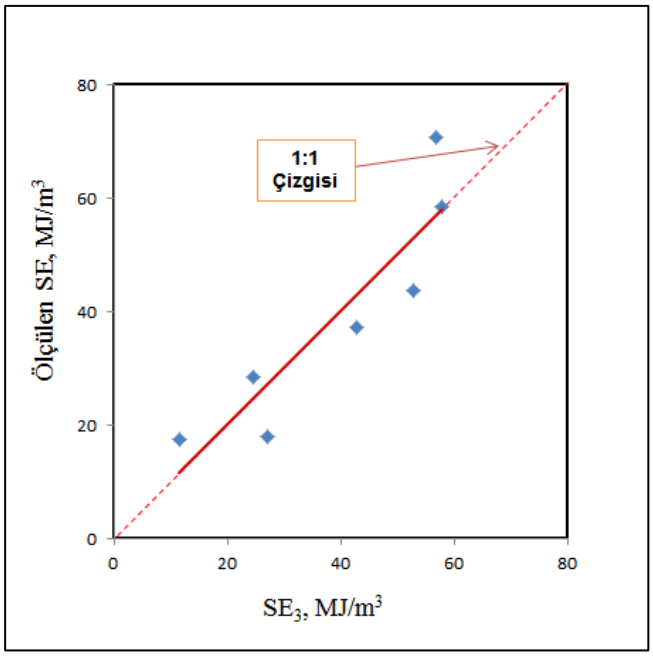
Şekil 4. Ölçülen ve 1. model ile hesaplanan SE değerlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 4. Ölçülen ve modeller yardımı ile hesaplanan spesifik enerji değerleri.

Kayaç	SE	SE_1	SE_2	SE_3
DK	37,28	43,08	40,84	42,96
GR	58,44	63,10	56,25	57,81
LT	28,56	26,36	25,80	24,66
BK	17,35	21,58	14,27	11,56
VT	18,03	15,18	23,45	27,01
BC	43,70	51,13	57,37	52,84
KC	70,57	53,60	55,95	56,95



Şekil 5. Ölçülen ve 4. model ile hesaplanan SE değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6. Ölçülen ve 5. model ile hesaplanan SE değerlerinin karşılaştırılması.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada 5 farklı kayaç ve 2 farklı cevher numunesi küçük boyutlu kesme deneyine ve kaya mekaniği deneylerine (tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, Schmidt sertliği ve görünür porozite) tabi tutulmuştur. Her parametrenin SE üzerindeki etkisi incelendiğinde bu veri grubu içinde en önemli parametrenin Schmidt sertliği olduğu dikkat çekmektedir. Spesifik enerjinin dolaylı yoldan tahminine yönelik olarak, bu parametreler yardımı ile çok değişkenli lineer modeller türetilmiştir. Bu kapsamda dört parametre ile iki, üç ve dört değişkenli toplam 11 model türetilerek ANOVA testi yardımı ile test edilmiştir. Ancak bu 11 modelin içinden yalnızca üç tanesi bu testi geçerek geçerli olarak kabul edilmiştir. Bunlar; 1., 4. ve 5. modellerdir. Bu modeller yardımı ile verilen koşullar altında belirli bir hata payı ile spesifik enerji değeri hesap edilebilecektir. Burada dikkat edilecek diğer bir durum ise geçerli olan tüm modellerde Schmidt sertliğinin bulunmasıdır. Sonuç olarak bu veri grubu için spesifik enerji değeri üzerindeki en etkili parametrenin Schmidt sertliği olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, gerek deneysel çalışma bölümünde yardımlarını esirgemeyen gerekse de tecrübelerini paylaşmaktan kaçınmayan İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e, Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR'a, Doç. Dr. Cemal BALCI'ya ve Doç. Dr. Deniz TÜMAÇ'a sonsuz teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca yazarlar laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Emre AVUNDUK'a ve Arş. Gör. Ramazan ÇOMAKLI'ya şükranlarını bildirirler.

KAYNAKLAR

Altındağ, R., 2000. Darbeli delme performans analizlerinde kayaç gevrekliğinin rolü, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ekim, Isparta, Bildiriler Kitabı, 105-112.

Altındağ, R., 2002 The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast holed drills. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, January/February, 61-66.

Balcı, C., Demircin, M. A., Çopur, H., Tunçdemir, H., 2004. Estimation of optimum specific energy based on rock properties for assessment of roadheader performance, *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104, 633-642.

Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N., Dinçer, T., 2001. Specific energy as a criterion for use of rapid excavation systems in turkish mines. *Trans of the Inst of Min and Met Sec A*, 110, 149–157.

Bamford, W.E., 1987. ISRM-Comission on rock boreability, cuttability and drillability, Notes for Workshop, Canada, Montreal.

Çomaklı, R., Kahraman, S., Balci, C., 2014. Performance prediction of roadheaders in metallic ore excavation, *Tunnelling and Underground Space Technology,* 40, 38-45.

Hilton, P.R., Brownlow, C., McMurray, I., Cozens, B., 2004, *SPSS Explained*, Taylor & Francis Press, 379 s.

ISRM, 1981. *Rock Caharacterization, Testing and Monitoring: ISRM suggested Methods*, Pergamon Press, 211 s.

McFeat-Smith, I. ve Fowell, R. J., 1979. The selection and application of roadheaders for rock tunneling. *Proceedings of Rapid Excavation Tunneling Conference,* 261-279.

Rostami, J., Ozdemir, L., Neil, D.M., 1994. Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineer*, 1263–1267.

Roxborough, F.F. ve Philips H.R., 1974. Experimental studies on the excavation of rocks using picks, *Proceedings of Third ISRM Congress*, 1407-1412.

Roxborough, F.F., 1987. The role of some basic rock properties in assessing cuttability. Seminar on Tunnels, In: Wholly Engineered structures, Sydney, Australia, 21 s.

Tiryaki, B**.** ve Dikmen A.Ç., 2006. Effect of Rock Properties on Spesific Cutting Energy in Linear Cutting of Sandstones by Picks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 39, 2, 89-120.

Tümaç, D., Bilgin, N., Feridunoğlu, C., Ergin, H., 2007. Estimation of rock cuttability from shore hardness and compressive strength properties. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40, 477-490.

Yaşar, S., Yılmaz, A.O., Çapik, M., 2014. Kayaçların kırılganlık özellikleri ile kazılabilirlik parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, *KAYAMEK'2014-XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, Mayıs, Afyonkarahisar, 343-350.

Yaşar, S., Çapik, M., Yılmaz, A.O., 2015. Cuttability assessment using the Drilling Rate Index (DRI), Bulletin of Engineering Geology and Environment, DOI: 10.1007/s10064-014-0715-4.

Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık Indeksi Deneyinde Eşdeğer Boyutlu Küresel Örneklerin Saklanma Koşullarının Deney Sonuçları Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Investigation Of The Effect Of Equıvalent Sized Spherical Samples Of Storage Conditions On The Slake Durability Index Tests Results

Y. Keser
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Eskişehir

Ö. Uysal
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Kütahya

ÖZET Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi (SDI) Testi genellikle kil içeren kayaların ıslanma ve kuruma çevrimi ile aşınmaya ve ayrılıp suda dağılmaya karşı direncini gösteren bir indeks değeri belirlemek için uygulanan bir testtir. Bu test uygulanırken numunelerin saklanması ile ilgili bazı sorunlar yaşanmaktadır. Alınan numunelerin deneye tabi tutuluncaya kadar geçen sürede nem kaybı ve buna bağlı olarak yüzeysel çatlamalar oluşmakta ve deney için kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada, numuneler iklimlendirme dolabında koşullandırılmış şartlar altında saklanıp, numunelerin doğal yapısını koruyup korumadığı ve iklimlendirme dolabında bekletilmeden doğal yapısı korunan numunelerin deney sonuçları arasındaki farklar araştırılmıştır. Bu amaçla, Tunçbilek ve Seyitömer bölgelerinden alınan üç kaya blokları üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada numunelerin fiziksel özellikleri değerlendirilmiş ve daha sonra da deneye tabi tutulmuştur.

Elde edilen veriler iklimlendirme dolabında bekletilmeden kullanılan numunelerin deney sonuçlarıyla kıyaslanarak sonuca ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, iklimlendirme dolabında bekletilen numunelerle bekletilmeyen numunelerin deney sonuçları arasında deney sonuçlarını etkileyecek önemli bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi, ilkimlendirme dolabı

ABSTRACT The Slake Durability Index (SDI) test usually containing clay rocks wetting and drying cycles with the wear and leave the water dispersion resistance to an index showing the value applied to determine is a test. This test applied some problems with the storage of the samples are experienced. Tested the samples taken during the period until the disease and consequent loss of moisture in surface cracking occurs and for the test sample can not be used.

In this study, samples conditioning cabinet waiting conditioned circumstances hiding sample natural structure could protect and air conditioning cabinet without waiting natural structure protected testing of samples difference between the results have been studied. For this purpose, the region received from Tunçbilek and Seyitömer were studied on three rock blocks. This study evaluated the physical properties of the samples and then subjected to experiments.

The data obtained was used without air conditioning cabinet stand the test results in comparison with the results of the samples has been reached. As a result of this study, with the samples kept in air-conditioning cabinets not stand the test results of the samples was concluded that there is no significant difference.

Keywords: Slake Durability Index, air conditioning cabinet

1 GİRİŞ

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi kayaçların arazi ortamındaki atmosfer olaylarına bağlı gelişen, ıslanma ve kuruma gibi süreçlerin etkisiyle meydana gelen parçalanma ve dağılmanın kayaç dayanımını etkileyecek davranışlarını laboratuvar ortamında belirlemek ve tanımlamak için yapılan deneydir. Kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi kaya kütlesi ve kaya malzemesi davranışının ortaya konması açısından önemli bir özelliktir (Gökçeoğlu vd., 2000; Dhakal, et al., 2002; Beyhan, 2008).

Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi (SDI) Testi Chandra (1970) tarafından önerilmiş ve sonra Franklin ve Chandra (1972) tarafından geliştirilmiştir. Bu test ISRM (the International Society for Rock Mechanics) tarafından 1981 yılında kaya mekaniğinde yapılması önerilen testlerden biri olarak yer almış, ASTM (The American Society of Testing and Materials) tarafından da 1990 yılında standartlaştırılmıştır (Dhakal, et al., 2002).

Bu testin amacı, genellikle kil içeren kayaların ıslanma ve kuruma çevrimi ile aşınmaya ve ayrılıp suda dağılmaya karşı direncini gösteren bir indeks değeri belirlemektir. Belirlenen bu indeks değeri açık ocak veya dekapaj ile ilgili stabilite problemlerinde ve yer altı açıklıklarındaki dayanım azalmalarında kullanılabilmektedir (Ankara vd., 2013 a)

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi testinin sonuçlarını etkileyen birçok parametre vardır; Teste tabi tutulan kayaç örneklerinin veya parçalarının porozitesi, permeabilitesi, muhafazası, şekli ve sayısı, deneyde kullanılan sıvının özellikleri, test aletinin çevrim sayısı, elek açıklığı, dönme hızı ve deney sıvısının sıcaklığı, kimyasal özelliği (Ankara vd., 2013 a; Kolay vd., 2004) bu parametreler arasında sayılabilir.
Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi testi çalışmalarında araştırmacılar bu parametrelerin etkilerini araştırmışlar ve bu testi etkileyen parametreler için farklı yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlar incelendiğinde deneyde kullanılan kayaç parçalarının geometrisinin veya yüzey profillerinin indeks değerine etkisi de araştırılmıştır. Deneyde kullanılan örneklerin yüzey profilleri çoğunlukla küreye benzemediği görülmektedir. Ancak teste kullanılan kayaç parçalarının geometrisi ve pürüzlülüğü, küresellikten uzaklaşması, deneydeki çevrimler sırasında kayaç parçalarının birbiriyle çarpışmaları ve sürtünmeleri gerilme dağılımlarını etkilemektedir. Köşeli ve pürüzlü kayaç parçaları, küremsi profile sahip kayaç parçalarına göre daha fazla kopma ve parçalanmalara sebep olmuştur (Kolay vd., 2004; Kolay ve Kayabalı, 2006). Küresele yakın, yani yuvarlak, (eş boyutlu) kayaç parçalarının hazırlanmasında aynı kayaç kütlesinden kabaca eş boyutlu 10 adet kayaç parçası çekiçle kırma veya zımparalama ile elde edilir (TSE, 1990). Ancak uygulamada kaya türlerine göre küresel veya yuvarlak şekilli kayaç parçalarının hazırlanması güçleşmekte ve zaman almakta, bazen de mümkün olmamaktadır (Ankara vd., 2013 a). Diğer taraftan, eşdeğer boyutlu numune hazırlamakta karşılaşılan sorunları ortadan kaldırmak amacıyla, Ankara ve arkadaşları (2011) eşdeğer boyutlu küresel örnekler hazırlanmasına yönelik yeni bir numune hazırlama yöntemi önermişlerdir (Ankara vd., 2011) Pasha yöntemi olarak adlandırdıkları bu yöntemle, suda dağılma deneyi için çeşitli kayaçlardan eşdeğer boyutlu küresel örnekler hazırlamışlardır. Hazırladıkları numuneleri suda dağılma deneyine tabi tutmuşlar ve sonuçlarını yayınlamışlardır (Ankara vd., 2013 a; Ankara vd., 2011; Ankara vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı, suda dağılma deneyinde kullanılacak olan numunelerin pasha yöntemi kullanılarak hazırlanan eşdeğer boyutlu küresel örneklerin saklanma koşullarının deney sonuçları üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Bu araştırma esnasında, küresel hale getirilen örnekler, doğal nemlerini koruma amacıyla iklimlendirme dolabında, deneyin yapılacağı güne kadar kontrollü şartlarda saklanacaktır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Numune Alımı

Çalışma kapsamında kullanılan kayaç örnekleri Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü'ne bağlı, Tunçbilek Linyit işletmesi ve Seyitömer Linyit İşletmesi'nden alınmıştır. Alınan kaya örnekleri blok şeklinde en fazla 50x50x30 cm boyutlarda olup, kaya blokları yerindeki özelliklerini kaybetmemesi için strech filme sarılıp poşetlendikten sonra numune çuvallarına yerleştirilmiştir. Araziden alınan kaya bloklarının konumları GPS ile belirlenmiştir. Belirlenen koordinatlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Alınan numunelerin koordinatları.

Kaya Cinsi	Koordinatlar		Açıklama
	X	Y	
Marn	439154	0708514	Tunçbilek 48panoi
Marn	4393906	0711529	Tunçbilek BYH pano
Marn	4384186	0744049	Seyitömer

2.2 Deneyin Yapılışı

Suda dağılmaya karşı duyarlılık indeksi deneyi için kullanılacak marn küre örneklerinin hazırlanması aşamasında ilk adım laboratuvara getirilen blok örneklerden hazırlanacak küresel örnekler için çaplarına uygun boyutta küp kesimi işlemi çoklu küp kesme makinesi kullanılarak küp numuneler kesilmiştir. Daha sonra elde edilen küp numunelerden Paşa kesimi olarak adlandırılan yöntem kullanılarak hassas kesim makinesi ile kenar köşe kesimleri yapılmıştır.

Şekil 1. Kenar köşe kesim işlemi tamamlanan numuneler.

Paşa kesim işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen numuneler küre yapma makinesi yardımıyla eş boyutlu küreler haline getirilmiştir. Küre yapma makinesinde deneye tabi tutulacak küre numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler iklimlendirme dolabına konmadan önceki görünümleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2a, 48 pano

Şekil 2b, Byh pano

Şekil 2c, Seyitömer

Şekil 2. İklimlendirme öncesi küre numunelerin görünümleri; a) 48 pano, b) BYH pano, c)Seyitömer.

Küre yapma makinesinde oluşturulan eş boyutlu kürelerin ağırlıkları hassas terazide tartılıp, boyutları ise kumpas yardımıyla ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ölçülen eş boyutlu kürelerin ağırlıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 iklimlendirme öncesi ağırlıklar

Küre No	48 Pano	BYH Pano	Seyitömer
	Ağırlık (gram)	Ağırlık (gram)	Ağırlık (gram)
1	52,7	55,3	65,1
2	53,3	56,4	64,8
3	51,4	55,6	65,9
4	52,2	54,5	66,3
5	54,3	54,8	66,0
6	52,9	55,8	65,8
7	52,1	55,2	64,0
8	51,2	55,9	66,0
9	52,3	56,2	65,5
10	53,0	55,2	66,2
Toplam	**525,4**	**554,9**	**655,6**

Ölçümlerden sonra, numuneler etüve konulmadan önce sahip olduğu özelliklerde muhafaza etmek, mümkün olduğu kadar nemini kaybetmeden ve nem kaybına bağlı olarak şekilsel bozuklukların oluşmasını önleyerek deneye tabi tutmak amacıyla küre numuneler 10 gün süre ile 22°C ve %80 RH iklim şartlarında bekletilmiştir.

İklimlendirme sonrası numunelerin görünümleri Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3a, 48 pano

Şekil 3b, BYH pano

Şekil 3c, Seyitömer

Şekil 3. İklimlendirme sonrası küre numunelerin görünümleri; a) 48 pano, b) BYH pano, c)Seyitömer.

İklimlendirme dolabından alınan numuneler suda dağılmaya karşı duraylılık indeks testi ASTM standartlarına uygun şekilde deney yapılmıştır.

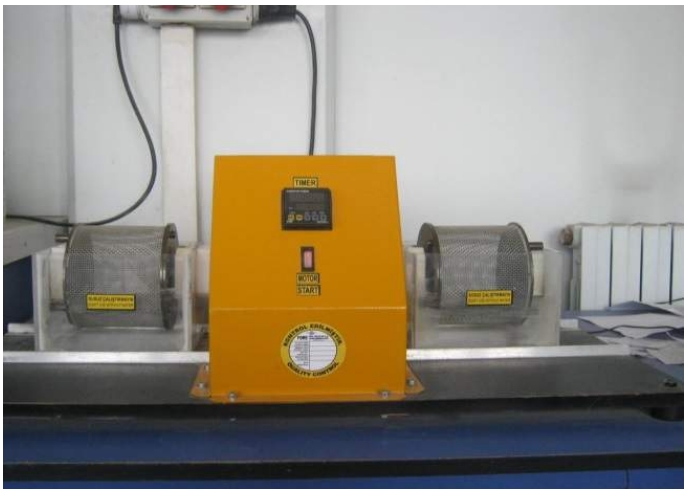
Deney numunesi her biri 40–60 g 10 adet parçadan oluşan toplam 400-600 g olacak şekilde hazırlanır. Köşelerin birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için. Eş boyutlu küresel örnekler hazırlanmıştır.

Numuneler iklimlendirme dolabında 10 gün süre ile 22°C ve %80 RH iklim şartlarında bekletildikten sonra ağırlık değişimini gözlemlemek için yeniden tartılmıştır. Elde edilen ölçümler Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. İklimlendirme sonrası numunelerin ağırlıkları.

Küre No	48 Pano	BYH Pano	Seyitömer
	Ağırlık (gram)	Ağırlık (gram)	Ağırlık (gram)
1	51,4	54,3	49,5
2	52,1	55,1	48,8
3	50,4	54,3	49,7
4	52,3	53,6	50,3
5	53,1	54,0	49,4
6	52,4	54,7	49,2
7	51,0	54,2	48,0
8	50,5	54,5	49,5
9	51,5	54,9	49,1
10	52,3	54,1	50,4
Toplam	**517**	**543,7**	**493,9**

Deney düzeneği Şekil 4 140 mm çaplı, yan yüzeyi 2 mm açıklıklı elekten ve alt ve üst tabanı açık şekilde üretilmiş bir tambur, tamburun içine yerleştirildiği bir su haznesi ve tamburu dakikada 20 devir/dakika döndürebilen bir motordan oluşmaktadır. Deney öncesi su haznesi tambur merkez ekseninin 20 mm altı seviyeye kadar su ile doldurulur.



Şekil 4. Deney düzeneği

Teste tabii tutulacak örnekler deney öncesi temiz bir tambura yerleştirildikten sonra etüvde 105°C'de değişmez kütleye gelinceye (genellikle16 saat) kadar kurutulur. Kurutma sonrası tambur içindeki örneklerle birlikte tartılarak kaydedilir (A)

Daha sonra tambur şeffaf su hazne içerisine yerleştirilerek su haznesi tambur merkez ekseninin 20 mm alt seviyesine kadar saf su ile doldurulur ve dakikada 20 devir yapacak şekilde 10 dakika döndürülür. Çevrim esnasında su seviyesi gözlenerek azalma olduğu takdirde su ilavesi yapılarak su seviyesinin korunması sağlanır. Bu çevrim sonunda tambur içindeki örneklerle birlikte tekrar etüvde 105°C'de 16 saat kurutulur. Etüvden çıkarılan tambur ve örnekler desikatörde soğutulup tartılır ve tartım sonucu kaydedilir (B).

Aynı işlemler aynı örnek için 2 (veya 4) çevrim olacak şekilde uygulanır. Boş tambur tartım değerinden (D) ve daha önceki kaydedilmiş tartım değerlerinden aşağıdaki bağıntı yardımıyla ıslak kararlılık indeksi bulunur (Emir, 2011).

$$I_{d2} = \frac{B-D}{A-D} \times 100 \quad (\%) \qquad (1)$$

Bağıntı yardımıyla hesaplanan deney sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Deneysel hesaplama.

Test	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}
48 pano	99,56	99,22	98,88	98,52
BYH pano	99,66	99,29	98,90	98,60
Seyitömer	97,68	94,13	90,77	88,28

Test sonucunda elde edilen numunelerin görünümleri Şekil 5.'de gösterilmiştir.

Şekil 5a, 48 pano

Şekil 5b, BYH pano

Şekil 5c,Seyitömer

Şekil 5 4. Çevrim sonu numunelerin görünümleri; a) 48 pano, b) BYH pano, c) Seyitömer.

3 BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmada numuneler küre şekline getirildikten sonra ağırlıkları tartılmış ve daha sonra iklimlendirme dolabında 10 gün süreyle 22°C ve %80 RH iklim şartlarında bekletilmiştir. İklimlendirme dolabında bekletilen numunelerin de ağırlıkları kaydedilerek aradaki fark kaydedilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. % ağırlık değişimleri a) 48 pano, b) BYH pano, c) Seyitömer .

- 5a, 48 pano % ağırlık değişimi

Küre No	İklimlendirme öncesi Ağırlık gr	İklimlendirme sonrası Ağırlık gr	% Ağırlık Değişimi
1	52,7	51,4	% 2,46
2	53,3	52,1	% 2,25
3	51,4	50,4	% 1,95
4	52,2	52,3	% 0,19
5	54,3	53,1	% 2,21
6	52,9	52,4	% 0,95
7	52,1	51,0	% 2,11
8	51,2	50,5	% 1,37
9	52,3	51,5	% 1,53
10	53,0	52,3	% 1,32
Toplam	**525,4**	**517**	**% 1,6**

- 5b, BYH pano % ağırlık değişimi

Küre No	İklimlendirme öncesi Ağırlık gr	İklimlendirme sonrası Ağırlık gr	% Ağırlık Değişimi
1	55,3	54,3	% 1,81
2	56,4	55,1	% 2,30
3	55,6	54,3	% 2,34
4	54,5	53,6	% 1,65
5	54,8	54,0	% 1,46
6	55,8	54,7	% 1,97
7	55,2	54,2	% 1,81
8	55,9	54,5	% 2,51
9	56,2	54,9	% 2,31
10	55,2	54,1	% 1,99
Toplam	**554,9**	**543,7**	**% 2,02**

- 5c, Seyitömer % ağırlık değişimi

Küre No	İklimlendirme öncesi Ağırlık gr	İklimlendirme sonrası Ağırlık gr	% Ağırlık Değişimi
1	65,1	49,5	% 23,96
2	64,8	48,8	% 24,69
3	65,9	49,7	% 24,58
4	66,3	50,3	% 24,13
5	66,0	49,4	% 25,15
6	65,8	49,2	% 25,23
7	64,0	48,0	% 25
8	66,0	49,5	% 25
9	65,5	49,1	% 25,04
10	66,2	50,4	% 23,87
Toplam	**655,6**	**493,9**	**% 24.67**

Çizelge 5'de görüldüğü üzere 48 pano numunelerinin ağırlık değişim yüzdesi % 1,6, BYH pano numunelerinde % 2,02 ve Seyitömer numunelerinde ise % 24,78'dir. Buna göre Tunçbilek bölgesinden alınan numunelerde ağırlık değişimleri çok az olmasına karşın Seyitömer numunelerinde oldukça yüksektir. Seyitömer bölgesinden alınan numunelerin ağırlık değişimlerinin fazla olmasına rağmen kontrollü saklama koşulları sağlandığından numunelerde herhangi bir yüzey çatlamaları ya da başka diğer fiziksel bozulmaların meydana gelmediği görülmüştür. Ancak iklimlendirme dolabında bekletilmeyen numunelerde Şekil 6'da görüldüğü üzere yüzey çatlamalarının ve fiziksel bozulmaların meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 6. Seyitömer marn iklimlendirme dolabında bekletilmeyen örnekleri.

Çalışma kapsamında iklimlendirme dolabında bekletilen örnekler üzerinde SDI Küre örnek grubunun SDI I_{d1}, I_{d2}, I_{d3} ve I_{d4} değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 4'de verilmiştir. Görüldüğü gibi 48 panonun I_{d1} değeri % 99,56, I_{d2} değeri %99,22, I_{d3} değeri %98,88 ve I_{d4} değeri 98,52'dir. BYH panonun I_{d1} değeri 99,66, I_{d2} 99,29, I_{d3} 98,90 ve I_{d4} değeri ise 98,60'tır. Seyitömer'in I_{d1} değeri 97,68, I_{d2} 94,13, I_{d3} 90,77 ve I_{d4} değeri ise 88,28'dir.

Ayrıca iklimlendirme dolabında bekletilmeden doğal yapısına uygun olarak korunmuş kaya bloklarından hazırlanan küre parçalar üzerinde yapılan Islak Kararlılık İndeks Testinden (SDI) elde edilen dört çevrim sonundaki indeks değerleri de Çizelge 6.'da verilmiştir (Ankara vd., 2013 b).

Çizelge 6. Küre parçalar üzerinde yapılan Islak Kararlılık İndeks Testi (Ankara vd., 2013 b).

Numune adı	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}
BYH pano	99,70	99,43	99,23	98,96
Seyitömer	96,95	93,87	90,45	86,60

Çizelge 6'de görüldüğü gibi BYH panonun I_{d1} değeri 99,70, I_{d2} 99,43, I_{d3} 99,23 ve I_{d4} değeri ise 98,96'tır. Seyitömer'in I_{d1} değeri 96,95, I_{d2} 93,87, I_{d3} 90,45 ve I_{d4} değeri ise 86,60'tır (Ankara vd., 2013 b).

Çizelge 7. SDI değerlerinin karşılaştırılması.

Numune adı	I_{d1}	I_{d2}	I_{d3}	I_{d4}	Açıklama
48 pano	99,56	99,22	98,88	98,52	İklimlendirme dolabında bekletilen
BYH pano	99,66	99,29	98,90	98,60	İklimlendirme dolabında bekletilen
Seyitömer	97,68	94,13	90,77	88,28	İklimlendirme dolabında bekletilen
BYH pano	99,70	99,43	99,23	98,96	Doğal yapısına uygun
Seyitömer	96,95	93,87	90,45	86,60	Doğal yapısına uygun

Çizelge 7' da görüldüğü üzere iklimlendirme dolabında bekletilen örnekler ile doğal yapısına uygun (iklimlendirilmemiş) örnekler arasında deney sonuçlarını etkileyecek fark olmadığı görülmektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma kapsamında Tunçbilek bölgesinden (48pano ve BYH pano) ve Seyitömer bölgesinden alınan numuneler suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi testi için hazırlanan eş boyutlu küresel örneklerin deneye tabi tutuluncaya kadar saklama koşullarının deney üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında iklimlendirme dolabında bekletilen numunelerle, iklimlendirme dolabında bekletilmeden doğal yapısına uygun olarak korunmuş kaya bloklarından hazırlanan küre numunelerin ağırlık değişimleri ve her iki durumdaki numuneler üzerinde yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. Ayrıca iklimlendirme dolabında bekletme süresi kadar oda koşullarında bekletilen numuneler arasındaki fark da gözlemlenmiştir. Tunçbilek bölgesinden alınan numunelerin ağırlık değişimleri arasındaki farkın az olmasına rağmen (48 pano numuneler için % 1,6, BYH pano numuneler için % 2,02) Seyitömer bölgesinden alınan numunelerin ağırlık değişimlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür (%24,78). Numunelerin iklimlendirme dolabında bekletilmesine rağmen az da olsa nem oranı düşmüştür. Ancak numuneler sıcaklık ve nem kontrollü bir ortamda bekletildiği için herhangi bir şekilsel bozulma meydana gelmemiştir. İklimlendirme dolabında bekletilen numuneleri bekletme süresi kadar oda koşullarında bekletilen numunelerde ise şekilsel bozukluklar meydana gelmiştir. İklimlendirme dolabında bekletilen numuneler ve iklimlendirme dolabında bekletilmeyen numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarında ise SDI değerleri arasında deney sonuçlarını etkileyecek önemli bir fark gözlemlenmemiştir.

Bu çalışmanın sonucunda; suda dağılmaya karşı duraylılık indeksini belirlemek üzere yapılacak deneysel çalışmalarda numunelerin iklimlendirme dolabında bekletilerek saklanabileceği sonucuna varılmıştır.

İleriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda, çalışma alanlarının genişletilerek ve numunelerin bekletme süresi 10 gün ve daha fazla süreler için iklimlendirme dolabında bekletilmek suretiyle sonuçlar değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Ankara, H.**,** Aksoy M**.,** Yerel S., Keser Y**.,** (2011), "A New Sample Preparation Method for Slake Durability Index Test*" 4th Balkanmine Congress, Slovenia*, Ljubljana, cilt I, s. (571-575).

Ankara, H., Aksoy M**.**, Yerel S., Keser Y., (2012), "The Determination of Slake Durability Index with Spherical Samples" *Global Stone Congress*, Borba, Portugal.

Ankara, H., Aksoy, M. ve Yerel, S., (2013 a) , Suda dağılmaya karşı duraylılık testi için kayaçlardan eş boyutlu küresel örneklerin hazırlanması, *Proje Raporu*, Proje No: 201015013, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP.

Ankara, H., Aksoy, M. ve Yerel, S., (2013 b), Islak kararlılık indeksi testine önerilen yeni bir örnek hazırlama yöntemi için aşındırıcı çanak tasarımı, *Proje Raporu,* Proje No: 111M823, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi TUBITAK.

Beyhan, S., (2008), G.L.İ ve E.L.İ marn kaya malzemelerinin üç eksenli basınç dayanımına bağlı özelliklerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M. ve Kaneko, K., (2002), Slake durability andmineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, *Engineering Geology*, cilt.65, s. (31-45).

Emir, E., (2011) *Kaya Mekaniği Ders Notları* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, s.191.

Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. ve Sönmez., H., (2000), Factors effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis om the influence of the number of drying and wetting cycles, *Engineering Geology*, cilt 57, s. 215-237.

Keser, Y., (2014), Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde eşdeğer boyutlu küresel örneklerin saklanma koşullarının deney sonuçları üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Yüksek lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Kolay, E., Kayabalı, K. ve Beyaz, T., (2004) , The effect of sample shape on the slake durability of some argillaceous rocks, *Regional Rock Mechanics Symposium*, Sivas.

Kolay, E., ve Kayabalı, K., (2006) , Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach, *Engineering Geology*, cilt 86, s. (271–284).

Kolay, E., (2007), Örnek mikro yapısının ve köşeliliğin suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisi ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksiyle bazı fiziksel özellikler arasındaki ilişki, *Yerbilimleri*, 28(2), s.(99-112).

Nüve, İD *501 İklimlendirme Dolapları Kullanım Kılavuzu*, Nüve San. Malz. İml. Ve Tic. A.Ş.

TSE, (1990), *Kayaçların Suya Dayanıklılık Özelliklerinin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü (TS-8543).

Şırnak Kömür Madeniz Atık Marn-Şeyl Yığınlarının Jeoteknik Reklamasyon Değerlendirmesi

Geotechnic Reclamation Assessment for Şırnak Coal Mine Marn-Shale Fill Dumps

Y. İ. Tosun
Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,Maden Müh. Böl.

ÖZET Şırnak ili Kömür Ocaklarının atığı olarak bırakılan marn ve marnlı şeyl yığınları 20-30 m yükseklikte şehir yerleşimine hatta Üniversite kampüsüne 1-2 km yakın bir konumda bulunmaktadır. Reklamasyonu madencilik faliyetleri esnasında önemli ekonomik, çevresel ve ekolojik yararlar sağlayabilecektir. Şırnak kömür maden atığı marn ve marnlı şeyl atık yığınlarının, günümüzde iyi değerlendirilerek tarıma kazandırılması gerekmektedir. Günümüzde, kömür maden atık sahaları için, zeytin veya pamuk tarımına elverişli hale getirmeden önce jeoteknik duraylılık ve çevresel performans kriterlerini sağlayabilecek şekilde alt sıkı zemin ve organik zemin olarak toprak örtülmesi ve uygun şev tasarımları oluşturulması planlanmaktadır. Bu planlanan şevlerin jeoteknik etütü, GEO5 programı ile duraylılık analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenerek tasarımların uygunluğu bu çalışmada incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, marn-şeyl, jeoteknik reklamasyon

ABSTRACT In Şırnak province marl and marly shale waste piles of Coal Mines dumped are 1-2 miles at a location near the University campus and even 30-40 m in height and in the borders of urbanization. Significant economical, environmental and ecological effects of reclamation of those dumps will be greatly advantageous during hardly mining managed. Şırnak coal mine waste piles of marl and marly shale waste, today it is necessary to recover as a good agricultural field for cotton. Today, coal mining wished to reclamate those waste sites, by geotechnical stability and environmental assesment and various design models for bottom soil that it can provide strict criteria covering the sub ground and top soil as organic soils and must be recreated to provide stable agricultural slopes. This geotechnical study of the planned slopes was investigated by GEO5 software in this work.

Keywords: Coal, marn-shale, geotechnic reclamation

1 GİRİŞ

Ülkemizdeki madencilik faaliyetlerinin tabiatı bozmadan gerçekleştirilmesi istenmektedir. Çevre etki değerlendirmesine göre doğanın, yaban hayatının korunması ve bitki örtüsünün onarılması gerekir. Madencilik atık sahaları böylelikle ekonomiye kazandırılmış olacaktır (Ünal vd., 1992). Madencilik yapılan topografyanın yeniden tarım alanı olarak kullanılabilmesi, organik zeminin onarımı, tarım alanı veya orman arazisine kazandırılması ülke ekonomisine büyük yarar sağlayacaktır (Mallı vd., 2011). Ayrıca peyzaj düzenlemesi ile göller veya park alanlarıda yapılabilmektedir (Okyay ve Aydın, 2013). Reklamasyon ile çevre dengesi mikroflora ve hayvan varlığı korunmalıdır (Delibalta vd., 2012). Özellikle Şırnak ilinin yerleşim alanına, hatta üniversite yerleşim alanına 1-2

km yakınlıkta olan kömür madenleri atık yığınları 30-40 m yüksekliğindeki marnlı ve marnlı şeyl tepeciklerine dönüşmüştür. Bu yığınların zirai alan olarak kazanılması yörenin kısıtlı tarım üretimini geliştirecektir.

Kömür madeni atık şeyl yığınlarının çevre duyarlılığı kapsamında tarıma elverişli hale getirilen basamaklı ekim alanlarının sediment ve erozyon kontrolü gibi çalışmalar da gerekir (Şimşir vd., 2007). Ayrıca tarıma elverişli hale getirilmiş arazinin organik dokusununda geliştirilmesi ve kontrol edilmesi de madenciliği tamamlayan, ona ilave tek bir aşama değil, madencilik planlarıyla eş zamanlı olarak başlatılan, maden çıkarma ve sonrasındaki safhalarda da devam eder. Su kaynaklarının da korunması arzu edilir.

Atık sahası toprak doldurulup veya döküm sahaları tekrar düzenlenip bitkilendirme işlemleri için hazır hale getirilmektedir (Morgan, 2005, Gregory ve Nortcliff, 2013). Reklamasyon, aynı zamanda çevreye bağlı kalarak işletme sonrası arazinin sağlamlaştırılmasını da kapsar. Bu yüzden reklamasyon, erozyon ve sedimentasyon kontrolü olarak da ele alınabilir. Dolayısıyla reklamasyon madencilikle eş zamanlı ilerleyen bir seri işlemi kapsamaktadır. Reklamasyon işlemlerinde zemin ve kaya stabilitesi zemin ve kaya mekaniği parametreleri marn ve marnlı şeyl yığınları için bu çalışmada incelenmiştir. Jeolojik birimler, yüzey ve yer altı suları için hidrojeolojik harita, temel çalışmalar için ekolojik ve arazi kullanım planı tanımlanmıştır. Şırnak kömür madeni atık yığınlarının reklamasyonunda aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir. ÇED e göre ;

- Açık ocak işletmeciliğinin neden olduğu çevre sorunlarının belirlenmesi,
- Madencilikle bozulan sahanın yeniden düzenlenmesi, iyileştirilmesi, şev stabilitesi (Anderson, 1982, Bishop, 1955)
- Planlarının hazırlanması ve bunlarla işletmecilik yöntemleri arasında paralellik sağlanması (Höek,2013),
- Jeolojik, hidrojeolojik, toprak, bitki, meteorolojik, ekonomik ve sosyal koşulların incelenmesi (Paşamehmetoğlu, 1991) ,
- Rekültivasyon çalışmalarının detay planlanması ve tasarımı ve GEO5 (Anonim, 2009, Anonim, 2013, Görög ve Török, 2006, Görög ve Török, 2007, Pruska, 2009, Güz, 1987, Lambe ve Whitman, 1969),
- Reklamasyonun yasal ve mali konularının belirlenmesi ve işleme konulması planlanmıştır.

Farklı miktarda şeyl içeren asfaltitler yörede çıkarılmaktadır. Kömürün %60 a varan şeyl içeriği dayanım ve sertlik özelliklerini değiştirmektedir. Şeyle bağlı heterojen yapılar içeren asfaltit ve yan kayaçların mekanik dayanımları belirlenmiştir. Kayacın dayanımı ve yenilme tipi (Wiley, 1987, Güz, 1987, Cernica 1995, Höek, 1970, Höek ve Bray, 1977), farklılıkları oluşturan bileşenlerin kaya örneği icerisindeki dağılımına, yönelimlerine, miktarına ve bu bileşenlerin dayanım ve sertlik derecelerinin ne derecede farklı olduklarına bağlıdır.

Bu araştırmaya konu olan asfaltit şeyli marnı ve kalker türü yan kayaclar, Şırnak ilinde güney ve kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir. Siirt Formasyonunun kaya mekaniği açısından önemli kaya birimlerindendir. Bu birim genel olarak altere kalker, marn ve marnlı şeyl içeren kayaçlardan oluşmaktadır. Şeyl ve marnlı kayaçlardan oluşan bu birim, yukarıda tariflenen davranış özelliklerinden dolayı özellikle kömür madenlerinin yer altı kazılarında ve yığma şevlerde reklamasyon açısından çok detaylı bir inceleme gerektirir.

Sondaj karotları, yerinde ve laboratuar koşulları altında gercekleştirilen mekanik testler ile bu testlerin öncesi mineralojik çalışmaları da kapsamaktadır. Basma testlerinde göreceli olarak daha zayıf şeyl seviyeler ile marn, sert marnlı kalker dayanımı daha yuksek çapları 34mm ve 50mm olan silindirik ve küp numuneler üzerinde gercekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgular ile farklı dayanım ve sertlik özelliklerine sahip bileşenler içeren kayacların yığma dolgu olarak mekanik parametreleri belirlenmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 dolgu şevlerinin dört tip kaya dolgulama şev modelleri ve kararlılık analizleri GEO5 ve GEO5 FEM programı ile gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları ve zemin örtü dolgu malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvar da test edilmiştir. Zemin örneklerine göre dolgu yapısal kesitleri 1/1000 ölçekli topografik haritalar olarak çıkarılmıştır.

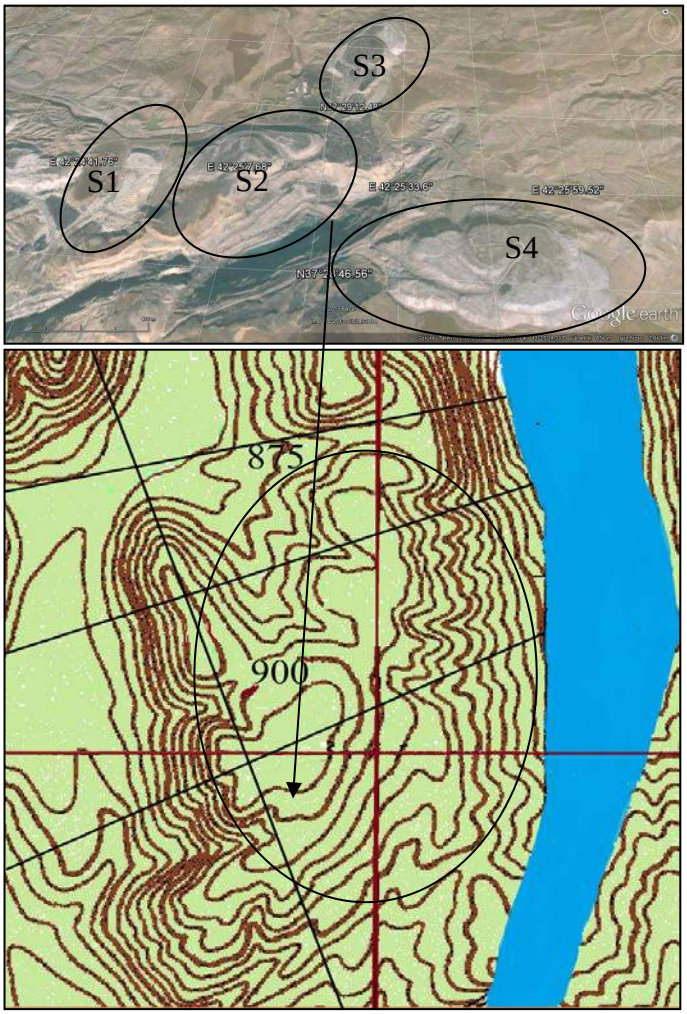
2 METOT

2.1 İnceleme Alanı

Orta Miyosen-Üst Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu içinde yer almaktadır. Şelmo Formasyonu; çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, karasal şeyl, marn ve marnlı kalker kaya birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon genel itibarıyla söz konusu sahalarda doğu-batı doğrultulu ve güney yönünde eğimli olup, eğim açısı 15° civarındadır (Işınager, 1985).

Kil taşları, kumtaşları ve çakıl taşları bölgede birbiriyle yatay ve dikey geçişli olarak gözlenmekte ancak proje alanında daha düzenli bir istiflenme sunmaktadır. Bu istiflenmeye göre kiltaşları en üstte, daha sonra kumtaşları ve en altta çakıltaşları bantları bulunmakta, bu istif yinelenerek derine doğru devam etmektedir.

Olası statik zorluklardaki şevlerin stabilitesi yığınlar için atık depolama kriterleri olarak incelenmiştir. Yığınların şev stabilitesine etki eden parametreleri irdelenerek, olası anomal durumlar ve risk analizleri haritada belirtilmiştir. Kömür atık şeyl yığınlarının çevreyi tehdit etmeyecek ve işletmeyi sıkıntıya sokmayacak boyutlarda inşası önerilmektedir. Statik malzeme özelliklerinin karakterizasyonu ve katı atık depolama alanlarının sismik tasarımı zor bir iştir. Büyük yığın malzemelerin heterojen olması nedeniyle stati k ve dinamik analizlerin yapılması gerekir. Bu yönde, Şırnak ili alanı içerisinde, kentin güneyinde ve merkeze 7 km mesafede olan Kömür maden ocağının atık yığınları (Şekil 1) üniversite kampüs yerleşkesi ile belediye semt sınırları içersinde yerleşmektedir.



Şekil 1. Şırnak İli Kömür Ocağı Yığınlarının Uydu Haritası ve S2 Topografik Haritası 1/1000.

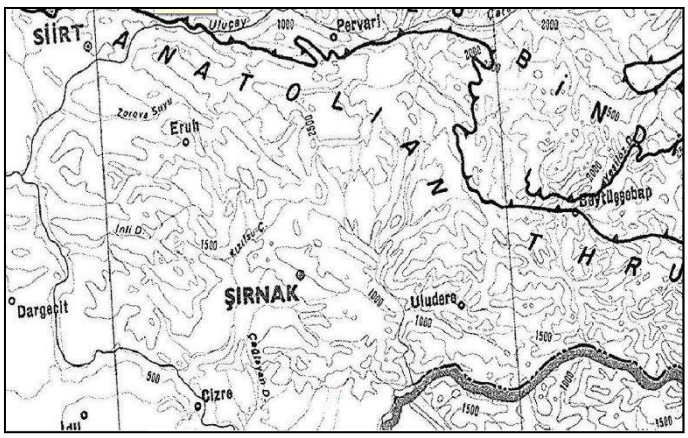
Çalışma alanı ve çevresindeki 3 km^2 lik bir alanın 1/1.000 ölçekli mühendislik topografik haritası yapılmış, ayrıca yapılan sondaj ve laboratuar jeoteknik deneyleri ile malzemelerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir (Anonim, 2011). Yakın yerleşim birimlerine uygun, dibindeki dereyi ve göleti doğaya kazandıracak koşulda yığın yamaçların tasarımı ve jeoteknik özellikleri incelenerek duraylılık analizleri farklı yöntemlerle GEO5 programıyla gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2009). Bu proje kapsamında kentsel kullanıma açılacak olan çalışma alanı ve çevresini kapsayan 3 km^2'lik alanda 1/1.000 ölçekli mühendislik haritası arazi ve laboratuar çalışmaları sonucunda hazırlanmış ayrıca kutupsal koordinat sistemi kullanılarak arazi çalışmalarıyla her dört yamaca ait topoğrafik harita oluşturulmuştur.

2.2 Şırnak İli Deprem Riski

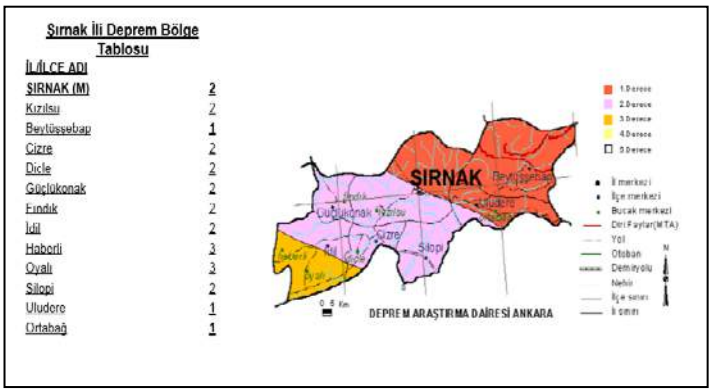
İnceleme alanındaki litostratigrafi birimi yaşlıdan gence Şelmo Formasyonu kumtaşı, çamurtaşı, karasal şeyl, çökel marn kaya birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon genel itibarıyla söz konusu sahalarda doğu-batı doğrultulu ve güney yönünde eğimli olup, eğim açısı 15° civarındadır (Işınager, 1985). Gercüş Formasyonu, Cudi Grubu, Çığlı Grubu ve Tauin Grubu'ndan oluşmaktadır. Saha genel olarak kumtaşı, çamurtaşı, dolomit, kireçtaşı, marn, marnlı şeyl ve sığ denizel çökellerinden oluşmaktadır. Yamaç Molozu Alüvyon genç birim (Kuvaterner) olarak bulunmaktadır.

Şırnak ili 1. Dereceye sınır bir yerleşim alanındadır, ancak 2. Derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (Anonim, 2011). Yapılaşmadaki kusurlar ve yetersizlikler ilimizde de görülmektedir. Şekil 2 de görüleceği üzere Beytüşşebap ilçesinin fay hattında bulunduğu görülmektedir. Beytüşşebap ilçesinin deprem riskine karşılık Uludere Ortabağ ilçeleri de risk 1'inci derecede olmaktadır. Cizre ve Merkez 2'inci derece riskli alandadır (Şekil 3).

Örnek olarak yaşanan civardaki yıkımlı depremler bu bölgenin de büyük bir risk taşıdığını gösterir. Bölgede Dicle Nehri ve buna bağlanan Hezil Çayı da inceleme alanında bulunmaktadır. Hezil Çayı doğu ve güneyde Türkiye-Irak sınırını, Dicle Nehri ise, Cizre'den doğuya doğru Türkiye-Suriye sınırını oluşturur. Ortalama 17,2 m^3/sn debidedir (Anonim, 1977).



Şekil 2. Şırnak İli Fay Haritası.



Şekil 3. Şırnak İli Deprem Risk Haritası.

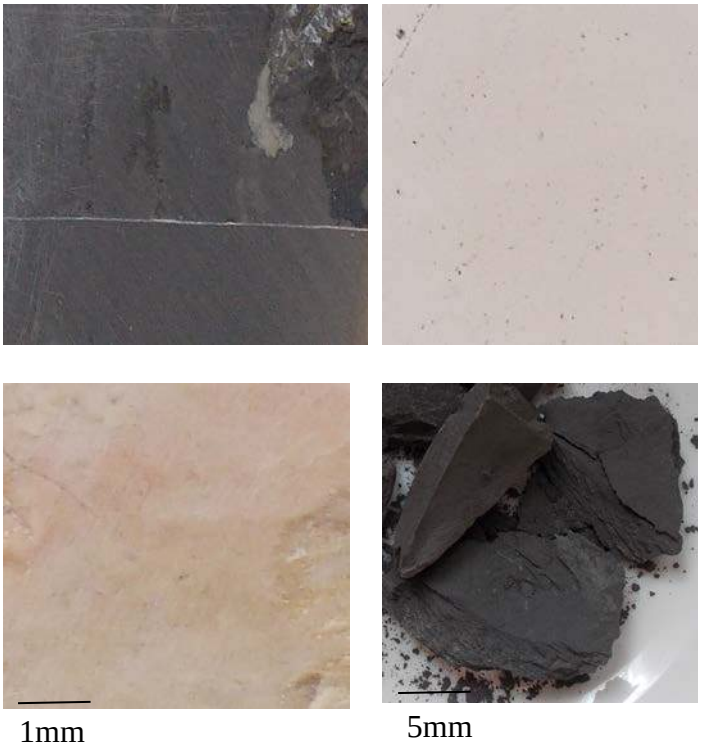
2.3 Kimyasal Analizler ve Parlak Kesit İncelemesi

Numunelere ait mineralojik bileşimler XRF ve Standard kimyasal Ca, Mg ve silika analizleri yardımıyla tespit edilmiştir. Numuneler ilk olarak çeneli kırıcıda 40 mm den 10mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş ve 0.1mm ye havanda öğütülerek homojenize edilmiştir. Toz numuneler silika içeriği için platin krozede HF ile çözeltilip yakılmıştır. Deneylerde kullanılan Şırnak ili çevresinden temsili olarak temin edilmiş kayaçların kimyasal bileşimi Çizelge 2 de verilmiştir.

Parlak kesit hazırlanmasından önce akışkan bir sarı renkli epoksi reçine örneklere orta derecede bir vakum ile emdirilmiştir. Bu reçine gözeneklere nüfuz ederek mikroskop altında gözeneklerin daha kolay görünmesini sağlamaktadır. Polarize mikroskob (Zeiss) ile fotograflar çekilerek mikro çatlakların ilerlemesi, gözenekli kalker, şeyl dokusu, heterojen marn dokusu görülmektedir (Şekil 1). Tanecikler arası kırık gelişimi mikrodalga işleminden sonra incelenmiş ve orijinal doku ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Şırnak ili kalker, marn ve şeylin kimyasal analiz değerleri.

% Bileşen	Şırnak Kalkeri	Sırnak Marnlı Kalkeri	Şırnak Marnı	Şırnak Şeyl
SiO_2	1,43	19,42	24,14	48,53
Al_2O_3	1,03	7,53	8,61	24,61
Fe_2O_3	0,59	4,48	7,34	7,80
CaO	47,48	39,2	29,17	9,48
MgO	2,2	2,28	4,68	3,28
K_2O	0,41	0,53	3,32	2,51
Na_2O	0,35	0,24	1,11	0,35
SO_3	0,32	0,21	0,2	0,32
Kızd.Kayb	46,19	26,11	21,43	3,09
Toplam	100	100	100	100



1mm 5mm

Şekil 4. Şırnak Marn, Kalker Parlak Kesit ve Parça Şeylin Fotoğrafları.

2.4 Yığma Kayaçların ve Suni Örtü Toprak Zeminin Jeoteknik Etüdü

2.4.1 Arazi çalışmaları

Arazi gözlemleri ile yığın molozlarının miyosen marnlardan oluştuğu belirlenmiştir. Moloz boyutları son derece değişkendir (Anonim, 2012). İnceleme alanında Kömür Ocak atık yığınları (Şekil 1) güneyine kadar gözlenen yeni alüvyon birikintilerinin yüzeylenmeleri gri marn ve şeyldir. Bu kısım genel olarak siltli toprak ile kaplı olup bazı kesimleri ise kumlu ve killi zonlardan ibarettir. İl Özel İdaresi tarafından 35 m' ye kadar yapılan sondajlarda yeni alüvyonun devam ettiği belirlenmiştir. Yamaç Molozları, inceleme alanının Heybeli dere güneyine doğru, yerleşmiştir. Tane boyları ince kil ile iri kum arasında değişir. Boylanma ve derecelenme görülmeyen molozların kalınlıkları 10-35 cm arasında değişir.

2.4.2 Jeoteknik özellikler

S1, S2, S3ve S4 nolu kömür ocağı atık şeyl marn molozlarından temsili numuneler alınarak yığma alanlarındaki kayaçların mekanik dayanımları standart yöntemler (Bieniawski,1973, Bieniawski,1989, ASTM C 618) ile incelenmiştir. Molozların parça boyutları 10 cm ile 50cm arasında olduğu kabul edilerek ölçeklendirme ile laboratuvarda modeller yapılmıştır. 50mmlik küp için 3-5 mmlik agrega, 70mm numune için 5-7 mmlik agrega çimentolanarak test edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 2 ve 3 de verilmiştir.

2.4.3 Tek eksenli basma dayanımı testleri

Tek eksenli basma dayanımı testleri Mühendislik laboratuvarında 20000kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü test cihazında gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390). Eksenel ve deformasyon ölcerler karşılıklı olarak orneklerin her iki tarafına sıkıca yerleştirilmiştir. Eksenel deformasyon ölcerlerin 50 mm numune üzerindeki ölçüm aralığı 35mm olarak belirlenmiştir. Test sırasında kullanılan kontrol değeri 0.05 mm/dk olarak belirlenmiştir. Test sonuçları Çizelge 2 ve 3 de verilmiştir.

2.4.4 Üç eksenli Basma testleri

Üç eksenli sıkışma testleri Kaya Mekaniği laboratuarlarında 20000 kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü ve dijital test cihazında gerçekleştirilmiştir. Eksenel yer değiştirmeler bildirim sinyali olarak ve oran

0.001mm/s olarak belirlenmiştir. Test sırasında Hoek hücresindeki hacim değişimi 0.1cm^3 hassasiyetinde sürekli olarak ölçülmüştür. Hacimsel şekil değiştirmeler silindirik bir şekil değiştirmenin olduğu varsayılarak, yakın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 7 ve 8 de sonuçlar gösterilmiştir.

2.5 Zemin Analizleri

Yığın alanlarında yüzeylenen zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde Türk Standartları ve Amerikan Standartları (ASTM 3080) esas alınmıştır (Das, 1985). İnceleme alanındaki yığınların ve burada yapılan jeomekanik test sonuçlarının gösterimi Çizelge 4 de verilmiştir.

3 SONUÇLAR VE YORUM

Şekil 1'de görüldüğü gibi basma testlerine tabi tutulan şeyl marn ve marnlı kalker kayaçlarının nokta dayanımları 1,7 ile 41 MPa arasında değişmiştir. Şeyl numunelerinin nokta dayanımı 1,7 ile 3,7 MPa iken marn numunelerinin 3,9 ile 9 Mpa arasında Marnlı kalkerde ise 5-9 MPa olmuştur. Tek eksenel basma dayanımları 4-7 Mpa iken marnda 21-35 MPa ve marnlı kalkerde 57-78 MPa a ulaşmıştır. Genel olarak şeyl miktarı marn tabakalarında 2,5 MPa değerinde düşük gevrek kırılma yapar. Marn daha heterojen bir kayaç dokusuna sahiptir.

Çizelge 2**.** Yığın Kayaç Numunelerinin jeomekanik test sonuçları

Numune	Şeyl1	Şeyl2	Marn1	Marn2	Marn3	Marnlı Kalker1
γ_k max g/cm^3	1,68	1,89	1,93	1,93	1,67	2,05
Gözenek %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Su Emme %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Permeabilite (k) (cm/s)	$5{,}63*10^{-5}$	$3{,}0*10^{-5}$	$5{,}65*10^{-6}$	$6*10^{-6}$	$3{,}8*10^{-6}$	$3{,}0*10^{-6}$
Tek eksenli Basma Dayanımı, Mpa	22	32	56	52	67	84
Kohezyon, kPa	150	170	490	410	525	700
İçsel Sürtünme Açısı	22	22	24	27	29	34

Çizelge 3**.** Çimentolanmış Yığın Agrega Blok Kayaç Numunelerinin test sonuçları

Numune	Şeyl1	Şeyl2	Marn1	Marn2	Marn3	Marnlı Kalker1
γ_k max g/cm3	1,68	1,89	1,93	1,93	1,67	2,05
Gözenek %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Su Emme %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Permeabilite (k) (cm/s)	$5{,}63*10^{-5}$	$3{,}0*10^{-5}$	$5{,}65*10^{-6}$	$6*10^{-6}$	$3{,}8*10^{-6}$	$3{,}0*10^{-6}$
Tek eksenli Basma Dayanımı, Mpa	5,1	5,2	9,3	9,0	9,5	18,9
Kohezyon, kPa	37	47	110	93	122	424
İçsel Sürtünme Açısı	16	17	23	22	24	26

Çizelge 4. S1 ve S2 Yığınların yamaçlarından alınan alt zemin örnekler üzerinde yapılan jeoteknik testlerden elde edilen sonuçlar.

Numune	Kırma İri Agrega	İnce Agrega	Kum	Taban Külü
Kot (m)	925	921	933	927
Wopt,%	5.9	7,7	10,8	21,4
c′(kg/cm^2)	3, 2	0,6	0,53	0,25
φ′	33	35	37	22
Lı(%)	11	11	28	17
Pı(%)	19	11	18	22
Ip (%)	10	9	8	12
γs g/cm^3	2,40	2,50	2,40	2,30
Zemin sınıflaması	SP	SP	SP	SP
$\gamma_{doğal}$ g/cm^3	1,82	1,76	1,90	1,70
γ_{kuru} g/cm^3	1,65	1,61	1,78	1.60
γ_{doygun} g/cm^3	2,02	1,84	2,01	1,80
Permeabilite k(cm/s)	$3*10^{-2}$	10^{-3}	$5,63*10^{-3}$	$1,1*10^{-4}$

Şeyl seviyeleri ve kalınlıkları 0,1-0,5cm boyutuna kadar değişmektedir. Mineralojik bileşimi ise genel olarak kaolin, illit kil mineralleri oluşturmaktadır.

Deneylere tabi tutulan örneklerin mikroskop altındaki incelemelerinde makroskopik olarak homojen gözüken şeyl matrisin mikroyapısında ve mineralojisinde değişimler belirlenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü üzere kahverengi, koyu kahverengi ve siyah olan bölgeler genellikle şeyl ve içerisinde çok seyrek saçılmış olarak 1-2mm kalınlığında yapraksı dolomit ve kalsit taneleri içermektedir. Daha açık gri tonlarında gorulen marn kayaclarda ise ince taneli killer ve dolomit eş boyutlarda 10-30 mikronda yayılmış şekilde bulunmaktadır. Kesitlerde genel olarak kil matris içindeki dolomit ve kalsit iceriği ve dağılımı değişim göstermektedir.

Şekil 5'de nokta yük dayanım değerleride değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde tek eksenli basma dayanımında elde edilen değerlere benzer sonuclarla karşılaşılmıştır. Şeyl iceriğinin %10 nun üzerinde iken nokta dayanımı ve darbe dayanımı değerleri azalmaktadır.

Şekil 6 görüldüğü gibi şeyl içeriğine göre farklı marnlı numunelerin mineralojik bileşimlerine bağlı olarak basma dayanımları 75,6 – 92,1 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kırılma gevrek ve yükleme doğrultusuna farklı açılarda olmuştur.

Tek eksenli basma dayanımının düşük değerine sahip marnlarda kırılma gevrek ve ler şeyl matris boyunca gerçekleşmiştir. Büyük dayanım değerlerinin görüldüğü marn küplerde mineralojik olarak %84'ten fazla kalsit içeren numunelerdir. Genel mikroskopik gözlemde yaklaşık 20-50 mikron boyutunda homojen tane yapısı göstermektedir. Elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri dolomit ve kalsit yapının değerleri olarak kabul edilmiştir. Silikat içeriğinin %10'dan daha fazla olduğu açık gri marnlarda durumlarda tek eksenli basınç dayanımı çok büyük değerlere ulaşmıştır. Şekil 7 de görüldüğü gibi Marnın şekil değişimi gerçekleşmiştir. Şeyl içeriğinin %10 altında olduğu marnlarda dayanım azalmaktadır. Artan dolomit ve kalsit miktarına bağlı olarak tek eksenli basma dayanımı azalmıştır. Marnlı kalkerlerde kalsit tane boyutuna ve heterojen yapıya bağlı olarak daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Marnlı kalkerlerde dayanım 52,4-63,2 Mpa arasında değişmiştir.

Çimentolanmış atık yığın kayaç yapısını temsil eden blok numunelerin 28 günlük kür sonrası tek eksenli basma testlerine tabi tutulmuş ve Çizelgede verildiği gibi ve kırıklanma parlak kesit orneklerinden kırılmanın plastik katmerli düşey yüzeylerden şişme şeklinde geliştiği gözlenmiştir. Kırılmanın çimento bağ dokusu icerisinde oluştuğu gozlenmiştir. Darbe dayanımı yüksek marn ve kalkerde dahi heterojen marnlı kalkerde bile mikroyapısal ve mineralojik değişimlere bağlı olarak yukleme doğrultusunda katmerli yüzeylerle

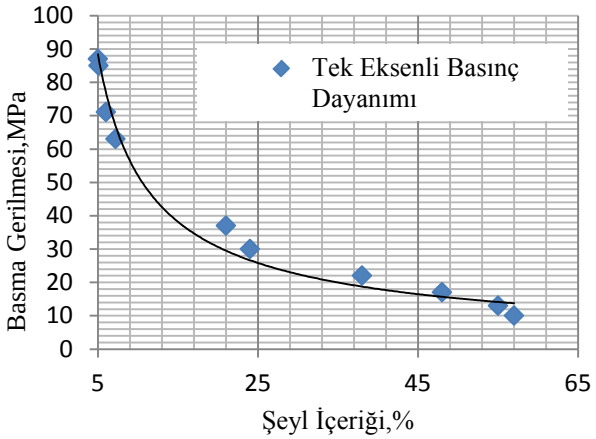
kırılma gerçekleşmiştir. Bu atık yığınlarının plastik olarak stabilitelerinin bozulacağını kanıtlar. Şevler dairesel kayma yüzeylerinde duraysız oluşabilecektedir

Marn numunelerinin ve marnlı şeyl numuneleri farklı gerilme-şekil değişimi gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir.

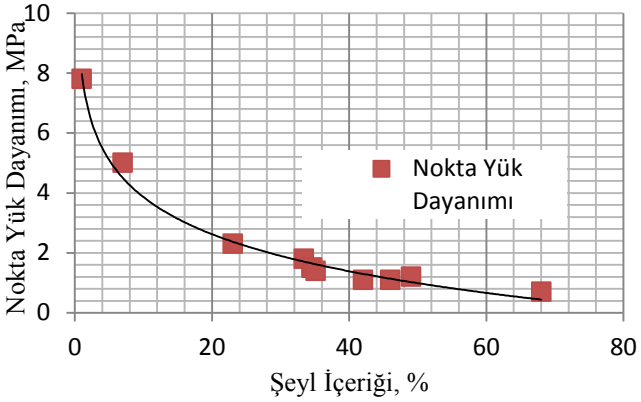
Tek eksenli deneyler sırasında elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde yığın kaya yapısını temsil eden numunelerin kohezyonsuz farklı ani gerilme düşüşleri görülmektedir.

Testlerde numunelerin büyük çoğunluğunda gözenek yapısı ve kırılma aşamasında makro boyutta kırılma gözlenmiştir (Bieniawski 1973, Bieniawski 1989). Parça kaya dolgusunu temsil eden çimentolu bloklar büyük olasılıkla gevşek kaya dolgusunu temsil etmiştir. Ancak arazide iri kaya parçalarınında sıkışmaya maruz kaldığını boşluk oranının düştüğünü gözlemlenmiştir. Heterojen dolgulama bu yoğunluğu arttırdığı gözlenmiştir.

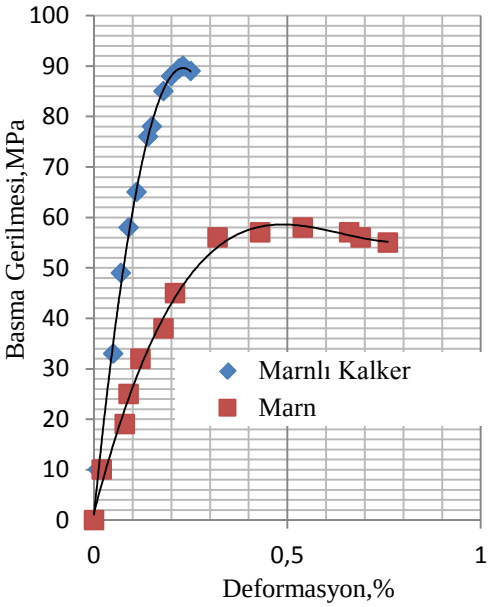
Yığınların sıkışma ile dayanımındaki artışlar çok kırıklı kaya yapısına benzetilmektedir.



Şekil 5. Tek Eksenli Basma Deneyi Marnlı Şeylerin ve Marn ve Kalker için test sonucu.



Şekil 6. Tek Eksenli Basma Deneyi Marnlı Şeylerin ve Marn ve Kalker için test sonucu.



Şekil 7. Marn ve Marnlı Kalker için Tek Eksenli Basma Test Sonucu.

Marn ve şeyli marn zayıf kayaç sınıfına girmektedir. %20 nin üzerinde şeyl iceren marn ve marnlı kalkerler düşük nokta ve basınç dayanımı göstermişlerdir. Bu da daha yüksek şeyl kaya dolgusu kırılma direncini azaltacaktır. Aynı zamanda basma yükünün dağıldığı gözlenmiştir. En yüksek dayanım değerleri ise kayanın boşluk dokusu ve yoğunluğu gibi yapısal özelliklerine bağlı olmuştur.

3.1 Marn-Şeyl Yığınlarının Şev Stabilite Analizi

Yapılan çalışmalara göre yığınların duraysız geliştiği bölgeler ve çevresindeki göreceli hareketlerin gözlendiği alanlar aktif yığın sahası olarak belirlenmiştir. Göreceli

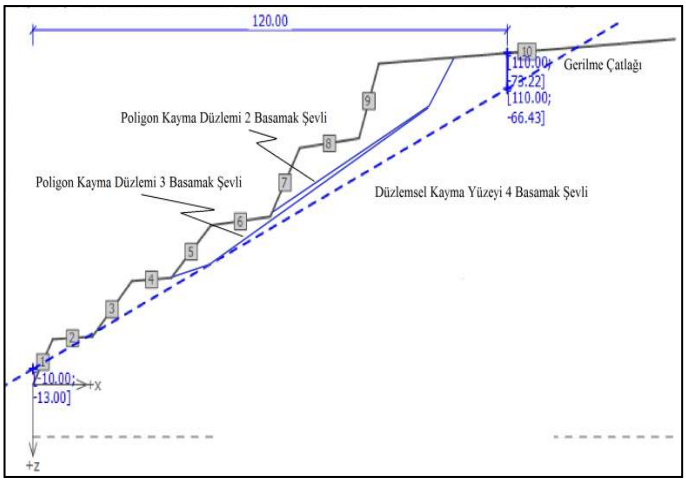
hareketler yüzeydeki gerilme çatlaklarından yararlanılarak belirlenmiştir. Potansiyel kayma alanları ise söz konusu aktif sahaların çevresindeki gerilme çatlaklarının bulunduğu ancak göreceli hareketlerin şu an gözlenemediği alanlara karşılık gelmektedir. İnceleme alanında 4 ayrı yamaçtan alınan topoğrafik kesitler üzerine dolgu örtü zemin ekli yığın dolgu şev kesitler hazırlanmıştır.

Yamaçlara ait güvenlik katsayıları limit denge prensibine göre çizilen değişik kayma yüzeyleri için Bishop, Janbu ve Fellenius yöntemleri ile dairesel kayma diyagramları GEO5 programı kullanılmıştır.

S2 nolu yığında yağışlar sonrasında yamaçta küçük boyutlu hareketlerin olduğu yapılan arazi çalışmalarında gözlenmiştir. S2 ve S3 no'lu yığının geliştiği yamaç iri marn ve şeyl ile kaplıdır (Şekil 8). Şekilde görüldüğü gibi GEO5 analizi için kesitler alınmıştır. S2 nolu yığının tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı bu kesitlerde derinliği 45 m, 35m ve 30 m ve yatay uzanımları 125, 75, 60 m lik yamaçları, şev eğim açısı ise 28°, 32° ve 44°dir. Şekil 10 da görüldüğü gibi 32° eğimli şevde duraysız olabilecek yüzeyler belirlenmiştir. GEO5 programında bu kayma düzlemlerinden 4 basamaklı olan kütle duraysız olarak belirlenmiştir.

Duraysız yamaç bloğu 11-20 m derinden dairesel veya yarı düzlemsel kayabilmektedir. Yapılan incelemelerde S2 nolu yığının bulunduğu yamaçta yer altı su seviyesi 35 m tabanda gözlenmiştir. S2 nolu yığındaki yamaçta yapılan duraylılık hesaplamalarında c′= 9 kPa, φ′=22° , γ doğal = 1.97 g/cm^3 ve γkuru= 2.27 g/cm^3 değerleri kullanılmıştır. γkuru ve γdoğal a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Şekil 9' de görülmektedir**.** Hoek-Bray' a göre güvenlik katsayısı değeri ise 1.5 olarak belirlenmiştir. Şekil 8 incelendiğinde sınır güvenlik katsayısı 1.5 olarak alındığı için Dairesel kayma yüzeylerinin duraylı oldukları kolayca görülebilmektedir. Poligon kayma yüzeyi ise γkuru ya göre yapıldığında sınır değerlerin üzerinde duraylı olduğu, görülmüştür.

Arazi çalışmaları boyunca bu yamaçta yapılan gözlemlerde su akışı dere kenarında meydana gelen malzemeyi alıp götürdüğü ve yağış sonrası da ufak kopmaların, akmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Yamaca ait duraylılık risk haritası ve GEO5 programı ve risk kesiti ile hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 6'te verilmiştir. Buna göre yığının dere kenarı civarında küçük boyutlu kayma riski olduğu görülmektedir.



Şekil 8. S2 İnceleme alanının olası kayma yamaç kesitleri, kayma temsili yüzeyleri.

Yamaç içindeki şeyl yüzdesine göre değerlendirildiğinde kayaç örnekleri kohezyonsuz kayma düzlemleri oluşturmaktadır. Şekil 10 da görüldüğü gibi S2 yamacındaki kritik kesitte yapılan GEO5 FEM analizinde yaklaşık olarak 7m derinliğindeki bir paralel şeyl düzleminde kayma riski incelenmiştir ve ağ dokusu bu zayıf kaygan düzlem üzerinde Şekil 11 de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. 34 mm lik bir yatay deformasyonla duraysızlık göstermiştir. Ancak analizden de görüldüğü gibi topuk bölge duraylılığı arttırmaktadır. Bu nedenle reklamasyon planlamasında şev topuk kaya dolgusu kesitlere eklenmiştir ve stabilite analizleri tekrarlanmıştır.

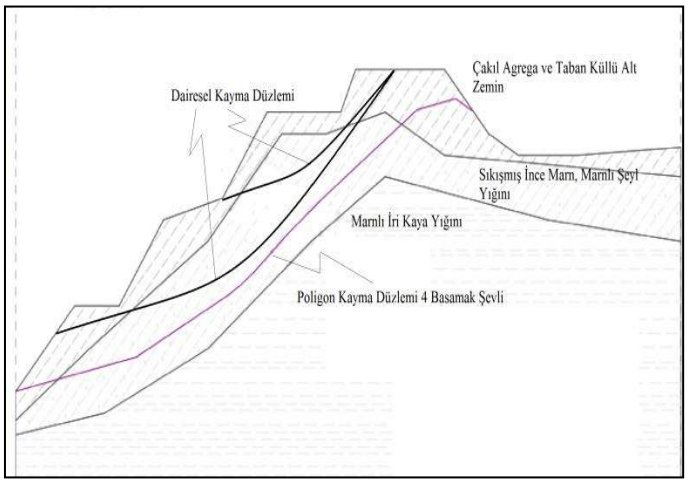
Şekil 12 incelendiğinde S2 ve S3 nolu yamaçlar için 2-4 m genişliğinde sıkı kalker şev topukları tasarlanmıştır. Bu topuklu şevlerin stabil oldukları GEO5 FEM analizinde belirlenmiştir.

Zemindeki optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık belirlenerek, yamaçların stabilite hesaplamalarında kullanılmıştır. Doğal kaya dolgulu bir şevin stabilitesini sıkıştırma

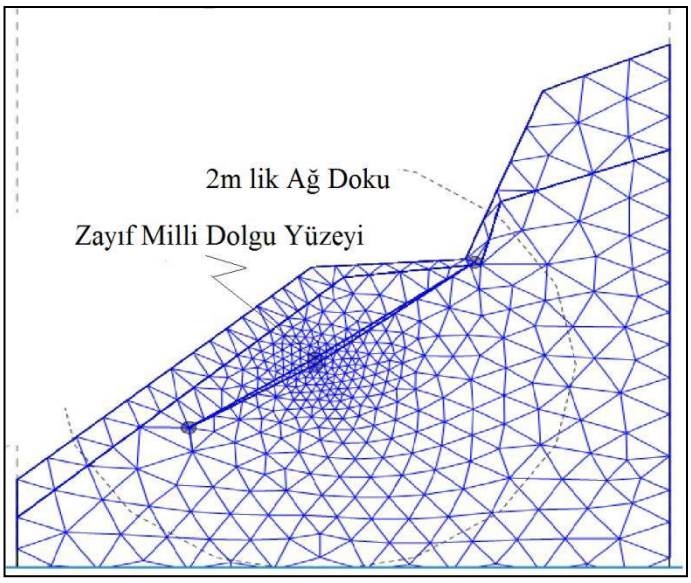
parametreleri pek etkilememiştir. Çünkü bu parametreler istenilen şekilde sıkıştırılan zemine ait parametrelerdir. Yapay şevlerde sıkıştırma parametreleri doğrudan kullanılır. GEO5 programında Fellenius, Bishop ve Janbu ya göre hesaplanması verilmiştir. Fellenius yöntemi; Bu metodlarda kayma yüzeyi dairesel silindiriktir. Kayan kütle mümkün olduğu kadar eşit aralıklarda dilimlere ayrılır (Görög ve Török, 2006, Görög ve Török, 2007).

4 SONUÇ

Yapılan laboratuar deneylerinde c′ ve φ′ efektif ve maksimum direnç parametrelerine göre bulunmuştur. Arazide görülen gerilme çatlaklarında zaman içerisinde hareketlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bu durumda kayma yüzeylerindeki içsel parametrelerin laboratuarlarda bulunanlardan daha küçük çıkacağı başka deyişle kalıcı değerlere daha yakın olacağı açıktır. Bu açıdan sınır güvenlik katsayısı olarak 1.5 değeri alınmıştır.

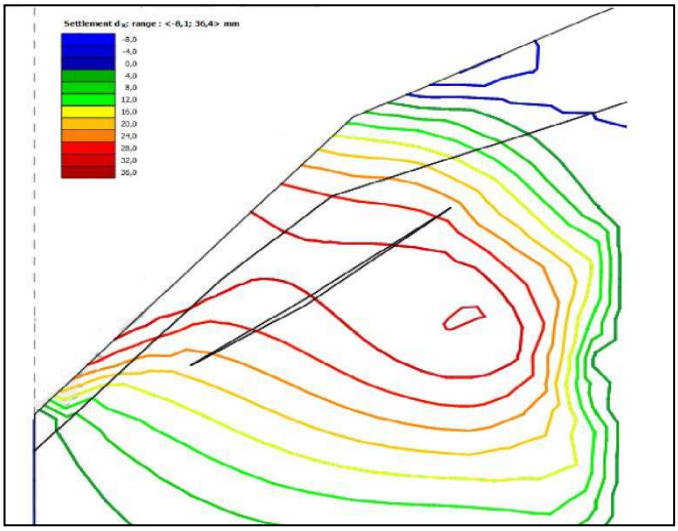


Şekil 9. S2 44°Şevinin GEO5 Şev Stabilite Analizi ve olası kayma yüzeyleri.

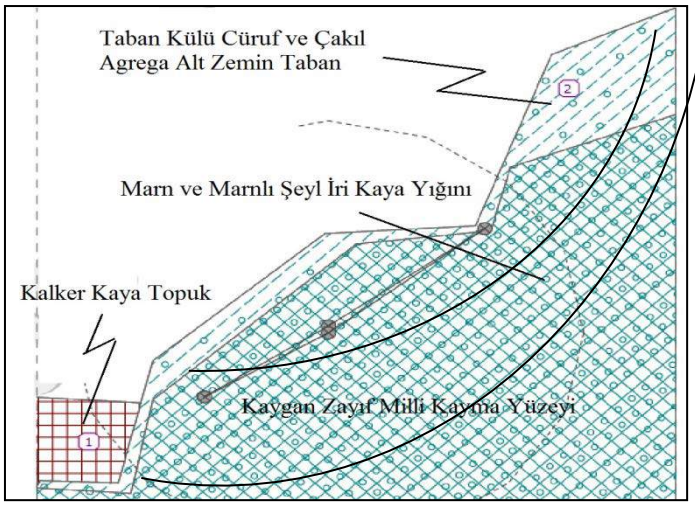


Şekil 10. S2 44°Şevinin olası kayma yüzeyi ve GEO5 FEM Şev Stabilite Analizi Ağ Yapısı.

Efektif içsel sürtünme açısı (φ '°) 17 ° -22.5°, şeyl için etkili kohezyon (c' 0.5-1.8 kPa), azami yoğunluk 1,77-2,25 g/cm^3, doygun birim ağırlık g/cm^3 1,87-2,43 g/cm^3, doğal birim hacim ağırlığı 1,9-2,35 g/cm^3, kuru birim ağırlığı 1,97-2,40 g/cm^3, katı birim ağırlığı (γs) 2.47-2.60 g/cm^3, olarak belirlenmiştir. Geçirgenlik katsayısı $1x10^{-4}$ - $6.5x10^{-4}$ cm/sn belirlenmiştir. Tasarım kesitlerde, GEO 5 FEM programı ile riskli mümkün kritik yüzey gerilimleri incelenmiştir



Şekil 11. S2 44°Şevinin olası kayma yüzeyi ve GEO5 FEM Şev Stabilite Analizi, Yatay 36 mm lik deformasyon değişimi.



Şekil 12. İncelenen Reklamasyon Şevlerinin tipik Kaya Dolgu Topuklu kesiti S2 İnceleme alanının olası kayma yamaç kesitleri, kayma temsili yüzeyleri.

Kaya dolgu dökümü tasarlanmıştır ve basamaklı yamaçlarda tarıma elverişli alanlar sağlanmıştır. Kaya dolgusu ile S2 ve S3 Nolu yamaç şevlerinin riskli olduğu tespit edilmiştir. GEO5 FEM programı aracılığıyla kalker topuk dolgu dökümü ile stabilitenin arttırıldığı bulunmuştur.

Bu çalışmada, Şırnak kömür maden atık sahalarının tasarımı, çevre toprak numunelerinin analizleri yapılarak uygun toprak türünün örtülmesi ve uygun sulama sisteminin tasarımı GEO5 programı ile ÇED değerlendirilmesi yapılmıştır. Alternatif toprak örtü dolgulama sistemlerinden marn agrega ve taban külü zemin olarak değerlendirilmiştir.

Zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuar deneyleri sonucunda yamaç zemin malzemesinin geçirimli olduğu, kohezyon değerinin 0.3 - 2.2 kg/cm^2, içsel sürtünme açısının 17.5 – 22.4^o arasında değiştiği, birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre yamaç malzemesinin genelde kohezyonsuz kumsu zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında gerçekleştirilen duraylılık analizlerinden, S2 ve S3 nolu yamaçların stabil olduğu, ancak topuk kalker dolgu ile stabilitenin arttırılması sonucuna varılmıştır.

Bitki örtüsü bakımından şevlerin değerlendirilmesi yığının stabilitesinde önemli bir parametredir. Ancak derinliği 10 m üzerinde olan kayma yüzeyleri için bitki örtüsünün duraylılığa etkisi azalacaktır. Çalışma alanında ayrışma sonucu zayıflayan kayaçlar kolayca erozyona uğramakta yamaç ve şevlerin eğim açıları ile yüksekliklerini değiştirmektedir. Çalışma alanındaki zeminde görülen erozyonda şevin rekultivasyonunu bozmuştur.

Çalışma alanında gerçekleştirilen jeoteknik analiz neticesinde, gelecekte çok büyük boyutlu yığınlar için tehlike değerlendirilmeli ve sahaya uygun reklamasyon yöntemleri belirlenmelidir. Ayrıca çalışma alanının proje kapsamında kentsel kullanıma açılacak olması sebebiyle de bölgede duraysızlığı önleyici yöntemler araştırılması ve geliştirilmesi ayrı bir önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Anderson, M.G., Richards, K.S., 1982, *Slope Stability*, John Wiley and Sons Ltd., New York.

Anonim, 1977. Silopi Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ.

Anonim, 2013, GEO5 - Engineering Manuals-Part 1, Part2., http://www.finesoftware.eu/geotechnical-software/

Anonim, 2009, GEO5 - FEM - Theoretical Guide http://www.finesoftware.eu/geotechnical-software

Anonim, 2011, "*Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası*", Afet ve Acil durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara

Anonim, 2012, Şırnak İl Özel İdare Raporları, Şırnak

ASTM D3080, 2014, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Condition", ASTM, Philadelphia

ASTM, C 618, 2014 "Standart Specifications For Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Puzzolan For Use As Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", ASTM Philadelphia.

Bishop, A.W., 1955, The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes, *Geotechnique*, Vol. 5, 7-17.

Bieniawski Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans S Afr Inst Civil Eng* 15, 12, s.335–344

Bieniawski Z.T., 1989. *Engineering rock mass classification*. McGraw-Hill, New York, 237 pp

Cernica, J.N., 1995, *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*, John Wiley and Sons Inc., Canada.

Das, B.M., 1994, *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publishing Company, USA

Delibalta M.S., 2012, Madencilik ve çevre ilişkilerinin ekonomik boyutu, Madencilik ve çevre yönetimi semineri, Afyonkarahisar, s.21.

Höek, E., 1970, *Estimating the Stability of Excavated Slopes in Opencast Mines*, Institution of Mining and Metallurgy, A105, A132

Höek, E. ve Bray, J.W., 1977, *Rock Slope Engineering*, Stephen Austin and Sons Ltd, Hertford, 402 s.

Höek, E., 2013. *Practical Rock Engineering*, Hoek notes by Evert Hoek. http://www.rocscience.com

Görög P & Török Á, 2006, Stability Problems of Abandoned Clay Pits in Budapest, *IAEG2006* P295, The Geological Society of London

Görög P & Török Á, 2007 Slope stability assessment of weathered clay by using field data and computer modeling: a case study from Budapest ,*Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 417–422, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net

Gregory, P.S., Nortcliff, S., 2013, Soil conditions and plant growth, Wiley-Blackwell Pub., ISBN 978-1-4052-9770-0

Güz, H , 1987, "Geoteknikte Gelişmeler", DSİ Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Samsun

Işıganer, T., 1985, Mardin-Silopi-Harbul (Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına Ait Jeoloji Raporu, MTA, Radyoaktif Mineraller ve Kömür Daire Başkanlığı

Lambe, W.T. ve Whitman, R.V., 1969, *Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York

Langan, B. W. , K. Weng, M. A. Ward, Effect Of Silica Fume And Fly Ash On Heat Of Hydration Of Portland Cement. *Cement And Concrete Research*. 2002. 1045-1051.

Mallı T., Köse H., Deliormanlı A.H., Karakuş D., 2011, Linyit açıkişletm madenciliğinde reklamasyon ve rekültivasyon uygulamasınınteknik ve ekonomik değerlendirmesi, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, ISBN 978-605-01-0113-3, İzmir, s. 103-112

Morgan RPC, 2005, Soil erosion and conservation, Blackwell Publishing.

Okyay V., Aydın O., 2013, Madenlerde saha düzenlemesi (rekültivasyon ve rehabilitasyon), Madencilik Türkiye, s.64-78.

Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C, 1991, *Kaya Şev Stabilitesi*, 2. Baskı , T.M.M.O.B Maden Müh. Odası Yayınları, Ankara, Mayıs,.

Pruška, J., 2009, Comparison of geotechnic softwares - Geo FEM, Plaxis, Z-Soil , *XIII ECSMGE*, Vanícek et al. (eds). CGtS, Prague,ISBN 80-86769-01-1, (Vol. 2)

Şimşir F., Pamukçu Ç.,Özfırat M.K., 2007, Madencilikte rekültivasyon ve doğa onarımı, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 2, s.39-49.

TS EN 12390-3 2003. *Beton-Sertlesmis Beton Deneyleri- Bölüm 3*: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.

Ünal E., Kara, D., Vatan, B., 1992, Açık ocak kömür madenciliği sırasında bozulan işletme sahalarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi, Madencilik, 31, 1, s.5-16.

Wiley, L., 1987 "Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology", England,

Ultrasonik P- Dalga Hızı Yöntemi ile Macun Dolgu Dayanımının Tahmini

Prediction of the Uniaxial Compressive Strength of Paste Backfill by Ultrasonic Pulse Velocity Test

T. Yılmaz, B. Erçıkdı
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada, Kastamonu-Küre bakır işletmeleri atık barajından alınan atıklar kullanılarak farklı karışım özelliklerinde (bağlayıcı oranı, su/çimento oranı ve 20μm altı malzeme miktarı) 10x20 cm boyutunda macun dolgu numuneleri hazırlanmıştır. 7-56 günlük kür süreleri sonunda ultrasonik P- dalga hızı (*Vp*) ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) testleri yapılarak *Vp* testi ile dolaylı olarak TEBD'nin tahmini amaçlanmıştır. Bütün karışım özelliklerinde *Vp* ile TEBD doğrusal olarak artmış ve yüksek korelasyon katsayıları (r≥0,90) elde edilmiştir. *Vp*-TEBD grafiklerine ait korelasyon katsayılarının ve doğru denklemlerinin güvenilirliğini belirlemek için *t*- ve F- testleri yapılmış ve *Vp*-TEBD ilişkisinin anlamlı olduğu ortaya konmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen basınç dayanımları arasındaki farkların düşük olmasından dolayı numunelerin sadece *Vp* testi yapılarak hızlı, basit ve güvenilir bir şekilde basınç dayanımlarının tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Macun dolgu**,** P- dalga hızı, TEBD

ABSTRACT: In this study, cemented paste backfill (CPB) samples with diameter x height of 10x20 cm produced from dam tailings where Kastamonu-Kure copper mine were prepared at different mixture properties (at varying binder dosages, water to cement ratios and particle size distributions). UCS of CPB samples was indirectly predicted using *Vp* and UCS test over a curing period of 7-56 days. In all mixture properties, *Vp* and UCS were linearly increased and strong correlation coefficients (r≥0.90) were obtained. Student's *t*- and F- (Anova) tests practiced for the determination of the significance of r values and fitting equations of UCS graphs and it was presented that the relationship between *Vp* and UCS is significant. As the gaps between measured UCS and predicted UCS were low, it was determined that UCS can be predicted rapidly, easily and reliably by only *Vp* test of samples.

Keywords: Paste backfill, P wave, UCS

1 GİRİŞ

Ultrasonik P- dalga hızı testi (*Vp*); hasarsız, güvenilir, ucuz ve kolay uygulanabilen bir metot olmasından dolayı son yıllarda hem laboratuvar hem de arazi koşullarında kaya veya çimento içerikli malzemelerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en popüler tekniklerden birisidir.

Kaya ve çimento içerikli malzemelerin ultrasonik P- dalga hızı, bozulmamış kaya ve el yapımı beton veya macun dolgu özellikleri ile yakından ilişkili olduğu için P- dalga hızı bilinirse, ultrasonik ve mekanik özellikler arasındaki bilinen ilişki kullanılarak geoteknik özelliklerdeki değişim belirlenebilir (Khandelwal ve Ranjith, 2010; Yılmaz vd., 2014). Ultrasonik P- dalga hızı (*Vp*) testinin kullanımına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Sharna ve Singh (2008), farklı tipteki kayaçların P- dalga hızı ve diğer mekanik özellikleri (darbe dayanımı, suda dağılmaya karşı dayanıklılık testi ve tek eksenli basınç dayanımı) arasındaki ilişkisini araştırmıştır. Chary vd. (2006), kayaçların

mühendislik özelliklerini (kırılganlık, sertlik ve kırılma tokluğu) tahmin etmek için P-dalga hızını ölçmüşlerdir. Bazı araştırmacılar, yapı taşlarının bozunma-ayrışma derinliğinin tahmini (Zezza, 1993; Christaras, 2003) ve Ankara andezitinin bozunma derecesini belirlemek (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997) için ultrasonik P-dalga hızı testini kullanmışlardır. Ayrıca Kahraman (2007), yapı taşlarının plaka üretim verimliliğinin tahmininde ve kalite sınıflamasında *Vp* testinin kolayca uygulanabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, *Vp* testi maden tüneli etrafındaki gerilme dağılımının ve tünel kazısından kaynaklanan hasar sıklığının tahmininde (Wright vd., 2000), bir kaya yapısında patlatma/parçalanma verimliliğinin (Turk ve Dearman, 1987) ve kayaçların ısıl iletkenliğinin belirlenmesinde (Özkahraman vd., 2004) kullanılmıştır. Diğer araştırmacılar farklı tip kayaçların (Yağız, 2011; Altındağ, 2012) ve beton numunelerinin (Ulucan vd., 2007; Türkmen vd., 2010) tek eksenli basınç dayanımının (TEBD) istatistiksel analizler ile tahmin edilebilirliğini ortaya koymak amacıyla P-dalga hızı ve mekanik özellikleri arasında ilişki kurmaya çalışmışlardır. Birçok araştırmacı kaya ve çimento içerikli malzemelerin ultrasonik P- dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır (Demirboğa vd., 2004; Kahraman ve Yeken, 2008; Sharna ve Singh, 2008; Khandelwal ve Ranjith, 2010; Türkmen vd., 2010; Yağız, 2011; Altındağ, 2012; Yılmaz vd., 2014).

Çimentolu macun dolgu (CPB), ince boyutlu (<20µm malzeme miktarı en az %15) cevher zenginleştirme atıkları (ağırlıkça katı oranı %75-85), bağlayıcı (katı miktarına göre ağırlıkça %2-9) ve istenen akışkanlığı ve katı oranını (%70-80) sağlamak için ilave edilen suyun başarılı bir karışımı olarak ifade edilmektedir (Yılmaz vd., 2011; Ercikdi vd., 2014). Macun dolgunun belirlenen bir zamanda tek eksenli basınç dayanımı testinin yapılması en önemli parametredir. Çünkü komşu cevher odalarının (stope) üretimi esnasında cevher seyrelmesinin engellenmesi ve maden çalışanlarının güvenliğinin sağlanması için yeraltında yerleştirilen macun dolgunun duraylı kalması gerekmektedir.

Kaya, beton ve macun dolgu tasarımı için tek eksenli basınç dayanımı testi, genellikle silindirik (boy/çap oranı= 2/1) numuneler ile gerçekleştirilmektedir (Darlington vd., 2011). Laboratuvar koşullarında birçok araştırmacı, (Tariq ve Nehdi, 2007; Fall vd., 2008; Yılmaz vd., 2009; Ercikdi vd., 2010; Cihangir vd., 2012) macun dolgunun mekanik performansını değerlendirmek için yaygın olarak 10x20 cm boyutundaki silindirik numuneleri kullanmışlardır. Pratikte, maden operatörleri ise, aynı numune boyutunda hazırlanan dolgu örneklerinden elde edilen sonuçlara göre dolgu tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir (Landriault ve Deneka, 2000; Kesimal vd., 2010; Kesimal vd., 2012). Ucuz, zaman almayan, ve pratik bir metot olarak bilinen ultrasonik P- dalga hızı yöntemi kaya ve beton malzemelerin basınç dayanımı tahmininde (Sharna ve Singh, 2008; Trtnik vd., 2009; Yağız, 2011) geniş ölçüde yararlanılmasına rağmen, macun dolgu numunelerinin basınç dayanımının tahmin edilebilirliğinde ultrasonik P- dalga hızının kullanımına yönelik detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Bu bağlamda, macun dolgu numuneleri üzerinde geleneksel tek eksenli basınç dayanımı testi yapılmaksızın sadece P- dalga hızı testlerinin yapılması basınç dayanımının hızlı, güvenilir ve daha kısa sürede tahmin edilebilirliği açısından faydalı olabilir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

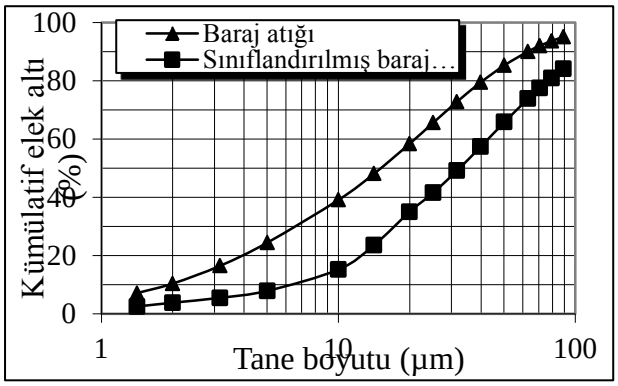
2.1 Atık ve Bağlayıcı Malzeme

Eti Bakır Kastamonu-Küre işletmesi atık barajı boşaltım noktasının 40m ilerisinden alınan atık malzemenin belli bir miktarı hidrosiklon vasıtasıyla sınıflandırma işlemine tabi tutularak ince (şlam) boyutlu malzeme uzaklaştırılmış ve 500 kg kapasiteli varillerle KTÜ Macun Dolgu Laboratuvarına getirilmiştir (Şek. 1).

Malvern Mastersizer ile atık malzemeler üzerinde yapılan tane boyut dağılımı analizi sonuçlarına göre 20µm altı malzeme miktarı

baraj atığı için %58,42, sınıflandırılmış (şlamı uzaklaştırılmış) baraj atığı için %35,04 olarak belirlenmiştir. Her iki atık malzemenin de (Baraj atığı ve Sınıflandırılmış baraj atığı) orta taneli macun dolgu malzemesi (malzemenin ağırlıkça %35-60<20µm) sınıfına girdiği görülmektedir (Şek. 2).

Şekil 1. Atık malzemenin atık barajından alınması.



Şekil 2. Atıkların tane boyut dağılımları.

Atıkların kimyasal bileşimi XRF ve yaş kimyasal analiz sonucu ICP AES cihazı ile sülfür içeriği ise gravimetrik analizle belirlenmiştir (Tablo 1). Normal ve sınıflandırılmış baraj atıklarının sülfür içeriği oldukça yüksektir. Sınıflandırma işlemi (şlam uzaklaştırma) sonucu ince fraksiyonlardaki silikat minerallerinin uzaklaşmasıyla baraj atığının SiO_2+Al_2O_3 içeriği azalmış ve sülfür içeriği artmıştır (%27,82). Örneğin, atık içerisindeki ince malzeme miktarının azalmasıyla baraj atığının SiO_2+Al_2O_3 içeriği %32,48'den %26,63'e düşmüştür. Ayrıca atık içerisindeki iri tane miktarının artmasıyla birlikte özgül yüzey alanın azaldığı ve özgül ağırlığın arttığı görülmüştür.

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı malzeme olarak; Karçimsa'dan temin edilen yüksek fırın cüruflu çimento (CEM III/A 42,5 N) kullanılmıştır. Kullanılan bağlayıcıların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. CEM III/A 42,5 N tipi çimento dayanım ve duraylılığı artırmak ve bağlayıcı maliyetlerini azaltmak için %35 oranında öğütülmüş yüksek fırın cürufu içermektedir.

2.2 Numunelerin Hazırlanması

Önceden belirlenmiş kür süreleri (7, 14, 28 ve 56 gün) sonunda ultrasonik P- dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı testlerine tabi tutulmak üzere, atık, bağlayıcı ve su kullanılarak farklı karışım özelliklerinde (bağlayıcı oranı, su/çimento oranı ve 20µm altı malzeme miktarı) ve 10x20 cm boyutunda macun dolgu numuneleri hazırlanmıştır. Macun dolgu karışımının istenen akışkanlığa (kıvama) gelmesi için karışım içerisine gerekli miktarda musluk suyu ilave edilmiştir. Karışımın (atık malzeme, bağlayıcı ve su) homojen bir şekilde hazırlanması için 20,8 lt kapasiteli Univex SRMF 20 model mikser kullanılmıştır. Karıştırma işlemi 105 devir/dk'lık dönme hızında 7 dakika süreyle yapılmıştır. Macun dolgu numunelerinin hazırlanmasında kullanılan deneysel çalışma koşulları Tablo 2'de verilmiştir.

Hazırlanan macun dolgu karışımı 10x20 cm boyutlarındaki drenajlı silindirik numune kalıplarına dökülmüş ve 7-56 günlük kür süresi aralığında kür odasında (%80 nem ve 25C° sıcaklık) bekletilmiştir. Her bir kür süresi için 3 adet olmak üzere toplam 72 adet numune hazırlanmıştır (Şek. 3).

Şekil 3. Kür odasındaki dolgu numunelerinin görünümü.

Tablo 1. Atık ve bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellikler	Baraj atığı (%)	Sınıflandırılmış Baraj atığı (%)	CEM III/A 42,5 N (%)
Kimyasal bileşim			
SiO_2	25,80	21,21	27,58
Al_2O_3	6,68	5,42	7,04
Fe_2O_3	39,83	45,43	2,37
MgO	2,14	2,21	3,91
SO_3	-	-	2,91
CaO	2,79	1,64	52,75
Na_2O	0,35	0,24	0,25
K_2O	0,42	0,31	1,06
TiO_2	0,43	0,38	0,40
P_2O_5	0,03	0,03	0,03
MnO	0,06	0,05	1,00
Cr_2O_3	0,02	0,017	0,015
Kızdırma kaybı	20,6	21,9	2,8
Toplam	99,15	98,84	99,87
Sülfür içeriği (S^{-2}) (%)	23,18	27,82	-
Pirit içeriği (FeS_2) (%)	43,47	52,16	-
Fiziksel özellikler			
Özgül ağırlık	3,66	3,81	3,08
Özgül yüzey (cm^2/g)	4630	1810	4260
Eğrilik katsayısı ($C_c=(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$)	0,99	1,74	-
Üniformluk katsayısı ($C_u=(D_{60}/D_{10})$)	11	10,84	-

Tablo 2. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan deneysel çalışma koşulları.

Karışım özellikleri	Katı oranı, (KO)[1], Ağr. %		Bağlayıcı oranı (BO)[2], Ağr. %		Su/çimento oranı (w/c)[3]		20µm altı malzeme miktarı (Ağr. %)		Slamp (cm)	
	Baraj atığı	S. baraj atığı	Baraj atığı	S. baraj atığı	Baraj atığı	S. baraj atığı	Baraj atığı	S. baraj atığı	Baraj atığı	S. baraj atığı
Bağlayıcı oranı	74,58	-	5,0 6,0 7,0		6,82 5,68 4,87	-	-		19,05	
Su/çimento oranı	75,58 74,58 73,58	-	7,0		4,62 4,87 5,13				16,51 19,05 21,59	
20µm altı malzeme miktarı	74,58	80,17			4,87	4,38	58,42	35,04	19,05	

1 $KO: \frac{100 \times (M_{kuru-atık+} M_{kuru-bağlayıcı})}{(M_{kuru-atık+} M_{kuru-bağlayıcı} + M_{su})}$; 2 $BO: \frac{100 \times (M_{kuru-bağlayıcı})}{(M_{kuru-bağlayıcı} + M_{kuru-atık})}$; 3 $w/c: \frac{M_{su}}{M_{kuru-bağlayıcı}}$; *(M: Ağırlık)*

2.3 Ultrasonik P- Dalga Hızı Testi

Hazırlanan 72 adet silindirik macun dolgu numunesinin ultrasonik P- dalga hızı testleri, önceden belirlenen kür süreleri (7, 14, 28 ve 56 gün) sonunda ASTM C 597 (2009) standartlarına uygun olarak 0,1µs hassaslıkta sinyal süresine ve 54 kHz sinyal frekansına sahip Pundit-Plus model test cihazı ile yapılmıştır (Şek. 4a). Test yöntemi olarak daha güvenli olduğu ve doğru sonuçlar verdiği için doğrudan iletim (geçiş) tekniği kullanılmış ve numunelere temas ettirilen gönderici ve alıcı jeofonlara herhangi bir baskı uygulanmamıştır. Test işleminden önce numunelerin alt ve üst yüzeyleri düzeltilmiş ve pürüz kalmaması sağlanmıştır. Numunelerin boyu (uzunluk) 0,1mm hassaslığa sahip kumpas ile ölçülerek

kaydedilmiştir. Daha sonra ölçüm yapılacak numunenin alt ve üst yüzeyleri ile alıcı ve gönderici jeofon arasında sağlıklı bir bağlantı kurmak ve hava boşluklarını engellemek için jeofonların yüzeyleri vazelin ile kaplanmıştır. Alınan okumalar sonucunda en düşük geçiş süresi test sonucu olarak kaydedilerek ultrasonik P- dalga hızı belirlenmiştir.

2.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Testi

Macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testi, Şekil 4b'de görüldüğü üzere önceden belirlenen kür süreleri sonunda yük kapasitesi 50kN ve 0,5 mm/dk'lık bir yükleme hızına sahip ELE marka bilgisayar kontrollü basınç ve deformasyon ünitesinde ASTM C 39 (2012) tarafından önerilmiş yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Her bir kür süresi için 3 adet numune test edilmiş ve sonuçlar bu numunelerden elde edilen değerlerin ortalaması olarak alınmıştır.

Şekil 4. Ultrasonik P- dalga hızı (a) ve tek eksenli basınç dayanımı (b) testi.

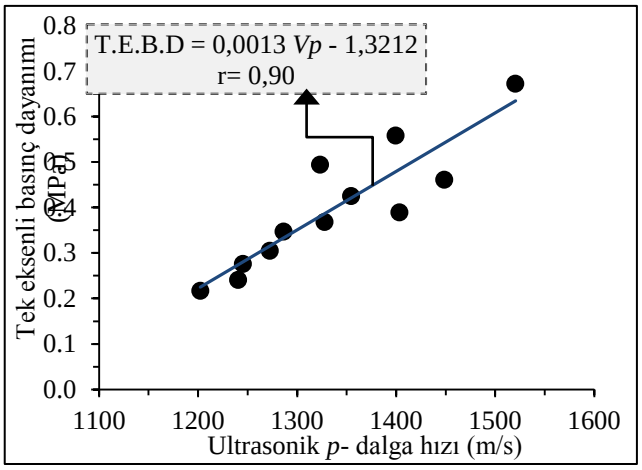
3 BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1 İstatistiksel Analiz

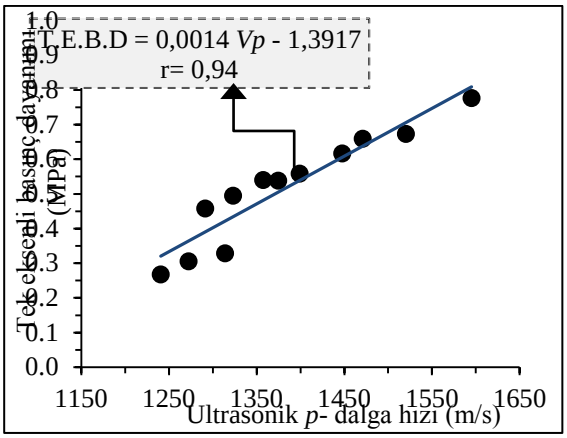
Literatürde, bilinen değişkenlerden yararlanarak bilinmeyen değişkenleri tahmin etmeye yönelik basit veya karmaşık analizler içeren doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Kahraman, 2001; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Sharna ve Singh, 2008; Trtnik vd., 2009; Yağız, 2011; Yılmaz 2013; Ercikdi vd., 2014).

Bu çalışmada, ultrasonik P- dalga hızı (*Vp*) ile tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için ampirik (deneysel) eşitliklerin korelasyon katsayıları (r) Microsoft Excel yardımıyla hesaplanmış ve *Vp* testinden TEBD'nin tahmin edilebilirliğini araştırmak için %95 güven aralığında ($\alpha<0,05$) regresyon analizleri (*t*-test ve F-test) yapılmıştır.

Vp-TEBD ilişkisinin incelendiği grafiklerin (Şek. 5-7) korelasyon katsayıları (r) ve eşitlikler Tablo 3'de özetlenmiştir. En uygun ilişki, doğrusal (lineer) ilişki metoduyla sağlanmıştır. Bağlayıcı oranı (r= 0,90; Şek. 5), su/çimento oranı (r= 0,94; Şek. 6) ve 20µm altı malzeme miktarının (r= 0,92; Şek. 7) etkisinin incelendiği *Vp*-TEBD ilişki grafiklerinden korelasyon katsayılarının oldukça yüksek çıktığı belirlenmiştir



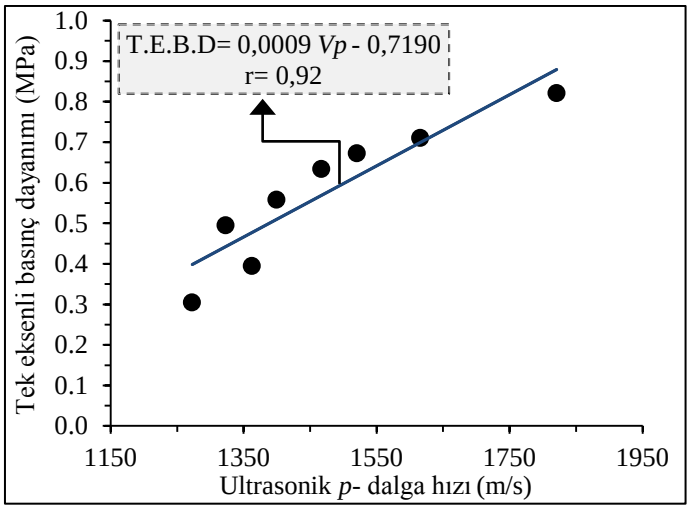
Şekil 5. Bağlayıcı oranının *Vp*-TEBD ilişkisine etkisi.



Şekil 6. Su/çimento oranının *Vp*-TEBD ilişkisine etkisi.

Tablo 3. *Vp*-TEBD ilişkisine ait eşitlikler ve korelasyon katsayıları (r).

Karışım Özellikleri	Basınç Dayanımı Eşitliği (y= ax± b)	Korelâsyon Katsayısı (r)	Eşitlik No
Bağlayıcı oranı	TEBD = 0,0013 *Vp* - 1,3212	0,90	(1)
Su/çimento oranı	TEBD = 0,0014 *Vp* - 1,3917	0,94	(2)
20µm altı malzeme miktarı	TEBD = 0,0009 *Vp* - 0,7190	0,92	(3)



Şekil 7. 20µm altı malzeme miktarının *Vp*-TEBD ilişkisine etkisi.

Farklı kayaçlardan (sedimanter, metamorfik vb.) alınan karot örnekleri üzerinde yapılan P- dalga hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkileri inceleyen Yaşar ve Erdoğan (2004); korelasyon katsayısını (r) 0,80, Sharna ve Singh (2008); 0,90, Yağız (2011); 0,92 ve Altındağ (2012); 0,76 elde ederken, Türkmen vd. (2010) beton numuneleri üzerinde yaptıkları araştırmada basınç dayanımı ile P- dalga hızı arasında r= 0,94 korelasyon katsayısına sahip güçlü bir üstel ilişki ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada da önceki araştırmacılar ile benzer olarak yüksek korelasyon katsayılarına ($r \geq 0,90$) sahip güçlü ilişkiler elde edilmiştir.

Elde edilen ilişkilere ait korelasyon katsayılarının (r) anlamlı olup olmadığını belirlemek için, SPSS Statistics 17.0 programı yardımıyla *t*- testi yapılmıştır. Bu test, hesaplanan *t*- değeri (t_{hesap}) ile kritik *t*-değerlerinin (t_{tablo}) karşılaştırılması esasına dayanmaktadır (Tüysüz ve Yaylalı-Abanuz, 2012). Student's *t*- testi için %95 güven aralığı ($\alpha<0,05$) seçilmiş ve hipotezler kurulmuştur (H_0= Korelasyon anlamsızdır, H_1= Korelasyon anlamlıdır). Bütün karışım özelliklerinde yapılan testlerde kurulan hipotezlere göre hesaplanan *t*- değeri (t_{hesap}) kritik *t*- değerinden (t_{tablo}) daha büyük ($t_{hesap} > t_{tablo}$) olduğu için sıfır hipotezi (H_0) reddedilmiş ve alternatif hipotez (H_1) kabul edilmiştir. Sonuç olarak tüm eşitliklerin korelasyon katsayılarının anlamlı olduğuna karar verilmiştir (Tablo 4).

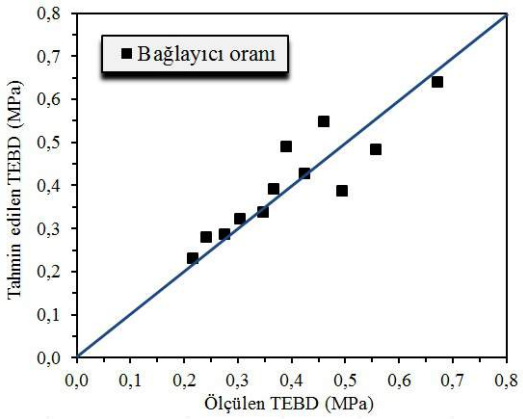
Ayrıca elde edilen eşitliklerin (denklemlerin) anlamlı olup olmadığını belirlemek için, F- testi (Anova-regresyon testi) yapılmıştır. Yapılan F- testine göre hesaplanan F- değeri (F_{hesap}) ile kritik F-değerleri (F_{tablo}) karşılaştırılmıştır (Tüysüz ve Yaylalı-Abanuz, 2012). Bu test için de %95 güven aralığı ($\alpha<0,05$) seçilerek hipotezler kurulmuştur (H_0= Regresyon anlamsızdır, H_1= Regresyon anlamlıdır). Bu hipotezlere göre hesaplanan F- değeri (F_{hesap}) kritik F-değerinden (F_{tablo}) daha büyük ($F_{hesap} > F_{tablo}$) olduğu için sıfır hipotezi (H_0) reddedilmiş ve alternatif hipotez (H_1) kabul edilmiştir. Bu bağlamda tüm grafiklerin denklemleri (eşitlikleri) anlamlı bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. *t*- test ve F- test sonuçları.

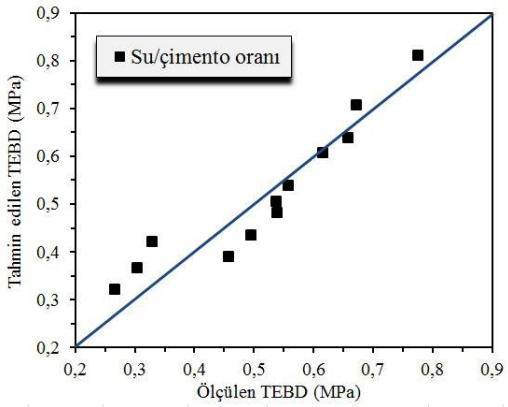
Eşitlik No	Korelasyon Katsayısı (r)	t_{Hesap}	t_{Tablo}	F_{Hesap}	F_{Tablo}
(1)	0,90	6,529	±2,23	42,278	2,98
(2)	0,94	8,816	±2,23	77,684	2,98
(3)	0,92	5,697	±2,45	32,453	4,28

3.2 Ölçülen ve Tahmin Edilen Basınç Dayanımı İlişkisi

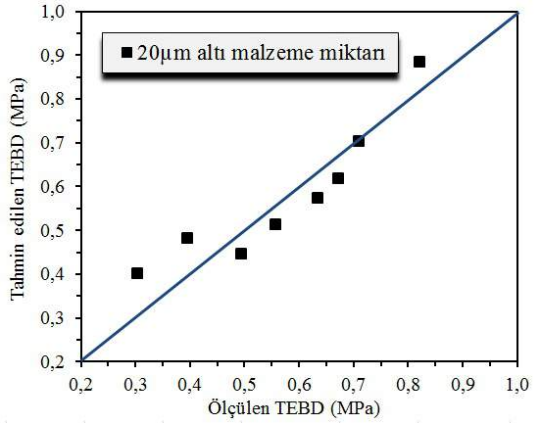
Macun dolgu numunelerinden elde edilen *Vp* ve TEBD verileri arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu istatistiksel analizler sonucu belirlenmiştir. Farklı karışım özelliklerinde hazırlanan *Vp*-TEBD ilişkisi grafiklerinden elde edilen Tablo 3'deki eşitlikler vasıtasıyla sadece ultrasonik P- dalga hızı testi yapılarak tahmin edilen tek eksenli basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Tahmin edilen TEBD ile ölçülen TEBD değerleri, 1:1 eğim çizgisi kullanılarak Şekil 8-10'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Ölçülen TEBD - tahmin edilen TEBD ilişkisi.



Şekil 9. Ölçülen TEBD - tahmin edilen TEBD ilişkisi.



Şekil 10. Ölçülen TEBD - tahmin edilen TEBD ilişkisi.

Şekil 8-10'da görüldüğü üzere, farklı karışım özelliklerinde hazırlanan macun dolgu numunelerinin ölçülen basınç dayanımı ile tahmin edilen basınç dayanımı değerlerinin genel olarak birbirine oldukça yakın çıktığı görülmektedir. Ölçülen ve tahmin edilen basınç dayanımı değerleri arasındaki fark, düşük basınç dayanımı değerlerinde oldukça az iken basınç dayanımının artması ile bu fark, bazı verilerde biraz daha artmıştır.

Şekiller, tek eksenli basınç dayanımının, ultrasonik P- dalga hızı testi ile hızlı, güvenilir ve basit bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermektedir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kastamonu-Küre bakır işletmeleri atık barajından sağlanan tesis atıkları kullanılarak farklı karışım özelliklerinde (bağlayıcı oranı, su/çimento oranı ve 20µm altı malzeme miktarı) 10x20 cm boyutunda macun dolgu numuneleri hazırlanmıştır. 7-56 günlük kür süreleri sonunda ultrasonik P- dalga hızı (*Vp*) ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) testleri yapılmış ve *Vp*-TEBD arasındaki ilişki incelenerek aşağıdaki ampirik (deneysel) eşitlikler elde edilmiştir.

TEBD = 0,0013 *Vp* - 1,3212 (r= 0,90; 1)

TEBD = 0,0014 *Vp* - 1,3917 (r= 0,94; 2)
TEBD = 0,0009 *Vp* - 0,7190 (r= 0,92; 3)

Vp-TEBD arasındaki ilişki, korelasyon katsayıları ve eşitliklerin anlamlı olup olmadığı hususunda *t*- ve F- testleri ile değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda tüm r değerleri ve eşitliklerin anlamlı (uyumlu) olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma, benzer karışım özelliklerinde (bağlayıcı oranı, su/çimento oranı ve 20µm altı malzeme miktarı) hazırlanan 10x20 cm boyutundaki macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımının ultrasonik P-dalga hızı testi yapılarak ve ampirik (deneysel) eşitlikler kullanılarak hızlı, güvenilir ve basit bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Altındag, R, 2012. Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks, *Journal of the South* African *Institute of Mining and Metallurgy*, 34, 4, 947–953.

ASTM C 597, 2009. Standard test method for pulse velocity through concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, American Society of Testing Material.

ASTM C 39, 2012. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, *Annual Book of ASTM Standards*, American Society of Testing Material.

Chary, K.B, Sarma, L.P., Prasanna Lakshmi, K.J. Vijayakumar N.A, Naga Lakshmi V, Rao, M.V.M.S, 2006. Evaluation of engineering properties of rock using ultrasonic pulse velocity an uniaxial compressive strength, *Proceedings. National Seminar on non-destructive evalution*.

Christaras, B, 2003. P- wave velocity and quality of building materials, *Proceedings of the international symposium industrial minerals and building stones*, pp. 295-300, İstanbul.

Cihangir, F, Ercikdi, B, Kesimal, A, Turan, A, Deveci, H, 2012. Utilisation of alkali–activated blast furnace slag in paste backfill of high–sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage, *Minerals. Engineering*, 30, 33–43.

Darlington, W.J., Ranjith, P.G., Choi, S.K., 2011. The effect of specimen size on strength and other properties in laboratory testing of rock and rock–like cementitious brittle materials, *Rock Mechanic and Rock Engineering*, 44, 513–529.

Demirboğa, R, Türkmen, İ, Karakoç, M.B., 2004. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 2329–2336.

Ercikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, 2010. Effect of natural pozzolans as mineral admixture on the performance of cemented paste backfill of sulphide–rich tailings, *Waste Management & Research*, 28, 5, 430–435.

Ercikdi, B, Yılmaz, T, Külekçi, K, 2014. Strength and ultrasonic properties cemented paste backfill, *Ultrasonics* 54, 1386–1394.

Kahraman, S, 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 38, 981–994.

Kahraman, S, 2007. A quality classification of building stones from P-wave velocity and its application to stone cutting with gang saws, Journal of the South *African* Institute of Mining and Metallurgy, 107, 427–430.

Kahraman, S, Yeken, T, 2008. Determination of physical properties of carbonate rocks from P-wave velocity. *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 67, 277–281.

Karpuz, C, Paşamehmetoğlu, A.G., 1997. Field characterisation of weathered *Ankara* andesites, *Engineering Geology*, 46, 1–17.

Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, Ercikdi, B, Cihangir, F, 2010. Optimization of paste backfill performance for different ore types in Cayeli copper mine, *Project report*, Trabzon, Turkey, 42p.

Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, Ercikdi, B, Cihangir, F, İzki, M, Baki, H, 2012. Evaluation of paste backfill performance of different mill tailings in Küre copper mine, *Project report*, Trabzon, Turkey, 42p.

Khandelwal, M, Ranjith, P.G., 2010. Correlating index properties of rocks with P-wave measurements, *Journal of Applied Geophysics*, 71, 1–5.

Landriault, D, Deneka, E, 2000. Comparision laboratory study of Cayeli Mine's clastic ore and spec ore tailings in paste form, *Golder PasteTec Project report*, Ontario, Canada, 23p.

Özkahraman, H.T., Selver, R, Işık, E.C., 2004. Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41: 703–708.

Sharna, P.K, Singh, T.N., 2008. A correlation between P- wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 67: 17-22

Tariq, A, Nehdi, M, 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, 155–166.

Trtnik, G, Kavcic, F, Turk, G, 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity

and artificial neural networks, *Ultrasonics,* 49, 53–60.

Turk, N, Dearman, W.R., 1987. Assessment of grouting efficiency in a rock mass in terms of seismic velocities, *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 36, 1, 101–108.

Türkmen, I, Öz, A, Aydin, A.C., 2010. Characteristics of workability, strength, and ultrasonic pulse velocity of SCC containing zeolite and slag. *Scientific Research and Essays*, 5, 15, 2055–2064.

Tüysüz, N, Yaylalı - Abanuz, G, 2012. Jeoistatistik; Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, 2. Baskı, KTÜ Matbaası, Trabzon, 382 s.

Ulucan, Z.Ç., Türk, K, Karataş, M, 2008. Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 44, 5, 367–374.

Wright, C, Walls, E.J., Carneiro, D.J., 2000. The Seismic Velocity Distribution in the Vicinity of a Mine Tunnel at Thabazimbi, *South Africa. Journal of Applied Geophysics*, 44, 4, 369–382.

Yagız, S, 2011. P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials. *Bulletin of Materials Science*, 34, 4: 947–953.

Yaşar, E, Erdoğan, Y, 2004. Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks, *International Journal **o**f Rock Mechanics **a**nd Mining Science*, 41, 871-875.

Yılmaz, E, Benzaazoua, M, Belem, T, Bussiere, B, 2009. Effect of curing under pressure on compressive strength development of cemented paste backfill, *Minerals Engineering*, 22, 772–785.

Yılmaz, E, Belem, T, Bussiere, B, Benzaazoua, M, 2011. Relationships between microstructural properties and compressive strength of consolidated and unconsolidated cemented paste backfills, *Cement and Concrete Composites*, 33, 702–715.

Yılmaz, T, 2013. Numune boyutunun macun dolgu dayanımına ve ultrasonik P- dalga hızına etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 91s.

Yılmaz T, Ercikdi B, Karaman K, Külekçi K, 2014. Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test, *Ultrasonics,* 54, 1386–1394.

Zezza, F, 1993. Evaluation criteria of the effectiveness of treatments by non destructive analysis, *Proceedings of the 2nd course of CUN university school of Monument concervation*, Heraklion, pp. 198-207.

Maden Tasarımı, Modelleme, ve Optimizasyon

Bala-Aşıkoğlu Alçıtaşı Yataklarında Taşocak İşletmeciliğinden Maden İşletmeciliğine Geçiş

Transformation from Quarrying to Open Cast Mining in Bala-Aşıkoğlu Gypsium Deposits

Y. İ. Yahşi
Havza ve İşletme Müdürü

S. Kulaksız
Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Emekli Öğretim Üyesi

ÖZET Bu çalışmanın amacı Bala-Aşıkoğlu Alçıtaşı ocaklarının dünü ve bugünün araştırılması ve tartışılmasıdır. Araştırma sahası Ankara'nın güneydoğusunda 70. km mesafede Orta Anadolu da yer almaktadır. Bölgede on bir adet özel madencilik firması alçıtaşı üretimi yapmaktadır. Bala-Aşıkoğlu alçıtaşı yatakları 2000 yılına kadar Taşocağı Nizamnamesine (kanun) göre üretim yapmışlardır. Alçıtaşının 2000 yılında maden kanunu kapsamına alınması ile birlikte yeni bir dönem başlamıştır. Fakat özel sektör eski taşocak teknoloji ve metodları ile üretime devam etmiştir. Yerel insanların baskısı sosyo-ekonomik etkenler-baskılar nedeniyle alçıtaşı özel sektör alçıtaşı madenciliği gelişememiştir. Orta ölçekli firmaların fiilen üretime girmesiyle birlikte ocak işletmeciliğinde değişim başlamıştır. Bu firmalar, küçük firmalara örnek olmuş ve aynı zamanda bilgi ve teknik yardımıyla katkı vermişlerdir. Eski Alçıtaşı taşocağı işletmeciliğinde yanlış yöntem ve teknoloji eksikliği %40'a varan rezerv ve işletme kayıplarına sebep olmuştur. Özellikle maden yatağının oluşumu tektonik yapısı, basen analizi ve karstlaşmanın göz önüne alınmaması da bunda etken rol oynamıştır. Son üç yıllık yeni proje tasarımı uygulamaları ve sekiz sahada yapılan çalışmanın üç sahaya indirilmesi bugün sahada kayıpları %10 seviyelerine indirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçıtaşı, maden işletmeciliği

ABSTRACT The purpose of this study is the investigation and discussion of Bala-Aşıkoğlu gypsium open pits conditions from past to present focused on the point of excavation and production.Bala gypsium deposit is 70 km far from South East of the Ankara in Middle Anatolia of Turkey. The fifthen private mining company are producing gypsium raw materials in the region.Gypsium production was done"Turkish Rock Regulation(law) up to 2000 year.Gypsium minerals was included to Turkish Mining Law in 2000 and new era was started.But framework conditions of small scale private quarry sectors continued with old technology and methods.Because of local community as socioeconomic impacts,the improvement of private mining didn't develop yet.When mid-scale mining company started to production, the method and technology were changed.Old wrong gypsium quarry methods and technology periods the lost of raw material is about 40 % level.At the same time these companies have affected to small scale company as a model and also help developing their technology lack of geological studies from the point of structural geology,basin analysis and karstification help to this result.In the last three years period, the lost raw material was decreased up 10 % level due to the new gypsium planning application and decereasing eight different local production mining area decreased to three open cast.

Keywords: Gypsium, open pit mining

1 GİRİŞ

Bala- Aşıkoğlu alçıtaşı yataklarında 2000 yılı öncesi (15) adet küçük taş ocak işletmesi bulunmakta idi. Bu küçük alçıtaşı ocak işletmesi yapan şahıslar, çoğunlukla yöre insanları olup, ocaklarının birbirine uzaklıkları 100-500 metre arasında değişmekte ve yan yana çalışan hemen hemen hiçbir ocak yoktu. Bu kadar birbirine komşu ocakların ortak üretim sınırları olmadığı gibi, ulaşım yolları da farklı alanlardan geçmekteydi

.

Şekil 1. Bölgedeki köstebek tipi madencilik uydu görüntüsü (A- kalite öngörüsü olmadan terk edilmiş sahalar, L- rehabilitasyon sahası)

Alçıtaşı yatağının detay jeoloji ve yapısal jeoloji etüdü olmadığı gibi üretime yönelik sondajlar bulunmamaktadır. Özellikle alçıtaşı yatağında karstlaşma ilgili hiçbir bilgi çalışma olmadığı gibi bu alanları terkedilmesi sahayı bir köstebek işletmecisine dönüştürmüştür.(Ek-1A) Hammadde kayıpları ocaktan ocağa değişmek ile birlikte % 30-50 arasında değişmekteydi.

2.OCAKLARIN ÜRETİM PLANLAMASI VE ÜRETİM

Mevcut ocakların 2000 yılı öncesi planlaması bulunmamakta idi. Alçıtaşı mostraları takip edilerek bir ocak üretimi yapılmıştır. Kısmen en üstte yer alan 0-20 cm. örtü toprağı alınarak bir toprak harmanı yerine yatağın üst kısımlarında öbekler şeklinde öteleme ile yığılmakta ve bunun sonucunda alçıtaşı yüzleklerini mostraları kirlenmek ile kalmayıp, kayıpları artırıcı bir durum ortaya çıkarmaktaydı. Ya da bu örtü malzemesi onlara göre işletme tenörü bozuk kabul ettikleri ocakda alçı yatağının şevlerine yaslama şeklinde yığılmaktaydı.

Şekil 2. Ocak üstü ve içi topraklı malzemenin şevlere yaslanması.

Bu dolinli alanlara gelindiği zaman alçıtaşı sahasının tamamen terk edildiği gözlenmiştir.

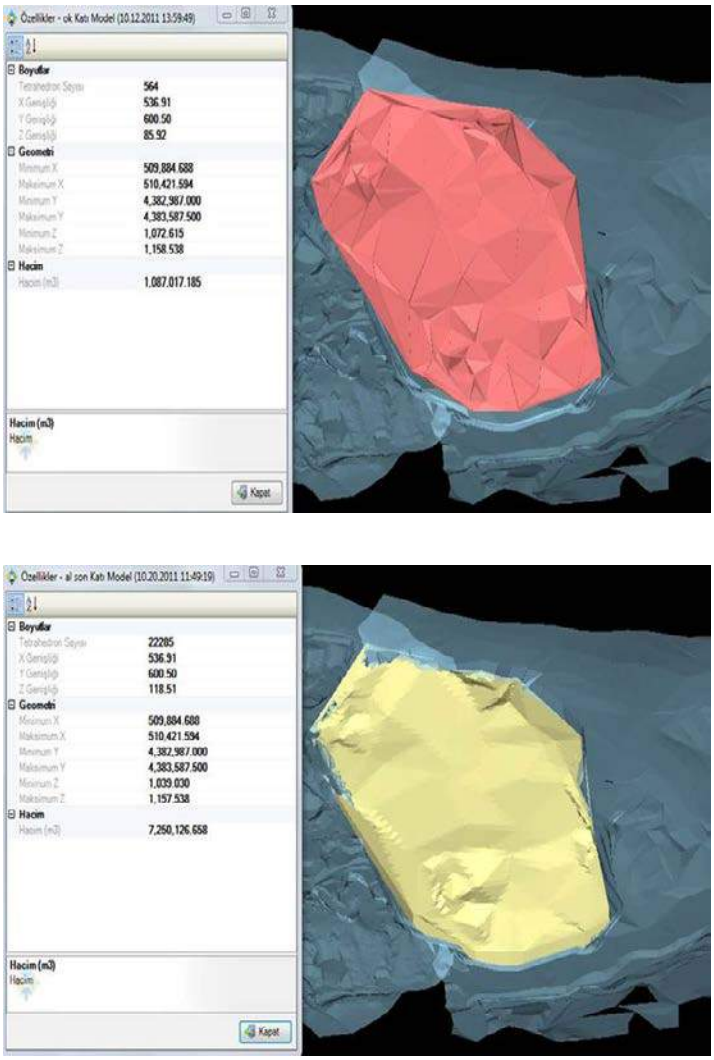
Üretim alanlarında ise karstlaşma sonucu alçıtaşı yatağında meydana gelen dolinli alanların işletmesinin yapılmaması rezerv kayıplarına neden olmuş, yer yer kalınlığı 16 m.yi bulan bu dolinli sahalarda üretim yapılmayarak terkedilmiş ve bunun sonucu yoğun bir alçıtaşı kaybına sebep olunmuştur. (Şekil 3)

Şekil 3. Terkedilmiş dolinli alçıtaşı adacıkları.

Alçıtaşının Maden Kanunu kapsamına alınması ile güvenceye kavuşan bu endüstriyel hammadde orta ölçekli madencilik şirketlerinin bu sektöre girmesini sağlamıştır. Taş Ocağı nizamnamesi devrinde Ankara bölgesinde 900.000 ton kapasiteli üç alçıtaşı fabrikasına karşılık bugün 10 adet alçı ve alçı ürünleri üreten fabrika kurulmuştur. Tesislerin Alçı üretim kapasitesi 6.000.000 ton'a ulaşmıştır.

Bölgenin en büyük alçıtaşı üreticilerinden X firması öncelikle alçıtaşı yatağının uzun dönem genel bir planlamasını yaptırarak işe başlamıştır. Daha sonra öngörülen üretim alanında 20 adet sondaj ile alçıtaşının anhidrit ile taban sınırları belirlenmiş alçıtaşı kalınlık değişimleri saptanmıştır. Diğer yönden dolinli alanlarda dolin derinliği ve rezerve etkisi sağlanmıştır. Burada alçıtaşı kalınlıkları ortalama yaklaşık 8-40 metredir.

Kısa ve Orta dönem madencilik planlaması için NET-PROMINE programı kullanılarak çalışma/ üretim sahasında alçıtaşı modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Alçıtaşı Modellemesi.

3 ÜRETİM ÖNCESİ HAZIRLIK, DELME PATLATMA

Taş ocağı işletmesi döneminde üretim öncesinde hiçbir şekilde hazırlık yapılmadan masif yapılı alçıtaşı mostraları takip edilerek üretim yapılmıştır. Tüm dolinli sahalarda hiçbir üretim yapılmadığı ve bunun sonucunda büyük bir doğal kaynak kaybı olduğu tesbit edilmiştir.(Ek-1)

3.1 Delme Patlatma

Taş ocak nizamnamesine göre işletilen alçıtaşı ocaklarında üretim öncesi hiçbir hazırlık yapılmadan masif görünümlü alanlarda eski teknoloji delik delme makinaları ile 20. metreyi geçen tek kademeli basamaklar ile üretim yapılmakta idi.

Şekil 5. Bölgede kullanılan eski ve yeni teknoloji deliciler.

Patlatma delik delme süresi açısından karşılaştırma yapıldığında yeni teknoloji ile 10 metrelik bir patlatma deliğinin delinmesi sert masif alçıtaşında ortalama 14 dakika, orta ve yumuşak alçıtaşında ise ortalama 10 dakikada gerçekleşmekte iken aynı ortamda eski tip delici makinelerde 30 ile 25 dakika olarak gerçekleşmektedir. Delme süreleri karşılaştırıldığında, yeni teknolojiye sahip delici makinelerin delme süresini en azından %50 daha tasarruflu olarak gerçekleştirdiği saptanmıştır.

Üretimler tamamen mostra madenciliğine göredir. Patlayıcılar ise daha çok gübre cinsinden idi. Delikler arası mesafe genelde 3 metre, kullanılan patlayıcı miktarı 200-250 gr/ton şeklinde, yemleme olarak dinamit, başlatıcı olarak elektrikli milisaniyeli kapsüller kullanılmıştır.

Şu anda genelde uygulanan delik geometrisi ve parametreleri aşağıda verilmiştir.

Dilim kalınlığı: 3 metre
Delikler arası mesafe: 4x5 metre
Delik boyu: 10-14 metre
Patlayıcı cinsi ve miktarı:
AN/FO: 120 gr/ton
Kullanılan kapsüller:
Başlangıç kapsülü (AL) ve Nonel Kapsülü: 0,0024 adet/ton
Yemleme dinamit: 2,3 gr/ton
Delik çapı: 89 mm.

Delme- patlatma da bu teknik veri değişimi ton başına tüvenan alçıtaşı maliyetini düşürmüştür. Delme de ayrıca yeni teknoloji delicilerin kullanımı 15 m.'lik bir delik için delme hızının 20 m/dk dan 10 m/dk ya inmesini yani zaman açısından % 50 tasarruf sağlamıştır.

3.2 Stratejik Üretim Planlaması

Eski alçıtaşı ocak işletmelerinin modern madencilik yöntemleri ile çalıştırılması bakir alanlarda rahatlıkla uygulanabilir. Fakat, düzensiz bir işletmenin sistematik hale getirilmesi zamana bağlı olmaktadır. Çünkü, öncelikle sektörün ham madde ihtiyacı söz konusu olduğundan bu eski ocakların yeni sisteme geçirilmesi 3-5 yıl gibi zamana ihtiyaç vardır.

Kısa vade planlamada, çalışılmış eski ocaklardan özel sektör alçı fabrikalarının hammadde ihtiyacı hedeflenmiştir. Diğer yönden yöre insanı baskısı ve sosyo-ekonomik yapı nedeniyle kısa süreli (1-3 yıl) olarak planlamalar uygulanamamıştır.

Orta ve uzun vade planlamada ise üç hedef ortaya konulmuştur.

a- Eski ocakların bir hazırlık döneminden sonra üretime alınması ki bu uzun zaman alacak bir çözüm.

b- Bakir alanlarda sondajlar yapılarak anhidrit-alçıtaşı taban ilişkileri ve sahalarda mevcut dolin toprak kalınlıklarının saptanması

c- Üretim yapılan alanlarda, rehabilitasyonun başlatılması

Uzun vadeli havza madenciliği kapsamında hazırlanan plan çerçevesinde (master proje) kısa metrajlı (30-75 m) derinliklerde 25-50 m. aralıklı karotlu sondaj yapılarak belli alanlarda hem görünür rezerv ortaya konulmuş, hem de hazırlıklara başlanılmış olacaktır. Bölgede en önemli sorunlardan bir tanesi dolin kazısıdır. Bununla ilgili çalışmalar yöre madenciliğinin en önemli unsurudur. Bu çalışmalara örnekler Ek-2'de verilmektedir.

Yörede faaliyet gösteren orta ölçekli firmalardan bir tanesi de alçı yatağı koşullarının uygun olması nedeniyle delme-patlatma yerine direkt olarak paletli tamburlu kazı makineler ile üretime geçmiştir.

4 SONUÇLAR

- Alçıtaşının maden kapsamına alınması ile birlikte hammadde güvencesine kavuşan sektörde yatırımlar ile birlikte alçı ve türevleri üreten tesisler (fabrikalar) kurulması hızlanmıştır. Bu kısa dönemde tesis katsayısı 3'den 10'a çıkmış kapasitede 900.000 tondan 4.000.000 tona ulaşmıştır.
- Taşocağı işletmesinin düzensiz, kontrolsüz üretim tekniği ile çalışan ocaklarda % 50 'ye varan hammadde kaybı, ön zenginleştirme sistemi ile % 5 seviyelerine inmiştir.
- Uygulanabilir bir, ocak tasarımı ve modellemesi gerçekleştirilmiştir.
- Kurulan mekanik zenginleştirme, sınıflama ile alçı üretim fabrikalarına daha homojen bir alçıtaşı akışı sağlanmıştır.
- Yöredeki küçük alçıtaşı üreticilerine teknik yönden yardımcı olunurken, çevreci bir üretim için makina-ekipman değişimi örnek olunmuştur.
- Sosyo-ekonomik açıdan yöredeki iş makinaları ve kamyonlara yeni iş sahaları açılmıştır ve işçi istihdamı sağlanmıştır.
- Karstlaşma ortamında madencilik uygulamaları ile örnek olunarak rezerv kayıpları büyük ölçekde önlenmiş, milli ekonomiye katkı artırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Öğretim Görevlisi Fırat ATALAY, Maden Mühendisi Ersin DİK, Maden Mühendisi Gülen ÖZTORUN'a içtenlikle teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aranda, Zuan P. Rodriguez, Calvo, Zose. P. and Montero, E.S. (2002). Lower Miocene gypsium paleokarst in Madrid Basin (Central Spain): Dissolution diagemesis, Morphological relics and karst end product sedimentology 49, 1385-1400

Klimchouk, A. (1996). The Jypology of gypsium karst according to its geological and geomorphical evolution. Int. J. Speleol. 25, 49-59

Kulaksız S., Kozacı, U.(2013) Bala (Ankara) Yöresi Alçıtaşlarında Karstlaşma Yüzey Şekilleri ile Birlikte Karstlaşmanın Sondajlara Etkisi, Türkiye Uluslararası Madencilik Kongresi, M.M.O. Bildirimler Kitabı 1031-1037. Antalya

Kulaksız, S., Bayram, F., Yaşıtlı, E.,(2007) Madinsan A.Ş.'ne Ait Bala-Aşıkoğlu Alçıtaşı maden ocakları üretim verimliliğinin artırılması hakkında rapor. Hacettepe Ün. Yerbilimleri Uygulama- Araştırma Merkezi, Beytepe- Ank. 16.5.

EK-1 Bölgede yer alan eski üretim alanlarından görünümler

Ek 2 Bölgede görülen bazı dolinli yapılar

VOLVO
VOLVO

VOLVO
VOLVO

Paletli Tamburlu Kazı makinesi

Optimum Yeraltı İşletme Kapasitesinin Belirlenmesinde Net Bugünkü Değer Yöntemi

Determination of Optimum Underground Mine Capacity with Net Present Value Method

T. Mallı, H. Köse
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Madencilikte derinleşen işletmelerde karşılaşılan sorunlar, beraberinde artan yükümlülükler ve işyeri emniyeti üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Bu durum ve yoğun piyasa rekabeti, maden işletmelerinin daha reel ve akılcı planlama stratejileriyle verimliliklerini yükselterek birim üretim maliyetlerini düşürmesini gerektirmektedir. Bu handikap, planlanmayı karmaşıklaştıran spesifik koşul ve işletme faktörlerinin daha yalın ve dinamik değerlendirilerek ideal planlanması ve yatırımların teknik-ekonomik açıdan optimize edilmesiyle aşılabilir. Yeraltı maden işletme planlamalarında, maden rezervinden en yüksek karlılığı sağlayacak kapasitenin belirlenmesi bu yüzden oldukça önemlidir. Kapasiteye göre paranın zaman değerinin de hesaplanmasıyla elde edilecek işletme gelirleri proje rantabilitesini etkilediği için Net Bugünkü Değer (NBD) tekniği ile değerlendirilip ilkyatırımların optimizasyonu da önem kazanmaktadır.

Maden Maliyet Optimizasyonu (MCO) yazılımı, madencilik dinamiklerinin çözümlenmesi, ideal işletme planlaması, proje rantabilitesi ve Net bugünkü değerin yükseltilmesine yönelik tasarlanmıştır. Bu yazılımda, yeraltı maden işletmelerinin optimum işletme kapasitesinin belirlenmesi, maden işletme ekonomisi, makine ilkyatırımları, amortisman ve Net Bugünkü Değerin öngörülmesi ve madencilik realitesine uygun optimizasyonu temel hedeftir.

Anahtar Kelimeler: Net bugünkü değer, optimizasyon, işletme kapasitesi

ABSTRACT The problems faced in mining industry bring the necessity of improved regulations and safety which cause an increase in the production cost. Hence, raised competition forced the companies to implement more realistic and logical planning strategies to decrease the unit production cost by enhancing efficiency. This handicap should be overcome by ideal planning and optimization in technical and economical aspects. In underground mine planning phase, determination of production capacity is very important to accurately predict the total maximum cash flow. Therefore, the revenues during life of mine are evaluated with Net Present Value (NPV) investment method.

Mine Cost Optimization (MCO) software was designed to benefit in evaluation of mining dynamics and determination of optimum NPV in planning phases. With this software, the determination of economical optimum capacity in an underground mine, machine investment, depreciation and NPV were aimed to be optimized with regard to mining realities.

Keywords: Net present value, optimization, mine capacity

1 GİRİŞ

Madencilikte artan yükümlülükler, yeraltı maden işletmelerinde karşılaşılan yapısal farklılıkla beraberinde gelen yeni sorunlar ile artan maliyetler ve yoğun rekabet ortamı içindeki maden işletmelerinin daha reel ve akılcı planlama stratejileriyle verimliliklerinin arttırılıp maliyetlerin

düşürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu ancak, planlanma aşamasını karmaşıklaştıran işletmelerin özel koşullarının daha yalın ve dinamik değerlendirilerek planlanmasını ve uygun yatırımların teknik ve ekonomik açıdan optimize edilmesiyle mümkün görünmektedir. Maden işletme planlamalarında, uzun dönem planlama safhasında maden yatağından en yüksek karı sağlayan yeraltı işletme kapasitesinin tespiti de bu açıdan önemlidir. Çünkü, kapasiteye göre paranın zaman değerinin de hesaplanmasıyla elde edilecek işletme geliri proje rantabilitesini direkt etkilemektedir. Günümüzde paranın zaman etkisini dikkate alan popüler yatırım değerlendirme yöntemi olan Net Bugünkü Değer tekniği ile değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Maden işletme ömrü, üretim kapasitesi ve makine–ekipman ilkyatırımlarının Net Bugünkü Değer tekniği ile optimizasyonu maden işletmelerinin önünü görüp gelişmesi için oldukça önemlidir. Bu nedenle bilgisayar yazılımları kullanılarak maden işletme planlamasında parametrelerin daha gerçekçi ve kesin olarak belirlenmesi, çözümlenmeye çalışılan konuların başında gelmektedir.

Maden Maliyet Optimizasyonu(MCO) yazılımı, maden işletmelerinin optimum işletme kapasitesi, işletme ömrü, maden işletme ekonomisi, makine ilkyatırımları ve net bugünkü değeri gibi önemli parametrelerin daha kesin belirlenerek madencilik dinamiklerinin çözümlenmesi, ideal işletme planlaması ile proje karlılığının yükseltilmesine yönelik tasarlanmıştır.

2 MADEN IŞLETME PLANLAMASI ve NET BUGÜNKÜ DEĞER YÖNTEMİ

Maden işletmelerinin farklı spesifik özelliklerde ve dinamik olması işletme planlanmasını komplike hale getirmektedir. Bu durum, işletmelerin kendine özel optimum koşullarda planlanmasını ve yatırımların teknik ve ekonomik açıdan daha reel ve dinamik değerlendirilmesini gerektirmektedir. Planlamanın temel amacı; genellikle farklı üretim kapasitesi, karışım modeli, zaman-iş termini ve farklı işletme parametrelerinde en yüksek net bugünkü değeri sağlayan optimum değerin belirlenmesidir (Dağdelen 2001).

Planlama; tahminleme, ekonomik veriler ve karar verme gibi detaylara bağlı olup bunların değişiminden etkilenmektedir. Tüm planlama prosesinin temel unsuru maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren makina-ekipman seçimini yapmaktır (Lizotte 1988). Karar verme ve planlama çalışmalarında çeşitli aşamalar bulunmaktadır. İlk aşama; projenin ortaya konulmasıdır. Burada maden planlaması derinlik, örtü kazı oranı, cevher tenörü, cevher satış fiyatı, mesafe gibi faktörlere göre tasarlanmaktadır. Stratejik planlama safhasında ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılmaktadır. Geliştirme aşamasında ise planlama; yıllık, aylık ve günlük planlar ile detaylandırılmaktadır (Runge 1998).

Yatırım analizi ve proje değerlendirmeleri ayrıntılı ve riskli işlemleri kapsadığından, karar verme sürecinde paranın zaman değerini dikkate alıp piyasa faiz oranına uygun dinamik yapı sunan Net Bugünkü Değer tekniğinin kullanımı diğer statik yöntemlere göre popülaritesi oldukça yaygındır (Köse 1997). Nakit akışına dayalı ekonomik analizin, işletme planlamasında daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar verdiği hatta gelecekte düşük tenörlü fizibıl görünmeyen maden yataklarının bu şekilde değerlendirilebileceği gerçeği net bugünkü değer yöntemini önemli kılmaktadır (Lillico 1974). Madencilik sektörünün diğerlerine göre daha karmaşık ve riskli oluşu maden rezervinin hesaplanması ve rezervin planlanması aşamasında kararlar verilirken birçok kesin olmayan veri göz önünde bulundurulmalıdır (Erdem 2012). Bu tür belirsizlikler proje yatırım kararında ve işletme planlamalarında etkili olduğu için belirsizlik kaynakları ve diğer detayların kaynaklarının belirlenmesi ve tanımlanması önemli olmaktadır. Bu yüzden her belirsiz ve kesin olmayan verinin projedeki etkisi analiz edilerek değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Snowden 2002).

Maden işletme planlaması ve tasarımı daha çok rezervin net bugünkü değerinden oldukça etkilenmekte ve bu değerin yükseltilebilmesi, işletmeyi etkileyen jeoteknik parametrelerdeki değişimlerin yada cevher satış fiyatlarındaki değişim ve tahminin hızla güncellenmesi veya güncellenmiş rezervin yeniden işletme dizaynı uygulanarak yorumlanabilmesine bağlıdır (Baffoe ve Al-Hassan 2005). Maden değeri zincir piramit modelinde; Net bugünkü değerin, indirgenme oranı, satış fiyatı, gelir, işletme ve sabit giderleri, maden rezervi ve planlamayla değişim gösterdiğini ifade edilmektedir(Morley 1999).

Maden rezervlerinin en uygun şekilde değerlendirilmesi, planlamayı daha önemli hale getirmekte ve işletmecilikte çözüm bekleyen önemli konulardandır. Bu anlamda, yeraltı işletme planlaması, işletmenin maksimum karlılıkla çalışmasını, maden rezervlerinin verimli ve güvenli şekilde değerlendirilmesini sağlamalıdır. Yeraltı işletmesi planlamasının başarısı, ideal üretim yöntemi seçimine ve gelirin yükseltilmesini sağlayacak hazırlık çalışmalarına bağlıdır. Yeraltı üretim yöntemi seçilirken hedef, olası yöntem seçenekleri arasından teknik, ekonomik, ulusal fayda ve iş güvenliği açısından en uygun yöntemi belirlemek olmalıdır.

Yeraltı planlamasında etkili olan parametreleri; fiziksel ve jeoteknik parametreler, işletme üretim kapasitesi, üretimde zaman-termin etkisi, spesifik planlama ve gider parametreleri olarak sınıflandırmaktadır Stebbins ve Schumacher (2001). Ayrıca, yeraltı üretim yönteminde yapılacak uygulama modifikasyonları ile buna uygun akılcı stratejilerle ana hazırlık ve cevher içi hazırlıkların geliştirilmesi eklenebilir (Mallı 2013).

Maden işletme projelerinin tasarlanması ve değerlendirilmesinin temelini oluşturan işletme üretim kapasitesi, belirli bir indirgenme oranında, nakit akışlarından türetilen net bugünkü değerin (NBD) maksimizasyonunu oluşturmaktadır. Bir başka değimle amaç, maksimum içverim oranının sağlanması yada geri dönüş süresinin kısalmasıdır. NBD değeri, işletmenin maden rezerv miktarı ile doğrudan ilişkili olup, finansal açıdan işletmelerde maksimum geri dönüşü sağlayan üretim kapasitesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, maden işletme yatırımının şimdiki değerinin yanı sıra amortisman, faiz, sigorta gibi işletme sabit giderlerinin de birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Maden işletme kapasitesini sınırlandıran; pazarlama koşulları, stratejik devlet politikası ve kanunları, yerel düzenlemeler ve haklar, vergiler, enerji maliyetleri ve kullanım olanakları, malzeme tedariği, personel ve işgücü temini gibi faktörler bulunmaktadır. Planlama aşamasında, çözümü zor sorunlardan olan yıllık üretim kapasitesinin belirlenmesinde, sabit giderler ve bunun yanı sıra cevherin üretimi öncesinden tükeninceye kadar olan tüm madencilik işlemleri, hem teknik hem de ekonomik açıdan planlanmalıdır. Ekonomik analizde; pazarlama planı, üretim planı, kapasite planı, yatırım planı, makine-ekipman randıman planı, maliyet planı, gelir planı, işletme ve genişleme planı, nakit akış ve karlılık planlamalarının dikkate alınması gerekmektedir.

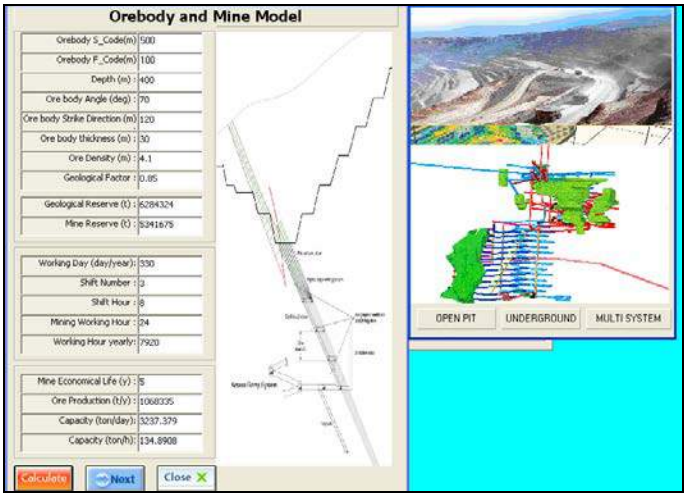
Üretim zamanlaması etkisi, maden yatağı için işletme üretim kapasitesi ve uygulanacak olan yeraltı üretim yöntemiyle ilgili olarak üretim öncesi hazırlık çalışmalarının yapılması uzun zaman almaktadır. Büyük rezervlerin işletmeye alınması, planlama ve mühendislik işleri açısından daha uzun zaman ve finansman gerektirmektedir. Genel olarak bu süreç 2 ile 8 yıl arasındadır. Bu durumda, nakit akışı gerçekleşinceye kadar uzun bir süre sermaye sağlanmak zorunda kalınmaktadır. Termin planı ile zaman parametreleri kullanılarak ana hazırlık çalışmaları kestirilmeye çalışılmaktadır. Kuyu ve galerilerin kazı, tahkimatlandırma, kaplama ve donatımının ortalama süreleri boyut ve maden derinliğine bağlı olarak ve oluşan maliyetin zamanı, miktarı kadar önemlidir. Planlama aşamasında finansman modellerinin duyarlılık analizleri ile ekonomik değerlendirmelerde zaman etkisi dikkat edilmelidir. Hatta bazı hazırlık çalışmaları da pozitif nakit akışı sağlanana kadar

ertelenebilir (Stebbins ve Schumacher 2001). Gider parametreleri kullanılarak yapılan maliyet hesaplamaları, birçok kriterden yararlanılmakta ve bu hesaplamalar özellikle üç kategoride toplanmaktadır. Bunlar, işçilik, malzeme-sarf giderleri ve makina-ekipman giderleri olmak üzere özetlenebilir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinde birçok operasyon çevrimsel yada süreklidir. İşletme üretim kapasitesi, gider parametrelerini ve değerlerini etkilemektedir. Bu kapasiteyi pazarlama koşulları, maden işletme koşulları, planlama ve kar maksimizasyonu gibi faktörler belirlemektedir. Bu değerler tamamen işletilebilir cevher rezervi ve ekonomik işletme süresi ile değişmektedir (Stebbins ve Schumacher 2001).

3 MADEN MALİYET OPTİMİZASYON (MCO) YAZILIM PROGRAMI

Madencilikte çözüm bekleyen başlıca temel sorunlardan, işletmelerin detaylı planlanamamasından kaynaklı ve karlılığın arttırılmasına dayalı optimizasyon üzerinde yoğunlaşılmaktadır. Maden işletme sınırının belirlenmesi, makine-ekipman seçimi ve optimizasyonu, işletme planlamasında optimum spesifik faktörlerin belirlenmesi, yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesi, proje rantabilitesi ve Net bugünkü değerin belirlenmesi örnek olarak verilebilir.

Maden optimizasyonu ile ilgili yazılımda problem değişkenlerininin dinamik ve etkileşimle birçok farklı kombinasyon türetmesi nedeni ile çözüm bir entegrasyona dayanmaktadır. Teknik anlamda yapılan seçimlerin ekonomik analizle ideal çözümün bulunması tasarlanmıştır. Visual Basic 6.0 program kodlarıyla oluşturulan program, işletmenin maden rezervinden elde edilecek en yüksek karlılığı sağlayan planlama parametrelerinin belirlenmesi de inovatiftir. Net bugünkü değer yöntemine göre üretim zamanı etkisi ve paranın zaman değerinin gözönünde bulundurulması da yazılımın teknik olduğu kadar reel ekonomik çıktılar üretmesi açısından önemlidir. Maden işletmelerinden yüksek faydaların emniyetle sağlanabileceği model planlaması yazılımım temel amacını oluşturmaktadır. Bu ideale yaklaştırılmaya çalışılan yazılım programı açık, yeraltı ve kombine işletme modelleri için ekonomik ve teknik değerlendirmeler yapılabilmektedir. Modelde, maden sahasına ait sondaj verilerinden yararlanılarak rezerv hesaplaması yapılmıştır. Maden rezervinin yataklanma modeli ve tenör dağılımı belirlenen rezerv üzerinden, farklı üretim alternatif modelleri için (Şekil 1) hazırlık ve üretim çalışmalarına uygun gerekli makine sayıları ve ilkyatırım maliyetleri bulunmaktadır. Programın makine-ekipman sayıları ve özellikleriyle ilgili bölümde, değişkenler için gerekli olan kamyon, yükleyici ve delme makinası sayıları belirlenerek makine-ekipman ilkyatırımları bulunmaktadır.

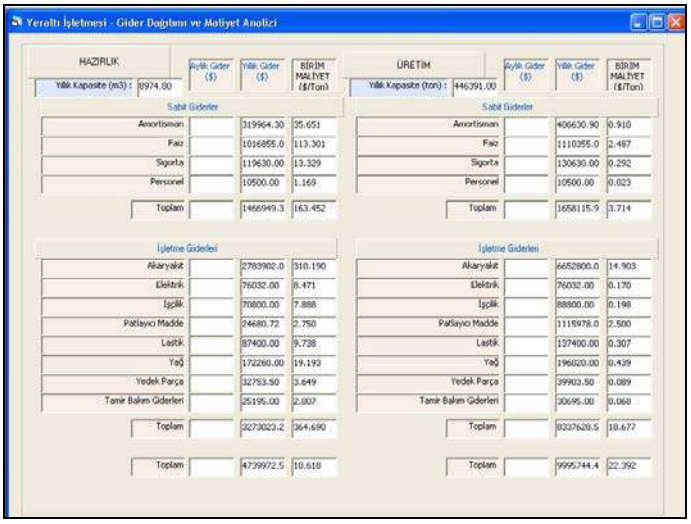


Şekil 1. Program maden model arayüzü

Programın değişkenleri, makine ekipman seçimi, yıllık işletme ve yatırım giderleri, işletme verimi, tenör değeri, cevher satış fiyatı model için önemli değişkenlerdir. Ayrıca, farklı üretim modellerinde değişen işletme kapasite ve ekonomik ömürleri için gerekli olan makine sayıları belirlenmekte ve makine-ekipman yatırımları bulunmaktadır.

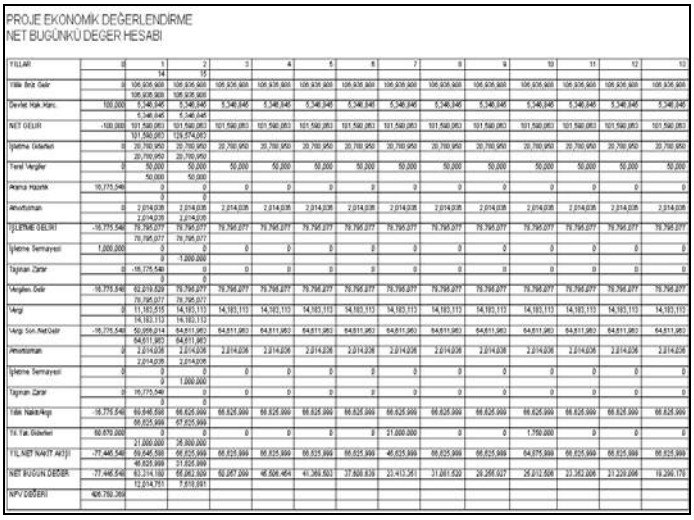
Yazılım ile yeraltı maden işletme kapasitelerine uygun farklı üretim modellerinde, değişen işletme parametre ve ekonomik ömürleri için gerekli yeraltı maden kamyonu, LHD, yükleyici, delici vb. makina sayı ve özellikleri hesaplanmaktadır. Programın yeraltı işletmesi için ekonomik değerlendirme bölümünde ise model için makine ve ilkyatırım maliyetleri belirlenmektedir. Yeraltı işletme modelinde hazırlık ve cevher üretim maliyetleri, gider

dağılımları ve Farklı alternatiflerin maliyet analizleri ve birim üretim maliyetleri bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Yeraltı işletmesi maliyet analizi ve ekonomik değerlendirmeleri

Farklı alternatiflerde değişen işletme ekonomik ömür ve kapasite değerleri için maliyet analizleri yapılarak maliyetler ve Net bugünkü değerleri bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Projenin nakit akışları ve NBD analizini veren program çıktısı

4 MODEL ÇALIŞMA

Model çalışmada, yeraltı işletmeleri için değişen işletme ekonomik sürelerinde kapasite değişimlerinin, makine-ekipman ilkyatırım tutarları ve işletme maliyetlerine etkileri incelenmektedir. Bu model çalışmada yeraltı hazırlık maliyetleri ve üretim maliyetleri üretim yöntemi değişmediğinden ötürü etkisi elimine edilmiştir. Ana ve damariçi hazırlıkların da değişmemesi nedeniyle hesaplamalarda yatırımlara sadece makine ilkyatırımları dahil edilmiştir. Model çalışmadaki işletme planlaması ve teknik değişken parametreler Çizelge 1.'de verilmektedir.

Çizelge 1. Model parametreleri ve değerleri

İşletme parametreleri	Değer
İşletme rezervi (ton)	20 000 000
İşletme ömrü (yıl)	25 (max)
Yıllık çalışma süresi (saat)	7920
Cevher yoğunluğu (t/m^3)	3.0
İşletme derinliği (m)	400
Arakat mesafesi (m)	20
Faiz oranı (%)	10

Ayrıca, modelde cevher konsantre satış fiyatı 25000 $/ton ve yeraltı üretim yöntemi Arakatlı göçertme yöntemi olarak tasarlanmıştır. Genel olarak işletmenin günlük kapasite değerlerinin ve buna bağlı olarak ekonomik ömür sürelerinin değişimi ile makine parkını oluşturan LHD, yükleyici(Y), kamyon(K) ve delici(D) makine sayıları belirlenmektedir(Çizelge 2).

Çizelge 2. Yeraltı işletme parametreleri, makine sayı ve ilkyatırım tutarları

Ömür	Kapasite	Üretim ve hazırlık				Makine İlkyatırımı
yıl	ton/gün	LHD	Y	K	D	$
5	12345	16	1	7	2	26398000
10	6172	9	6	4	2	17758000
15	4115	6	5	3	2	14678000
20	3086	5	4	3	2	13578000
25	2469	4	3	3	2	12478000

Yeraltı işletmelerinde artan kapasite değerleri ile birlikte makine ilkyatırımları da yükselmektedir. İşletme ömrünün 5 yıl planlanması durumunda, en yüksek ilkyatırım değerleri oluşmaktadır. Değişen kapasitelere için öngörülen NBD değerleri Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Makine ilkyatırım ve NBD

Ömür yıl	Üretim t/yıl	Makine İlkyatırımı $	NBD $
5	4 073786	26 398 000	776 325 232
10	2 036 893	17 758 000	604 439 025
15	1 357 929	14 678 000	476 459 979
20	1 018 447	13 578 000	377 011 943
25	814 757	12 478 000	307 170 721

Yüksek kapasiteli planlanan yeraltı işletmelerinin ve dolayısıyla düşük işletme ömürlerinde daha yüksek NBD değerleri sağladığı ve düşük birim üretim maliyetleri ile daha yüksek karlılık ürettikleri görülmektedir. Ancak ekonomik ömrü kısa olan yüksek üretim kapasiteli planlanacak yeraltı maden işletmelerinin özellikle makine ekipman ilkyatırımlarının artmasına rağmen yüksek proje karlılıkları da beraberinde sağladığı görülmektedir.

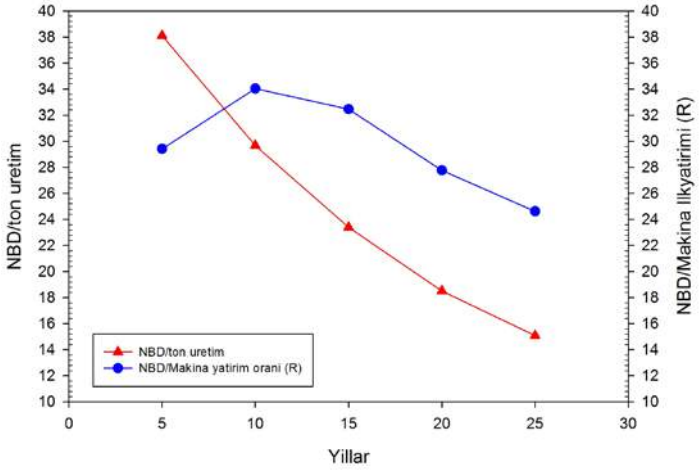
5 DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada artan kapasite değerleri ile birlikte özellikle makine ilkyatırımları da yükselmektedir. Yeraltı işletmesi için değişen kapasitelere için öngörülen NBD değerleri, artan kapasiteyle birlikte artmakta ve işletme ömrünün 5 yıl olması durumunda en yüksek değeri vermektedir. Artan kapasite değerleri ile birlikte makine parkını oluşturan makine sayıları dolayısıyla makina ilkyatırımı ve makine amortismanın da artmaktadır. Bu durumda karar vermek için proje net bugünkü değerin işletme kapasitesi ile değişimlerinin incelenmesi gerekmektedir. Net bugünkü değerlerin yapılan makina ilkyatırımına oranı olarak tanımlanan R değeri ile üretim başına düşen NBD ve amortisman optimizasyonu çözüm için düşünülmektedir. Başka bir deyimle yapılan makine yatırımından elde edilmesi öngörülen net bugünkü değer ile ton üretim başına düşen net bugünkü değerinin idealleştirilmesidir. R oranının en yüksek olduğu 10 yıllık işletme ömrü alternatifi ve buna denk gelen yaklaşık 2000000 ton yıllık üretim kapasitesinin daha düşük amortisman oluşturacağı öngörülmektedir.

Çizelge 4. İşletme modelleri için öngörülen parametre ve değerler

İşletme Kapasitesi	Makine Amortismanı	Üretim başına NBD	NBD/Makine İlkyatırım Oranı
ton/yıl	$/ton	$/ton	R
4073786	1,29	38,11	29,40
2036893	0,87	29,67	34,03
1357929	0,72	23,39	32,46
1018447	0,66	18,50	27,76
814757	0,61	15,08	24,61

Yüksek kapasiteli, kısa süreli işletmelerde kullanılan makina ekonomik süreleri de gözönünde bulundurulduğunda ve 10 yıldan sonra yenileme yatırımlarının da etkisi gözönünde bulundurulduğunda, optimum kapasitenin yıllık 2-2,5 milyon ton seviyesinde ve ekonomik işletme ömrünün 8-10 yıllık bir süreç için planlama yapılması daha rasyonel görülmektedir(Şekil 4).



Şekil 4. Makine seçiminde NBD'nin makina ilkyatırımına oranı ile üretim başına NBD değerinin değişimi

Grafikte belirtilmeye çalışılan model yeraltı maden işletmesi için, değişen ekonomik ömür ve kapasiteler için öngörülen NBD değerlerinin birim ton üretim başına düşen değerleri ile işletme ömürlerine göre yapılan ilkyatırımların ilişkisiyle elde edilen oranların değişiminden, yüksek kapasiteli planlanan yeraltı işletmeleri daha yüksek NBD'ler sağlamasına rağmen ilkyatırıma oranlarının maksimum olmadığı açıkça görülmektedir. Öngörülen net bugünkü değerlerin; makine ömürlerine bağlı olarak

yapılacak yenileme yatırımlarıyla finansman zorluklarını da beraber getireceği etkisini de gözönünde bulundurularak ideal işletme kapasitesi ve buna bağlı olarak makine ilkyatırım optimizasyonunun sağlanması yeraltı maden işletmelerinin planlanmasında daha reel olacağı düşünülmektedir

6 SONUÇLAR

Yeraltı maden işletmelerinin spesifik özellikleri ve dinamikleri, ideal planlanma ile uygun yatırımların teknik ve ekonomik açıdan optimize edilmesini gerektirmektedir. Uygun planlama ve doğru stratejilerle gerçeğe uygun sonuçların elde edilmesi açısından önemlidir.

Yeraltı maden işletmelerinin optimum işletme kapasitesinde ve ekonomik işletme ömrü süresince maden işletme ekonomisi, makine ilkyatırımları, ekonomik gelir-gider analizi ve Net bugünkü değeri gibi önemli parametrelerin madencilik realitesine uygun optimizasyonuna dayalı Maden Maliyet Optimizasyonu (MCO) yazılımının, yüksek verimlilik ve işgüvenliğinde maden işletmelerinden sağlanabilecek reel modelin belirlenmesi ile planlamaya farklı bir öngörü kazandıracağı ve maden işletmelerinin değerlendirilmesinde ideal çözüme yaklaşma stratejisiyle sektöre ulusal-ekonomik fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Baffoe S.B., Al-Hassan, S.,2005. Open pit mine planning and design – a case study. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, ISBN 04 1537 449 9, pp.287-290, London.

Dağdelen, K.,2001. Open pit optimization strategies for improving economics of mining projects through mine planning, *17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey- IMCET 2001*, pp.117-121.

Erdem, Ö., Güyagüler, T., Demirel, N. 2012. Uncertainty assessment for the evaluation of net present value: A Mining industry perspective. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, Vol 112*, pp.405-412.

Köse H., Aksöz, H.İ., Kahraman B.,1997. Net bugünkü değer yöntemi. *Maden İşletme Ekonomisi*, DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları No:223, İzmir.

Lizotte, Y. ,1988. Economic and technical relations between open-pit design and equipment selection. *Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed)*, Balkema, Rotterdam.

Mallı T., 2013. Yatırım Teorileri Kullanılarak Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletme Sınırının Belirlenmesi. Doktara tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Morley C., Snowden V., Day D.,1999. Financial impact of resource/reserve uncertainty. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol 99*, pp.293-301.

Runge, I.C.,1998. Mining economic and strategy. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, SME*, Littleton, CO, USA, 24-171.

Snowden, D.V., Glacken, I. & Noppe, M. 2002. Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain. *Value Tracking Symposium*. Queensland, Australia.

Stebbins, S.A., Schumacher, O.L. ,2001. Cost estimating for underground mines. *Underground Mining Methods, SME*, pp.49-56.

Soma Eynez Kömür Sahası İçin Farklı Bir Üretim Yöntemi Önerisi

A New Production Method Proposal for Soma Eynez Coal Field

B. Ünver, M.A. Hindistan, A.E. Tercan, G. Ertunç, M.S. Ünal, S.Y. Kıllıoğlu, F. Atalay
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Soma Eynez kömür damarında üretim farklı seviyelerde katlar oluşturularak yapılmaktadır. Damar meyili uygun olan üst kısımlarda yatay dilimli üretim yöntemi uygulanmıştır. Halen üretilen ve gelecekte üretilecek kısımlarda meyilin düşük olması nedeniyle üretim damar oluşumuna paralel dilimler şeklinde yapılabilmektedir.

Eynez damarının tavanında sağlam nitelikte marn, tabanında ise sudan etkilenen oldukça zayıf bir kil formasyonu bulunmaktadır. Bu koşullar nedeniyle ilk dilim (ayak) kömür tavanında açılmakta ve damar kalınlığına göre yeterli sayıda diğer dilimler tabana doğru açılmaktadır. Tabandaki kilden daha az etkilenmek amacıyla bir miktar kömür bırakıldıktan sonra üzerine taban dilimi ayağı oluşturulmaktadır.

Sahadaki üretim verimini artırmak amacıyla farklı üretim teknikleri konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Sahada henüz taban diliminde tam mekanizasyon uygulanmadığı için karşılaşılacak sorunlarla ilgili bir tecrübe bulunmamaktadır. Teknik ayrıntılarına girilmeden, burada önerilen yöntem ile tüm kömürün mekanize olarak daha hızlı ve güvenilir bir şekilde üretilmesi olanaklı olabilir. Yöntemde taban ayak diliminin öncelikle üretilmesi ve arkada oluşan boşluk göçmeden beton ile doldurulması düşünülmüştür. Bu beton dolgu üstündeki panonun üretiminde güvenli sağlam bir taban olarak kullanılacaktır. Önerilen yöntemin uygulanabilir olması için ayrıntılı araştırma ve analizler yapılmalıdır. Esas olarak bu bildiride Soma Eynez sahası için farklı bir üretim stratejisinin tartışmaya açılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soma Eynez Kömür Sahası, yeni üretim yöntemi, üretim etki faktörleri

ABSTRACT Soma Eynez coal seam is produced by constituting slices at different elevations. Seam inclination in upper parts was suitable for horizontally sliced production method. The seam inclination in both worked out and future production areas is low enough for conventional longwall mining with intermittend slicing parallel to seam formation.

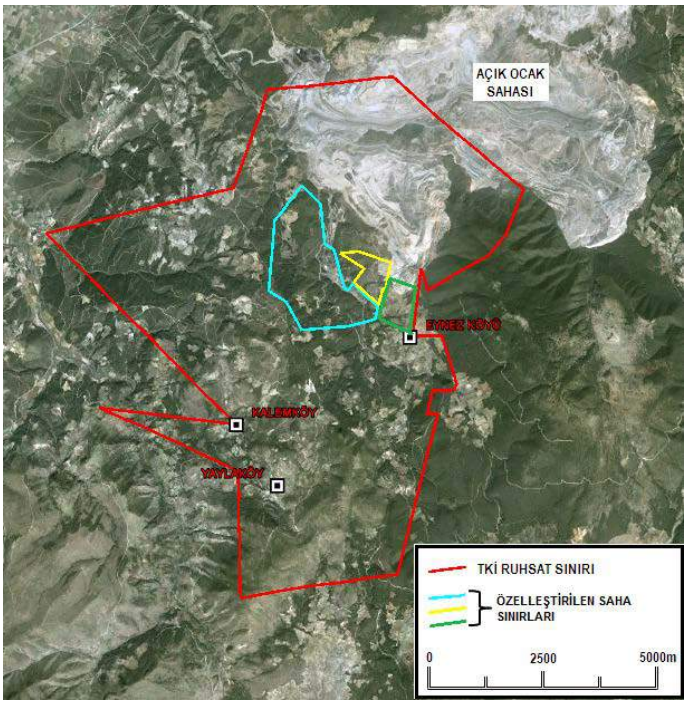
The hanging wall of the seam is strong marn whereas the footwall formation is clay with a very low strength and it is considerably affected by water. Therefore, the first slice (face) is operated in the roof contact and the other slices, numbers depend on the seam thickness, are operated towards the floor. To minimize the effects of clay formation, the last production panel is formed at the bottom on a coal slice left above the clay contact.

Different production methods must be studied for especially to increase the production rate. A full mechanization production in footwall panel has not been applied yet in the area therefore the difficulties in such an application have not been experienced. It is thought that it might be possible to produce the coal more efficiently and safely by applying the method proposed in this paper. It is suggested that a longwall panel should be produced firstly at the floor and the gap behind is filled with concrete preventing roof collapse. This concrete filling will be used as a safe strong floor for the longwall panel located above. Detailed analysis and studies should be carried out on the proposed method. In this paper, it is basically aimed to start a discussion on an alternative coal production strategy for Soma Eynez coal field.

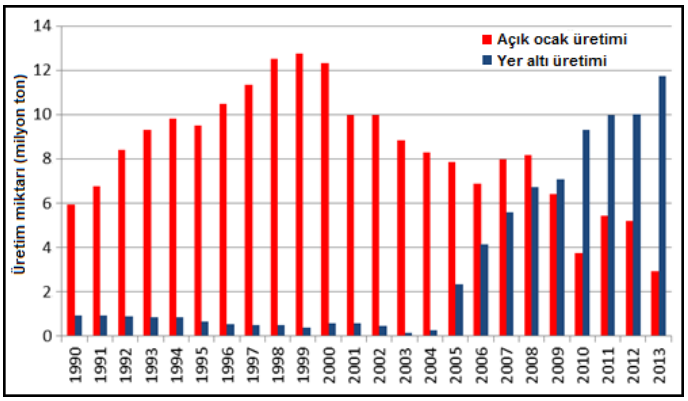
Keywords: Soma Eynez Coal Field, new production method, production impact factors

1 GİRİŞ

Soma Eynez sahası hem kalite hem de kaynak miktarı açısından tartışmasız Türkiye'nin en önemli linyit varlığıdır. Türkiye Kömür İşletmesi'ne (TKİ) ait ruhsat sınırı ve farklı firmaların üretim yaptığı saha sınırları Şekil 1'de verilmektedir. Soma bölgesinde 1960'lı yıllardan bu yana açık ocak madenciliği ile linyit üretimi yapılmaktadır. Açık ocak üretimi sahanın kuzeyinde yapılmaktadır. Ancak bu sahada açık ocak işletmeciliğine uygun linyit rezervi bitmek üzeredir. Bunula birlikte yer altı madenciliği ile yapılan üretim son yıllarda önemli ölçüde artmıştır (Şek. 2).



Şekil 1. Eynez bölgesine ait TKİ ruhsat sınırı ve özelleştirilen saha sınırları.

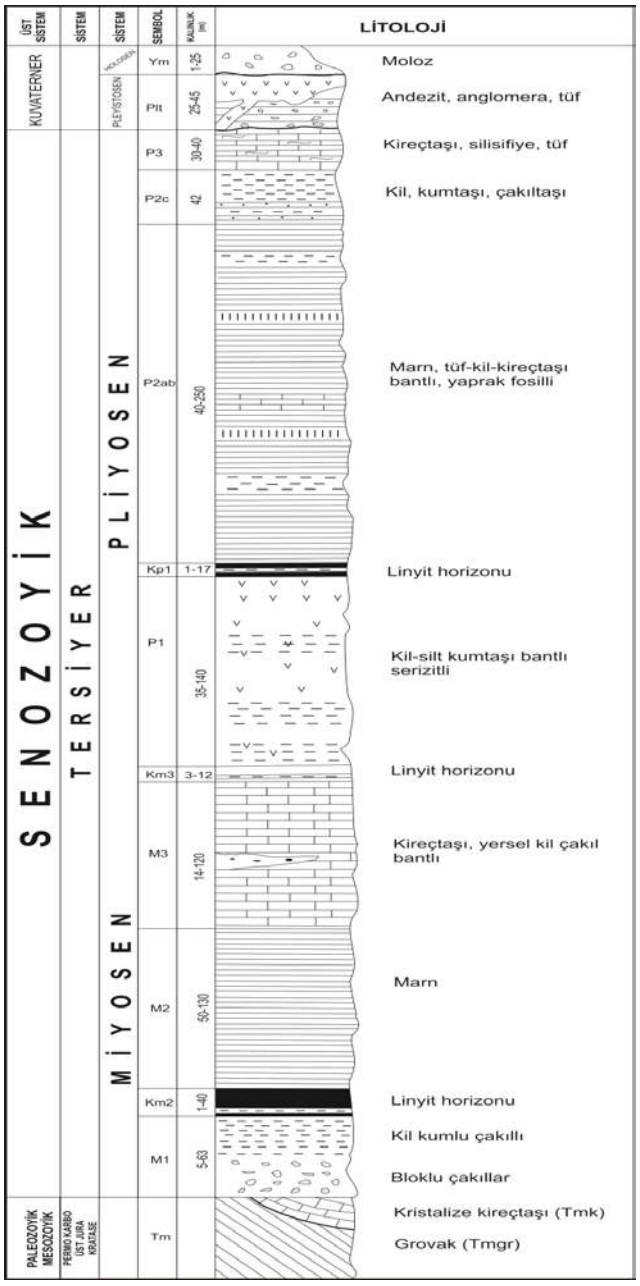


Şekil 2. Soma bölgesinde yerüstü ve yer altı üretim miktarlarının yıllara göre değişimi.

2 SAHANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

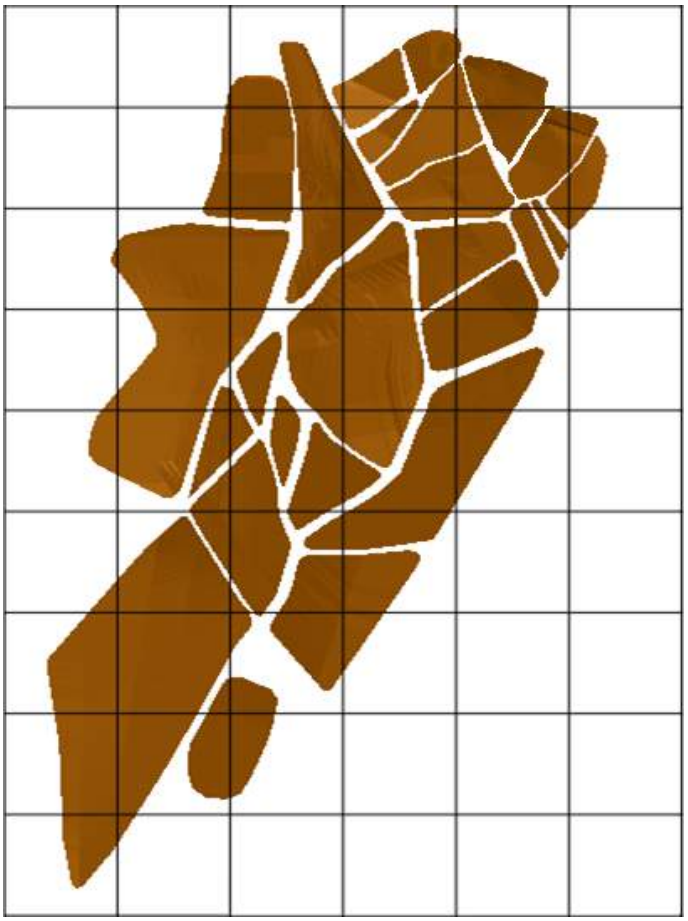
Eynez bölgesine ait kolon kesit görüntüsü Şekil 3'de verilmektedir. İçerisinde kömür damarlarının da yer aldığı farklı litolojik birimler bulunmaktadır. Bu birimler yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere şu şekilde sıralanmakatadır:

- Serizitli kumtaşı-silttaşı-alacalı kil (P1)
- Orta linyit horizonu (KM3)
- Kireçtaşı (M3)
- Marn (M2)
- Alt linyit horizonu (KM2)
- Çakıltaşı-Kumtaşı-Kil (M1)
- Taban: Krıstalize kireçtaşı-grovak (Tmk-Tmgr)



Şekil 3. Eynez sahasına ait genelleştirilmiş kolon kesit.

Sahada tektonik hareketlere sebep olan çok sayıda faylanmalar sonucunda kömür damarı bloklara ayrılmıştır. Şekil 4'de Eynez sahası için yapılan 3B modelin plan görüntüsü verilmektedir (Tercan vd, 2011). Bu şekilden sahada önemli miktarda faylanma olduğu ve kömürün bu faylarla parçalanmış olduğu anlaşılmaktadır.

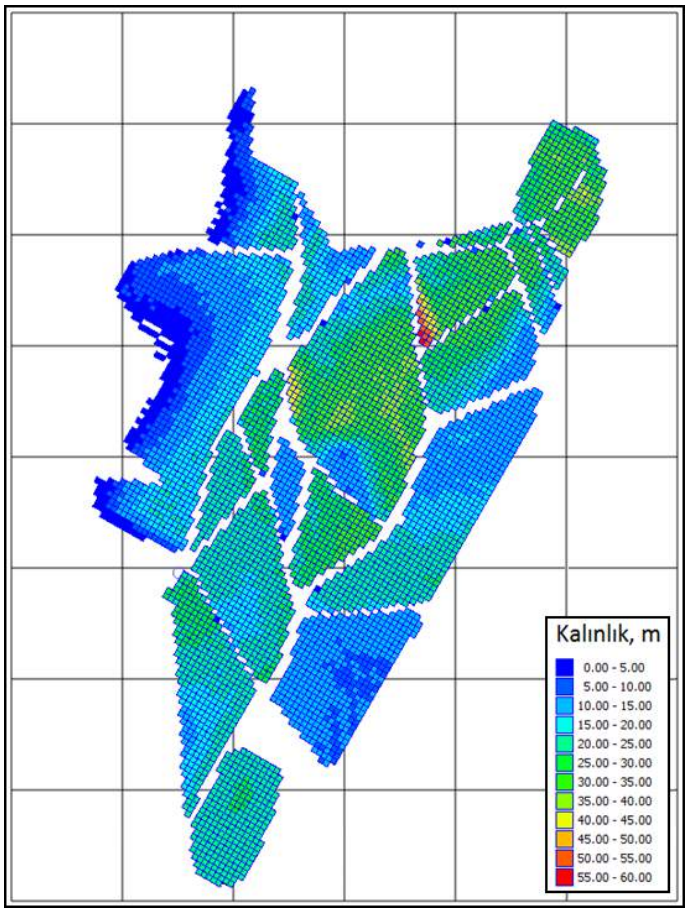


Şekil 4. Eynez sahasında faylarla ayrılmış blokların plan görüntüsü (Tercan vd, 2011).

3 EYNEZ KÖMÜR KAYNAK MİKTARI VE ÖZELLİKLERİ

Şekil 4'de gösterilen bloklara ait yapılan hesaplamalar ile sahada üretime uygun toplam yaklaşık 426 milyon ton kömür varlığı belirlenmiştir. Analiz değerlerine göre ortalama alt ısıl değer (AID), kül ve nem içeriği sırasıyla 3187 kCal/kg, %34 ve %14 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5'de kömür damar kalınlığına ait blok model verilmektedir. Ortalama damar kalınlığı yaklaşık 20 m olmasına rağmen bazı bölgelerde damar kalınlığının 60 m'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Saha kenarlarında kalınlığın daha az, kömür oluşumuna uygun olarak beklendiği şekilde orta kısımlarda kalınlığın artmakta olduğu anlaşılmaktadır (Tercan vd., 2013).



Şekil 5. Eynez sahasına ait kalınlık blok model görüntüsü (Tercan vd, 2013).

4 EYNEZ SAHASINDA ÜRETİME ETKİ EDEN YAPISAL ÖZELLİKLER

Soma Eynez sahasında uzun yıllardır kömür üretimi yapılmaktadır. Bu amaçla hem yer altı hem de yerüstü üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Uzun yıllardır çalışılan bir saha olması nedeniyle tavan taşının yapısı, kömürün özellikleri, taban kilinin karakteristiği genel anlamda bilinmektedir. Yapılan farklı uygulamalar ve üretim faaliyetleri süresince elde edilen deneyimlerden ileride uygulanması düşünülen üretim yöntemi ve stratejilerinin nasıl olması gerektiği konusunda önemli bir bilgi birikimi oluşmuştur.

Kömür damarının kalın damar sınıfına girmesi üretim ile ilgili seçenekleri artırmakta ve bir anlamda üretim faaliyetlerini ince damar kömür üretimine kıyasla daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, seçilecek olan üretim yönteminin

riski en aza indirecek nitelikte olması zorunludur. Eynez sahası için yapılan ocak planlaması ve tasarımında bazı önemli noktalar dikkate alınmaktadır. Ocak planlaması ve buna bağlı olarak üretim yöntemi seçiminde dikkate alınması gereken temel parametreler aşağıda liste halinde sunulmaktadır (Tercan vd., 2011).

- Damar kalınlığı ve damar özellikleri
- Tavan taşı özellikleri
- Taban kili özellikleri
- Kömürün ve yan kayaçların metan gazı içerikleri
- Yapılması planlanan yıllık üretim miktarı
- En az kömür kaybıyla üretim yapılması
- Hazırlık galerilerinin konumları
- Ocak yangınlarıyla mücadele yöntemi

4.1 Damar Kalınlığı ve Damar Özelliklerinin Etkisi

Yapılan katı model özelliklerine göre, sahadaki kömür damarı kalınlığı 1,8-62 m arasındadır. Kalınlığın değişken olması seçilecek üretim stratejisini önemli ölçüde etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sahada üretim temel itibarıyla dilimli ve tavan kömürünün ayak arkasından göçertilmesi suretiyle yapılmaktadır. Mekanize ayaklarda aynada tamburlu kesici, klasik ayaklarda ise delme patlatma suretiyle kömür kazılmaktadır. Tavan kömürü göçertmeli (top coal caving) yöntemde üretimin en kritik aşaması tavan kömürünün göçertilerek ayak arkasından kazanılmasıdır (Ünver, 1996 ve 1997). Diğer bir ifadeyle, aynadaki kömürün kazılması genel itibarıyla sorun yaratır nitelikte değildir ve yöntemin verimli ve güvenli bir şekilde uygulanabilmesi büyük ölçüde tavan kömürünün göçertilerek üretilmesine bağlıdır. Ayna kesimi birkaç saat içerisinde tamamlanabilmekte ve geri kalan sürenin tamamı arka kömürünün alınması ve ayağın yeni bir ayna kesimine uygun hale getirilmesi için harcanmaktadır (Ünver vd, 1991). Tavan kömürünün üretilmesi sırasında hem üretilen kömüre tavan taşı karışarak kömürü seyreltmekte hem de ayak arkasında önemli bir miktarda kömür üretilemeden heba olmaktadır. Yapılan işin doğası gereği ne tavan taşının üretilen kömüre hiç karışmadığı, ne de ayak arkasında hiç kömür bırakılmadığı bir yöntem olabilir. Ancak bu seyrelme ve kayıpların en az düzeyde olmasını sağlamak gerekmektedir.

Ayak arkasından göçertilen kömürün kazanılma verimi tavan diliminde bulunan kömürün düzenli bir şekilde akması ile sağlanabilir. Bu da tavan kömürünün olabildiğince homojen bir tane boyunda olması ile sağlanabilir (Yaşıtlı and Ünver, 2004; Yaşıtlı ve Ünver, 2005; Ünver ve Yaşıtlı, 2006). Üretimin en az kömür kaybıyla yapılabilmesi için göçertilen tavan kömürünün üretim öncesinde zayıflatılması şeklinde bir şartlandırma yapılmalıdır. Kömür damarı, farklı özelliklere sahip damarlardan oluştuğu için her kısmın dayanımı farklı olabilmektedir. Eynez sahasında kömür damar yapısı incelendiğinde kömür kalitesinin damar tavanından tabanına doğru azaldığı ve kömür kül içeriğinin arttığı görülmektedir. Kömür içerisinde bulunan kil yüzdesinin artmasıyla dayanım düşmektedir. Kömür damar dayanımının değişken olması tavan kömürünün göçme özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca kömür damarının tavana yakın kısımlarında oldukça yüksek dayanıma sahip sileks bandı bulunmaktadır. Sonuç olarak, tavan kömürünün kolay akmasını teminen göçertme öncesi damar içerisinde göçmeyi zorlaştıran kısımların yapay şekilde (gevşetme patlatması benzeri) zayıflatılması gereklidir. Bu sayede tavan kömürünün daha kolay akması sağlanarak üretim hızı ve verimi önemli oranlarda iyileştirilmelidir. Tavan kömürünün göçme mekanizması ve önerilen uygulama ile ilgili ayrıntılar yukarıdaki kaynaklarda bulunabilir.

4.2 Tavan Taşının Yapısı ve Göçme Davranışı

KM2 damarı tavanında M2 marnları ve daha üstte de M3 kireçtaşları bulunmaktadır. M2 marnlarının kalınlığı, havza genelinde 50-130 metre arasında değişim gösterirken

Eynez sahasında 3-120 metre arasında olup, oldukça masif ve sağlam bir yapıya sahiptir. M2 marnları üzerinde bulunan M3 kireçtaşları ise genelde 14-120 metre kalınlık gösterirken Eynez sahasında 1-60 metre kalınlığa sahip olup genel itibarıyla M2'ye benzer şekilde sağlam bir yapıya sahiptir (Ünver, 1995b). Netice olarak, göçertmeli üretim yöntemi kullanılması sırasında kömür damarı tavan taşının masif ve sağlam olması, göçme sorunlarına neden olma potansiyeline sahiptir. Esasen bu durum geçmişte yapılan üretim faaliyetleri sırasında net olarak tespit edilmiş olan bir olgudur. Dolayısıyla, göçertmeli bir üretim yöntemi kullanılmasının zorunlu olmasından hareketle, tavan taşı göçertilmesini kontrol etmek, seçilecek olan yöntemin en önemli parametrelerinden birisi olacaktır. Sonuç olarak, sahada öncelikle tavan taşının hemen altında bir ayak oluşturularak üretim yapılması gerekmektedir. Ayak ilerlemesi sırasında göçük arkasında kalan tavan taşının düzenli olarak patlatılarak zayıflatılması ve göçmenin düzenli olarak gerçekleşmesi sağlanmalıdır (Ünver, 1995a). Göçmenin nasıl geliştiği ölçümlerle izlenmeli ve ayrıca göçük içerisindeki gaz özellikleri de mutlaka takip edilmedir.

4.3 Taban Kili Özelliklerinin Etkisi

Damar tabanında yer yer kalınlığı önemli miktarlara ulaşan M1 kili bulunmaktadır. İşletme sırasında kaçınılmaz olarak ortamda su bulunacağı gerçeğinden hareketle taban kilinin plastik özelliğe sahip olması önemli sorunların oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle kömür damarının taban taşı kontağında en az 1 m'lik kısmın alınmadan bırakılması gerekecektir. Diğer taraftan damar tabanında oluşturulacak olan son dilimin üretilmesi sorunlu olacaktır. Tabanda bulunan M1 kilinin plastik özellik göstermesi nedeniyle ayak içi mekanize tahkimat ünitelerinin ağırlığını taşıması oldukça zordur.

4.4 Metan Gazı Gelirinin Etkisi

Eynez sahasında projelendirilen derin kısımlarda metan gazı gelirinin olacağı bilinmektedir. Metan gelirinin hangi seviyelerde olacağını eldeki bilgiler ışığında tam olarak söylemek olanaksızdır. Proje uygulanmadan önce mutlaka kömür damarı ve yan kayaçların metan içerikleri belirlenmek zorundadır. Kalori, kül ve nem dağılımları gibi metan dağılım haritaları da çıkarılmalıdır. Halen yer altı üretimi devam eden ocaklarda yapılan çalışmalarda önemli miktarlarda metan gelirinin olduğu tespit edilmiştir. Bu ocaklarda yapılmış olan çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında metan drenajı yapılmadan ocaktan kömür üretimi yapılmasının riskler taşıdığı söylenebilir. Bu nedenle, üretim öncesi kömür içerisinde bulunan metanın mutlaka drene edilerek riskin azaltılması gerektiği uzun sayılabilecek bir süredir belirtilmektedir (Tercan vd., 2011). Kömür ve/veya yan kayaçtan metan gelirinin olması kesin olduğundan hareketle ocak havalandırmasının en güvenli bir şekilde yapılması zorunludur. Bu nedenle, ocak planlanırken metan içerecek havanın düz veya başyukarı hareket etmesi prensibi benimsenmelidir. Metan havadan daha hafif olduğu için hava dönüş yolunda metan içerecek olan hava mutlaka düz veya yukarı gidecek şekilde planlanmalıdır.

4.5 Hazırlık Galerilerinin Konumları

Normal şartlarda kömür ocaklarında tüm hazırlık galerilerinin taban taşında sürülmesi tasman etkisinin en aza indirilmesi açısından tercih edilir. Eynez sahasında taban taşı oldukça yumuşak özellikli kiltaşıdır. Sahanın doğu kısımlarında M1 kili kalınlığı az olmakla birlikte batı tarafında oldukça fazladır. Bu nedenle, genel itibarıyla hazırlık galerilerinin tavan taşında sürülmesi, madencilik geleneklerine göre tercih edilen bir yöntem olmamakla birlikte, Eynez sahasında bu bir zorunluluktur.

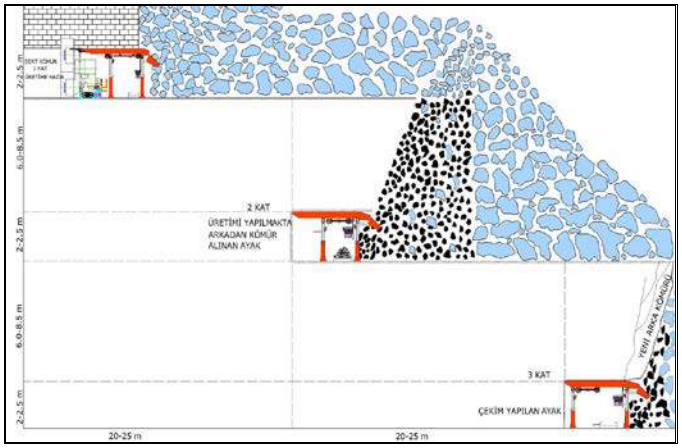
4.6 Ocak Yangınlarıyla Mücadele Yöntemi

Eynez sahasında yapılmakta olan üretim çalışmaları sırasında birçok ocak yangını ile karşılaşılmıştır. Buradan kömürün kendiliğinden tutuşma riskinin yüksek olduğu sonucuna kolaylıkla varılabilir. Kalın damar üretiminde en kritik konulardan birisi, üretim alanı hemen terkedilemeyerek alt dilimlerin de sonradan üretilmesi gereğinden dolayı, yangın problemidir. Yangının önlenebilmesi açısından ilerleme hızı artırılmalı, ayak arkasında bırakılan kömür en az düzeyde tutulmalı ve göçüğe hava gitmesi önlenmelidir (Ünver ve Demirbilek, 1994). Sahada bundan sonra yapılacak olan çalışmaların metan riski de taşıdığından hareketle olabilecek bir ocak yangını ile mücadele çok zor ve daha riskli olacaktır. Bu nedenle, yangın çıkmasını önleyecek her türlü önlem alınmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, her dilimin üretilmesi sonrasında termik santral külü–su karışımı ile dolgu yapılmalıdır. Ayrıca ayak arkasındaki göçük içerisinde bulunan ortamı izlemek amacıyla göçükteki oksijen, metan ve karbon monoksit değerleri sürekli ölçülmelidir. Ayrıca ayak arkasında sıcaklık değerleri de ölçülerek ileride yangın oluşturacak nüve erkenden tespit edilmeli ve bu bölgeye azot gazı basılarak yangın daha oluşmadan önlenmelidir.

5 MEVCUT ÜRETİM YÖNTEMİ VE TARTIŞILMASI ÖNERİLEN DEĞİŞİKLİK

Soma Eynez sahasında uygulanan üretim yöntemi Şekil 6'da verilmektedir. Öncelikle tavanda bir ayak oluşturulmakta, daha sonra ikinci dilim ve en sonunda ise taban dilimi üretilmektedir. Damarın çok kalın olduğu durumlarda tavan ve taban ayakları arasının iki kat halinde alınması şeklinde planlama yapılmaktadır. Bu durumda üretim toplam olarak dört dilim halinde gerçekleşmektedir.

Eynez sahasındaki kömürün kalınlığı, tavan ve taban özellikleri üretim yöntemini belirleyen en önemli parametrelerdir. Alt kotlarda metan içeriği artacağı için, ocak yangınları ve metan sorunu daha belirleyici olacaktır. Tavan taşı altında bir ayak oluşturulması ve bu sayede tavan taşının kırılması zaten bir zorunluluktur ve bu yöntemde bir değişiklik yapılması uygun olmayacaktır. Hatta tavan taşının üst kotlarını daha iyi kontrol edebilmek için tavan taşı içerisine, tavan taşını zayıflatacak patlatmaların yapılabilmesi, kül dolgusunun daha verimli olarak uygulanabilmesi ve metan drenajının yapılabilmesi için yollar açılması etüt edilmelidir.



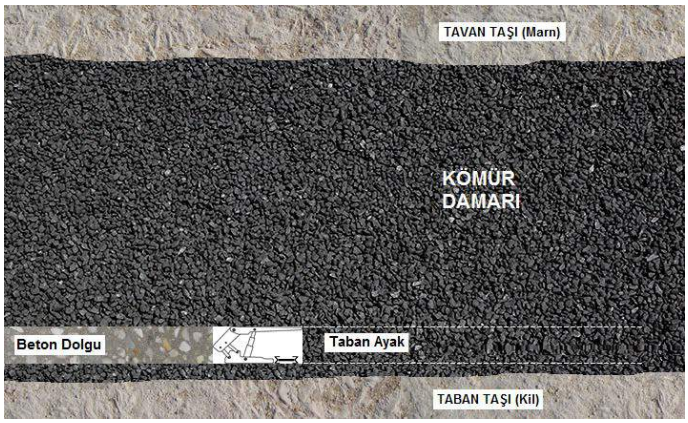
Şekil 6. Eynez sahasında genel olarak uygulanan üretim yöntemi (Anon, 2014).

Eynez sahasında geçmişte yapılan üretim çalışmaları esnasında karşılaşılan en önemli sorun damar tabanında bulunan M1 kilinin çok zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Taban kili sudan son derece kötü etkilenen ve taşıma kapasitesi düşük olan bir yapıdadır. Tabanda bulunan kısım mevcut uygulanan yöntemle en son üretildiği için yukarıda yapılan üretimler sırasında basınç dağılımının değişmesi ve özellikle üst dilimlerde yoğun olarak uygulanmış olan suyun bu bölgeye sızarak taban kilini bakir durumuna göre daha zayıf hale getirmektedir. Bu nedenle Eynez sahasındaki taban dilimi mevcut bakış açısıyla ya çok sorunlu bir şekilde üretilebiler ya da belki de hiç üretilemez. Bu da ülkemizin kıt kaymaklarının yeterince kullanulamamasına yol açabilir. Taban dilimindeki kömür üretilse bile mekanizasyon uygulaması düşüncemize göre çok zordur. Mekanizasyon uygulanmadığı zaman bu kömür manuel ve yarı mekanize yöntemlerle üretilebilir; ancak bu durumda da ayağın ilerleme hızı çok düşük olacaktır. Killi,

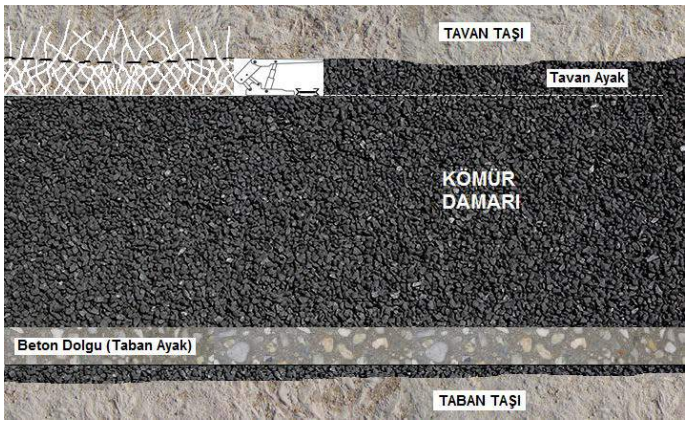
özellikle sudan etkilenen, bir yapı içerisinde duraylılığı sağlamanın en temel koşulu ilerlemeyi çok hızlı yapmak ve bir an önce sorunlu bölgeyi terk etmektir. Ayrıca bu durum yangın riskleri için de böyledir. İlerleme yavaş olduğu sürece yangınla karşılaşılma riski çok yüksektir. Killi bölgelerde ayak içinin duraylılığı önemli olmakla birlikte taban yollarının duraylılığı çok daha fazla önem taşır. Taban yolları şişme özelliğine sahip kil içerisinde uzun süreler tutulamayacağı için çok miktarda tamir tarama yapılması gerekecektir. Bu da üretimin hem zor hem de çok maliyetli olması demektir.

Yukarıda açıklanmış olan nedenlerden dolayı, üretime mevcut durumda olduğu gibi tavan ayağıyla başlanmadan, bakir bir sahada öncelikle taban kilinin 1-2 m üzerinde bir ayak oluşturulması ile başlanmalıdır (Şek. 7). Bu ayak ilerlerken ayak arkası göçmeden tamamen beton ile doldurulmalıdır. Bu dilimde ayak arkası göçmesine izin verilmeyeceği için mümkün oldukça hafif ve yüksekliği çalışma rahatlığı sağlayacak en düşük miktarda bir mekanize sistem seçilmelidir. Bu bakir sahada taban kömürü üretimi yapıldıktan ve ayak arkası tamamen beton ile doldurulduktan sonra, mevcut yöntemde olduğu gibi tavan ayağı oluşturmak ve tavanın muntazam bir şekilde kırılmasını sağlamak gerekmektedir. 13 Mayıs faciasında da görüldüğü üzere tavanın düzenli olarak oturtulması büyük önem arz etmektedir. Bu işlem için yapılacak olan ölçümler neticesinde belki de tavan taşı içerisine sırf tavan taşını kırmak için galerilerin açılması dahi gerekli olabilir. Bu konu bilimsel çalışmalar yapılarak değerlendirilmelidir.

Tavan dilimi normal olarak üretilirken tavan taşı zayıflatılması için tavana deliklerin delinmesine ek olarak tabanda bulunan kömür içerisine de yoğun bir şekilde müdahale ederek hem metan drenajının sağlanması hem de altta oluşturulacak olan ayağın üretimi sırasından tavan kömürünün kolay akabilmesi için şartlandırma yapılması mutlaka gerekecektir. Bu yöntemin ayrıntıları ve sağlayacağı faydalar literatürde verilmiştir (Yaşıtlı and Ünver, 2004; Yaşıtlı ve Ünver, 2005; Ünver ve Yaşıtlı, 2006). Kömür damarı kalın olması nedeniyle düşey kesiti boyunca hem kalorifik değer hem de dayanım açısından sabit özelliklere sahip değildir. Damarın göçme sorunu yaratacak kısımları önceden tespit edilerek tavan dilimi üretimi sırasında küçük çatlaklandırma patlatmaları ile zedelenmelidir. Bu sayede esas üretimin yapılacağı alt ayakta kömürün rahat bir şekilde akması temin edilmelidir. Metanın drene edilmesi ve damarın şartlandırması gerek görüldüğü takdirde bakir sahada ilk defa üretime başlanan beton dolgulu taban ayak tavanında da uygulanmalıdır. Bu sayede beton dolgu üzerinde oluşturulacak olan ana üretim ayağı için tavan kömürü hazır hale getirilmiş olacaktır. Tavan dilimi üretilirken ve üretildikten sonra ayak arkası mutlaka kül ile doldurulmalıdır (Şek. 8).

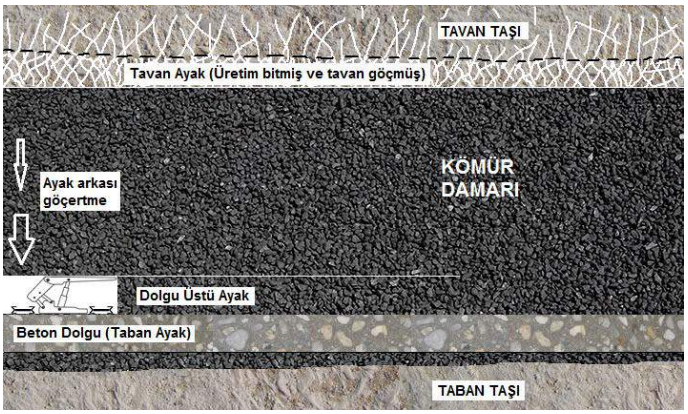


Şekil 7. Beton dolgulu taban ayak üretiminin şematik gösterimi.



Şekil 8. Tavan ayak üretiminin şematik gösterimi.

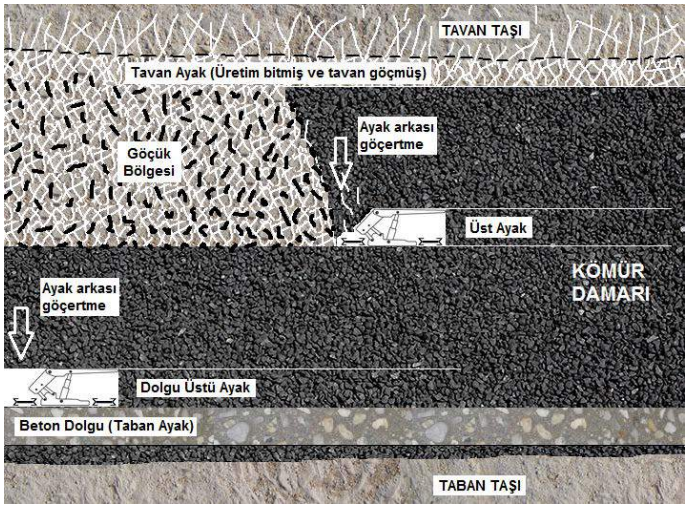
Tavan dilimi üretimi tamamlandıktan sonra tabandaki beton üzerine ana üretim ayağı yerleştirilmelidir (Şek. 9). Ana üretim ayağının taban yolları da beton üzerinde olmalıdır. Bu nedenle ana üretim ayağının uzunluğu taban yolları beton dolgudan yeteri kadar içeride olacak şekilde seçilmelidir. Ana üretim ayağında mutlaka çift konveyör bulunmalıdır. Bu ayaktan çok yüksek üretim yapılacak şekilde tasarım yapılmaldır. Esasen beton dolgulu taban ve tavan taşını kırmaya yönelik olarak oluşturulan tavan ayak bu ayakta yapılacak olan üretime bir çeşit hazırlık niteliğinde olacaktır.



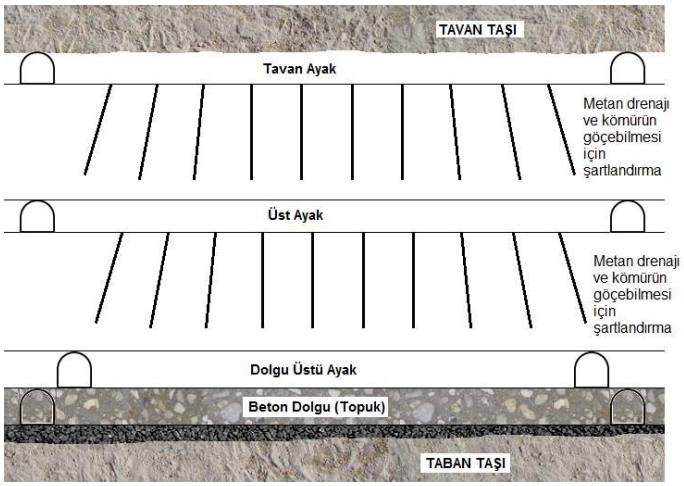
Şekil 9. Dolgu üzeri ana üretim ayağının şematik gösterimi.

Beton dolgu üzeri ana üretim ayağı tavan ve taban dilimi arasını bir defada almak üzere tasarlanabilir. Kömür damarının kalın olduğu kısımlarda gerekli görüldüğü takdirde halen sahada uygulandığı şekilde tavan dilimi altına bir dilim daha eklenerek önerilen yöntem uygulanabilir (Şek. 10). Bu sayede bir defada göçertilecek olan tavan kömürü kalınlığını azaltmak mümkün olabilir. Önerilen yönteme ait pano enine alınmış olan kesit görüntü Şekil 11'de verilmiştir.

Değişik dilimlerdeki panoların geometrik konumları en uygun basınç dağılımının oluşması ve kömür kazanımının sağlanması dikkate alınarak belirlenmelidir. Burada verilen şekillerdeki pozisyonlar bu parametreler dikkate alınmadan, genel üretim felsefesini açıklamak amacıyla oluşturulmuştur.



Şekil 10. Yüksek damar kalınlıklarında uygulanabilecek alternatif üretimin şematik gösterimi.



Şekil 11. Önerilen üretim yönteminin kesit görünüşü.

Beton dolgu üzerine oluşturulacak ana üretim ayağı ilerleme yönü ayrıntılı bir çalışma sonrasında belirlenmelidir. Bu ayak doğrultu boyunca ilerletilebileceği gibi meyil aşağı da çalıştırılabilir. Bu durumda arka kömürünün alınması daha etkin ve verimli olarak yapılabilir. Sonuç olarak bu tür ayrıntıların dikkatlice etüd edilmesi önerilmektedir.

6 SONUÇLAR

Eynez sahasında tam mekanize üretim yönteminin uygulanma geçmişi fazla değildir. Manuel ve yarı mekanize yöntemlerde karşılaşılan sorunlar tam mekanize yöntemdekinden çok farklı olabilir. Sahada yüksek verimlilikte üretim

yapmanın ön koşulu mekanize yöntemleri kullanmaktır. İleride daha fazla mekanizasyon kullanmayı hedeflerken bu uygulamanın kendine has birçok sorunu da beraberinde getireceğini düşünmek gerekmektedir. Manuel üretim yapmak tek katlı ev, yarı mekanize üretim yöntemi 2-3 katlı bina yapmaya benzerdir. Oysa mekanize üretim yapmak gökdelen yapmaya eşedeğerdir ve bu işin madencilik bilim ve teknolojisi tam olarak uygulanmadan başarılı olabilmesi mümkün değildir. 13 Mayıs faciasının temel nedenlerinden birisi budur; birkaç yüz bin ton üretim yapmak için gerekli olan araştırma, projelendirme ve uygulama, yılda 3,5 milyon tonluk üretim yapılan bir ocaktakinden tamamen farklı olmak zorundadır.

Sonuç olarak burada Eynez sahasında uygulanabilme koşullarının tartışmaya açılabilmesi amacıyla yeni bir üretim yöntemi yaklaşımı sunulmaktadır. Önerilen üretim yöntemindeki tüm ayrıntılar belirlenmiş olmamasına rağmen yöntemin konu ile ilgili herkes tarafından önce tartışılması ve sonra gerekli bilimsel çalışmaların yapılması hedeflenmektedir. Yöntemin ayrıntılı olarak çalışılması ve gerekli ayrıntıda sayısal modellerinin yapılması neticesinde detaylarının belirlenmesi mümkün olacaktır. Bunu yapabilecek bilgi birikimi ülkemizde yeterince vardır. Hem Soma hem diğer madenlerimizle ilgili temel çözümlere büyük ölçüde ülkemizde yapılacak araştırmalar, bilgi birikimi ve tecrübe ile ulaşılabileceği bilinmeli ve bu yönde gerekli düzenlemelerin acilen yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Anon, 2014. Manisa'nın Soma ilçesinde başta 13 Mayıs 2014 tarihinde olmak üzere meydana gelen maden kazalarının araştırılarak bu sektörde alınması gereken iş sağlığı ve iş güvenliği tedbirlerinin belirlenmesi, *TBMM Meclis Araştırması Komisyonu Raporu*.

Tercan, A.E., Ünver, B., Hindistan, M.A., Ertunç, G., Atalay, F. ve Ünal, S., 2011. *Soma-Eynez sahası linyit rezervinin kestirimi ve yer altı işletme projesi*, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 235 s.

Tercan, A.E., Ünver, B., Hindistan, M.A., Ertunç, G., Atalay, F., Ünal, S. ve Kıllıoğlu, Y., 2013. Seam modeling and resource estimation in the coalfields of western Anatolia, *International Journal of Coal Geology*, v.112 (7), pp. 94-106.

Ünver, B., Çetiner, R., Namlıtürk, C. ve Yalman, O.İ., 1991. E.L.İ. Eynez yeraltı ocağında mekanizasyon uygulaması, *12. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 99-116, Ankara.

Ünver, B. ve Demirbilek, S., 1994. Kömür karışımlı pasaların kendiliğinden yanma riski potansiyelinin analizi, *Türkiye 9. Kömür Kongresi* Bildiriler Kitabı, s.309-318, Zonguldak.

Ünver, B., 1995a. Kalın damar kömür madenciliğinde tabaka kontrolu ve göçme mekanizmasına pratik bir yaklaşım , *Türkiye 14. Madencilik Kongresi* Bildiriler Kitabı, s.15-22, Ankara.

Ünver, B., 1995b. Eynez yeraltı ocağının yapısal jeoloji ve jeoteknik açıdan incelenmesi, *TUKMD Bülteni*, Haziran, s. 27-40.

Ünver, B., 1996. Possibility of efficient application of semi-mechanization in longwall mining in thick seams, *Journal of Mines Metals and Fuels*, pp. 223-230, India.

Ünver, B., 1997. Arakatlı göçertme yygulanan kalın kömür damarlarında işletme veriminin artırılması", *Türkiye 15. Madencilik Kongresi* Bildiriler Kitabı, s.179-183, Ankara.

Ünver, B. and Yasitli, N.E., 2006. Modelling of strata movement with a special reference to cavingmechanism in thick seam coal mining, *International Journal of Coal Geology*, v.66, pp.227-252.

Yaşıtlı, N.E. and Unver, B., 2004. Numerical modelling of top coal caving in thick seam coal mining, *EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium*. Schubert (ed.).

Yaşıtlı, N.E. and Unver, B., 2005. 3D numerical modeling of longwall with top coal caving, *Int. J. of Roch Mech. and Min. Sci*., v.42(2), pp.219-235.

CBS ve Topografya Uygulamaları

Açık Maden Ocaklarında Oluşan Şev Duraysızlıklarının İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin (TLS-LiDAR) Kullanımı

Application of Terrestrial Laser Scanner Techniques (TLS-LiDAR) for Monitoring Slope Instabilities at Open Pits

M.V. Özdoğan, A.H. Deliormanlı
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Açık ocak üretiminde ekonomikliği etkileyen en önemli faktör örtü kazı oranıdır. Örtü kazı oranını belirleyen parametrelerden birisi olan şev açısının, ekonomiklik açısından en yüksek, iş güvenliği açısından ise duraylılığı sağlayabilecek kadar düşük olması gerekir. Bu ön şartlar gözetilerek belirlenen şev açıları her zaman duraysızlık sınırına yakın olmakta bu da açık ocaklarda şev duraylılık sorunları oluşturabilmektedir. Ocak şevlerinde hareket belirlendiği anda o bölgenin dikkatle izlenmesi ve ocak için tehlike oluşturup oluşturmayacağı belirlenmesi gerekmektedir

Oluşan hareketlerinin takibi günümüze kadar geleneksel yöntemlerden olan kazıkların ölçümü ve inklometre ölçümleri gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda mühendislik uygulamalarına yeni bir boyut kazandıran lazer tarayıcılar, yer bilimleri araştırmalarında da yeni bir vizyon kazanmaktadır. Şev kaymalarının ve heyelanların karmaşık veya ölçülmesi zor bölgelerde oluştuğu durumlarda bu teknolojiden etkin bir şekilde faydalanılması, araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir. Bu çalışmada Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Simav Açık Ocağında bulunan şevlerde meydana gelen duraysızlık sorunları yersel lazer tarayıcı sistemler kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şev duraylılığı, şev takibi, lazer tarayıcı

ABSTRACT Stripping ratio is the most important factor affecting the economics of open pits. On the one hand the slope angel has to be low enough to ensure the stability of slope, on the other hand it has to be steep enough to produce the mine economically. This situation causes slope instability risks and the instable slopes have to be monitored immediately and carefully.

The monitoring of slope instabilities are carried out by conventional methods as inclinometer or GNSS measurements. Laser scanners have contributed to engineering applications in recent days. It also has a new research area at earth science. The application of laser scanner for monitoring the slope instabilities provides convenience for earth scientists. In this study the slope instability at Eti Maden Enterprises Bigadiç Simav Open Pit were monitored with laser scanner technology and the results of application were evaluated.

Keywords: Slope stability, slope monitoring, laser scanner

1 GİRİŞ

Açık ocak maden işletmeciliğinde şev geometrisinin en uygun şekilde tasarlanması hem ocak güvenliği açısından hem de üretim maliyeti açısından oldukça önemlidir. Yüksek şev açıları ekonomikliği arttırırken şev duraylılığı üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Düşük şev açıları ise daha güvenli bir çalışma ortamı sunarken

yapılacak olan dekapaj miktarını arttıracağından ekonomiklik üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu iki kısıt göz önüne alınarak tasarlanan açık ocaklarda şev duraysızlığı riskleri her zaman göz önünde tutulması gereken temel etmenlerden birisi olmuştur. Aşırı yağışlar, yeraltı suları, sismik hareketler, hatalı planlama ve planlama dışı yapılan kazılar ocak şevlerinde deformasyon meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu şev hareketleri genel olarak ihbarlı hareketler olup deformasyonlar başlandığı andan itibaren dikkatle izlenmesi ve gerekli hallerde şev geometrisinde önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir.

1.1 Konvansiyonel Şev takip Sistemleri

Açık ocak şevlerinde meydana gelen deformasyonları ölçmede günümüzde çoğunlukla ekstanometre, inklonometre, GNSS ölçümleri ve diğer jeodezik ölçüm yöntemleri gibi bilinen ölçüm sistemleri kullanılmaktadır (Inada R., 2010). Bu sistemler hem emek yoğun hem de sonuçların değerlendirilmesi bakımından zaman alıcı çalışmalardır. Aynı zamanda ölçüm çalışmalarının deformasyon beklenen şevlerin üzerinde yapılması gerektiğinden dolayı risk içermektedir.

1.2 Lazer Tarama Sistemleri

Lazer tarama cihazı yüksek seviyede ayarlanmış doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Genel tanımlaması LiDAR (Light Detection and Ranging-Işık Algılama ve Mesafe Ölçer) olan bu sistemler iki farklı türde geliştirilmiştir. Bu iki farklı sınıflandırma, cihazın konumu baz alınarak yapılmıştır. Bunlar ALS (airborne-based-hava platform temelli) ve TLS (ground-based, yer temelli Lazer tarayıcı) olarak adlandırılmaktadır(Zeybek M, Şanlıoğlu İ., 2013).

Lazer tarayıcılardaki çözünürlük kavramı, taraması yapılacak olan bölgeye ait nokta bulutları verisinin nokta aralığı ve istenilen detay derecesine bağlı olarak değişen bir parametre olarak tanımlanabilir. Açısal çözünürlük ve obje ile tarayıcı arasındaki mesafe, isteğe bağlı olarak değiştirilebilir. Bu parametreler, genellikle nokta aralığı ve ışık hüzmesinin genişliği (tarayıcı ve obje arasındaki mesafe) olarak adlandırılabilir. ALS sistemleri için tarama yoğunlukları genellikle 0,5 ile 100 nokta/m^2 olurken; TLS sistemlerinde ise genellikle 50 ile 10000 nokta/m^2'dir. Bunlara ek olarak, tarama yoğunluğu, konuma bağlı olarak yansıyan sinyalin elde edilmesine bağlıdır. Parametreler esasen ışığın dalga boyu, objenin türü (yansıyan yüzeyin rengi ve pürüzlülüğü), toprağın nem derecesi ve görüş açısı ile doğrudan ilgilidir(Zeybek M, Şanlıoğlu İ., 2013).

2 SİMAV OCAĞI ŞEV HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİNDE YERSEL LAZER UYGULAMASI

LiDAR sistemleri son yıllarda özellikle yerbilimleri alanında belirli bir yüzey topoğrafyasının oluşturulmasında kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada da ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne ait Balıkesir Simav ocağın şevlerinde meydana gelen deformasyon hareketlerinin izlenmesinde TLS sisteminin kullanılabilirliği araştırılmış olup sistemin çalışmasına ait iş akışı Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. TLS Ölçüm çalışma iş akış şeması (Zeybek M, Şanlıoğlu İ., 2013)

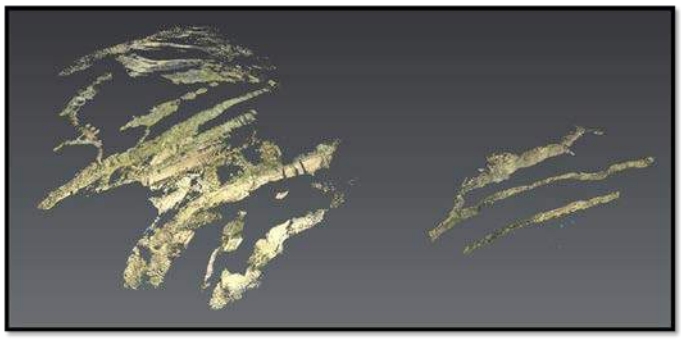
Şev taraması çalışması yapılmadan önce deformasyon ölçümü yapılacak olan şevlerin görülebileceği uygun yerin seçilmesi ve TLS cihazının bu alana kurulması gerekmektedir. Gerekli hallerde aynı şevler farklı açılarda birden fazla defa taranarak ölçüm hassasiyeti arttırılmalıdır. Heyelan izleme çalışmalarında TLS ölçümleri ile deformasyon analizi yapılacak alandan farklı tarihlerde en az iki ölçüm alınmalıdır. Ayrıca, TLS ölçümlerini birleştirmek için kullanılan yer kontrol noktalarının koordinatları, GNSS veya total station gibi sistemler kullanarak alınması gerekmektedir.

2.1 Simav Ocağı Doğu Kısmında Meydana Gelen Deformasyonların Ölçülmesi

Eti Maden Simav ocağı doğu kısmının TLS ile izlenmesine yönelik ilk ölçüm 23 Mart 2014 tarihinde, ikinci ölçüm 22 Nisan 2014'de yapılmıştır. Tarama, doğu şevleri üzerinde 33m kotunda bir istasyon ve 102m kotunda basamak yüzeyinde iki istasyon olmak üzere toplam üç istasyon noktasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Leica Scanstation 2 modeli yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır (Şekil 2)

Şekil 2. Lecia Scanstation 2 lazer tarayıcı

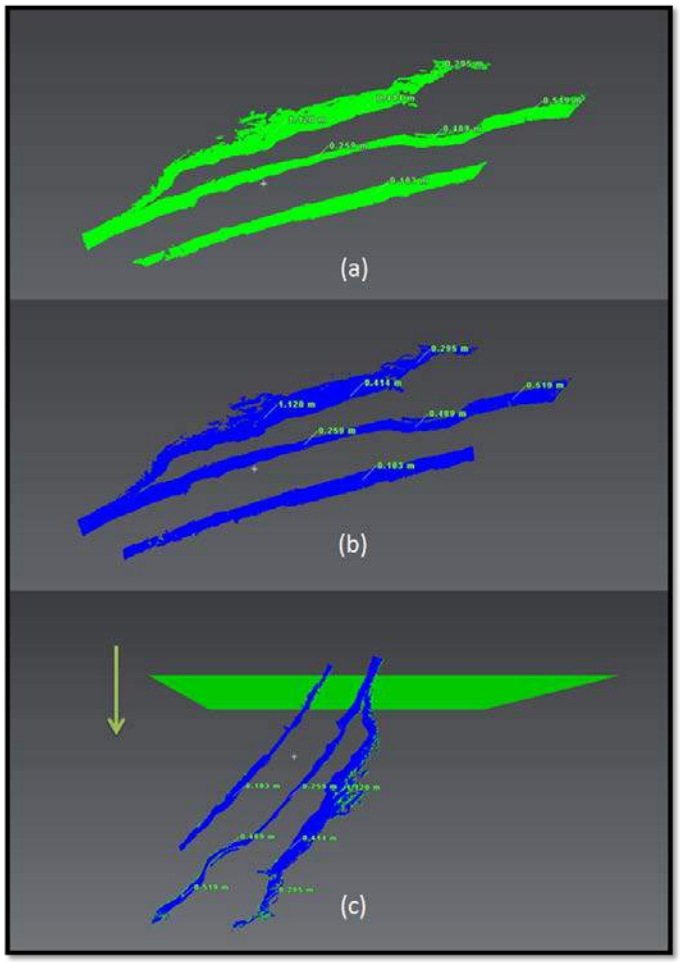
Tarama her iki ölçümdeki istasyon noktalarından 300m mesafede 5 cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu 3 istasyondan elde edilen nokta bulutları 3 er adet yer kontrol noktası (hedef) kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin hale getirilmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler TLS ölçümlerinden temizlenmiştir



Şekil 3. Simav Ocağı doğu kısmında deformasyon ölçümü amacıyla yapılan TLS ölçümü sonucu oluşturulan görüntü

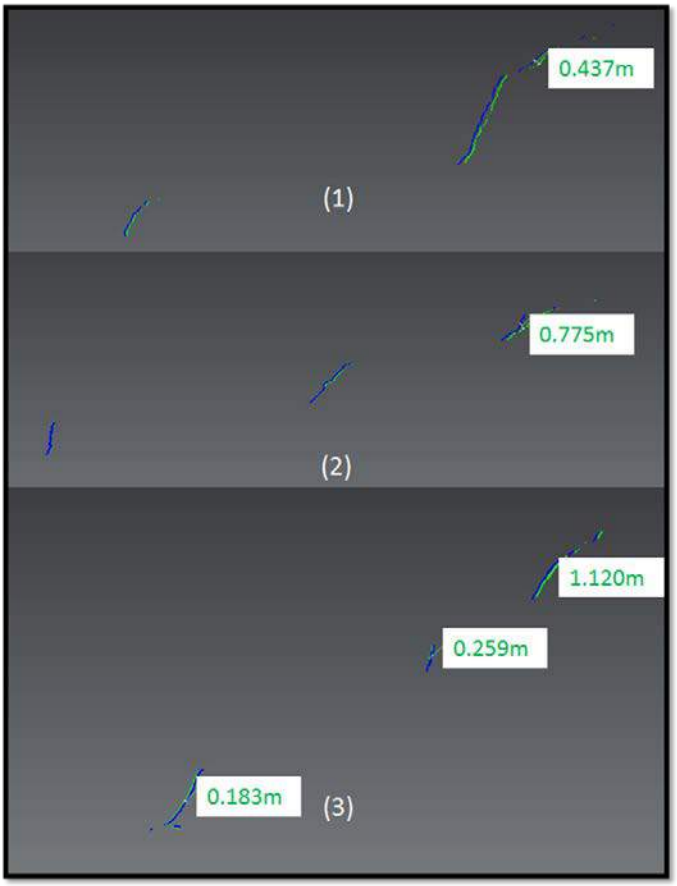
3 NOKTA BULUTU VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

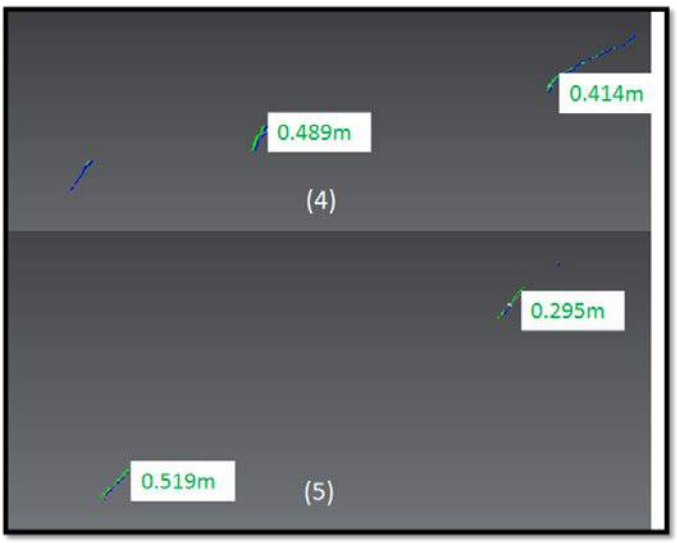
Simav ocağı doğu şevleri deformasyonlarının izlemesinde kullanılan TLS sistemi ile 2 farklı tarih aralığında elde edilen nokta bulutu verileri, Cyclone 8.1 yazılımı ile birleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Ölçüm değerlendirmesinde ilk taramalara ait nokta bulutları yeşil renkli, ikinci taramalara ait nokta bulutları ise mavi renkte belirtilmiştir. 33m kotundan yapılan TLS ölçümleri sonucu oluşturulan şevlere ait örnek bir nokta bulutu şekil 4'de verilmiştir.



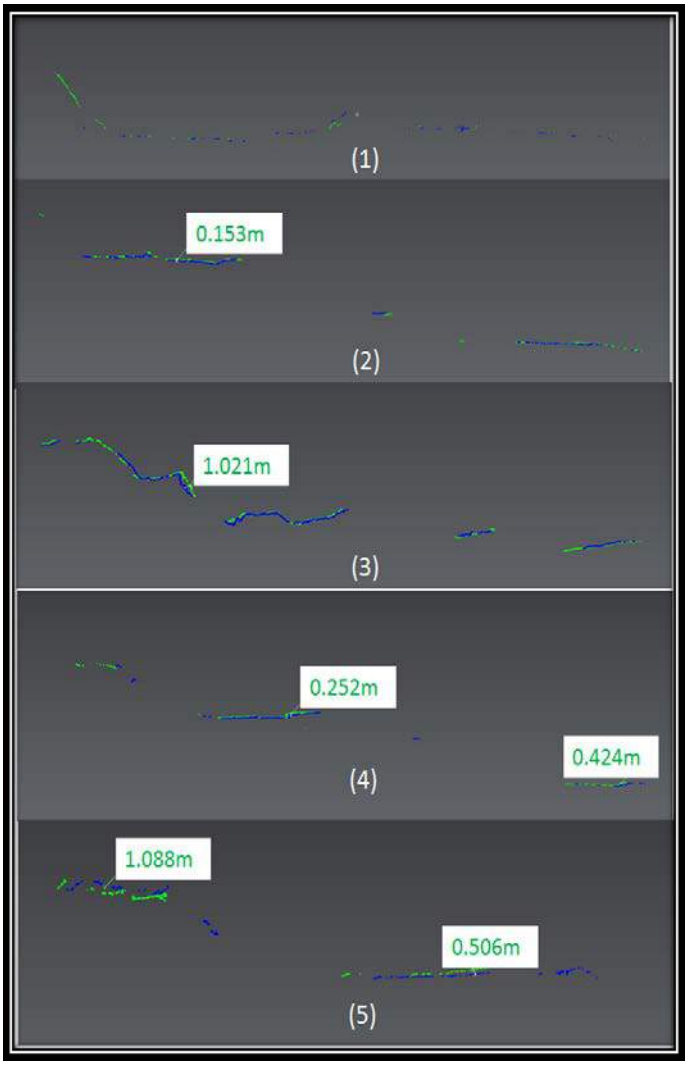
Şekil 4. 33 m kotundan alınan 1 ve 2. ölçüme ait TLS ölçümleri sonucu oluşturulan nokta bulutu görüntüsü (yeşil renkli görüntü 1. tarama mavi renkli görüntü ise 2. Taramaya aittir)

Heyelan bölgelerindeki hareket miktarları ve yönlerini belirlemek için birleştirilmiş nokta bulutu verileri üzerinde kesitler alınmıştır. Kesitler, sistematik olarak 50 m aralıkta ve 10 cm kesit yüzeyi olarak alınmış, hareket görülen kesit yüzeyleri hareket yönünü belirlemek için 15 m kesit alanına genişletilmiştir. Alınan kesitler ve kesitler üzerinde ölçülen deformasyonlar şekil 5 – 7'de gösterilmiştir.





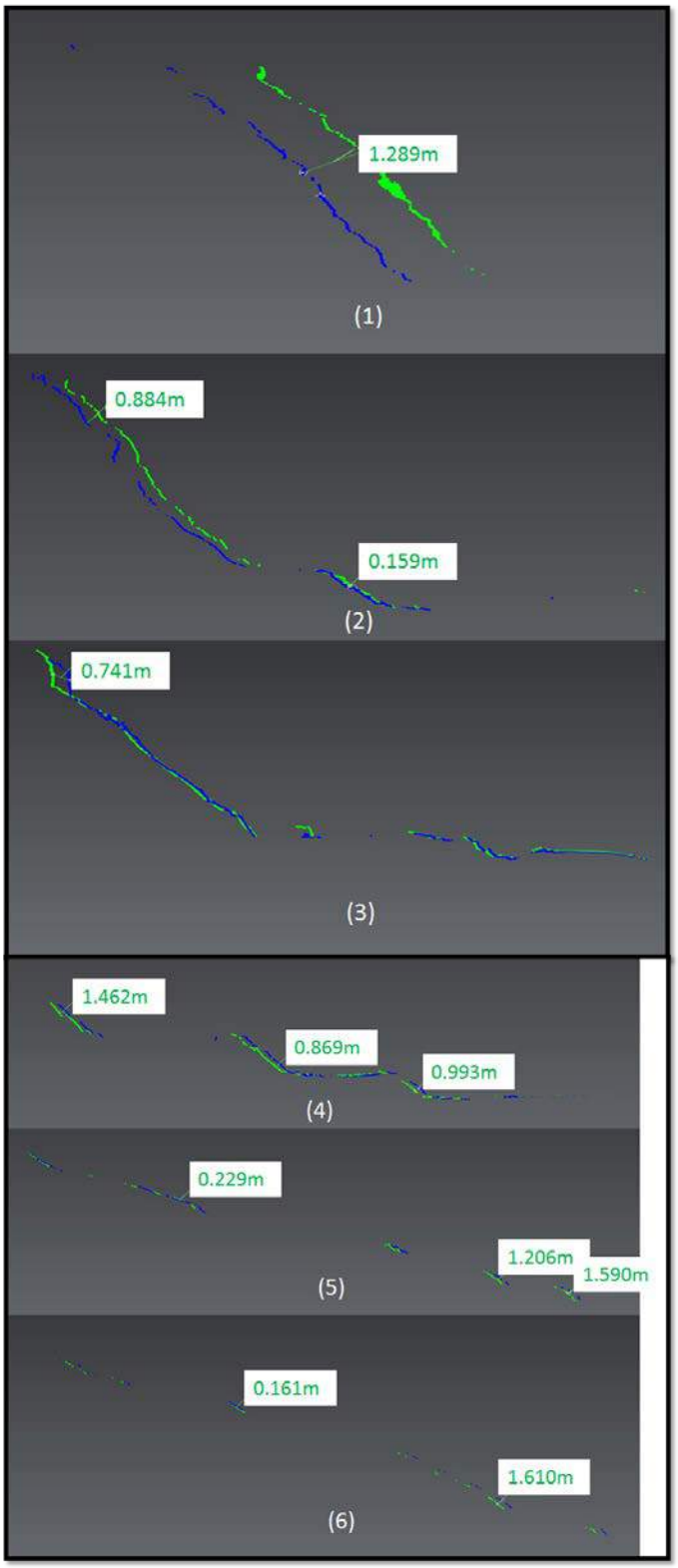
Şekil 5. 33m (1.istasyon) kotundan alınan TLS ölçümleri üzerinden alınan kesitler ve kesitler üzerinden ölçülen deformasyon miktarları



Şekil 6. 102 m kotundan (2.istasyon) alınan TLS ölçümleri üzerinden alınan kesitler ve kesitler üzerinden ölçülen deformasyon miktarları

Genişletilen ilk ve ikinci taramalara ait yüzeylerdeki nokta bulutlarından yüzeylerin eğim yönleri ve eğimlerini belirlemek için üç nokta (doğrusal olmayan ve X,Y,Z koordinat değerlerine sahip) alınmıştır. Bu noktalar kullanılarak üç nokta ile yüzey oluşturma metodu ile yüzeylerin birim dik vektörlerinin eğim açısı ve eğim yönleri ile birim dik vektörlerin koordinatları belirlenmiştir. Elde edilen veriler stereonet üzerinde tanımlanmış ve yüzeylerin hareket yönleri belirlenmiştir (Deliormanlı vd., 2014)

Yapılan ölçümler bazında hareket yönlerine ait değerler çizelge 1-3 'de verilmiş olup hareket yönlerini gösteren stereonetler şekil 8-10'da verilmiştir.



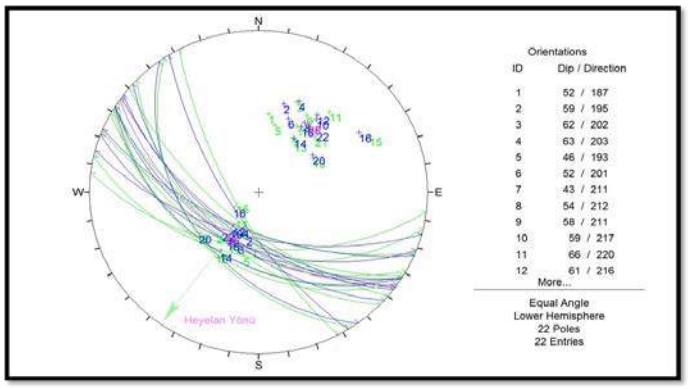
Şekil 7. 102 m (3.istasyon) kotundan alınan TLS ölçümleri üzerinden alınan kesitler ve kesitler üzerinden ölçülen deformasyon miktarları

Çizelge 1. 33m (1.istasyon)'den ölçülen şevlere ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri

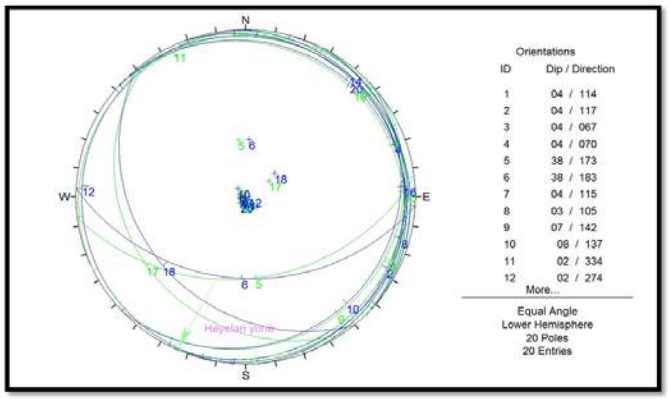
Yüzey No.	Doğu	Kuzey	Kot (m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	597860.8	4369069.3	36.4	52	187
2	597860.6	4369069.0	36.6	59	195
3	597904.5	4369071.2	45.1	62	202
4	597904.0	4369070.9	44.9	63	203
5	597877.7	4369019.0	45.6	46	193
6	597877.6	4369019.8	45.2	52	201
7	597904.5	4369017.6	53.3	43	211
8	597903.1	4369017.8	53.1	54	212
9	597792.1	4368970.5	35.9	58	211
10	597792.1	4368969.6	36.1	59	217
11	597840.7	4368968.7	45.3	66	220
12	597841.4	4368969.7	44.7	61	216
13	597877.4	4368969.6	54.4	41	214
14	597875.9	4368970.0	53.8	43	212
15	597786.9	4368921.3	43.4	73	242
16	597786.9	4368920.9	43.5	70	238
17	597843.2	4368919.5	54.3	50	209
18	597844.0	4368920.2	54.4	51	212
19	597746.6	4368870.7	45.8	42	236
20	597747.6	4368870.8	45.6	43	234
21	597821.7	4368871.4	55.3	51	224
22	597822.1	4368871.4	55.4	54	222

Çizelge 2. 102m (2.istasyon)'den ölçülen şevlere ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri

Yüzey No	Doğu	Kuzey	Kot (m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	598142.0	4369284.9	89.6	4	114
2	598142.9	4369285.0	89.5	4	117
3	598067.2	4369288.3	75.6	4	70
4	598067.9	4369286.7	75.5	4	67
5	598183.3	4369232.1	98.8	38	173
6	598181.7	4369231.5	97.7	38	183
7	598177.2	4369240.7	95.7	4	115
8	598177.3	4369240.8	95.5	3	105
9	598152.3	4369234.9	88.2	7	142
10	598151.9	4369235.2	88.2	8	137
11	598059.3	4369234.7	76.2	2	334
12	598059.7	4369234.6	76.3	2	274
13	598125.7	4369184.3	87.4	3	45
14	598124.7	4369185.3	87.3	3	40
15	598043.0	4369183.9	75.4	4	88
16	598041.2	4369184.4	75.3	4	86
17	598130.8	4369138.8	92.4	19	235
18	598128.6	4369137.1	93.0	25	230
19	598089.9	4369135.8	85.5	6	45
20	598088.6	4369137.3	85.3	5	42



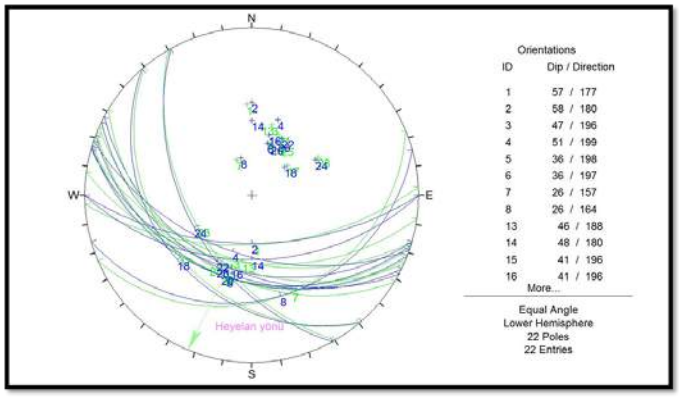
Şekil 8. 33m (1.istasyon)'den ölçülen şevlere ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)



Şekil 9. 102m (2.istasyon)'den ölçülen şevlere ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)

Çizelge 3 102m (3.istasyon)'den ölçülen şevlere ait nokta bulutu yüzeylerinin birim dik vektör koordinatları ve hesaplanmış yönelim değerleri

Yüzey No	Doğu	Kuzey	Kot (m)	Eğim Açısı(°)	Eğim Yönü
1	598273.1	4369331.7	116.3	57	177
2	598274.8	4369331.0	116.4	58	180
3	598269.6	4369283.6	116.9	47	196
4	598269.7	4369281.7	116.4	51	199
5	598250.4	4369231.4	105.1	36	198
6	598250.2	4369230.7	105.2	36	197
7	598225.7	4369236.1	102.0	26	157
8	598224.8	4369236.1	101.7	26	164
9	598210.5	4369235.3	101.8	5	92
10	598209.5	4369235.3	101.7	5	96
11	598204.1	4369232.6	101.5	3	129
12	598203.8	4369231.5	101.3	3	114
13	598272.1	4369178.0	112.2	46	188
14	598270.6	4369178.0	112.0	48	180
15	598235.5	4369178.2	105.1	41	196
16	598234.2	4369178.1	105.1	41	196
17	598184.9	4369180.1	98.5	4	87
18	598335.8	4369136.3	129.1	31	230
19	598333.1	4369134.4	128.8	29	229
20	598221.3	4369132.6	103.4	36	202
21	598219.2	4369132.7	103.3	36	201
22	598194.5	4369132.3	98.2	43	204
23	598192.4	4369132.8	98.2	42	208
24	598309.4	4369082.4	135.2	49	240
25	598309.1	4369082.3	135.3	47	241
26	598236.7	4369080.0	110.8	38	211
27	598238.7	4369083.5	112.9	39	206



Şekil 10. 102m (3.istasyon)'den ölçülen şevlere ait yüzeylerin kontur diyagramı. (Yeşil: 1. ölçüm, Mavi: 2. ölçüm, Kırmızı renk: heyelan hareket yönü)

4 SONUÇLAR

Yersel lazer tarayıcı sistemler ile şev takibine yönelik 23 Mart 2014 ve 22 Nisan 2014 tarihlerinde yapılan çalışmalarda, iki farklı tarihe ait oluşturulan nokta bulutları üzerinden alınan kesit görüntülerinde ve kesitlere bağlı olarak hareketli yüzeylerden hesaplanan hareket yönelimlerine göre;

- Simav ocağı doğu şevleri TLS ölçümleri sonucunda doğu şevlerinde kayda değer hareketler gözlemlenmiştir.
- Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde hareketin küçük çaplı bir şev hareketi değil büyük çaplı bir heyelan olduğu, hareketin öteleme ve akma şeklinde meydana geldiği ve ocak için tehlike arz ettiği görülmektedir.
- Ölçüm sonucu nokta bulutlarından alınan kesitlerden yapılan analizlerde yüzeylerin 0,15m ile 1,6m arasında yerdeğiştirdiği ortaya konmuştur.
- Kesitlerdeki yüzey ölçümlerine bağlı olarak şevlerin hareket yönünün GB (202-215) şeklinde geliştiği görülmüştür.

Sonuç olarak şevlerin lazer tarayıcı sistemler ile oldukça hassas bir şekilde izlenebildiği ve alınan ölçüm sonuçları üzerinde mühendislik çalışmalarının yapılabildiği ortaya konmuştur. Yapılan analizlerden ocaktaki hareketin tehlikeli boyutlarda olduğu ve önleyici tedbirler alınması gerekliliği açıktır. Bundan sonraki süreçte de bu ocağın ve buna benzer duraysızlık sorunları olan ocakların lazer tarayıcı sistemlerle izlenmesi ocaklardaki hareketlerin bu sistemler yardımıyla değerlendirilmesi hem iş kolaylığı açısından hem de iş güvenliği açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

Deliormanlı A.H., Maerz N.H., Otoo J., 2014. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences v66 pp. 41-48,

Inada R., Takagı M.,2010 "Method Of Landslıde Measurement By Ground Based LiDAR" International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan

Zeybek M., Şanlıoğlu İ., 2013, “Heyelanların İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Kullanılması Üzerine Araştırmalar” Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, KTÜ, Trabzon

GPS/CBS Tabanlı Üretim Takip Programının Geliştirilmesi ve Madencilikte Kullanımı: Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi Örneği

Developing a GPS/GIS based software for mine production operations; operatmonitoring of production and using in mining: An example of Kislakoy Open Cast Mine in Afsin-Elbistan Lignite Mine

B.A. Mert
Mustafa Kemal Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay, TÜRKİYE.

A. Dağ, A.C. Özdemir
Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, TÜRKİYE

ÖZET Gelişen teknoloji ile CBS/GPS entegrasyonunun birçok uygulama alanı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, madencilik faaliyetlerini içeren bir maden bilgi sistemi oluşturularak, maden mühendisinin madencilik faaliyetlerini ve ürün hareketlerini gerçek zamanda izlemesi, gerekli sorgulamaları ve analizleri yaparak doğru karar vermesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla, öncelikle Afşin-Elbistan linyit havzasına ait jeolojik ve sondaj verileri analiz edilerek tablosal veritabanları hazırlanmış, daha sonra madencilik faaliyetlerinde kullanılan sayısal tematik haritalar oluşturularak CBS çatısı altında birleştirilmiştir. Bunun sonucunda, grafik ve grafik olmayan veriler ile bu veriler arasındaki mantıksal ve topolojik ilişkileri bütünleşik olarak işleyebilme ve böylece konuma bağlı analizleri gerçekleştirme olanağına sahip "Üretim Takip ve Planlama Bilgi Sistemi" yazılımı geliştirilmiştir.

Bu çerçevede, ekskavatörlerin üzerine bir GPS alıcısı yerleştirilerek, sayısal haritalar üzerinden izlenebilmeleri mümkün kılınmış, linyit üretimiyle eş zamanlı olarak üretim miktarı, ısıl değer, %nem, %kül gibi kalite verilerinin takip edilmesi ve stok kayıtlarının veritabanı olarak saklanması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: GPS, CBS, takip programı, Afşin-Elbistan

ABSTRACT Together with the developing technology many fields of application of the integration of GIS/GPS have emerged. In this study, it was aimed to monitor mining activities and product movements by establishing a mine information system and to give the optimum decision by conducting the necessary inquiries and analyses.

For this purpose, firstly the table and graphical data have been prepared by geostatistical analyzing the geological and drill holes data of the Afsin-Elbistan lignite basin and then they are integrated under the GIS environment by creating the digital maps used in the mining activities. For the reason that, the ''Production Tracking and Planning Information System'' software which has ability to perform logical and topological relationships between graphical and non-graphical data and the depending on the position analysis has been developed.

As a result, by placing a GPS receiver on the bucket well excavators, both the monitoring of them over the digital maps have been enabled and the tracking and the storage of the stock accounts as database of the quality data such as the production amount, calorific value, moisture%, ash% simultaneously with the lignite production have been provided.

Keywords: GPS, GIS, software, Afşin-Elbistan

1 GİRİŞ

Hammaddenin önemi ve giderek artan hammade ihtiyacı, mevcut yeraltı kaynaklarının daha verimli kullanılması gereksinimini de beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda seçimli madencilik ve harmanlama-homojenleme prosesleri gibi kalite iyileştirme uygulamaları gittikçe önem kazanmakta, bu durum ise etkin bir üretim yöntemi ve planlamasını beraberinde getirmektedir.

Etkin bir üretim planlaması için öncelikle maden yatağının nitel ve nicel özelliklerinin saptanması gereklidir (Hartman, 1992). Nitel özellikler, yapılacak jeolojik ve jeofizik çalışmalarla ortaya konur. Kalite ve miktar gibi nicel özellikler ise, yapılan hesaplamaların hassasiyetine bağlı olarak farklı şekillerde tanımlanır. Genellikle ilk adım araştırma-geliştirme sondajları ve arazi çalışmalarının tamamlanmasıdır. Daha sonra bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında, maden yatağının geometrisi, cevherleşme ve sürekliliği, cevherin kalitesi ve miktarı gibi özelliklerini belirlemek üzere yatağın jeolojik blok modeli çıkarılır (McKillup ve Dyar, 2010). Bir cevher kütlesinin blok modeli cevher kütlesinin soyut küçük bloklara bölünmesiyle elde edilir. Herhangi bir blok modelde tek bir blok, üçlü indeks sistemi (i,j,k) ile tanımlanır ve blokların kalite değerleri tahmin edilir (Singer ve Menzie, 2010). Bu çerçevede, maden yataklarının değerlendirilmesi için önem arz eden değişkenlerin yatak boyunca nasıl bir dağılım sergilediğinin tahmini amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortak gayesi, öncelikle jeolojik blokların kalite değerlerinin doğru bir tahmini, daha sonra verilerin haritalanarak analiz edilebilmesidir. Haritaların analizinde, geleneksel olarak harita üzerindeki ölçek yardımıyla konum-koordinat hesaplamaları yapılmakta, harita lejandı sayesinde de konum-kalite bilgisine ulaşılmaktadır. Günümüzde geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi içerikli bilgisayar yazılımları sayesinde ise bu hesaplamalar, hatta harita üzerinde iki boyutta gösterilemeyen birçok bilgi kolaylıkla elde edilmektedir (Mert ve Dağ, 2013).

Coğrafi Bilgi Sistemi kavramını kısaca veritabanları ile ilişkilendirilmiş mekansal objelerin haritalanması olarak nitelenebilir (Church, 2002). Madencilik alanında harita kullanımının yaygın olduğu düşünülürse CBS'nin madencilikte kullanım alanı bulmaması düşünülemez. Konuya kömür madenciliği açısından örnek verilecek olursa; klasik üretim haritasında basamaklar ve kömürün kalınlık eğrileri aynı anda gösterilebilir, fakat nem eğrileri veya birkaç değişken daha harita üzerinde göstermek istenilirse harita içinden çıkılmaz bir hal alacaktır. İşte bu noktada coğrafi bilgi sistemleri mantığı ile hazırlanmış bir haritada her değişken bir katman olarak ifade edilir ki, istenilen katman üzerinde çalışma yapabileceği gibi haritayı ifade eden sayısal verilere de rahatça ulaşılabilinir(Mert, 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde harita katmanları üzerindeki her objenin bir konum-koordinat bilgisi vardır, öyle ki objeler bu bilgi sayesinde harita üzerinde tanımlanır ve ifade edilirler. Konum-koordinat bilgisinin elde edilmesi veya konum verisi üreten cihazlar üzerinden CBS bilgisine erişme ihtiyacı oldukça önemli ve güçtür. Bu anlamda klasik veri elde etme yöntemlerine göre, en pratik alternatiflerden biri olarak 2-5 cm'ye kadar hassasiyetle ölçüm yapılabilen Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) benimsenmektedir (Mekik ve Arslanoğlu, 2003, Yomralıoğlu ve Döner, 2005).

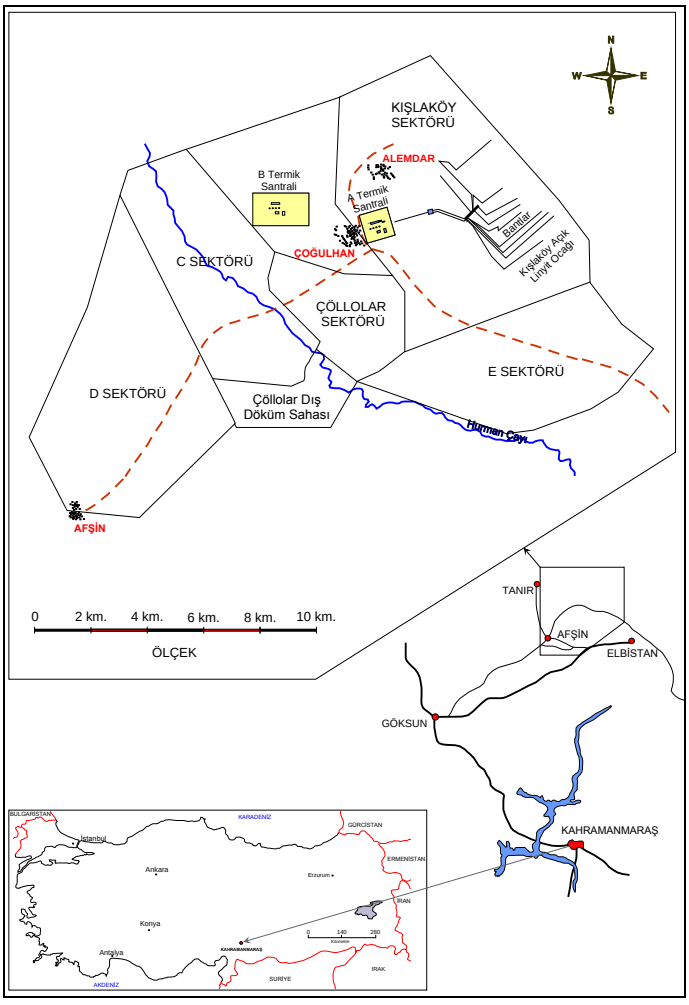
Bu kapsamda, madencilik faaliyetlerinde CBS/GPS entegrasyonunun birçok uygulama alanı ortaya çıkmakla birlikte, bu araştırma çalışmasında, madencilik faaliyetlerini içeren bir bilgi sistemi oluşturularak, maden mühendisinin tüm madencilik faaliyetlerini toplu halde bir sistemde görmesi, gerekli sorgulamaları ve analizleri yaparak doğru karar vermesine olanak sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca, örnek saha uygulaması olarak seçilmiş Kışlaköy Açık Linyit İşletmesindeki stoklara beslenen linyitlerin kazılma zamanına bağlı ortalama kalite değerlerinin takip edilerek

harmanlama prosesine ışık tutulması ve linyitin yanma kalitesinden kaynaklanan problemlerin azaltılması amaçlanmıştır.

Bu amaçla çalışma, literatür araştırmaları, örnek sahamız olan linyit yatağına ait jeolojik ve sondaj verilerinin analiz edilerek jeolojik blok model veritabanının oluşturulması, linyit kazı konumu ve konuma bağlı bilgilere GPS teknolojisi ve CBS yöntemleri kullanılarak ulaşılması ve linyit üretim miktarı ile kalitesinin takibine olanak sağlamasına yarayacak bilgisayar yazılımının hazırlanması şeklinde yürütülmüştür.

2 ÇALIŞMA ALANININ TANIMI

Kahramanmaraş İli'ne bağlı Afşin ve Elbistan İlçelerinin kuzeyinde bulunan ve yaklaşık 120 km^2'lik bir alanı kapsayan linyit havzası; Kışlaköy (A), Çöllolar (B) ve Afşin (C) adı verilen üç ana sektör ile D, E ve F sektörlerinden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

Linyit havzasının kuzeyinde yer alan 1.2 milyon ton rezerve sahip Kışlaköy açık işletmesi, altı adet döner kepçeli kazıcı, 55 km uzunluğunda bant konveyör sistemi ve beş adet dökücü ile teçhiz edilmiş, ortalama 55 milyon m^3/yıl örtü kazı ve 20 milyon ton/yıl linyit üretebilecek şekilde tasarlanmış olup, çalışmamızda örnek saha olarak seçilmiştir (Yörükoğlu, 1991, Mert, 2004).

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

GPS/CBS entegrasyonu sonucu yapılacak sorgulamaların sağlıklı yürütülebilmesi ve gerçekçi sonuçları üretilebilmesi, veri tabanlarının yeterli ve güvenilir olmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda linyit havzasında geçmişten bugüne gerçekleştirilen 778 adet sondaja ait loglar, 1/25.000 ölçekli topografik, 1/5000 ölçekli kartografik ve jeolojik haritalar ile güncel ve geçmişteki arazi kullanım haritaları, araştırmanın temel materyallerini oluşturmaktadır. Ayrıca jeoistatistik analizlerde Datamine, CBS analizlerinde ise MapInfo 9.0 ve Visual Basic yazılımları ile çalışmalar yürütülmüştür.

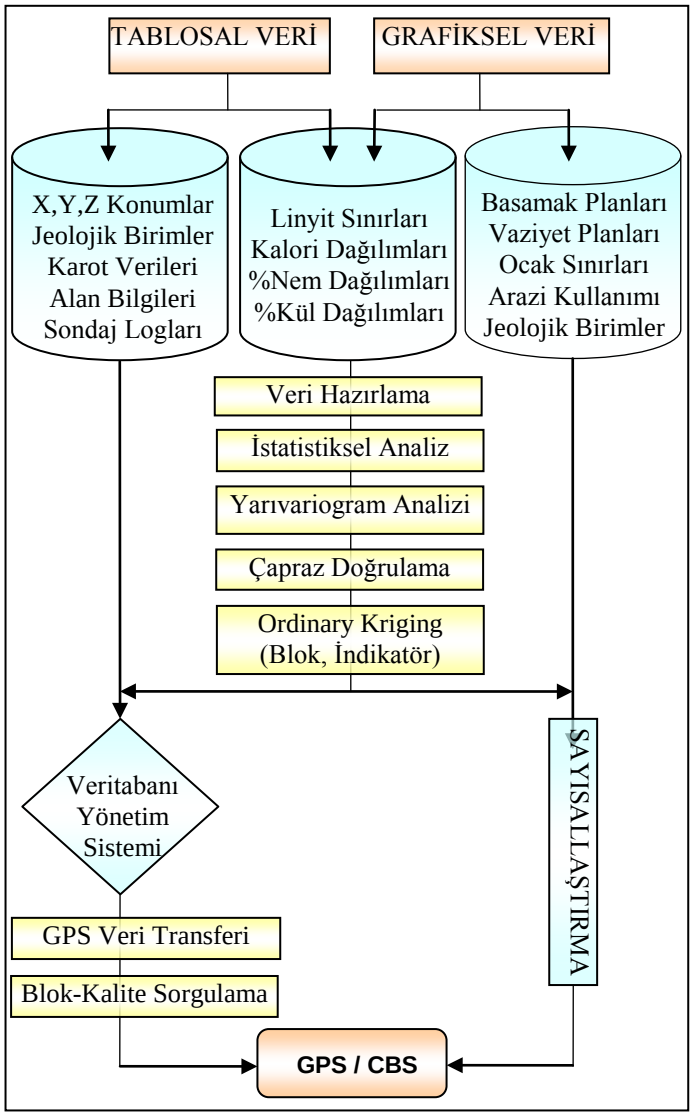
3.2 Yöntem

GPS/CBS teknolojisinin madencilik faaliyetlerinde kullanım olanaklarının araştırılmasına yönelik olarak, öncelikle madencilikte kullanılan harita materyalleri CBS tekniklerinden faydalanılarak sayısal haritalara dönüştürülerek grafiksel veritabanları, daha sonra sondaj verileri ile jeoistatistik yöntemler kullanılarak linyit yatağı modellenmiş ve tablosal veritabanları hazırlanmıştır. Daha sonra elde edilen grafik ve grafik olmayan veriler ile bu veriler arasındaki mantıksal ve topolojik ilişkileri bütünleşik olarak işleyebilme ve böylece konuma bağlı analizleri gerçekleştirme olanağına sahip "Üretim Takip ve Planlama Bilgi Sistemi" yazılımı geliştirilerek, döner kepçeli ekskavatörlerin üzerine yerleştirilmiş bir GPS yardımıyla konum/kalite sorgulamaları yapılmıştır (Mert, 2004).

GPS/CBS analizleri için veritabanı çatısının oluşturulması, verilerin veritabanına girilmesi, projenin en önemli ve en çok emek-zaman alan kısmıdır. Elde edilecek verilerin kalitesi, yapılacak analizleri ve dolayısıyla da sonuçları doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede, çalışma alanının sınırları, kullanılacak koordinat sistemi, gerekli olacak veri katmanları ve verilerin nasıl kodlanarak organize edileceği önceden belirlenerek, çalışmanın ileri aşamalarında ortaya çıkabilecek değişiklikler için veritabanının doğru tasarlanması gerekmektedir. Bu kapsamda çalışma aşamaları sırasıyla;

- Veritabanlarının hazırlanması,
- Veritabanı yönetim sisteminin kurulması,

olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın genel akım şeması

4 LİNYİT YATAĞI VERİTABANLARI HAZIRLANMASI

Grafiksel veritabanının oluşturulmasında ilk olarak söz konusu çalışma sahasını da kapsayan 1/25.000 ölçekli L38/A1-A4, L37/B2-B3, 1/100.000 ölçekli L37 ve L38 pafta numaralı topografik ve jeolojik haritalar tarayıcı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve üzerinde görsel yorumun daha iyi yapılabilmesi için Adobe Photoshop programı yardımıyla gerekli filtrelemeler uygulanmıştır. Daha sonra harita, MapInfo 9.0 programı ortamında UTM projeksiyon sisteminde 37. Zone - 39. Dilim Orta Meridyeninde ve ED50 elipsoide uygun olarak düzlemsel izdüşüme oturtularak memleket koordinatlarına dönüştürülmüştür. Benzer mantıkla Afşin-Elbistan Termik Santraline halen kömür tedarik eden Kışlaköy ve Çöllolar açık kömür ocaklarının 2009 Nisan ayına ait vaziyet planları, üretim ve jeolojik haritaları sayısallaştırılmış, basamak sınırları ve ocaktaki diğer coğrafi koordinatlar GPS ile ölçüm yapılmak suretiyle sisteme dahil edilmiştir. Böylelikle çalışma alanına ilişkin grafiksel bir veri tabanı oluşturulmuştur (Mert ve Dağ, 2013).

Veritabanlarının hazırlanmasında ikinci aşama olarak; coğrafi koordinatları bilinen linyit havzası, yatay eksenler boyunca 100x100 m eninde, düşey eksen boyunca 112 ayrı seviyede 2.5 m'lik boylarda bloklara bölünmüş (Şekil 3), her bir bloğun ortalama Isıl değer, %Kül, %Nem değeri ve linyit sınırları kriging tahmin teknikleri ile modellenerek görsel ve sayısal veritabanları olarak olarak saklanmıştır (Mert ve Dağ, 2013).

Bilindiği üzere, iki boyutlu grafiksel veriler, x-y düzlemli bir haritada tüm detayları ile tanımlanabilmelerine rağmen, üç boyutlu bir grafiksel veri iki boyutta ancak lejant verilmek suretiyle gösterilebilmektedir. Bu sebeple, düşeyde 2.5 m'lik 112 ayrı seviyeye bölünerek tanımlanan Isıl değer, %Kül, %Nem ve linyit sınırlarının, çeşitli öznitelikleri ve konumlarına bağlı tablosal veri tabanları her katman için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Daha sonra bu tablosal veriler, grafiksel veritabanı

ile ilişkilendirilerek, iki boyutlu bir harita üzerinde, üç boyutlu koordinatları GPS alıcısı ile tespit edilmiş bir noktanın, üçüncü boyuttaki öznitelikleri sorgulanabilir hale getirilmiştir.

5 VERİTABANI YÖNETİM SİSTEMİ

Bu bölümde konuma bağlı analizleri gerçekleştirme olanağına sahip "Üretim Takip ve Planlama Bilgi Sistemi" nin geliştirilme aşamaları ve niteliklerinden bahsedilmiştir. Sistemin geliştirilmesi sırasında düşünülen ana prensip açık işletme faaliyetlerinde görev yapan maden mühendislerine veya üretimden sorumlu diğer kişilere sayısal karar vermede kolaylık sağlamak ve işletmelerde gelişen olaylar ile ürün hareketlerini gerçek zamanda izlemek olmuştur. Bu amaçla hazırlanan yazılım sayesinde kullanıcı, ekranda sondaj lokasyonu üzerinden sondaj logu bilgilerine veya herhangi bir basamağa ilişkin Isıl değer, %Kül, %Nem içeriği gibi kalite bilgileri ve tanımlanan diğer tablosal veri tabanlarına ulaşabilmektedir. Benzer şekilde Şekil 2'de tanımlanan tüm grafiksel veriler sayısal olarak tanımlandığı için harita üzerindeki diğer objelerin özniteliklerine yazılım sayesinde ulaşılabilinmektedir. Ayrıca, ekran üzerinden mesafe hesaplamaları yapabilmesi Maden Mühendisine konuma bağlı doğru karar vermede kolaylıklar sağlamaktadır.

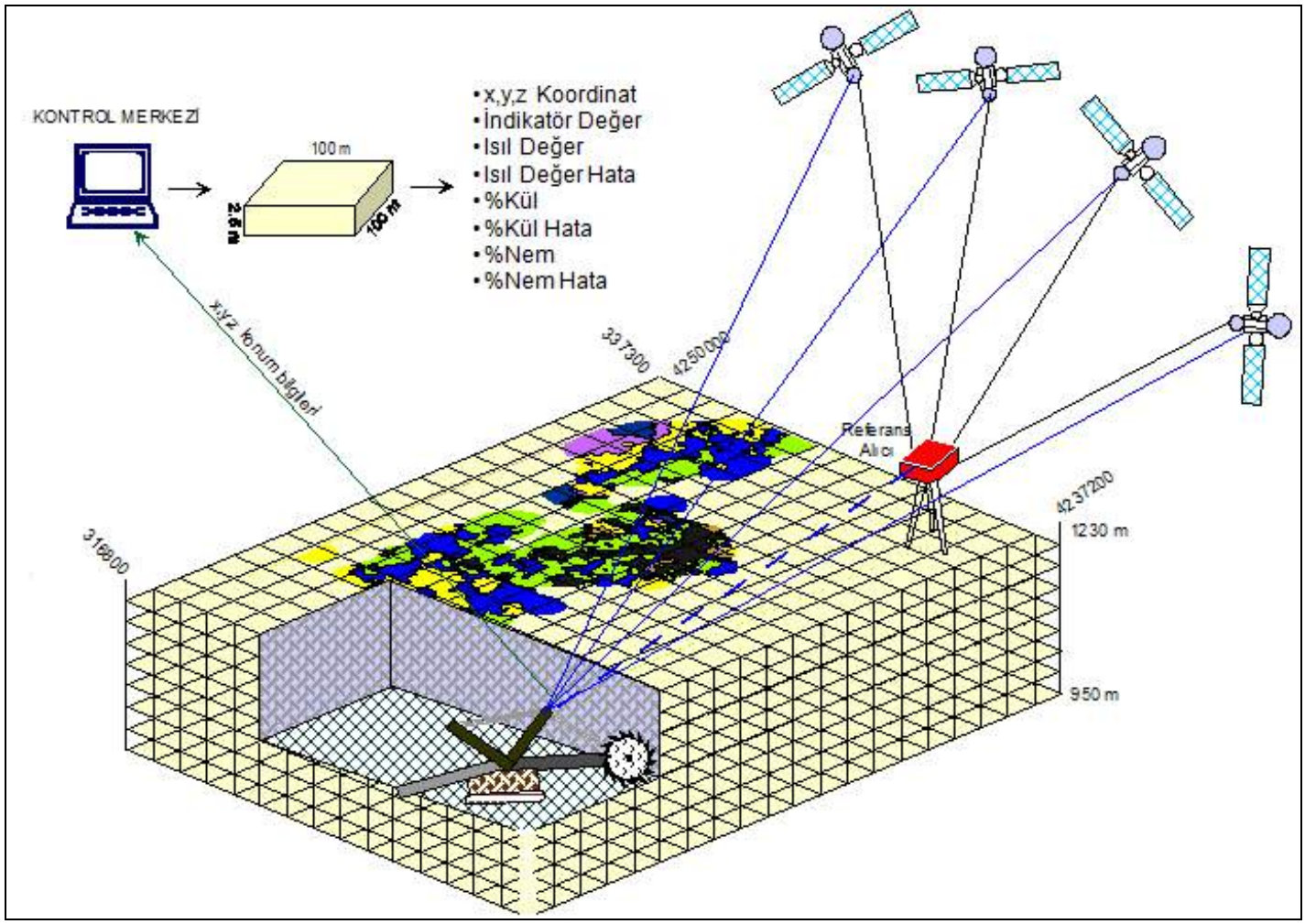
Bilindiği üzere Kışlaköy açık işletmesinde, döner kepçeli ekskavatörler tarafından kazılan örtü malzemesi ve kömür, bantlar aracılığıyla döküm sahalarına gönderilmektedir. Termik santralin tasarımına göre talep edilen kömürün Isıl değeri, ortalama 1050 Kcal/kg, en az 950 Kcal/kg, en fazla 1600 Kcal/kg, 30 günlük ortalaması ise 1000 Kcal/kg'dan büyük olmalıdır. Kül miktarı 250 gr/1000 Kcal'yi, su miktarı ise % 64'ü geçmemelidir. Kömür harmanlama ve stok sahası 660.000 ton efektif ve en fazla 1.000.000 ton kapasiteyle oldukça büyük olarak tasarlanmıştır (Yörükoğlu, 1991). Santralin yaklaşık 10 günlük gereksinimi sürekli olarak stokta bulundurulmaktadır. Böylece santralin işletmede ortaya çıkabilecek uzun süreli duruşlardan etkilenmemesinin sağlanması yanında, homojen linyit temini için gerekli harmanlamalarda burada gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla kazılarak stoklara gönderilen kömürün, kalite ve miktarının anlık takibi harmanlama gibi diğer prosesler açısından önem arz etmektedir. CBS çatısı altında hazırlamış olduğumuz tablosal verilere bakılırsa, elimizde; Isıl değer, %Kül, %Nem ve linyit sınırlarını tespit ettiğimiz, 112 ayrı derinlik seviyesinde 100x100x2.5 m'lik boyutlarında, coğrafi koordinatları bilinen bloklar mevcuttur. Bu bilgiler ışığında üretimin kalite ve miktarının anlık takibi için üç soruya cevap aranmıştır,

1. Ekskavatör hangi coğrafi koordinat üzerinde kazı yapıyor?
2. Kazı yapılan koordinat, tablosal veri tabanımızdaki bloklardan hangisi içine düşüyor?
3. Kazı yapılan koordinattaki bloğun Isıl değer, %Kül, %Nem kalite değerleri nedir? Ne kadar doğrudur?

GPS teknolojisine bakılırsa, 2-3 cm hata hassasiyeti ile koordinat bilgisine ulaşmak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla da ekskavatör üzerine yerleştireceğimiz bir GPS alıcısı ve bomuna yerleştirilecek sensörler yardımıyla kazı yapılan koordinatlara ulaşabileceği sonucuna varılır. Bu sayede de kurmuş olduğumuz tablosal veri tabanında yapılacak sorgulamalarla, koordinatın hangi bloğa düştüğünü ve bloğun içerdiği kalite değerlerine ulaşmak mümkün olacaktır. Bu amaçlar doğrultusunda, tablosal veritabanlarında nokta-blok sorgulamaları yapabilen CBS-GPS entegrasyonlu bir yazılıma ihtiyaç duyulmuş ve bir algoritma geliştirilerek Visual Basic programlama dilinde programlanmıştır. Yazılımın hazırlanması aşamasında birçok soruya cevap aranmıştır,

- GPS alıcısı ekskavatör üzerine yerleştirilebilir mi?
- GPS alıcısı sinyalleri uzaktaki bir bilgisayara nasıl aktarılır?
- GPS alıcısı verileri bilgisayarda koordinat bilgilerine nasıl dönüştürülür?

- Koordinat sistemleri arasındaki uyum sağlanabilecek mi? Koordinat dönüşümü gerekiyor mu?
- Koordinat – blok sorgulamaları hangi parametrelere dayanarak yapılacak?
- Tespit edilen bloklar sayısal haritalarda eş zamanlı gösterilebilecek mi?



Şekil 3. Sistemin çalışma prensibi

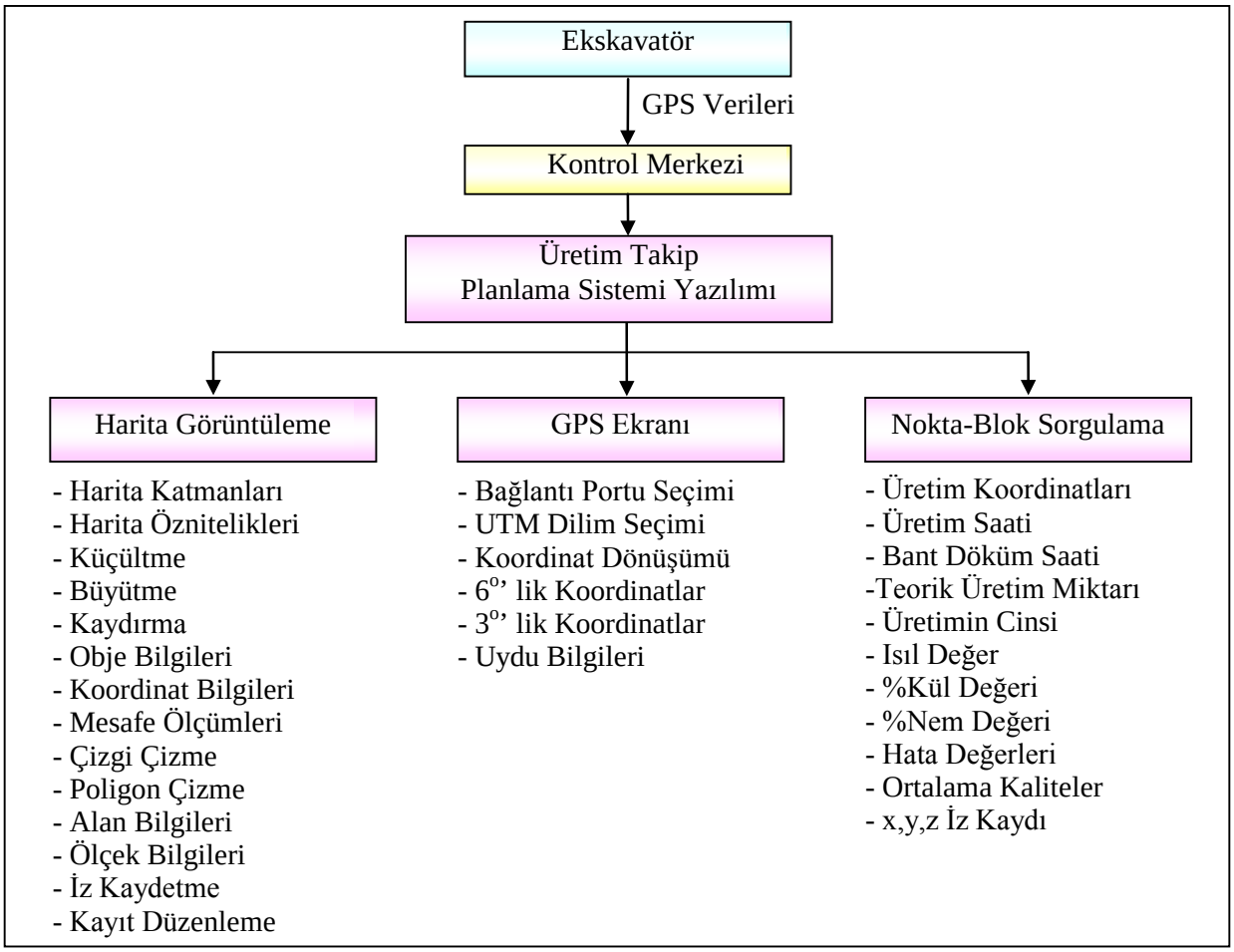
Ekskavatörün bomuna üç adet sensör, operatör kabinine de özel bir GPS cihazı yerleştirmek suretiyle kazı noktasının, GPS istasyonu yardımıyla diferansiyel GPS tekniği kullanılarak 2-5 cm hata ile tespit edilebileceği, bu bilgilerinde radyo sinyalleri ile uzaktaki bir bilgisayara iletilebileceği bilgisine ulaşılmıştır (Mekik ve Arslanoğlu, 2003, Nieto ve Dagdelen, 2006, Gu ve diğ., 2008; Enji ve Diğ., 2010). İlgili işi yapan firmalarla görüşülmüş bir iş makinesi için GPS cihazı ve istasyon maliyetinin yaklaşık 40.000 ABD Doları civarında olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Gerek maliyetler, gerekse bu türden cihazların döner kepçeli ekskavatöre yerleştirilmesinde yaşanan idari sıkıntılar sebebiyle, dizüstü bilgisayara el tipi bir GPS, RS232 seri bağlantı üzerinden bağlanmış, geliştirilen yazılım bu şekilde test edilmiştir. Ayrıca, her ekskavatöre bir bilgisayar yerleştirilerek, kablosuz internet sağlayıcıları sayesinde de sınırlı mesafelerdeki ana bilgisayara daha ucuz bir maliyetle konum verileri iletilebilmektedir.

Aşağıdaki konu başlıklarında, yukarıda belirtilen diğer sorulara cevap aranmış ve genel çalışma prensibi Şekil 4'de verilmiş bilgisayar yazılımının tanıtımı detayları ile verilmeye çalışılmıştır.

5.1 Hazırlanan Bilgisayar Programı ve Özellikleri

Yazılım üç bölümden oluşmaktadır; GPS üzerinden gelecek konum bilgilerini bekleyen ve koordinat dönüşümleri yapan bir GPS bölümü, sayısal haritaların görüntülenmesi ve iş makinesinin ekrandan takibinden sorumlu bir harita analiz bölümü ve nokta-blok-kalite sorgulama bölümü. GPS bölümü geri planda çalışmakta ve

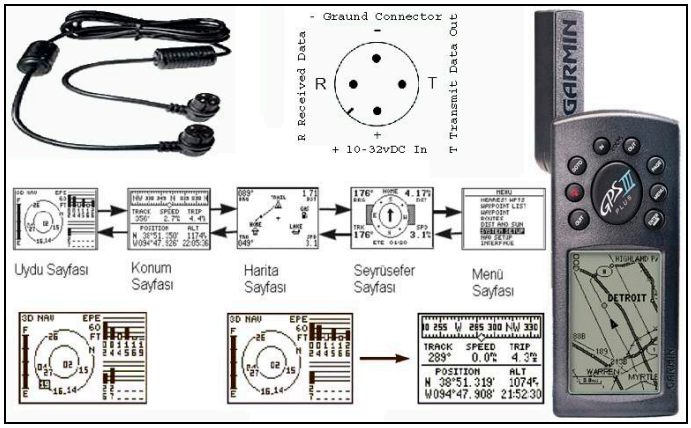
konum bilgilerini her alışında, bu bilgileri harita analiz bölümüne ileterek ekran görüntüsünün yeni durumu yansıtacak şekilde yenilenmesini sağlamaktadır. Nokta-blok sorgulama bölümünde ise kullanıcı isteğine bağlı veri tabanı üzerinden, konuma bağlı kalite sorgulamaları yapılmaktadır.



Şekil 4. Üretim takip-planlama yazılımının genel çalışma prensibi

5.2 GPS Bölümü

Uygulamalarda kullanılan Garmin GPS III-Plus çok amaçlı üretilmiş elde taşınabilir bir alıcıdır. İlk açıldığında uyduları aramaya başladığını bildirerek, uydu alış seviyesini çubuklu gösterge ile kullanıcıya bildirir. İlk 4 uyduya yeterli seviyede ulaşabildiğinde bulunduğumuz konuma ve zaman bilgisine ulaşmış olur. "Page" veya "Quit" fonksiyon anahtarları vasıtası ile sayfalar arasında geçiş sağlanabilir. GPS'in genel görünümü, ilk açılış ekranı ve sayfalara ilişkin tanıtımı Şekil 5'de sunulmuştur. Garmin GPS III Plus'ı DGPS verileri ile güncellemek istenirse öncelikli olarak cihazın menü sayfasından, Interface sayfasına girilir. Buradan RTCM/NMEA seçilir. Bu sayede GPS RTCM 104 arayüzüne uygun verileri kabul eder ve NMEA arayüzüne uygun çıktı sunar.



Şekil 5. Garmin III GPS'in RS-232 üzerinden bağlantısı ve menüleri

RS-232 üzerinden GPS ile bilgisayar arasında bağlantı sağlanabilir. Bağlantı esnasında, GPS üzerinde bulunan ve Şekil 5'de görülen uygun çıkışları

kullanılmaktadır. RS-232 girişlerinin 3 nolu girişi Transmitted Data, 2 nolu girişi ise Received Data olarak kullanılır.

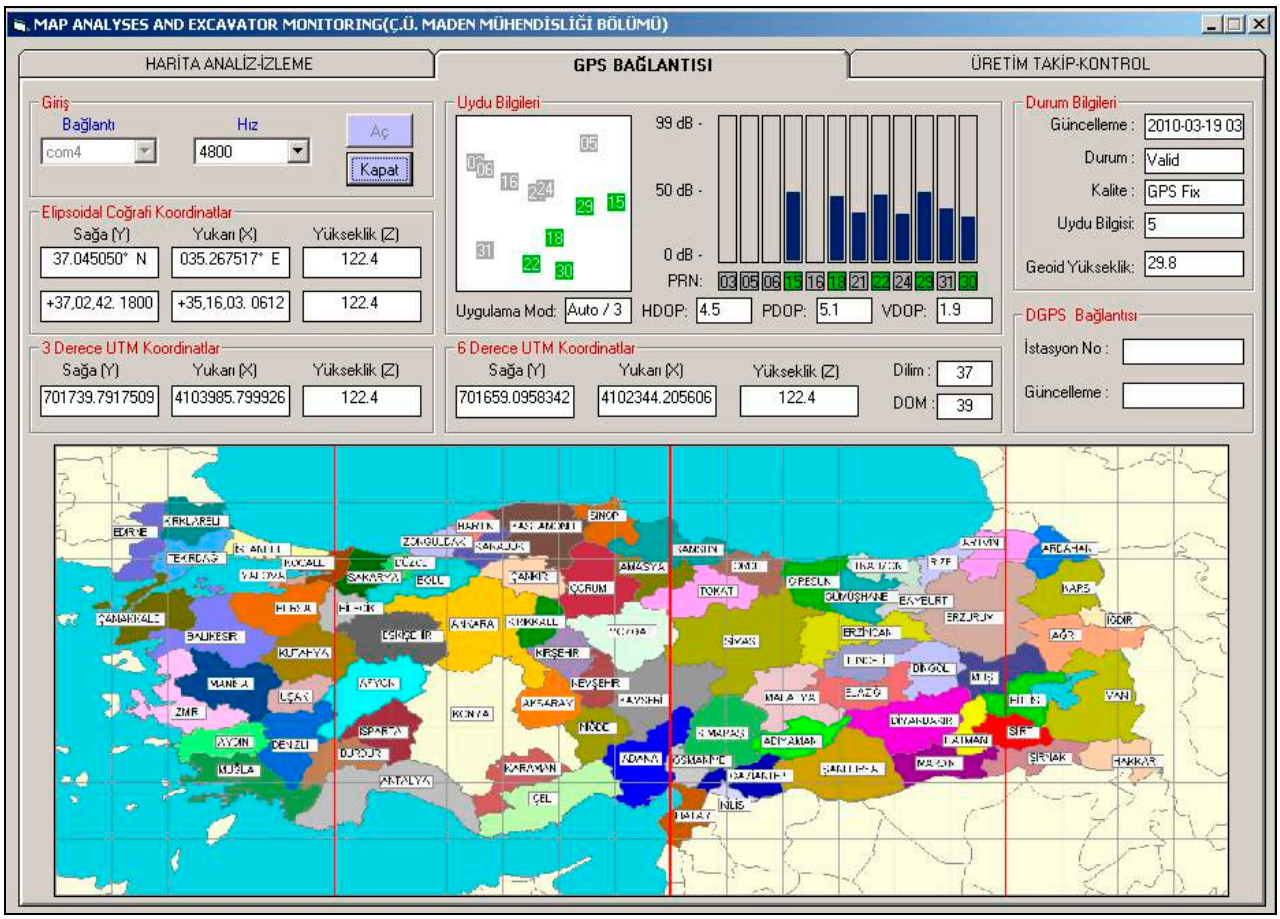
Şekil 6. GPS bağlantısı ve uygulama ekranı

Visual Basic ile seri iletişim portundan GPS ile bağlantı kurulduğunda GPS, konum bilgilerini bilgisayara NMEA cümleleri şeklinde iletir. Konum bilgilerini içeren en basit cümle GLL cümlesidir. Bu cümle sadece enlem, boylam ve konumun hesaplandığı zaman bilgilerinden oluşur. Bu bilgiler şu şekildedir;

- Derece ve dakika cinsinden enlem,
- Enlem yönü (N:Kuzey, S:Güney),
- Derece ve dakika cinsinden boylam,
- Boylam yönü (E:Doğu, W:Batı),
- Greenwich zamanına göre saat, dakika ve saniye cinsinden konumun belirlendiği zaman,
- Verilerin geçerliliği,
- Doğrulama (Checksum) verisi.

"$GPGLL, 3637.2249, N, 02809.4500, E, 164509, V, S*54" biçimindeki örnek bir GLL cümlesinde, enlem 36 derece 37.2249 dakika kuzey, boylam 28 derece 9.45 dakika doğu, zaman ise Greenwich zamanına göre 16:45:09 şeklindedir.

GLL cümlelerinin çözümlenmesi ile koordinat bilgileri sayısal olarak işlem yapılabilir hale gelmektedir. Ayrıca GPS fonksiyonlarının tamamına ulaşmak için Visaul Basic programlama dili için geliştirilmiş GPS Toolkit modülü ücretsiz olarak kullanıma açık olup modül sayesinde bağlanılan uydu sayıları, GPS sinyallerinin kalitesi v.b. birçok bilgiye ulaşılabilmektedir (Şekil 6-7).



Şekil 7. Yazılımın GPS bağlantı ekranından bir görünüm

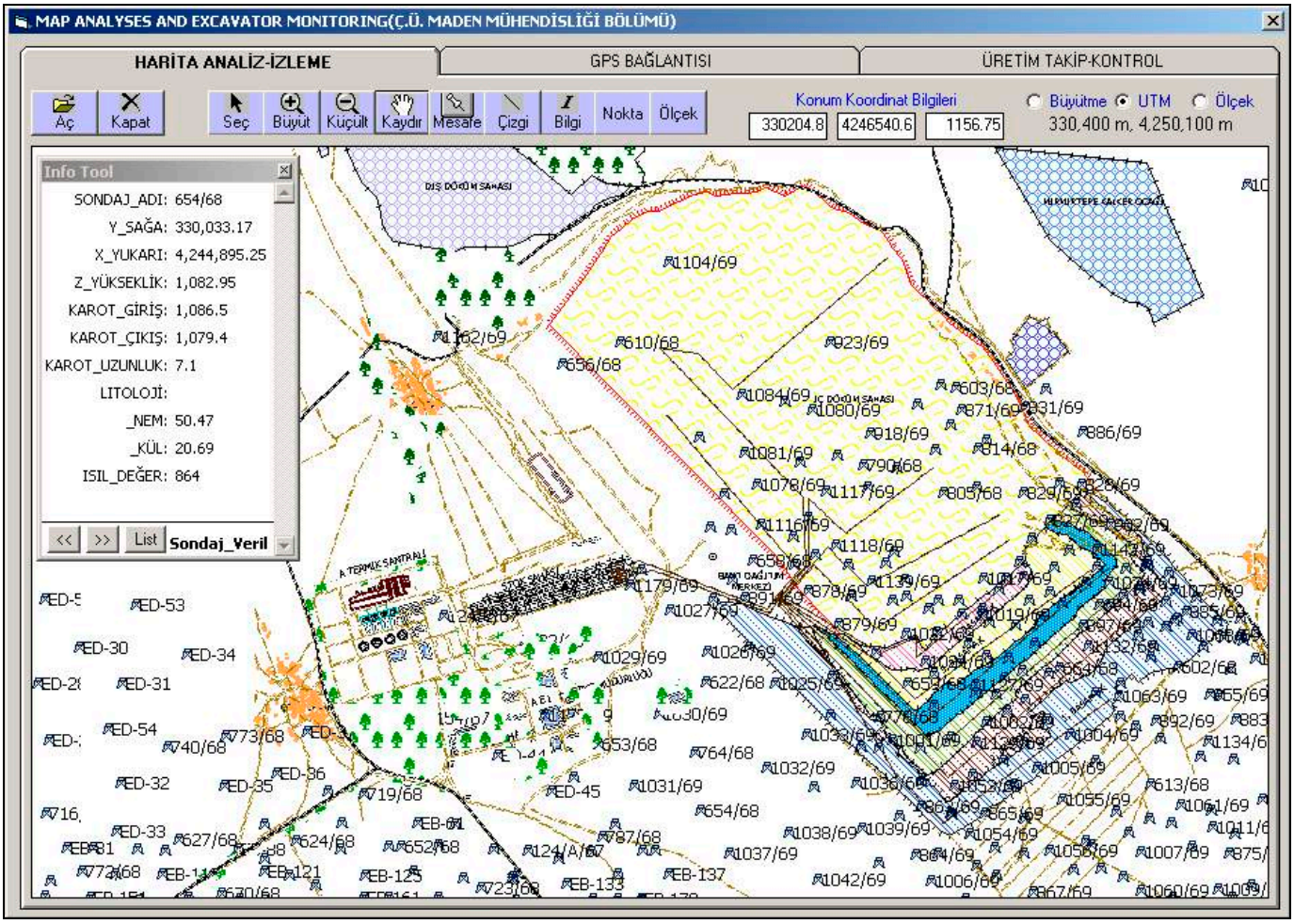
Hazırlanan programda kullanıcı, GPS ekranındaki ilgili açılan kutulardan, GPS alıcısının bağlı olduğu portu seçerek GPS ile bağlantı kurabilmekte, bağlanılan uydu sayıları, bağlantı kaliteleri görsel olarak ekranda görülebilmektedir. Konum bilgileri ise elipsoidal coğrafi koordinatlar şeklinde sunulduğu için bazı koordinat dönüşümlerine ihtiyaç duyulmuştur.

Bilindiği gibi Türkiye 1/25.000 ve daha küçük ölçekli haritalar için 6°'lik dilim genişliği, 1/5.000 ve daha küçük ölçekli haritalar için 3°'lik dilim genişliği kullanmaktadır. Ayrıca madencilik uygulamalarında 6°'lik dilimde sağa ve yukarı değerler kullanılmakta, özellikle de maden sınırlarının belirlenmesi problemlerinde dilimler arası dönüşüm problemi ile çok karşılaşılmaktadır. Bu nedenle hazırlanan programda, GPS ile WGS-84 datumunda bilgisayara aktarılan elipsoidal coğrafi koordinatlar (derece dakika), sağa-yukarı olarak UTM Projeksiyonu ED-50 datumlu 6°'lik ve 3°'lik memleket koordinatlarına dönüştürülmüştür (Mert, 2004). Diğer yandan, hazırlanan grafiksel ve tablosal veri tabanları, UTM Projeksiyonu ED-50 datumlu koordinatlarda saklanmış olup sorgulamalar için ikisinin uyum sağlaması gerekmektedir. Datum ve koordinat dönüşümleri için ise öncelikle hazırlanan program üzerinden çalışma sahamızın dilim orta meridyeni seçilmesi gerekmektedir. Dilim orta meridyeninin seçilmesiyle birlikte, ekranda dönüştürülmüş 3°'lik ve 6°'lik memleket koordinatları ve bağlanılan GPS uyduları görsel olarak sunulur(Şekil 7).

5.3 Harita Analiz Bölümü

Programın bu ekranında oluşturulan grafik veriler sayısal haritalar olarak görüntülenebilmektedir. Bilgisayar programcılığı açısından bu haritaların görüntülenmesi pek çok işlemi de beraberinde getirmektedir. Öncelikle, görüntülenecek haritayı oluşturan dosyalar okunarak, haritayı oluşturan katmanlar ve her katmanı oluşturan coğrafi objeler, belleğe yerleştirilir. Görüntüleme işlemi dosyadan okutulan her grafik katmanının belirtilen sırada birbirleri üzerine çizilmesiyle gerçekleşir. Çizim sırasında, çizilen katmanı oluşturan coğrafi objelerin koordinatlarının, ekranın koordinat sistemlerine göre yeniden hesaplanması gerekmektedir. Sayısal haritaların görüntülenmesinde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri ekran ve haritanın farklı koordinat sistemi ve birimlere sahip olmasıdır. Ekran koordinat sisteminde orijin sol üst köşede bulunur. Burada x ekseni sağa, y ekseni ise aşağıya doğrudur. Ekranın koordinat sisteminin birimi ise pikseldir. Bu durumda haritanın görüntülenen kısmı beklenin tersine baş aşağı olmakta, bu tür sorunlar da bir dizi yazılımla aşılabilmektedir. Başka bir konu ise, istenen büyütme seviyesine göre koordinat sisteminin yeniden ölçeklendirilmesinin ve haritanın farklı bölümlerinin görüntülenebilmesi için de kaydırılmasının gerekmesidir. Ekranda görüntülenmek istenen coğrafi objeleri tanımlayan tüm koordinatlar, görüntüleme işleminden önce bu yeni koordinat sistemine dönüştürülmelidirler. Bu işlem bir dizi matematiksel işlemin tüm koordinatlara uygulanmasını gerektirir. Böyle bir çözüm, sürekli harita işlemleri yapıldığı düşünülürse, yazılımın görüntüleme işleminin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bir taraftan haritaların görüntülenmesi, görüntünün güncellenmesi, kullanıcı isteklerine yanıt verilmesi gibi işlemler yapılırken, diğer taraftan, gelecek konum bilgileri beklenerek, gelen koordinatların uygun projeksiyon formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Konum bilgilerinin beklenmesi işlemi kodların sürekli çalışmasını gerektirdiğinden, yazılımın diğer bölümlerinin çalışmasını kesmekte, kullanıcı isteklerine yanıt verilmez bir duruma gelinmektedir. Sorunun çözümü bazı yazılım teknikleri uygulanarak aşılabilmiştir.

Bu kapsamda, hazırlanan yazılımın harita görüntüleme kısmında Visual Basic programlama dilinin OLE desteği kullanılarak, MapInfo'nun güçlü GIS yetenekleri ile entegre uygulamalar geliştirilmiş, bu sayede de harita görüntüleme işlemleri hızlandırılmıştır.



Şekil 8. Sayısal harita analizleri ve iş makinesi takip ekranı

Hazırlanan programda kullanıcı *.dxf, *.dwg, *.mif, *.mid, *. dgn, *.e00, *.shp vektör formatlarından bir haritayı MapInfo *.tab formatına dönüştürerek ekrana yükleyebilir ve arzu ettiği büyütme seviyelerinde görüntüleyebilir. Büyütme seviyesi, haritanın görüntülendiği alanın, haritadaki uzunluk birimi cinsinden yatay uzaklıktır. Büyütme seviyesi haritada görüntülenecek ayrıntı miktarını belirler, seviye ne kadar küçükse ayrıntı miktarı o kadar çok olur.

Ayrıca, kullanıcı haritanın değişik bölümlerini de görüntüleyebilir. Bu işlem haritanın istenen miktarda değişik yönlere kaydırılmasıyla gerçekleşir. Kullanıcı isterse görsel olarak herhangi bir noktanın sayısal değerine ulaşabilir, örneğin bir sondaj noktası üzerinden o sondajın log bilgilerine ulaşabilir (Şekil 8).

Kullanıcının tüm bu isteklerini yerine getirmek MapInfo OLE denetiminin görevidir. Böyle bir istek durumunda, MapInfo ekranın koordinat sistemini yeniden ayarlar, coğrafi objeleri bu yeni ekran koordinat sistemine göre dönüştürür ve görüntüyü yeniler. Yazılımın geliştirilen GPS bölümü ise arka planda çalışarak gelecek konum bilgilerini beklemektedir. Harita analiz bölümü, elde ettiği yeni konum bilgilerini görüntülenmekte olan harita üzerine işleyerek ekran görüntüsünü yeniler. Böylece ekskavatör, kamyon gibi GPS yerleştirilmiş herhangi bir hareketli araç gerçek zamanlı olarak bilgisayar ekranındaki sayısal haritalar üzerinde izlenir.

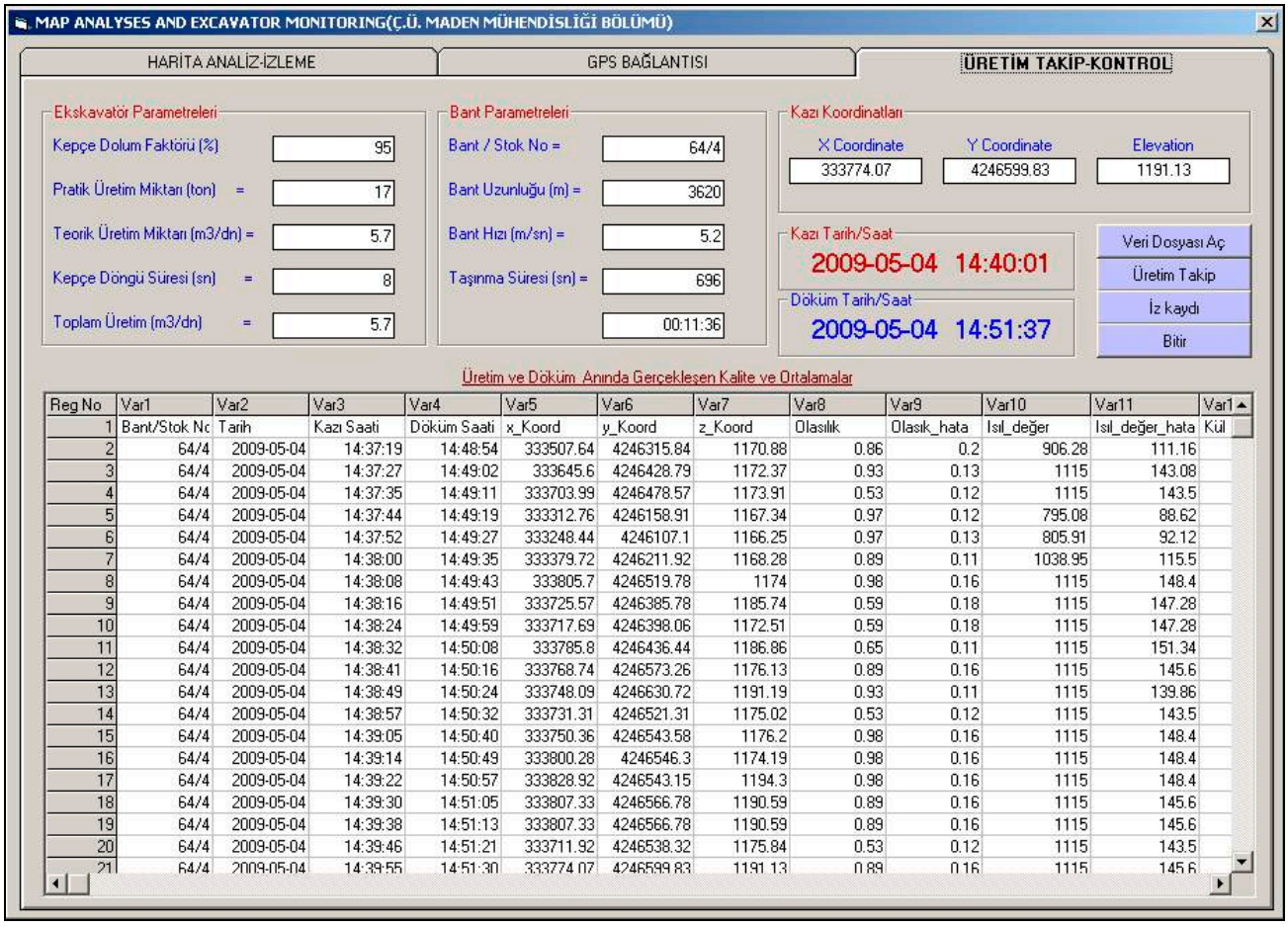
5.4 Üretim - Kalite Sorgulama Bölümü

Ekskavatörün kazı yaptığı koordinatların üç eksen boyunca elde edilmesiyle, üretimin kalitesini sorgulamak için cevap aranacak üç soru kalmıştır;

1. Kazı yapılan koordinat, tablosal veri tabanımızdaki bloklardan hangisi içine düşüyor?
2. Kazı yapılan koordinattaki bloğun Isıl değer, %Kül ve %Nem gibi kalite değerleri nedir?

3. Kazılan linyit hangi stoğa gönderilmektedir?

İlk problem ele alınacak olursa, "Hangi zaman dilimi veya eylemdeki koordinat?" sorusuyla da karşılaşılmaktadır. İş makinesi henüz manevra yapıyor kazıyı tamamlamamış da olabilir. Sorunun çözümü için iş makinesinin kazı döngü süresi ve uygulamadaki teorik kazı miktarları baz alınmıştır. Örneğin 12 sn döngü süresinde 15 m^3 kazı yapılıyor ise, GPS den gelen koordinatlar her 12 sn'de ele alınarak nokta blok sorgulamasına gidilmiştir. Aynı şekilde 12 sn'lik döngü süresindeki teorik üretim miktarı da 15 m^3 olarak çıktılarımızda üretim miktarı hanesine yazılmaktadır. Bu çerçevede, kazı makinesinin döngü süresi, kepçe dolma faktörü, teorik üretim miktarı v.b. bilgileri, kullanıcının ekrandan girmesi sağlanmıştır (Şekil 9).



Reg No	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var1
1	Bant/Stok No	Tarih	Kazı Saati	Döküm Saati	x_Koord	y_Koord	z_Koord	Olasılık	Olasık_hata	Isıl_değer	Isıl_değer_hata	Kül
2	64/4	2009-05-04	14:37:19	14:48:54	333507.64	4246315.84	1170.88	0.86	0.2	906.28	111.16	
3	64/4	2009-05-04	14:37:27	14:49:02	333645.6	4246428.79	1172.37	0.93	0.13	1115	143.08	
4	64/4	2009-05-04	14:37:35	14:49:11	333703.99	4246478.57	1173.91	0.53	0.12	1115	143.5	
5	64/4	2009-05-04	14:37:44	14:49:19	333312.76	4246158.91	1167.34	0.97	0.12	795.08	88.62	
6	64/4	2009-05-04	14:37:52	14:49:27	333248.44	4246107.1	1166.25	0.97	0.13	805.91	92.12	
7	64/4	2009-05-04	14:38:00	14:49:35	333379.72	4246211.92	1168.28	0.89	0.11	1038.95	115.5	
8	64/4	2009-05-04	14:38:08	14:49:43	333805.7	4246519.78	1174	0.98	0.16	1115	148.4	
9	64/4	2009-05-04	14:38:16	14:49:51	333725.57	4246385.78	1185.74	0.59	0.18	1115	147.28	
10	64/4	2009-05-04	14:38:24	14:49:59	333717.69	4246398.06	1172.51	0.59	0.18	1115	147.28	
11	64/4	2009-05-04	14:38:32	14:50:08	333785.8	4246436.44	1186.86	0.65	0.11	1115	151.34	
12	64/4	2009-05-04	14:38:41	14:50:16	333768.74	4246573.26	1176.13	0.89	0.16	1115	145.6	
13	64/4	2009-05-04	14:38:49	14:50:24	333748.09	4246630.72	1191.19	0.93	0.11	1115	139.86	
14	64/4	2009-05-04	14:38:57	14:50:32	333731.31	4246521.31	1175.02	0.53	0.12	1115	143.5	
15	64/4	2009-05-04	14:39:05	14:50:40	333750.36	4246543.58	1176.2	0.98	0.16	1115	148.4	
16	64/4	2009-05-04	14:39:14	14:50:49	333800.28	4246546.3	1174.19	0.98	0.16	1115	148.4	
17	64/4	2009-05-04	14:39:22	14:50:57	333828.92	4246543.15	1194.3	0.98	0.16	1115	148.4	
18	64/4	2009-05-04	14:39:30	14:51:05	333807.33	4246566.78	1190.59	0.89	0.16	1115	145.6	
19	64/4	2009-05-04	14:39:38	14:51:13	333807.33	4246566.78	1190.59	0.89	0.16	1115	145.6	
20	64/4	2009-05-04	14:39:46	14:51:21	333711.92	4246538.32	1175.84	0.53	0.12	1115	143.5	
21	64/4	2009-05-04	14:39:55	14:51:30	333774.07	4246599.83	1191.13	0.89	0.16	1115	145.6	

Şekil 9. Üretim takibi tablosal veritabanı hazırlama ekranı

Hesaplamaların hızlandırılması için her linyit sektörü için ayrı bir veritabanı oluşturulmuştur. Nokta-blok sorgulamasında ise, alınan koordinatın, veri tabanımızdaki koordinatları bilinen bloklardan hangisine en yakın ise o bloğun içine düştüğü yaklaşımına gidilmiştir. Her alınan koordinatta blok-mesafe hesaplamaları işlemi zaman alacağından, sırasıyla tüm bloklar arasındaki mesafeler bir defaya mahsus hesaplanmış, en yakın yirmi blok ayrı bir veri tabanı olarak ara belleğe alınmıştır. Yer değiştirmenin elimizdeki yirmi bloğun kapsadığı kürenin yarıçapının boyundan büyük olması üzerine ikinci yirmi blok aynı değişken tanımlamaları ile ara belleğe alınarak sorgulama işlemleri hızlandırılmıştır.

Kazı yapılan koordinattaki bloğun Isıl değer, %Kül ve %Nem gibi kalite değerleri hazırlamış olduğumuz tablosal veri tabanımızda, blok numarası ile aynı satırda yer almaktadır, kısacası "ID" olarak bilinen tanı numarası tespit edilen blok için tüm özniteliklerde aynıdır (Şekil 9). Bu yaklaşım ile kazı yapılan bloğun, numarası, koordinatları, Isıl değeri, Isıl değer tahmin hatası, %Kül tahmini, %Kül tahmin hatası, %Nem tahmini, %Nem tahmin hatası gibi kalite değerleri belirlenerek, çıktı olarak sunduğumuz veri tabanında yer almıştır.

Kullanıcının belirlediği döngü süresi dahilinde yapılan teorik üretim miktarına bağlı, toplam üretim miktarı ve toplam üretime karşılık hesaplanan, ortalama kalite ve hata değerleri programın çıktısında sunulmaktadır. Stoklara beslenen linyitlerin stok numarası, bant konveyörün bant uzunluğu ve bant hızı bilgilerinin ekrandan girilmesi suretiyle stok kayıtları da veritabanında görülebilmektedir. Ayrıca kazının tarih, saat v.b. gibi tablosal veri tabanları hazırlanır iken tanımlanan özniteliklerin tümü çıktı olarak sunulabilmektedir.

6 SONUÇLAR

Afşin-Elbistan Kışlaköy linyit ocağında yapılan bir uygulama ile ekskavatör kepçesinin 6 metre yakınında bir mafsala GPS bağlanmış, bir buçuk saatlik bir sürede yapılan ölçümlerde veritabanımızdaki blok boylarının (100x100x2.5 m) iki misli kadar bir yer değiştirme ile üç ayrı kalite verisi kaydı alınmıştır. Şekil 9'da ekran görüntüsü verilen tablolar incelendiğinde zamana bağlı olarak üretim miktarının sürekli toplandığını, toplam üretimin ve ortalama kalite değerlerinin ilgili hanelerde sunulduğu görülür. Bu sayede üretimden sorumlu maden mühendisi stoklara gönderilen linyitin zamana bağlı kalite ve miktarlarına ilişkin bilgi sahibi olabilmektedir. Mevcut uygulamalarda, üretimin kalitesinin kazı noktasına en yakın sondajın kalite değerlerine eşit olduğu öngörülmekte olduğu düşünülürse, üretimin birçok sondaja ve bu sondajlar arasındaki fonksiyonel ilişkiye bağlı olarak tahmin edildiği ve izlendiği bir yaklaşımla, sayısal karar vermede daha doğru sonuçlara ulaşılacağı şüphesizdir.

Kışlaköy açık linyit işletmesindeki, farklı kademelerde ve dolayısıyla farklı kalitede linyit kazısı yapan diğer döner kepçeli ekskavatörler düşünüldüğünde stoklarda biriken linyitlerin ortalama kalitelerinin bilinmesi harmanlama prosesine ışık tutacaktır. Diğer taraftan kazı yapılan koordinatların üç boyutlu olarak elde edilebilmesi madene ait her türlü değişim ve ölçümlerin bilgisayar ortamında kısa zamanda güncellenebilmesine olanak sağlayabilmekte, bu durum ise anlık veya istenilen bir zaman dilimine ait imalat haritalarının hazırlanmasına imkan sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Church, R.L., 2002. Geographical Information Systems and Location Science, Computers and Operations Research, 29 (6), s.541-562.

Enji, Sun, Antonio, Nieto, Zhongxue, Li, Vladislav, Kecojevic, 2010. An integrated information technology assisted driving system to improve mine trucks-related safety. Safety science 48 (10), s. 1490–1497.

Gu Q.H., Lu C.W., Li F.B., Wan C.Y., 2008. Monitoring dispatch information system of trucks and shovels in an open pit based on GIS/GPS/GPRS, Journal of China University of Mining & Technology, 18(2): 289- 292.

Hartman, H.L., (1992) Mining Engineering Handbook, 2nd Edition, SME, AIME, Littleton.

McKillup, S. ve Dyar, E.D., 2010. Geostatistics Explained- An Introductory Guide for Earth Scientists, Cambridge University Press, ISBN-13 978-0-521-76322-6, New York.

Mekik, Ç. ve Arslanoğlu, M., 2006. Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, s. 549-558.

Mert, B.A. 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Küresel Konumlama Sistemleri Teknolojisinin Kullanımının Araştırılması. Çukurova Üniv., Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, Adana, Turkey, s.323.

Mert, B.A. ve Dağ, A., 2013. Madencilik Faaliyetlerinde CBS Kullanımı: Afşin-Elbistan Linyitleri Açık İşletmesi Örneği, 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey, Antalya, s.93-105.

Nieto A., Dagdelen K.., 2006. Development of a dump edge and vehicle proximity warning system based on GPS and wireless networks to improve safety in open pit mines. *SME Transactions*, (320): 11-20.

Singer D.A. ve Menzie W.D., 2010. Quantitative Mineral Resource Assessments an Integrated Approach, Oxfrod University Press, ISBN 978-0-19-539959-2, New York.

Yomralığlu, T. ve Döner, F., 2008. Mobil GIS: Gezici Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uygulamaları, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2005/2, Sayı 93. s. 30-37.

Yörükoğlu, M., 1991. Afşin-Elbistan Projesi ve TKİ Kurumu AELÎ Müessesesinde Madencilik Çalışmaları. Madencilik Dergisi, Eylül 1991, Sayı No:3,Ankara, s.13-29.

Kritik Altı Uzunayak Panoları İçin Tasman Analizi: Tire Linyit Sahası Uygulaması

Subsidence Analyses for Subcritical Longwall panels: A Case Study for Izmir- Tire Lignite Basin of Turkey

H. Akçın, T. Ünlü, N. A. Akçın
Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

C. Başaran
Tire Linyit Sanayi ve Ticaret A.Ş., İzmir, Türkiye

ÖZET Bu çalışmada; İzmir Tire'de Tire madenciliğe ait ruhsatlı sahada 2003 ve 2012 yılları arasında uzunayak yöntemi ile çalışan 9 ayrı üretim panosunda 2m kalınlıklı ara kesme ile ayrılan A ve B damarlarındaki üretimler için geliştirilen Maden Bilgi Sistemi-MABİS kullanılarak kritik altı ocakların tasman etki değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu panolar için tasman etki analizi sonucu en büyük tasman 2,25m ve en küçük tasman 0,85m olarak belirlenmiş, bu panoların kritik altı etkiye sahip olmaları dolayısıyla ilk tasmanın %15, ana tasmanın %65 ve artık tasmanın %20 olduğu ve yüzeyde 2m'ye varan bir tasman etkisi yaratacağı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların bölgedeki yüzey deformasyon oluşumlarıyla uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Uzunayak, tasman analizi, Tire

ABSTRACT In this study, subsidence investigations were carried out for an underground lignite coal mine at Tire, İzmir. In this mine, coal productions were made from two coal seams separated by a two metre thick rock layer. Nine coal panels were excavated between the years 2003 and 2012. Mine Information System was employed to investigate subsidence impact assessment for sub-critical longwall panels.

Results of the investigation have shown that minimum and maximum subsidence were found as 0,85m and 2,25m respectively. These panels exhibit typical behavior of sub-critical panels and total subsidence occurs at three different stages like first, main and residual subsidence. Finally, it can be stated that results of the investigation are compatible with surface subsidence measurements.

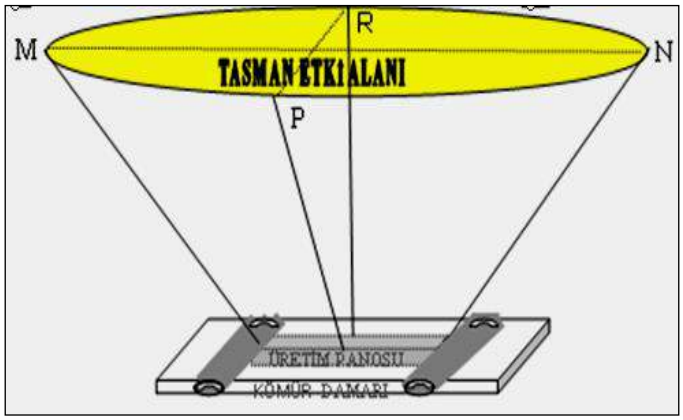
Keywords: Longwall, subsidence, Tire

1 GİRİŞ VE TASMAN OLUŞUMU

Tasmanın ve dolayısıyla mutlak düşey yerdeğiştirmelerin, yeryüzü seviyesinde etkilediği alanın belirlenmesi, gerek yeryüzünde incelenecek alanların saptanması ve gerekse yeryüzünde etkilenecek yapıların belirlenmesi açısından önemlidir. Eğer, etki alanı belirlenebilirse bu alan içindeki yapıların, tasman küveti denilen çökme havuzu içinde yatay yer değiştirmeye, düşey yerdeğiştirmeye, bükülmeye veya gerilmeye bağlı deformasyona uğraması söz konusu olacaktır.

Bir işletmede; üretim yapılan damar içinde oluşturulan panonun üretim yöntemine bağlı boyutsal özellikleri olan pano genişliği, uzunluğu, damar kalınlığı, panonun alt ve üst kotları (jeoitten itibaren alınacak pratik yükseklikleri) tespit edilebilirse yeryüzündeki etki alanı da belirlenebilir (Şekil 1). Damar eğimine bağlı olarak tasman sınır açıları kestirilebilir. Böylece, pano kenarlarından üretim merkezi yönünde

çizilen sınır hatlarının yeryüzü ile kesiştiği bölüm, tabanı bu üretim panosu olan bir ters çevrilmiş kesik koninin tepesini meydana getirir. Koninin tabanı bir elipstir. Elips elemanları olan a ve b hesaplanırken, damarın eğim yönü, panonun ortalama eni ve boyu, tasman sınır açıları ve pano derinliği göz önünde bulundurulur (Peng, 1992).



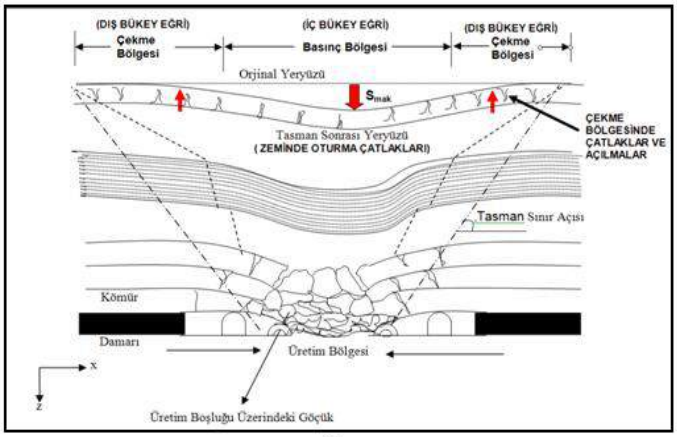
Şekil 1. Tasman etki alanın geometrisi.

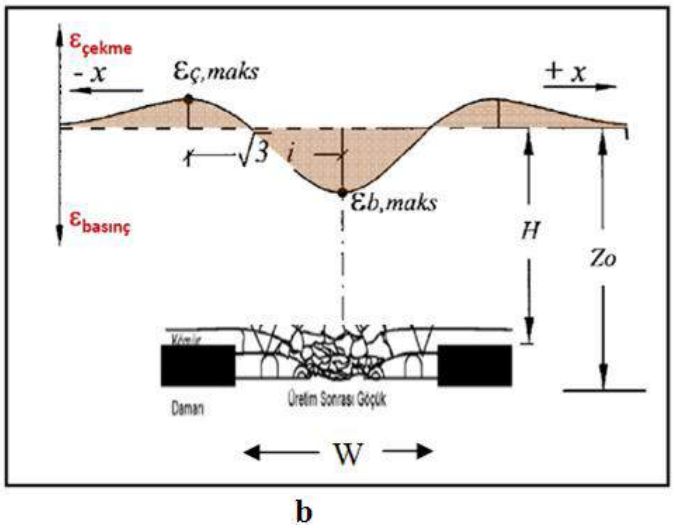
Belirlenen etki alanı içerisindeki tasmanın kestirimi için günümüzde çok farklı tasman kestirim yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin sonuçları kestirilen etki alanı içerisindeki arazi gözlemleri ile karşılaştırılarak yöntemlerin gücü ortaya konulmakta, ayrıca bu gözlemlerin sonuçlarına göre üretim bölgelerinin genel karakteristikleri elde edilebilmektedir.

Yeryüzünde tasman etki alanının geometrisi ayrıca yeraltındaki üretim panolarının boyutlarına göre de sınıflandırılabilir ve tasman oluşum süreci bu boyutlara ulaşma zamanına göre belirlenir. Üretimi sonucu, yüzeydeki bir noktada çökmeye neden olan uzunayak panosuna tesir ocağı ya da etkileyici ocak, üretimin etkilediği yüzeydeki çöküntü küveti ve açılmalara etkilenen ortam ya da tasmanlı ortam denir. Üretim alanı etkileyici (kritik) ocak büyüklüğüne ulaştıktan sonra dahi üretime devam edilirse, yeryüzünde etkilenen ortamın büyüklüğü artar (Kuşçu 1987, Akçın 1993). Üretim panoları, pano genişliği "W" ve üretim derinliği "H_d " ile

- W/H_d oranı 1,4'den küçükse kritik altı ocaklar,
- W/H_d 1,4'e eşit olması durumunda kritik,
- Kritik boyuttaki ocaklarda üretime devam edilmesi nedeniyle ocağın boyutlarının ve W/H_d oranının artması dolayısıyla 1,4'den büyük olması durumunda kritik üstü ocak olarak adlandırılır.

Üretim ocaklarının; W/ H oranları ile elde edilen bu kritik değerler aynı zamanda oluşan tasmanın yeryüzünde yarattığı basınç ve çekme bölgelerindeki gerilme oluşumlarını da karakterize eder (Şekil 2). Bu gerilmeler kritik altı panolar üzerinde yüzey açılmalarına neden olurken, kritik panolar üstünde yüzey açılmaları ve yapı hasarları oluşmasına ve özellikle kritik üstü panolar üstünde de yapılarda şiddetli hasara neden olur.

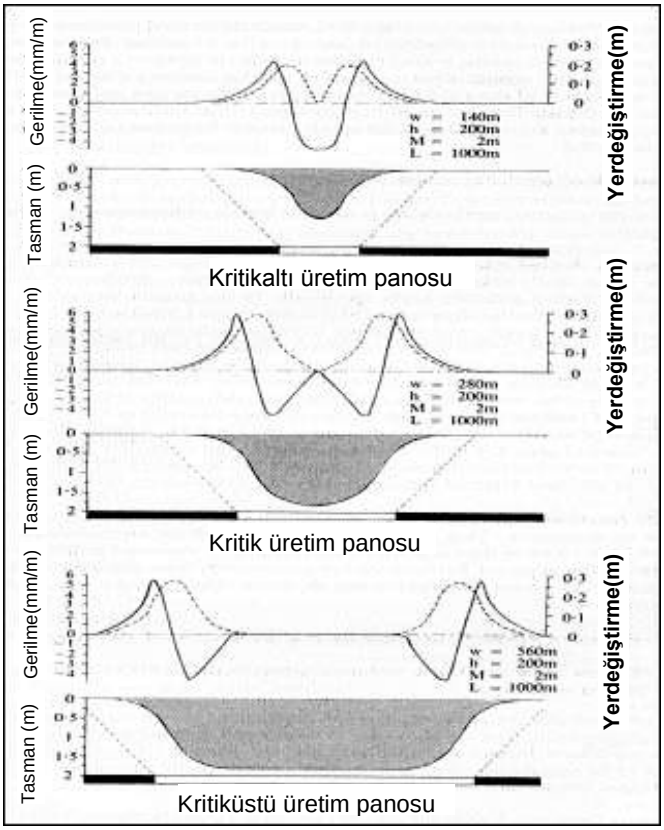




Şekil 3. Maden üretimi ile yeryüzünde birim şekil değiştirme ilişkisi.

Kritik altı üretim panoları zamansal olarak yanal ilerleme ile çekme gerilmelerinin artmasına veya katlı çalışma şeklinde düşey

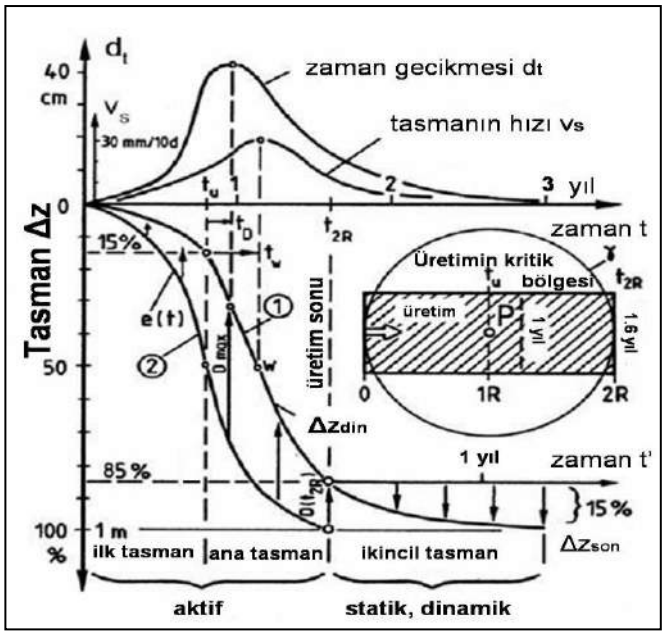
ilerleme ile basınç gerilmelerinin artmasına neden olur. (Şekil 3.)



Şekil 3. Üretim panosu geometrisine göre tasman etkisi (Whittaker ve Reddish, 1989)

Tasman Mühendisliği Biliminde, Kritikaltı boyuttan kritik üstü boyuta kadar her kademede, tasmanın gelişim süreci üç şekilde oluşur (Şekil 4). Bunlar;

- **İlk tasman** süreci, üretimin başlaması ile maksimum tasmanın ilk %15'lik kısmı 1-2 ay içerisinde oluşur, kısmen yeryüzünde çatlaklar meydana gelir.
- **Ana tasman (aktif tasman)** süreci, üretim devamlılığına bağlı olarak gelişir ve 5-12 ay içerisinde maksimum tasmanın %70'lık kısmı oluşur, yeryüzünde çatlaklar ve açılmalar, kaymalar kısmen oturmalar meydana gelir.
- **İkincil Tasman (artık tasman)** süreci, ilk ve ana tasmandan sonra 5-10 yıl içerisinde üretimin üstündeki litolojik birimin özelliğine(sert veya yumuşak litoloji) ve üretim derinliğine bağlı olarak kısmi oturmalar şeklinde oluşur. National Coal Board'a göre artık tasman, maksimum tasmanın %10 ile 15'i, Walter et al. (2004)'e göre %15'i ve Ferrari (1997)'ye göre %8 ile %45'e kadar oluşabilecek bir değerdedir.



Şekil 4. Kritik boyuttaki bir üretim panosunda P noktası üzerinde oluşan tasmanın zamansal gelişimi (Walter vd. 2004).

2 AYRIK ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE TASMAN KESİTİRİMİ

Yeryüzünde oluşan çöküntü küvetindeki maksimum tasmanın faktörlere bağlı olarak kestiriminde, geliştirilmiş değişik yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri ayrık elemanlar yöntemidir (Peng 1992). Bu yöntemde; üretim bölgesi ile yeryüzü arasındaki katmanların özelliklerine göre ortamın tasman faktörü elde edilmektedir. Böylece eşitlik 1'de gösterilmiş olan en büyük tasman değeri kestirilebilmektedir. Elde edilen en büyük tasman değeri çevresinde üretim yönünde ve üretim yönüne dik yöndeki tasman profilleri için ise eşitlik 2'de verilen profil fonksiyonu kullanılır. (Whittaker ve Reddish, 1989).

$$S_{mak} = a\ m \cos \alpha \quad (1)$$

$$S(x) = S_{mak}\ f(L, x, c,) \quad (2)$$

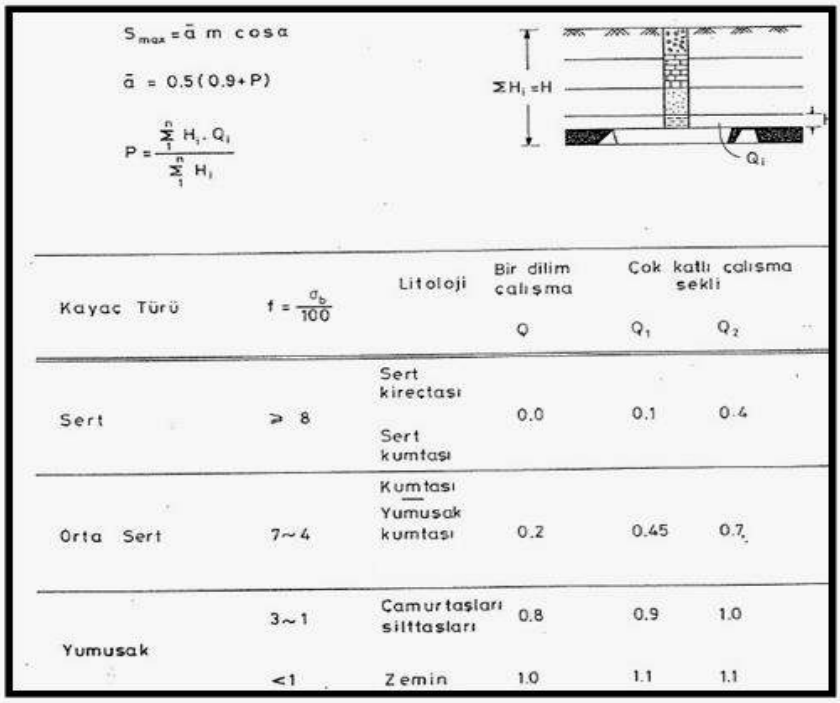
Bu eşitliklerde; S_{mak} en büyük tasman değeridir. S(x) üretimin yüzeydeki etki alanı içerisindeki herhangi bir yüzey noktasının tasman değeridir. (L) tasmanın sıfır ve en

büyük olduğu etki alanı mesafesi, (x) tasman değeri hesaplanacak yüzey noktasının en büyük tasman oluşumuna olan mesafesi, (a) tasman faktörü, (m) damar kalınlığı, (α) damar eğim açısı ve (c) ise yöntemlere göre değişen sabit bir değerdir. Ayrık elemanlar yönteminde eşitlik 1'de verilen a tasman faktörü için, üretim yapılan damar ile yeryüzü arasındaki her bir ayrık katmanın ya da kayacın litolojik özelliklerinden, tek eksenli basınç deneyleriyle elde edilmiş mekanik parametreler kullanılarak kayaç dayanım katsayıları bulunur. Daha sonra jeolojik kesitler üzerinden tabaka kalınlıklarına bağlı olarak ağırlıklı ortalama ile Eşitlik 3'de ve Şekil5'de gösterilen katman özellik katsayısı P elde edilir (Arıoğlu 1990, Akçın 2014).

$$a = 0.5\,(0.9 + P) \qquad (3)$$

Bu eşitlikte; tasman faktörü 0,4 ile 0,95 arasında havza karakteristiğine göre değişmektedir. Yüzey profili için ise eşitlik 4'de verilen fonksiyonun kullanılması önerilmektedir (Peng 1992).

$$S(x) = S_{mak}\; e^{-6.67(x/L)^{1,8}} \qquad (4)$$



Kayaç Türü	$f = \frac{\sigma_b}{100}$	Litoloji	Bir dilim çalışma	Çok katlı çalışma şekli	
			Q	Q_1	Q_2
Sert	≥ 8	Sert kirectası Sert kumtaşı	0.0	0.1	0.4
Orta Sert	7~4	Kumtaşı Yumusak kumtaşı	0.2	0.45	0.7
Yumusak	3~1	Çamurtaşları silttaşları	0.8	0.9	1.0
	<1	Zemin	1.0	1.1	1.1

Şekil 5. Peng (1992)'ye göre litolojik özelliklerden ve jeolojik kesitlerden tasman faktörü ve en büyük tasmanın elde edilmesi (Arıoğlu 1990).

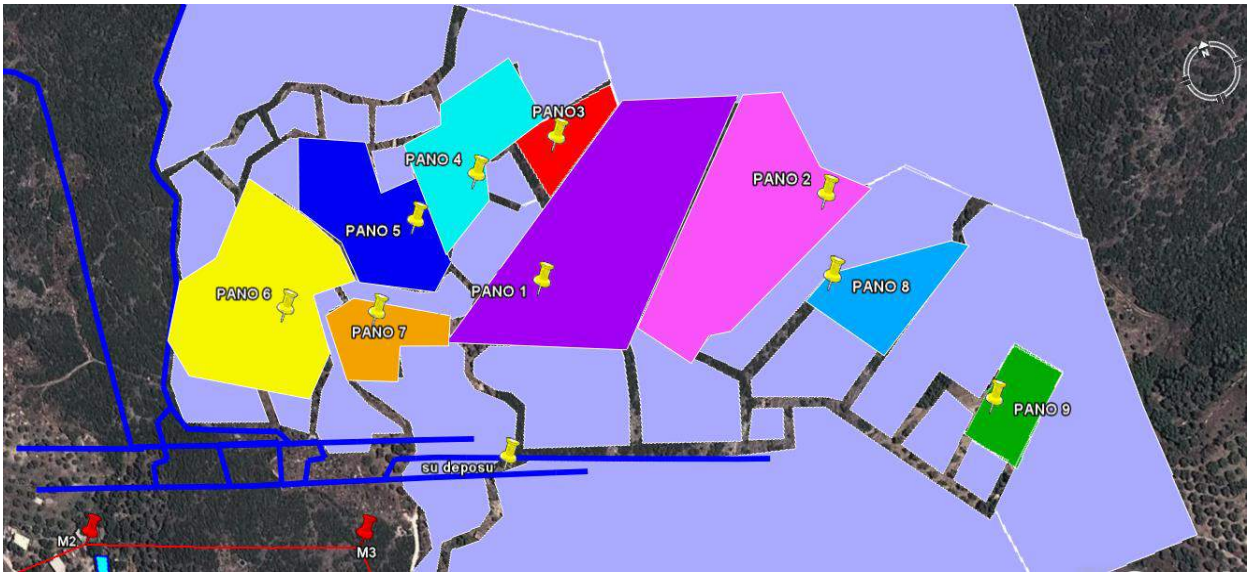
3 TİRE LİNYİT SAHASINDA KRİTİKALTI PANOLARIN İNCELENMESİ

Tire Linyit Sanayi ve Ticaret A. Ş. tarafından 2003 yıllı ile 2012 yılları arasında gerçekleştirilen üretimlerin tasman oluşumları için öncelikle saha incelemeleri gerçekleştirilmiş, damar stampları, imalat haritaları, topoğrafik haritalar, ortofoto haritalar ve jeolojik harita ve kesitlerle işletme için bir Maden Bilgi Sistemi MABİS kurulmuştur. Saha; Kuzeydoğu-Güneybatı eksenli bir senklinal üzerinde yer almaktadır. Bu senklinalin Güneydoğusunda kalan "Doğu Uzunayak Panoları" Büyük Damar (kalınlığı 10-12 m) üzerinde yer almaktadır. . Büyük damar A-B-C olmak üzere üç dilime ayrılabilmekte ve halen A ile B katında üretim gerçekleştirilmektedir.

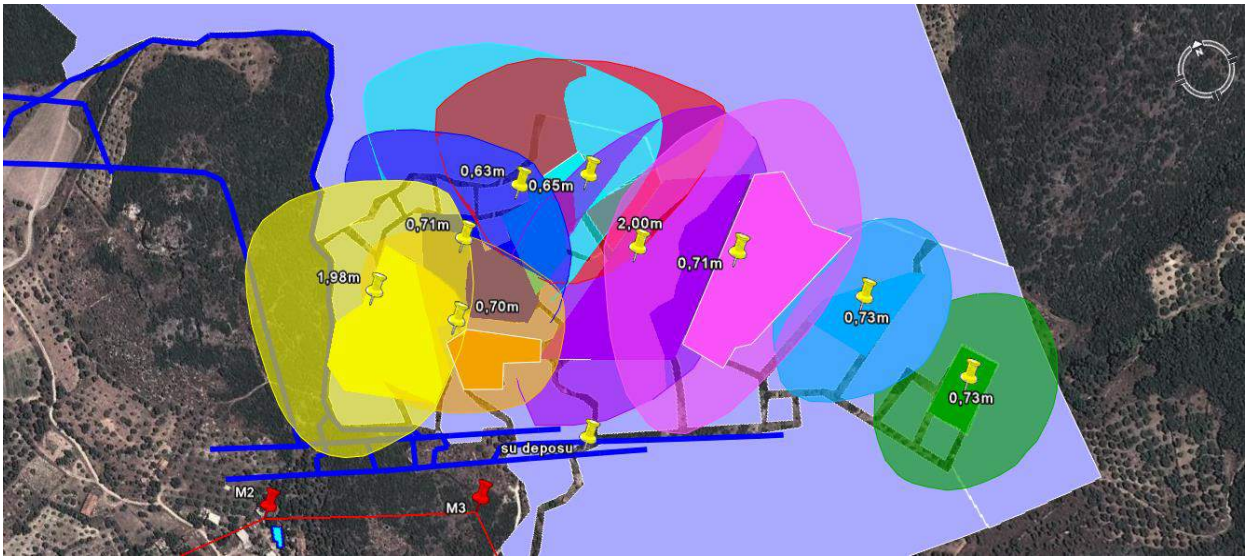
Doğu panosunda üretim yapılmakta olan damarların eğimleri 13^0 ile 20^0 arasında değişmektedir. Bu panolarda dönümlü göçertmeli uzunayak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Oluşturulan panoların boyu 125-130 m ve ayak uzunlukları da 50-80 m arasında değişmektedir. Büyük damarın A diliminde üretim çalışmaları tamamlanmış

olup üretim çalışmaları B diliminde sürdürülmektedir. Halen iki ayakta üretim yapılmakta olup günlük üretim miktarı 180-200 ton civarındadır. Ayakların birinde arına paralel ahşap tahkimat uygulanırken diğerinde ise sürtünmeli direk ve mafsallı sarma ile tahkimat yapılmaktadır. Doğu panosundaki havalandırma, nakliyat desandreleri ve ana yolları korumak için bu açıklıkların her iki tarafında 25'şer m'lik koruma topukları bırakılmıştır.

MABİS'ten yararlanarak; üretim panolarının geometrik parametreleri elde edilmiştir (Çizelge 1). Bu parametrelere göre tüm üretimlerin kritikaltı boyutta oluğu ve farklı zamanlarda üretimin gerçekleştirildiği saptanmıştır. İkinci olarak üretim panolarının ve çevresinde taban yolları sürülerek bırakılmış topukların maskı çıkartılmıştır (Şekil 6). Üçüncü aşamada panoların yüzey etki alanları için parametreler hesaplanmış (Çizelge 2) ve MABİS'de çizdirilmiştir (Şekil 7). Toplam etki alanı belirlenmiş, bu etkinin en şiddetli oluşum göstereceği 2/3'lük etki alanı ayrıca sistemden elde edilmiştir (Şekil 8 ve 9). Ayrık elemanlar kestirim yöntemi ile tasman büyüklükleri hesaplanmıştır (Çizelge 3).



Şekil 6. İmalat Haritası üzerinden üretim panoları ve üretim topukları için çıkarılan mask.



Şekil 7. 2003-12 üretim panoları için belirlenen tasman etki alanları ile tasman etki alanı merkezlerinde belirlenen ilk ve aktif tasman büyüklüklerinin toplam değerleri.

Çizelge 1. Üretim panoları için belirlenen parametreler.

PANO NO	ÜRETİM DERİNLİĞİ(m) H_{Alt}, H_{orta}, $H_{üst}$	DAMAR EĞİM AÇISI α^0	DAMAR KALINLIĞI m (metre)	PANO BOYU L (m)	PANO GENİŞLİĞİ W (m)
1	H_a=132 H_o=138 $H_ü$=143	12	A katı, m_A= 2 B katı, m_B= 2	163	85
2	H_a=143 H_o=142 $H_ü$=140	8	2	145	70
3	H_a=167 H_o=152 $H_ü$=137	25	2	62	35
4	H_a=159 H_o=153 $H_ü$=147	30	2	90	45
5	H_a=147 H_o=140 $H_ü$=132	8	2	60	119
6	H_a=139 H_o=130 $H_ü$=122	14	A katı, m_A= 2 B katı, m_B= 2	112	68
7	H_a=122 H_o=120 $H_ü$=118	16	2	50	50
8	H_a=117 H_o=119 $H_ü$=120	3	2	55	35
9	H_a=115 H_o=115 $H_ü$=115	0	2	62	35

Çizelge 2. Üretim panoları için hesaplanmış tasman etki alanı parametreleri.

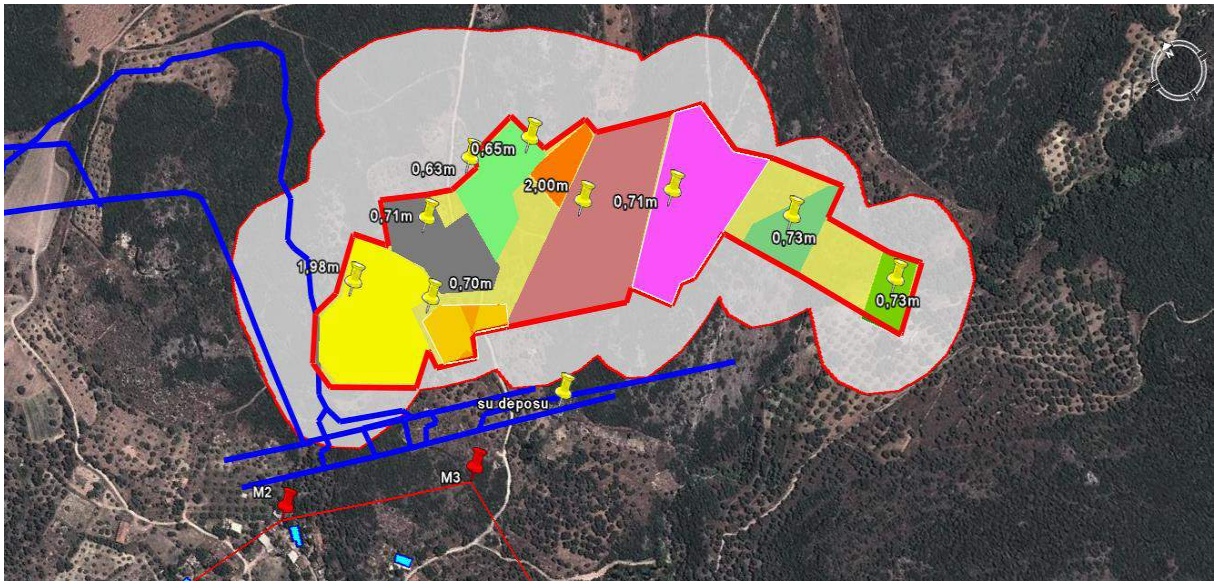
PANO NO	Damar Eğim Yönünde γ_A , $\gamma_Ü$ (Derece)	Damar Doğrultusu Yönünde γ (Derece)	2/3 Etki alanı için a (m)	2/3 Etki alanı için b (m)
1	45, 65	55	190	238
2	45, 65	55	185	229
3	35, 75	55	207	183
4	30, 80	55	231	203
5	45, 65	55	219	171
6	41, 61	55	197	196
7	39, 59	55	181	159
8	55, 55	55	135	147
9	55, 55	55	132	149

Çizelge 3. Tire Linyit Sahasında hesaplanan, oluşabilecek en büyük tasman değerleri.

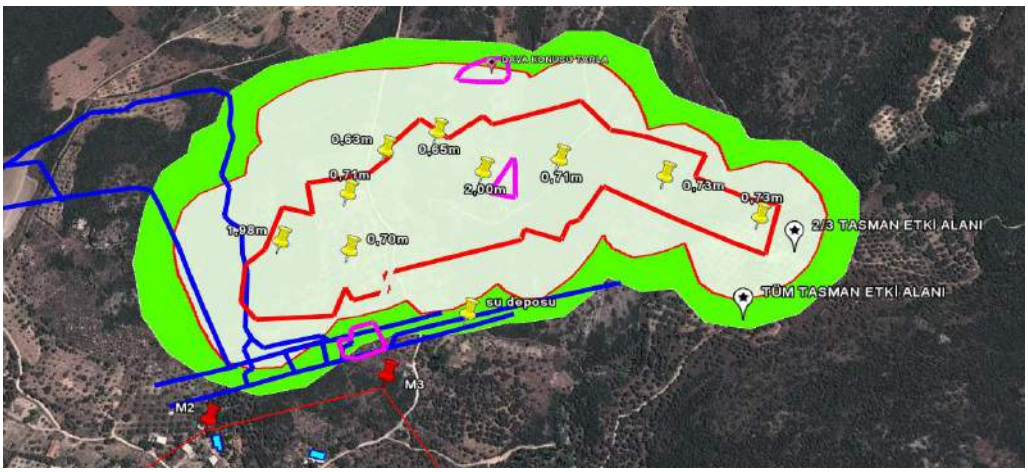
PANO NO	Ayrık elemanlar yöntemine göre sert kayaç yapısında oluşabilecek en büyük tasman büyüklüğü (m)		Toplam Tasman Büyüklüğü (m)
	Tek Katlı Üretim	İki Katlı Üretim	
1		A katı S_{mak}= 0.98 B katı S_{mak} =1.27	2.25
2	S_{mak}= 0.89		0.89
3	S_{mak}= 0.82		0.82
4	S_{mak}= 0.78		0.78
5	S_{mak}= 0.89		0.89
6		A katı S_{mak}= 0.97 B katı S_{mak} =1.26	2.23
7	S_{mak}= 0.87		0.87
8	S_{mak}= 0.90		0.90
9	S_{mak}= 0.90		0.90

Çizelge 4. Panoların aktif tasman (ilk ve ana tasman) ve artık tasman büyüklükleri.

PANO NO	Üretim Tarihi ve S_{mak}	İlk Tasman %15 S_{mak} (m)	Ana Tasman %65 S_{mak} (m)	Artık Tasman %20 S_{mak} (m)
1	(2005-07) A katı S_{mak}= 0.98	0.15	0.64	0.19 (tamamlandı)
	(2010-11) B katı S_{mak} =1.27	0.19	0.83	0.25 (Devam…..)
2	0.89	0.13	0.58	0.18 (Devam…..)
3	0.82	0.12	0.53	0.17 (Devam…..)
4	0.78	0.12	0.51	0.15 (Devam…..)
5	0.89	0.13	0.58	0.18 (Devam…..)
6	(2004-05) A katı S_{mak}= 0.97	0.15	0.63	0.19 (tamamlandı)
	(2009-10) B katı S_{mak} =1.26	0.19	0.82	0.25 (Devam…..)
7	0.87	0.14	0.57	0.17 (Devam…..)
8	0.90	0.14	0.59	0.17 (Devam…..)
9	0.90	0.14	0.59	0.17 (Devam…..)



Şekil 8. Tüm panolar için en yüksek düşey yerdeğiştirmelerin olacağı 2/3 tasman etki alanı.



Şekil 9. 2/3 ve tüm tasman etki alanları.

Tire Linyit İşletmesi sahası içerisindeki yüzey yapısında önce çatlaklar ve daha sonra yer yer açılımlara bağlı olarak tasman gelişim süreci için, en büyük tasman değerlerine göre ilk tasman % 15, ana tasman %65 ve artık tasmanın ise %20 büyüklüğünde olacağı kestirilmiştir. Bu değerlendirmeler çerçevesinde tüm panolarda en büyük tasmana göre ilk, ana ve artık tasman büyüklükleri Çizelge 4'de ve her bir panonun etki alanları üzerinde aktif tasman büyüklükleri elde edilmiştir (Şekil 8 ve 9).

Bölgede, tasman etki alanları içerisinde tespit edilen ilk ve aktif tasman kestirim değerleri, saha yüzeyindeki oluşumlarla karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Şekil 10. Doğu panoları üzerindeki arazide; a) açılmalar ve oturmalar, b) açılmaların doldurulması, c) güvenlik bariyerlerinin oluşturulması ve d) açılmaların kapatılmasından sonra arazide oluşturulan gözlem ağından bir yer kontrol noktası.

Çizelge 5. Arazi açılmalarının doldurulmasından sonraki arazi kontrol ölçmeleri.

ROPER NOKTALARININ KOORDİNATLARI 15.04.2012			
Nokta No	Y (m)	X (m)	Kot (m)
R.1	555521.479	4212189.861	264.031
R.5	555577.009	4212152.790	263.278
R.11	555626.412	4212030.740	259.810
R.2.TEPE	555895.586	4212197.023	315.955
R.3.T.ALTI	555874.816	4212140.370	305.444
R.4.T.ALTI	555844.629	4212070.668	292.840
R.6.S.D	555765.681	4211958.680	277.366
R.7.S.D	555768.997	4211954.560	277.433
R.8.S.D	555768.471	4211961.300	277.307
R.9.S.D	555767.634	4211962.540	275.404
T-11	555525.718	4212181.230	263.777
R.12	555741.631	4212043.780	268.527

ROPER NOKTALARININ KOORDİNATLARI 15.07.2012			
Nokta No	Y (m)	X (m)	Kot (m)
R.1	555521.481	4212189.858	264.038
R.5	555577.004	4212152.783	263.273
R.11	555626.418	4212030.737	259.813
R.2.TEPE	555895.579	4212197.019	315.958
R.3.T.ALTI	555874.826	4212140.365	305.440
R.4.T.ALTI	555844.639	4212070.659	292.848
R.6.S.D	555765.689	4211958.675	277.360
R.7.S.D	555768.990	4211954.550	277.430
R.8.S.D	555768.480	4211961.305	277.310
R.9.S.D	555767.628	4211962.538	275.409
T-11	555525.711	4212181.230	263.771
R.12	555741.622	4212043.771	268.520

Arazide tasman oluşum sürecinde yer yer açılmalar ve oturmalar meydana gelmiş, bu açılmaların doldurulması güvenlik bariyerlerinin oluşturulmasından sonra aktif tasman gelişimi zayıflamıştır (Şekil 10). İlk ve aktif tasman gelişiminden sonra doldurulan kısımlarda oturma, dolayısıyla artık tasman oluşmadığı, sahada oluşturulan topoğrafik gözlem ağı verilerine dayalı olarak belirlenmiştir (Çizelge 5). Sahadaki topoğrafik gözlemler, artık tasmanın takibi açısından, beş yıl boyunca devam edecektir.

4. SONUÇLAR

Tire Linyit Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından 2003 ile 2012 yılları arası uzunayak yöntemi ile çalışılmış olan panolar için gerçekleştirilen analizlerden aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Belirlenen sahada gerçekleştirilen üretimler için MABİS üzerinden panoların maskı çıkartılarak, İki kat çalışılan ve tek kat çalışılan 9 adet pano belirlenmiştir. Üretimin gerçekleştiği bu panolar için fiziksel parametreler elde edilmiştir. Panoların derinlik ve genişlik oranlarından tüm panoların kritik altı boyutlu panolar olduğu görülmüştür.
- Bu panolar için saha incelemeleri ve kritik altı boyutlu olmaları dolayısıyla ilk tasmanın %15, ana tasmanın %65 ve artık tasmanın %20 olduğu kestirilmiştir.
- Tasman etki alanlarının modellenmesi için 2/3'lük etkin tasman alanı ve tüm etki alanının modellemesi yapılarak yeryüzünde oluşacak tasman etki alanının modeli oluşturulmuştur.
- Oluşabilecek maksimum tasman büyüklükleri litolojik birimler için geliştirmiş ayrık elemanlar yöntemi ile hesaplanmış ve iki katlı üretim olan bölgelerde aktif tasmanın 1.98 m ve 2.00 m'ye kadar ulaşabileceği belirlenmiştir.
- Modelleme ile belirlenen tasman etki alanı arazi bazında incelenerek, açılma ve oturmaların belirlenen basınç ve çekme bölgelerinin üzerinde geliştiği saptanmıştır.
- Bölgede birbirine komşu panoların da çalışılmasıyla oluşturulmuş kritik altı panolar birlikte düşünüldüğünde, toplu geniş saha etkisi yarattığı ve çekme bölgelerinde yüksek düzeyde gerilme çatlakları oluşturduğu görülmüştür.
- Sahada oturmaların dolayısıyla artık tasmanın devam edip etmediği üzerine incelemeler başlatılmıştır. Bu kapsamda; tasman etki alanı üzerinde tesis edilmiş gözlem noktalarında, ilk iki periyod ölçüm sonuçları dikkate alındığında ölçümler arasındaki 3 aylık süreçte elde edilen farkların 3 -10 mm gibi çok küçük değerlerde kaldığı ve bunların istatistiksel olarak %95 güvenilirlikle deformasyon olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna göre tasman etki alanı içindeki arazide şu ana kadar artık tasman oluşumuna rastlanmamıştır. Ancak, bölgedeki tüm çalışmalar boyunca gözlem ve izlemelere devam edilmesi, oluşabilecek çatlak ve açılma benzeri yeryüzü değişimlerinin tespiti ve bölgenin kontrol altına alınması açısından önemlidir.

- Ancak, bu üretimlerin gerçekleştirilecek B katı ve C katı üretimler ile devam edecek olması, arazide bundan sonra da benzer çatlaklara ve açılımlara yol açılması kaçınılmazdır. Bunu önlemek için farklı alternatifler söz konusudur. Bunlardan biri olan "**Dolgulu Üretim**" yapmak olası olup, bu yöntemle çalışmak oldukça maliyetlidir ve alt yapı gereksinimi söz konusudur. Bu ölçekteki bir işletme için dolgulu üretim yapılması ekonomik olmaması yanında teknik olarak da çok gerekli değildir. Diğer bir çözüm ise ikinci ve üçüncü katların çalışmasıyla oluşacak tasmanların, çekme bölgesindeki deformasyonları sönümlendirecek, çatlak ve yarılmaları önleyebilecek, yalnızca basınç bölgesinde oturmaya neden olabilecek hale getirilmesi için "**harmonik üretim** " yönteminin uygulanmasıdır. Ancak halen çalışılmakta ve önümüzdeki 10 yıllık dönemde çalışılacak olan panoların tüm hazırlıkları ve termin planları klasik dönümlü-göçertmeli uzunayak yöntemine göre yapılmıştır. Bu panolarda harmonik üretim yöntemine geçilmesi; hazırlık işleri, havalandırma, nakliyat vb. konularda önemli değişikliklerin yapılmasını zorunlu kılacaktır. Bu nedenle ana hazırlıkları tamamlanmış olan panolarda üretimin aynı şekilde devam etmesi kararlaştırılmıştır. Bir sonraki dönemde yeni panolarda işletme projesi hazırlanırken tüm ayak tasarımlarının ve termin planlarının harmonik üretim yapılacak şekilde düzenlenmesi, tasman etkilerinin azaltılması açısından bir çözüm olarak düşünülebilir.

KAYNAKLAR

Akçın H., 1993, *Yeraltı Maden Üretimlerinden Kaynaklanan Tasman Hareketlerinin Yapısal ve Jeodezik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akçın H., 2014, Kömür Madenciliğinde Tasman Risk Değerlendirmesi, *Türkiye 19. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Sy 375-387, Zonguldak.

Arıoğlu E., (1990). Tasman Mühendisliği, *Zonguldak Taşkömürü Havzasında Tasman Çalıştayı*, Zonguldak.

Ferrari C. R., 1997, Residual Mining subsidence-some facts, *The Institution of Mining Engineers, transactions* Vol. 79 No. 911.

Kuşçu Ş., 1987, *Tasman Mühendisliği (Temel Kavramlar)*. Ders Notu (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 48 s.

National Coal Board, 1975, *Subsidence Engineers' Handbook SEH*, Mining Department, England.

Peng, S. S., 1992, *Surface Subsidence Engineering, Published by Society for mining, metallurgy, and exploration*, Inc., Littelon, Colorado, 159 p.

Walter D., Hoffmann J., Kampes B., and Sroka A., 2004, Radar interferometric analysis of mining induced surface subsidence using permanent scatterer. *Proceedings ESA ENVISAT Symposium*, Salzburg, Austria.

Whittaker, B. N. ve Reddish D. J., 1989, *Subsidence occurrence, prediction and control*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-Newyork-Tokyo, 528 p..

Madencilik Faaliyetleri için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Çevresel Bir Uyarı Sistemi

A Geographic Information Systems (GIS) Supported Environmental Warning System for Mining Activities

G. Akbaş
SRK Danışmanlık, Coğrafi Bilgi Sistemleri Grubu, Ankara

ÖZET Ülkemizde madencilik faaliyetlerinde genel işleyiş önce arama faaliyetleri ile başlar. Ön ve kesin fizibilite ile bir takım kararlar alınır, planlamalar, yer seçimleri yapılır. Faaliyet aşamasına başlarken Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci de başlatılır. Bu aşamaya gelene kadar birçok yatırım yapılmış, arazi teknik yönden detaylı incelenmiştir. Fakat çevresel hassasiyetler, kısıtlamalar ve yasaklı alanlar madencilik projelerinde ancak ÇED ile birlikte gündeme gelmektedir.

ÇED aşamasına gelindiğinde orta ya çıkan çevresel kısıtlamalar o aşamaya kadar yapılmış olan plan ve seçimlerin değiştirilmesine, yeniden yapılmasına sebep olabilmektedir. Projenin yavaşlaması hatta bir süre duraklaması mümkün olabilmektedir. Bu nedenlerle çevresel hassasiyetlerin aslında çok daha önceden henüz arama aşamasında araştırılması maden projesine zaman tasarrufu sağlayacak, çevresel faktörlerden oluşabilecek mali kayıp ve risklerin önüne geçecektir.

Yapılan tüm bu araştırmanın bir uyarı sistemi oluşturabilmesi ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile desteklenmesi sayesinde sağlanabilir. Oluşturulacak olan CBS altyapısı proje sahibine her türlü yer seçimi, karar alma aşamasında çevresel hassasiyetleri göz önünde bulundurma, görsel olarak analiz etme imkanı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri, çevresel uyarı sistemi, madencilik

ABSTRACT In Turkey, standard mining process starts with exploration activities. Afterwards decision making, planning and site selection activities are undertaken by the prefeasibility and definite feasibility steps. Environmental Impact Assessment (EIA) process is started finally with the operation step. Until coming to operation step, project area has been examined in technical details and many investments have been made. However, environmental sensitivities, limitations and restrictions become a current issue only with the EIA process.

Environmental restrictions which are detected with the EIA process can cause changes in the site selections and project plans. Because of this late awareness, project can slow down and even pause for a while. An earlier environmental review provides time saving and prevents project from financial risks and loss which should be caused by environmental restrictions.

In order to generate a warning system from all these investigation it is necessary to support the study by Geographic Information Systems (GIS). This kind of GIS database would provide visual analysis capability for site selection and decision making stages of the project by considering all the detected environmental sensitivities.

Keywords: Geographic ınformation systems, environmental warning system, mining

1 MADENCİLİKTE MEVCUT ÇEVRE ANALİZLERİ

1.1 Maden Faaliyetlerinin Aşamaları

Maden faaliyetlerinde bir sahada rezerv bulunduğuna karar verilip bunun işletilmesi aşamasına gelene kadar birçok aşama takip edilmektedir. Giderek bilimsel güvenilirliği artan bu aşamalar takip edilmek zorundadır, çünkü yerin altında bulunan ve miktarı bilinmeyen bir kütle için büyük yatırımlar yapılacaktır.

İlk olarak mineral bir kaynağın bulunduğu tespit edilen bir sahada ekonomik olarak işletilebilir rezerv miktarını belirlemek üzere arama çalışmalarına başlanır. Yapılan sondaj çalışmaları ile önce muhtemel rezerv belirlenir. Sondaj çalışmaları artırılarak görünür rezerv miktarı elde edilir. Arama faaliyetlerinin son aşamasında ise belli aralıklarla konumlandırılmış sondaj çalışmaları ile ölçülmüş rezerv miktarına ulaşılır.

Rezerv miktarının belirlenmesi ile birlikte kapsamlaştırma aşamasına geçilir. Bu aşamada proje alternatifleri çalışılır. % 50 hata payı ile maliyet belirlenir.

Kapsamlaştırma aşamasının ardından fizibilite çalışmalarına başlanır. Ön fizibilite aşaması bir karar verme sürecidir. Alternatifler azaltılır. Bu aşamada ön ekonomik değerlendirme raporu hazırlatılabilir. % 20-30 hata payı ile bir değerlendirme yapılır. Kesin fizibilite aşamasına geçildiğinde amaç projeyi ispatlamaktır. Bu amaçla gerektiği kadar proje tasarımı yapılır. Hata payı % 10-15'e kadar düşürülür.

Fizibilite çalışmaları tamamlandıktan sonra detaylı mühendislik çalışmaları başlar. Tasarımlar yapılır. Proje üniteleri için yer seçimleri yapılır. Son olarak da işletmeye başlanır.

1.2 Maden Faaliyetleri Aşamalarında Yapılan Çevre Analizleri

Maden çalışmalarının her aşamasında çevre danışmanlığı alınabilir. Ancak genel bir işleyiş olarak arama ve kapsamlaştırma süreçlerinde daha çok rezerv miktarının belirlenmesine ve genel maliyetin çıkarılmasına odaklanıldığı için işin çevre boyutu çok düşünülmemektedir.

Bazı maden firmaları ön fizibilite aşamasında temel değerlendirme çalışmaları yaptırmaktadır. Ama genel olarak madencilik sürecinde çevre hassasiyetleri ile ilgili araştırmalar kesin fizibilite ya da detaylı mühendislik çalışmaları ile birlikte ÇED süreci başladığında başlar.

ÇED sürecinde çevresel analizler çok uzun bir süreye yayılmış ayrıntılı çalışmalarla yapılmaktadır. Su, toprak izleme ve örnekleme çalışmaları, jeokimya analizleri, hidrojeoloji çalışmaları, flora fauna çalışmaları mevsimsel gözleme dayanan uzun sürece yayılmış çevresel çalışmalardır. Projenin ileri aşamalarında proje ünitelerinin tasarımlarına karar verildikten sonra yapılabilir. Fakat sahadaki arazi kullanımının belirlenmesi, çevredeki yasal olarak korunan alanların belirlenmesi, hassas alanların belirlenmesi çalışmaları henüz arama aşamasında iken başlayabilir.

Madencilik sürecinde arama aşamasından itibaren çevresel destek alınması projeye çok fayda sağlar. Buna göre ideal olarak her aşamada alınabilecek çevre danışmanlık desteği şu şekilde planlanabilir. Arama aşamasında çevre mevzuatına göre kısıtlı ve hassas arazi kullanımları ile korunan alanların taranması çalışması başlatılabilir. Eğer arama aşamasında başlatılmadı ise en geç kapsamlaştırma aşamasında yapılması uygundur. Ön fizibilite aşamasında temel çevresel değerlendirme çalışmaları başlatılabilir. Görsel etki değerlendirmesi yaptırılabilir. Kesin fizibilite aşamasında ÇED süreci başlatılabilir. ÇED başvuru dosyası hazırlanır. Böylece kesin fizibilite çalışmasının ilerleyen kısımlarında ÇED raporu sürecine geçilebilir. Henüz yapılmadıysa görsel etki değerlendirmesi bu aşamada yaptırılabilir. Detaylı mühendislik ve işletme süreci başladığında artık kapatma planları, kapatma projesine yönelik görsel etki değerlendirmesi çalışmaları desteği alınabilir.

Bu şekilde daha sürecin başından çevre boyutunu göz önüne alarak ilerleyen bir maden projesi süreci en sağlıklısı olacaktır.

2 KORUNAN ALANLAR

Ülkemizde 1980'lerden itibaren tabiatı koruma alanları, tabiat parkları ve tabiat anıtları da ulusal düzeyde korunan alanlar olarak yerini almıştır. Günümüze gelene kadar giderek artan bir ivmeyle çeşitli statülerde korunan alanlar ilan edilmeye başlanmıştır. 2014 itibari ile Türkiye'de 10 farklı türde toplam 5.647.568 hektar alanı kaplayan korunan alan bulunmaktadır. Bu alanlara ek olarak çeşitli şekilde yasa ile korunan, orman alanları içinde muhafaza ormanları, gen koruma ormanları, tohum meşçereleri, tohum bahçeleri, endemik ve korunması gereken nadir ekosistem alanları; Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından belirlenen Turizm Koruma ve Geliştirme Bölgeleri; ve DSİ tarafından belirlenen içme suyu koruma bölgeleri ve termal kaynak koruma bölgeleri gibi farklı statülerde korunan alanlar da bulunmaktadır. Ayrıca Doğa Derneği'nin önderliğinde, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü ve bilim insanlarının katkısıyla belirlenmiş olan 305 adet "Önemli Doğa Alanı" çevresel hassas alanlar olarak yerini almıştır.

2.1 Ülkemizdeki Mevcut Korunan Alanlar ve Yenilerinin Belirlenmesi

2014 itibariyle ülke yüzölçümünü % 7,2 'si (5.647.568 hektar alan) resmi olarak "korunan alan" olarak belirlenmiştir. 1.715 adet alan Milli Park, Tabiatı Koruma Alanı, Tabiat Parkı, Tabiat Anıtı, Yaban Hayatı Geliştirme Sahası, Doğal Sit Alanı statülerinde; 12.287 adet alan ise arkeolojik, kentsel ve/veya tarihi sit alanı olarak koruma altındadır. 135 adet sulak alan sadece ülkemizin değeri olarak değil bir dünya değeri olarak uluslararası öneme sahiptir (Ramsar).

Ülkemizin de imzaladığı birçok uluslararası sözleşme bulunmaktadır. Akdeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunması Sözleşmesi" (Barcelona Sözleşmesi, 1981), Avrupa'nın Yaban Hayatı ve Yaşama Ortamlarını Koruma Sözleşmesi (BERN Sözleşmesi, 1984), Cenova Deklarasyonu (1985), Akdeniz'de Özel Koruma Alanlarının Korunmasına Ait Protokol (1988), Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlar Hakkında Sözleşme (Ramsar Sözleşmesi,1994), Nesli Tehlike Altında Olan Yabani Hayvan Ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine Dair Sözleşme (CITES Sözleşmesi, 1996), Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (1997), Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (2004) gibi uluslarası birlik için hazırlanmış sözleşmeler belirtilen tarihlerde ülkemizce de kabul edilmiştir. İlgili resmi kurum ve kuruluşlar bu sözleşmeler gereği gerekli çalışmaları yapmakta, yeni korunan alanlar belirlemek üzere projeler geliştirmektedir.

Bulunduğu konum, yer şekilleri, sahip olduğu farklı iklim koşulları nedeniyle küresel ölçekte önem taşıyan bir biyolojik çeşitliliğe sahip olan ülkemizde bu kadar çok korunan ve hassas alan belirlenmiş olması aslında şaşırtıcı değildir.

Ülkemizdeki ekolojik ve kültürel değerlerin kaybedilmemesi için yapılan tüm bu çalışmalar elbette çok değerlidir. Ülkemizin değerlerinin korunması hem ülkemiz hem de bu ülkede gelişen her sektör için önemli bir konudur. Ancak özellikle madencilik sektöründe korunan alanlar belli kısıtlamalara sebep olabileceği için yeni belirlenen alanların da bu sektörce yakından takip edilmesi gerekmektedir.

2.2 Hassas Arazi Kullanımları

Maden sahaları açısından farklı kurum ve kuruluşlarca yönetilen ve korunan alanlar kadar önemli bir diğer konu da yine yasa ve yönetmelikler gereği korunan ve maden arama, geliştirme, işletme çalışmalarının izne tabi olduğu belli arazi kullanımlarıdır. Orman alanları, tarım alanları, meralar, zeytinlikler, askeri alanlar gibi arazi kullanımları her biri farklı kısıtlamalara sahip, belli izinler gerektiren, belli taahhütlerin yerine getirilmesinin gerektiği alanlardır. Bunlara ek olarak yaylalar, yerleşimler, elektrik iletim hatları ve boru hatları gibi arazi kullanımları da maden sahasının özelliklerine de bağlı olarak belli mesafelere uyulması gereken alanlardır.

2.3 ÇED Mevzuatına Göre Korunan Alanlar

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Ek-5'te, ülkemizin mevzuatı gereği korunması gerekli alanlar, uluslararası sözleşmeler gereği korunması gereken alanlar ve bunların dışında kalan korunması gereken alanlar tanımlanmaktadır. Mevzuat gereği korunması gerekli alanlar; Milli Parklar Kanunu, Kara Avcılığı Kanunu, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, Su Ürünleri Kanunu, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Boğaziçi Kanunu, Orman Kanunu, Kıyı Kanunu, Zeytinciliğin Islahı ve Yabanilerinin Aşılattırılması Hakkında Kanun, Mera Kanunu, Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği uyarınca belirlenen alanlar ile Çevre Kanunu 9. Maddesi uyarınca ilan edilen Özel Çevre Koruma Bölgeleri olarak tanımlanmıştır.

Uluslararası sözleşmeler uyarınca korunması gerekli alanlar bölüm 2.1'de bahsedilen sözleşmeler gereği korunması gereken alanlardır.

Diğer korunması gereken alanlar onaylı Çevre Düzeni Planlarında mevcut özellikleri korunacak alanlar olarak tespit edilen alanlar, belli özelliklerdeki tarım alanları, sulak alanlar, göller , akarsular, yeraltı suyu işletme sahaları, bilimsel araştırmalar için önem arz eden ve/veya nesli tehlikeye düşmüş veya düşebilir türler ve ülkemiz için endemik olan türlerin yaşama ortamı olan alanlar, biyosfer rezervi, biyotoplar, biyogenetik rezerv alanları, benzersiz özelliklerdeki jeolojik ve jeomorfolojik oluşumların bulunduğu alanlar olarak tanımlanmıştır.

Maden projesi sahipleri sürecin başından itibaren proje alanı civarındaki tüm bu hassas alanların bilincinde olmalı, planlama ve karar verme süreçlerini bu yönde geliştirmelidir.

3 COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) DESTEĞİ

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin en önemli özelliği grafik ve yazılı bilgileri bir arada saklayabilmesidir. Coğrafya üzerinde belli bir konumu olan her türlü bilginin görsel olarak sunulabilmesi, bu bilgiler üzerinden analizler yapılmasına olanak sağlaması özellikleri projelerde CBS kullanımını gerekli hale getirmektedir.

3.1 CBS ile Çevre Analizlerinin Birleştirilmesi

Maden projelerine özel hazırlanan korunan ve hassas alanların belirlenmesi çalışmasında belli statüdeki korunan alanlar ile belli hassasiyete sahip arazi kullanımları araştırılmaktadır. Tespit edilen korunan alanların sınırları CBS veri tabanına işlenmekte bu alana ait her türlü bilgi öznitelik bilgisi olarak kaydedilmektedir. Çeşitli kurumlardan elde edilen orman alanlarına yönelik, tarım alanlarına yönelik arazi kullanımları veya yol, boru hattı, enerji iletim hatları, sanayi alanları, planlanan projeler, yerleşim alanları, rekreasyon alanları, yaylalar, dereler, akarsular, mevcut ve planlanan barajlar, göller gibi arazi kullanımları yer şekilleri veri tabanına işlenerek tematik haritalar oluşturulmaktadır. Maden projesi civarındaki çevresel hassasiyetlerin gösterildiği böyle bir veri tabanının oluşturulması için şu aşamalar izlenmektedir. Öncelikle ilgili kurum ve kuruluşlardan gerekli bilgilerin araştırılması ve elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilen bilgiler sayısal olabileceği gibi basılı harita şeklinde de olabilmektedir. Sayısal olmayan verinin hazırlanması için basılı haritalar taranmakta, coğrafi olarak konumlandırma (rektifiye) işlemi gerçekleştirilmekte, doğru koordinatlarına konumlandırılmış harita üzerinden sayısallaştırma yapılmakta ve son olarak çizilen sınırlar için yazılı bilgiler de öznitelik olarak veri tabanına işlenmektedir.

Bu şekilde hazırlanan CBS veri tabanı üzerinden çevre mevzuatında belirlenmiş belli mesafeleri belirlemek açısından uzaklık analizleri yapılmakta, koruma bölgeleri belirlenmektedir. Tematik haritalar oluşturularak hassas arazi kullanımları gösterilmektedir. Maden projesinin konumu tespit edilen tüm korunan ve hassas alanlar ile birlikte gösterilerek, proje planlama, yer seçimi ve karar verme süreçlerinde bu

alanların ve koruma bölgelerinin göz önünde bulundurulması sağlanmaktadır.

CBS maden projelerinin her sürecinde teknik olarak hazırlanmış CAD çizimleri ile de birleştirilerek çok çeşitli analizler ve gösterimler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada sadece çevresel olarak kısıtlı ve hassas alanların belirlenmesi çalışması özelinde kullanılan CBS özelliklerinde bahsedilmektedir.

4 SONUÇ

Bu makalede maden projelerinin henüz başlangıç süreçlerinde destek alabilecekleri bir çevre danışmanlık desteğinden bahsedilmektedir. Arama aşamasından itibaren hazırlatılabilecek olan bu çalışma CBS destekli, çevresel olarak kısıtlı ve hassas alanların belirlenmesi çalışmasıdır. Çalışmanın proje sahibine sağlayacağı fayda kısaca zamandan ve maliyetten tasarruf sağlaması olarak özetlenebilir.

Madencilik büyük yatırımların yapıldığı bir sektördür. Bu yatırım yapılmadan önce sahanın çok detaylı bir şekilde incelenmesi önemlidir. Saha teknik olarak incelenirken işin çevre boyutu da mutlaka düşünülmelidir. Proje ünitelerinin yer seçiminde ve planlanmasında korunan ve hassas alanlar ve bunların tampon bölgeleri göz önüne alınırsa sorunsuz bir planlama süreci sağlanmış olur. Madencilikte en az maddi masraflar kadar önemli bir konu da zamandır. Maden arama ruhsatları, maden işletme ruhsatları ve çevresel izinler belli zaman kısıtlarına sahip olduğu için sonradan çıkacak aksiliklerle zaman kaybetmek büyük maddi kayıplara ve hatta ruhsatın kaybına neden olabilmektedir. Zaman kısıtlamaları ve yüksek yatırım maliyetleri ile maden arayan ya da işleten bir firmanın karşılaşabileceği en sıkıntılı durumlardan biri de, çalışmalarını farkında olmadan yasaklı alan içinde veya bunların etki alanı içinde yapıyor olmasıdır. Yasaklı bir alanda yapılan maden arama çalışmaları için yapılacak tüm harcamalar ve zaman boşa gidebilir. Bu alandan önceden haberdar olmak firmaya hem zamandan hem de masraftan tasarruf etmeyi sağlayacaktır. Çevresel açıdan kısıtlı ve hassas alanların belirlenmesi çalışması sayesinde, önceden alınabilecek ufak bir önlemle büyük risklerin önüne geçebilmek çok büyük bir avantajdır.

CBS destekli olarak sunulan bu çalışma maden projelerinin her aşamasında planlama yaparken altlık olarak kullanabilecekleri bir veri tabanını proje sahiplerine sunmayı hedeflemektedir. Böylece projenin başlangıcından itibaren bir çevresel farkındalık sağlayacak olan çalışma bu nedenle madenciler için çevresel bir uyarı sistemi olarak adlandırılmaktadır.

KAYNAKLAR

Akbaş, G., 2014, Çevresel Açıdan Korunan Alanlar Maden Sahanızın Neresinde, Madencilik Türkiye, Sayı 36, s. 62-64

Algan, N., 1997, Akdeniz Eylem Planı, Sürdürülebilir Kalkınma ve Türkiye, Milletlerarası hukuk ve milletlerarası özel hukuk bülteni, c. 17-18, s. 1-2

Düzgün, Ş. Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, Bölüm 6, Madencilikte Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yardımcı Teknolojiler, s. 317-334

Genel Sit Alanı İstatistikleri, 2012, www.kulturvarliklari.gov.tr

Madencilik Sektörü Sorunlar ve Çözüm Önerileri Raporu, 2010, TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Türkiye'nin Korunan Alanları Bilgi Sistemi Projesi, 2012, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü

Türkiye'nin Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanları, 1994-2011, www.milliparklar.gov.tr

Madencilikte Kadastro ve Mülkiyet Bilgi Sistemi Çalışmaları
Cadastre and Property Information System Study in Mining

A. Kavcı
CBS Uzmanı, SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş., Ankara

ÖZET Kadastro, mülkiyete dair sahiplik, yüzölçümü bilgileri ile mülkiyet sınırlarının harita üzerinde gösterimi gibi temel öğelerle açıklanan ve birçok araştırma, planlama ve projelendirme çalışmalarında kullanılan temel fakat çok önemli bir altlıktır. Doğal kaynakların kullanımı ile insan ve toplum hayatında, refah düzeyinin artmasında etkin bir rolü olan madencilik faaliyetlerinde de iyi bir kadastral altlığın önemi büyüktür. İyi bir altlıkta önemini en çok, bu alanların türlerinin doğru ve hızlı tespitinde göstermektedir. Böylelikle, maden faaliyetinin aşamasına göre, bu arama veya işletme olabilir, tespit edilen mülkiyet türlerinin kullanım izinleri ve yaptırımları sorunsuz bir şekilde yürütülebilmektedir.

Uygulama, kadastro ve mülkiyet bilgi sistemi olarak iki aşamada incelendiğinde, kadastro çalışmasında, ilgili Kadastro Müdürlüğü'nden maden sahasına ait kadastro paftalarının temini yapılmaktadır. Sonrasında ise bu paftalardan elde edilerek çalışma alanı kapsamında kullanılan sayısal veriye yine ilgili Tapu Müdürlüğü'nden temin edilen tapu kütük bilgileri ilişkilendirilmektedir. Bu arada, sahada daha önce yapılmış ve/veya planlanmakta olan projeler, kadastro çalışması ile birlikte değerlendirilmektedir. Mülkiyet Bilgi Sistemi çalışmasında ise elde edilen tüm veriye, ilgili Nüfus Müdürlükleri ile iletişime geçilerek, taşınmazlara ait güncel isim ve adres bilgileri girilmekte, böylelikle CBS ile entegre çalışan ve her türlü sorgulamanın, takip ve kontrolün kolaylığını sağlayan bir sistem elde edilmektedir.

Sonuç olarak, özellikle fizibilite çalışmalarında arazi mülkiyetinin doğru tespiti, Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) aşamasında arazi alımlarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bu tür çalışmalar, ruhsat sahibine yatırım projeleri için "en ideal" yer seçimi analizi ile varsa problemli unsurların giderilmesi için durum tespit raporu sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kadastro, mülkiyet, bilgi sistemi, madencilik

ABSTRACT Cadastre is explained with basic items although ownership of property, area information and property boundaries on the map, it is used too many functions such as researching, planning, and design work as the main base. Cadastre has a great importance also in mining activities which has an effective role in increasing the level of welfare in human and social life with the use of natural resources. It also shows the most importance in the fast and accurate detection of property that will be need the sanctions and the permissions for the use of property during mining operations.

If the application is examined in two phases as cadastral and property information system, in cadastral surveys, cadastral sheets are provided from related Cadastre Directorate. After then, the digital data obtained from the sheets is associated with the Land Registry information provided from the relevant Land Office. Meanwhile, the projects that are made and /or planned in the field area previously are evaluated with cadastral surveys. Also in property information system study, the current name and address information belonging to immovable property provided from Population Directorate is entered to obtained all digital data, thus a system is obtained that integrated with GIS and also provides the ease of any questioning, monitoring and controlling.

As a result, the correct determination of land ownership in feasibility studies particularly, facilitates the land acquisition stage in Environmental Impact Assessment (EIA). In addition, this kind of work offers to the licensee the "ideal" site selection analysis for investment projects, if so, due diligence report for overcome the problematic elements.

Keywords: Cadastre, property, information system, mining

1 GİRİŞ

Tarihte, insanların topraklarının sınırlarını bilme isteği çok önceye dayanır. Bu nedenle sahip olduğu toprakları kayıtlara dökme ihtiyacı her daim duyulmuştur. M.Ö. 3000 li yıllarda kerpiç ve papirüs kâğıtları üzerine çizilen krokiler de bu kayıtların en güzel örnekleridir. Zaman ilerledikçe, nüfusun artması ve arazilerin kıymetlenmesine bağlı olarak eldeki kayıtlar yetersiz kalmış ve ismini Yunanca "katastikhon" yani defter veya kayıt anlamına gelen Kadastro kelimesi ile hem resmileştirmiş hem de kapsamını genişletmiştir.

Geçmişten günümüze ise Kadastronun gücü ve yararı giderek artmıştır. Artık araziye yönelik her türlü araştırma, planlama, projelendirme çalışmalarında temel altlık ve bu çalışmaların araziye uygulanmasında vazgeçilmez bir araç olma özelliği kazanmıştır.

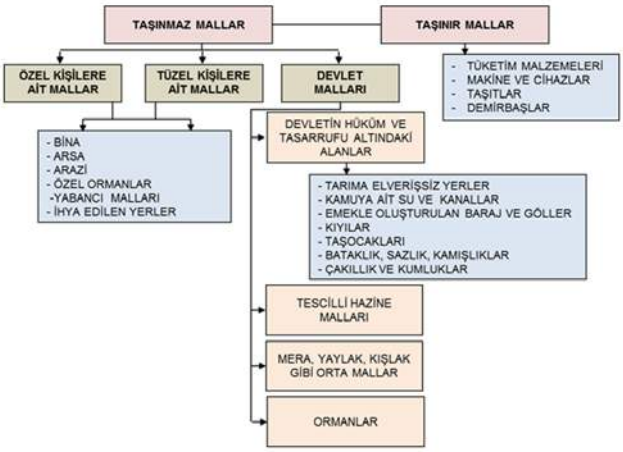
Taşınmazlara ait bilgilerin toplandığı, saklandığı ve bu bilgilerin araştırma, planlama ve projelendirme çalışmalarında temel altlık olarak kullanıldığı Kadastro, ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmaları için gerekli hammadde, enerji ve doğal kaynakların kullanımını sağlayan, bununla beraber başka sektörlere pazar imkanı sunan madencilik için de önemli bir unsurdur.

Madenciliğin, özellikle tarım ile birlikte toplumların hammadde ihtiyaçlarını sağlayan iki temel üretim alanından biri olduğu düşünülürse, doğru plan ve stratejilerin takip edilmesi sonucunda sektörün üretim, istihdam ve ekonomiye önemli katkılar sağlayacağının göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Bu nedenle, henüz planlama aşamasında iken, arazinin doğrudan etkilendiği madencilikte, maden faaliyet alanının tesis edileceği alanın bilinmesi önemlidir. Buda mülkiyetin doğru tespit edileceği iyi bir kadastral altığın ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

1.1 Mülkiyet Tanımı

Mülkiyet, taşınır ya da taşınmaz bir eşya üzerinde hak sahibine kullanma, yararlanma ve tasarruf yetkisi veren, hukuk düzeninin sınırları içinde kullanılabilen bir haktır.



Şekil 1. Mülkiyet Türleri

Şekil 1 de görüleceği üzere, mülkiyet, taşınır mallar; otomobil, mobilya, beyaz eşya, menkul değer ve para gibi bir yerden başka bir yere taşınabilen eşyalar ile taşınmaz mallar; özel, tüzel ve devlete ait taşınamayan toprak veya yapılar olarak ifade edilebilir.

1.2 Mülkiyetin Kullanım ve İzinleri

Arazinin doğrudan etkilendiği madencilikte, faaliyet alanı içerinde kalan taşınmaz malların kullanım ve izinleri hem mülkiyetin türüne göre hem de madenin aşamasına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Maden faaliyetinin aşamasına göre maden arama döneminde arama ruhsat sahası içerisinde kalan mülkiyetin belirli süreliğine kullanım hakkı ilgili Bakanlığa müracaat ile sağlanmaktadır. Sondaj, yarma, galeri gibi

fiziksel müdahale gerektiren arama faaliyetlerinde ise, özel ve tüzel mülkiyet sahiplerinden bu alanlar için ödenen bedel karşılığı alınan onay dilekçesinin ruhsat sahibine verilmesi ile arazinin kullanımı mümkün olmaktadır.

Maden işletme döneminde ise;

• Özel ve tüzel mülkiyet alanlarının, hak sahiplerinden satın alınması ile kullanımı sağlanmakta, satın alınamadığı durumlarda ise bu taşınmazlara ilişkin kamulaştırma yapılarak kullanımı sağlanabilmektedir.

• Devletin kullanımında olan tescilli hazine arazileri maden ruhsat sahasına bedelli/bedelsiz tahsis edilebilirken, hüküm ve tasarrufu altında kalan tescilsiz alanların kullanımı için kadastro çalışmaları tamamlanmakta ve hazine adına tescili sağlanmaktadır.

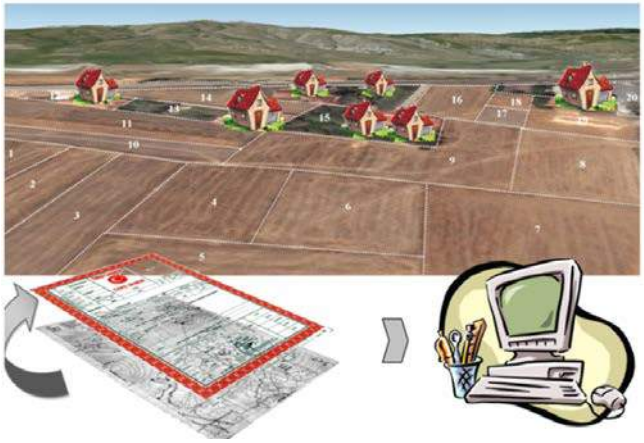
• Orman arazileri, orman izni alınması suretiyle kullanılmaktadır.

• Mera arazileri ise tahsis amacı değiştirildiği takdirde madencilik faaliyetlerinde kullanılabilmektedirler.

Mülkiyet türleri; özel, tüzel ve devlet malları olarak incelendiğinde her bir alan için izin ve yaptırımlar değişmektedir. Bu nedenle maden sahası içerinde kalan mülkiyetin tespiti bu aşamada önem taşımaktadır.

2 KADASTRO VE MÜLKİYET BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

İçinde yaşadığımız bilgi çağında, bilginin sadece görülebilir, sorgulanabilir ve paylaşılabilir olduğu zaman yarar sağladığı, basılı bilginin kaybolabildiği, değiştirilebildiği ve karar verme sürecinde yetersiz kalabildiği herkes tarafından bilinmektedir. Bu nedenle verilerin birbiriyle ilişkili kurumlardan toplanarak, muhafaza edilmesi yani bir anlamda bilgi sistemleri ile yeniden değerlendirilerek veri tabanı içerisinde toplanması, ruhsat sahibine bu bilgiler üzerinden sorgulamalar yaparak ihtiyaç duyduğu raporlama ve istatistiksel verileri oluşturma imkanı sağlamaktadır.



Şekil 2. Sistem Model Yapısı

Bu sistem içerisinde, ilgili Kadastro Müdürlüğü'nden sahaya ait kadastro paftalarının temini, sayısallaştırılması, sayısal veri ile ilgili Tapu Müdürlüğü'nden temin edilen tapu kütük bilgilerinin ilişkilendirilmesi, sahada daha önce yapılmış ve/veya planlanmakta olan projelerin birlikte değerlendirilmesi yapılmaktadır. Şekil 2 de veri model yapısı gösterilmektedir. Elde edilen tüm veri ise «Mülkiyet Bilgi Sistemi» içerisinde tutulmaktadır.

Edinilen kazanımlar;

- Maden faaliyet alanında mülkiyet çok yönlü incelenmekte ve mülkiyeti belirlenmeyen hiçbir alan kalmamaktadır. Sahada daha önce yapılmış ve/veya planlanmakta olan projeler, kadastro çalışması ile eş zamanlı değerlendirilmektedir.
- Oluşturulan Mülkiyet Bilgi Sistemi içerisine yine ilgili Tapu Müdürlüğü'nden alınan takyidat (ipotek, haciz, şerh vb.) ve dava durumları, maden faaliyet alanı içerisinde kalan mülkiyetlerle ilişkilendirilmektedir. Böylelikle ruhsat sahibi, karşılaşılabilecek sorunlara önceden hazırlıklı olabilmektedir.
- Mülkiyet bilgilerine ilgili Nüfus Müdürlükleri ile iletişime geçilerek güncel isim ve adres bilgileri girilmekte, böylelikle ruhsat sahibi arazi sahiplerinin veraset ve intikal durumlarından kaynaklı tapu kütüğüne işlenmeyen güncel bilgileri elde edebilmektedir.
- Elde edilen sonuç çalışma, gerçekleştirilmesi planlanan maden faaliyetinin Çevresel ve Sosyal Etki

Değerlendirme çalışmalarında altlık olarak kullanılabilmektedir. Böylelikle elde edilmiş güncel nüfus ve adres bilgileri kullanılarak, sosyo-ekonomik durum analizinde mülkiyet sahipleri ile hane bazında yapılan anket çalışmaları sistematik bir şekilde ilerleyebilmektedir.

3 SONUÇ

Ruhsat sahasında yapılması planlanan alanın en erken safhada mülkiyet tespitinin yapılması çok önemlidir. Sahada madencilik faaliyetlerine başlamadan önce kiralanması, satın alınması veya kamulaştırılması gereken mülkiyetin kısa zamanda yapılan incelemeler neticesinde doğru olarak elde edilmesi Maden Firmalarına ciddi bir zaman kazandıracak ve maddi kayıpların da önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Bu tür çalışmalar, ruhsat sahibine yatırım projeleri için "en ideal" yer seçimi analizi, varsa problemli unsurların giderilmesi için durum tespit raporu sunmaktadır. Bir diğer unsur ise projeden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenen halkla olan ilişkilerin sağlıklı bir şekilde yürütülmesine olanak sağlanarak, dünyada maden projelerinde de rastlanan sosyal ihtilaflar ve tepkiler en aza indirgenebilmektedir.

KAYNAKLAR

Yaşayan, A., Erkan, H., Seylam, S. G., 2011, Kadastro Kavramı ve Türkiye Kadastrosu, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Mataracı O., İlker M., 2002, TAKBİS-Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği 30. Yıl Sempozyumu, Konya

Kadastro Bilgisi Ders Notları, www.harita.ktu.edu.tr

Anonim 1985. 3213 Sayılı Maden Kanunu. (1985). T.C. Resmi Gazete, 18785, 15 Haziran 1985

Anonim 1983. 62942 Sayılı Kamulaştırma Kanunu. (1983). T.C. Resmi Gazete, 18215, 8 Kasım 1983

Oda-Topuk Üretiminde Tasman Analizi: Tire Linyitleri İçin Uygulama

Subsidence Analysis in Room and Pillar mining: Case Study for Tire Lignite of Izmir-Turkey

Ö. Yılmaz, H. Akçın, T. Ünlü, N. A. Akçın
Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

C. Başaran
Tire Linyit A.Ş., İzmir, Türkiye

ÖZET Günümüzde, yeraltı madenciliği nedeniyle oluşan tasmanın tahmini, izlenmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Özellikle yapılaşmış alanlar altında sürdürülen madencilik çalışmalarının yapıldığı yerlerde bu olgu daha da ön plana çıkmaktadır. Bundan dolayı, tasman oluşumu ve sosyal hayata negatif etkileri büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; İzmir Tire'de, Tire Linyit Sanayinin ruhsatlı sahasında gerçekleştirilen, oda-topuk madeninde oluşabilecek tasman ve bunun yeryüzündeki etki alanı, klasik tahmin yöntemleri ve sayısal çözümleme yöntemiyle araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Oda-topuk, tasman analizi, Tire

ABSTRACT Subsidence, which is occurring as a result of underground mining activities, can be determined by surface measurements and can be estimated by means of various subsidence prediction methods. This phenomenon is particularly important where underground mining activities take place beneath urban areas, lakes, dams or agricultural fields. Therefore, subsidence should be monitored and controlled during and after mining activities. Because, subsidence occurrence and its adverse effects play an important role on social life.

In this study, two dimensional finite element numerical modelling and classical subsidence prediction techniques were used to investigate subsidence occurrence and prediction of surface subsidence for a room and pillar lignite coal mine at Tire, İzmir.

Keywords: Room and pillar, subsidence analysis, Tire

1 GİRİŞ

Topuk bırakılmadan sürdürülen yeraltı madencilik çalışmalarında, özellikle üretim boşluğu içerisinde ve çevresinde oluşan yüksek ikincil gerilmelerden kaynaklanan yüklerin yeterince desteklenemediği durumlarda, üretim seviyesinden başlayarak yeryüzüne kadar uzanan katmanlar zaman içerisinde ardışık olarak yenilmektedir. Böylece; üretim boşluğuna doğru düşey yönde yerdeğiştirmeler ve yeryüzünde üretim geometrisinden daha geniş bir şekilde etkili olan çöküntü alanı oluşmaktadır. Ancak, topuklarla desteklenen bir üretim geometrisinde bu yerdeğiştirmeler yeryüzüne ulaştığında yanal açıklıklı etki alanı oluşmamakta ve genelde çökmeler üretim geometrisi kadar bir alan içinde, bazen de obruklar (sinkhole) şeklinde meydana gelmektedir. Oda-Topuk üretiminde temel amaç kazı açıklıkları çevresinde topuklar oluşturularak tabaka duraylılığı sağlamaktır. Eğer geo-mekanik özellikler açısından zayıf tabakalar (örneğin kiltaşı ve/veya alüvyon) altında bir oda topuk üretimi yapılmışsa veya topuklar narin veya yüksek topuklar şeklinde oluşturulmuşsa; yüzeyde yukarıda tanımlanan şekilde tasman oluşumları meydana gelebilmektedir.

Bu bağlamda, oda-topuk uygulamalarının bir özelliği olarak, topuklar alınmadan terk edilen sahalarda veya topuklar alınıncaya kadar geçecek zaman içerisinde, topukların dayanım ve güvenlik analizlerinin ve buna bağlı olarak da tasman oluşumun incelenmesi gereklidir. Dünyada topuk dayanım analizleri ve tasarımları, hem teorik çalışmalardan elde edilen bağıntılardan yararlanarak hem de görgül yöntemlere (geçmiş deneyimlere dayalı olarak) göre gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir topuğun Güvenlik (emniyet) Faktörü (GF); oda-topuk üretimlerindeki topukların, üstündeki arazi kütlesine göre ne derece duraylı olduğunun bir ölçüsünü göstermektedir. Bu nedenle, her bir topuğun GF ve toplamda tüm topukların GF değeri, yüzeyde oluşacak tasman açısından önemlidir. Bu çalışmada Tire Linyit sahasında gerçekleştirilen oda-topuk üretimler için her bir topuk ve tüm topuklar için GF değeri hesaplanmış ve durum sayısal tasman kestirim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2 ODA-TOPUK ÜRETİMLERİNDE TOPUK DAYANIM ANALİZİ

Topuk bırakılarak gerçekleştirilen bir üretimin yüzeyde tasman oluşturup oluşturmayacağı topuk dayanım çözümlemeleriyle incelenmektedir. Dünyada topuk dayanım çözümlemeleri; hem teorik hem de görgül olarak topuğun genişliği ve yüksekliği arasındaki orana bağlı olarak geliştirilen bağıntılara göre gerçekleştirilmektedir.

Topuğun şekli kömürün dayanımı üzerinde belirleyici bir etmendir. Topuk dayanımında; şekil etkisi, genişlik/yükseklik oranındaki artışa paralel olarak artma göstermektedir. Kömür madenciliğinde damar kalınlığı hemen hemen sabit olup, topuk genişliği ise değişkendir. Birçok topuk dayanımı bağıntısı şekil etkisinin de hesaba katılmasını önermektedir. Bu görgül bağıntılar Eşitlik 1'de gösterildiği gibi doğrusal ve üssel yapı gösterenler olmak üzere iki grupta toplanabilir:

$$\sigma_p = \sigma_{cf} \cdot \left[a + b \cdot \left(\frac{W}{H} \right) \right] \rightarrow \quad \text{Doğrusal yapı} \quad (1.1)$$

$$\sigma_p = K \cdot \frac{W^{\alpha}}{H^{\beta}} \rightarrow \quad \text{Üssel yapı} \quad (1.2)$$

Bu eşitliklerde; σ_p kömür topuğunun yerinde basınç dayanımı, σ_{cf} kritik örnek boyutuna sahip kübik topuğun tek eksenli basınç dayanımıdır. Ayrıca, a ve b boyutsuz sabitler (çoğunlukla a+b=1 seçilir), K kenar uzunluğu 1ft (30.48cm) olan kömür örneğinin psi olarak dayanımı α ve β şekil etkisini göz önüne alan boyutsuz sabitlerdir. Son olarak W ve H sırasıyla topuğun genişliği ve yüksekliğidir. Eşitlik 1'de kullanılan sabitler, dünyadaki kömür havzalarının birçoğunda gerçekleştirilen deneyler ve araştırmalar yardımıyla belirlenmiştir. a, b, α ve β sabitlerine ait birbiri ile uyumlu değerlendirmeler vardır. Farklı araştırmalardan elde edilen bazı örnek değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Topuk basınç dayanımı için geliştirilen bazı sabit değerler (Farmer, 1985).

ARAŞTIRMACI	a	b	α	β	Yöntem	Bölge
Obert vd. (1946)	0.78	0.22	--	--	Laboratuvar	--
Bieniawski (1968b)	0.64	0.36	--	--	Yerinde	Afrika
Van Heerden (1974)	0.70	0.30	--	--	Yerinde	Afrika
Zern (1926)	--	--	0.50	0.50	Görgül	ABD
Salamon ve Munro (1967)	--	--	0.46	0.66	İstatistiksel	Afrika
Bieniawski (1968a)	--	--	0.16	0.55	İstatistiksel	Afrika
Morrison vd. (1975)	--	--	0.50	0.50	Yerinde	Kanada

Oda topuk madenciliğinde bırakılan topukların basınç dayanımları, plan görünüşü kare olan topuklar için geliştirilmiştir. Kare kesitli topuklar için geliştirilmiş topuk basınç dayanım eşitliklerinden bazıları Salamon ve Munro (1967) (Eşitlik 2.1), Bienawski (1968a) (Eşitlik 2.2) ve Sheorey (1992) (Eşitlik 2.3) tarafından aşağıda gösterildiği gibi verilmiştir.

$$\sigma_P = 7.18\frac{W_P^{0.46}}{H^{0.66}} \quad (2.1)$$

$$\sigma_p = \sigma_{cf} \cdot \left(0.64 + 0.36 \cdot \frac{W}{H}\right) \quad (2.2)$$

$$\sigma_p = 0.27 \cdot \sigma_c \cdot H^{-0.36} + \frac{h}{160} \cdot \left(\frac{W}{H} - 1\right) \quad (2.3)$$

Burada; σ_p kömür topuğunun yerinde basınç dayanımı (MPa), σ_c ve σ_{cf} sırasıyla 1inch (2,54cm) ve kritik örnek boyutuna (5 ft = 152,4 cm) sahip kübik örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (MPa), W ve H sırasıyla topuğun genişliği ve yüksekliği (m) ve h üretim derinliği (m) olarak tanımlanır. Eşitlik 2.1'de, 7.18 sabiti ise 1 kübik kömür örneğinin MPa olarak dayanımını ifade eder.

Salamon-Munro bağıntısına göre; sabit yükseklik için, topuk dayanımı, topuk genişliği ile paralel olarak artmaktadır. Genişliğin sabit kalması durumunda ise; topuğun dayanımı, yüksekliğin artması ile azalır. Diğer taraftan, ilk kez Bieniawski (1968a) tarafından ortaya atılan kritik boyut kavramı, belirli örnek boyutu dışında dayanımda artma veya azalma olmadığını ve kömür örnekleri için bu boyutun yaklaşık 1.5 m olabileceğini kabul etmektedir. Bieniawski, belirli örnek boyutunun üzerinde, Salamon-Munro tarafından ortaya atılan bağıntının geçerli olmayacağını haklı gerekçelerle ispatlamış ve doğrusal fonksiyon yapısı gösteren topuk dayanım bağıntılarının sonuçlarının, üssel fonksiyon yapısı gösteren bağıntıların sonuçlarından daha güvenilir olduğu sonucuna varmıştır (Ünlü, 1994).

Dikdörtgen plan görünüşlü topuklar için ise, kare topuklara yönelik geliştirilen formüller yardımıyla, dönüşüm yaklaşımları önermektedir. Eşitlik 3.1 ve 3.2'de Salomon ve Oravecz (1976) ve Huising ve Peng (1985) tarafından kare topukların dayanımını dikdörtgen topukların dayanımına dönüştürmek için önerilen dönüşüm yaklaşımları gösterilmektedir.

$$W_p = \sqrt{W_{pr} \cdot L_p} \quad (3.1)$$

$$W_p = W_{pr}^{0.85} \cdot L_p^{0.15} \quad (3.2)$$

Burada; W_p kare topuğun genişliği, W_{pr} dikdörtgen topuğun genişliği ve L_p dikdörtgen topuğun uzunluğu olarak tanımlanır. Wagner (1980) ise topuğun çevre uzunluğunun topuk dayanımında önemli rolü olduğunu öne sürmüştür. Bunun nedeni, yenilmenin topuğun kenarından başlaması ve yavaş bir şekilde topuğun merkezine (göbeğe) doğru ilerlemesidir. Dikdörtgen veya düzensiz şekilli topukların tasarımında etkin topuk genişliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda Wagner, etkin topuk genişliğinin hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermektedir (Eşitlik 4):

$$W_{eff} = \frac{4 \cdot A_p}{C_p} \quad (4)$$

Burada; W_{eff}, dikdörtgen veya düzensiz şekilli topuğun etkin genişliği, A_p, dikdörtgen veya düzensiz şekilli topuğun kesit alanı ve C_p ise topuğun çevresidir. Marc ve Champoli (1995) ise, Bienawski (1968a) tarafından kare topuklar için önerilen eşitliği dikdörtgen kesitli topuklar için aşağıda verildiği gibi yeniden düzenlenmişlerdir (Eşitlik 5).

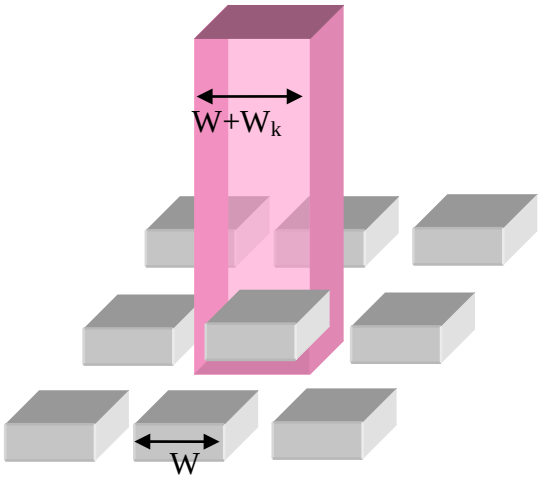
$$\sigma_P = \sigma_{cf}\left(0.64 + 0.54\frac{W}{H} - 0.18\frac{W^2}{L_p \cdot H}\right) \quad (5)$$

Burada tüm semboller daha önce tanımlandığı gibidir. Topuk üzerindeki yükü belirlemek için kullanılan "Eş Yüklü Alanlar Yaklaşımı" oda topuk madenciliğinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Bieniawski, 1982). Eş yüklü alanlar yaklaşımında her bir topuğun, topuğun her bir kenarında oda ya da

açıklık genişliğinin yarısı kadar bir alan üzerinde bulunan kaya kolonun ağırlığını taşımakla yükümlü olduğunu kabul edilir. Ayrıca topuk içindeki gerilme dağılımının üniform olduğu da kabul edilir (galerinin şeklinin bir topuk içerisindeki gerilme dağılımı üzerinde etkisi yoktur). Eş yüklü alanlar teorisine göre, bir topuğa gelen toplam düşey yük, açıklık oluşturulmadan önce topuğun taşıdığı alan gelen toplam düşey yüke eşittir. Bu durumda, topuklara gelen düşey arazi yükü (P_v) ile topukta oluşan ortalama düşey topuk gerilmesi σ_p Eşitlik 6'da verilen görgül bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_P = \frac{\gamma \cdot h \cdot (L_p + W_k)(W + L_k)}{L_p \cdot W} \qquad (6)$$

Bu eşitlikte, W_k ve L_k sırasıyla enine ve boyuna kazı genişlikleri (m), W ve L_p sırasıyla dikdörtgen topuğun genişliği ve uzunluğu (m), γ topuk üzerindeki tavan tabakalarının ortalama birim ağırlığı (MN/m^3) ve h üretim derinliğidir (m) (eğimli damarlarda üst derinlik ile alt derinliğin ortalamasıdır) (Şekil 1).



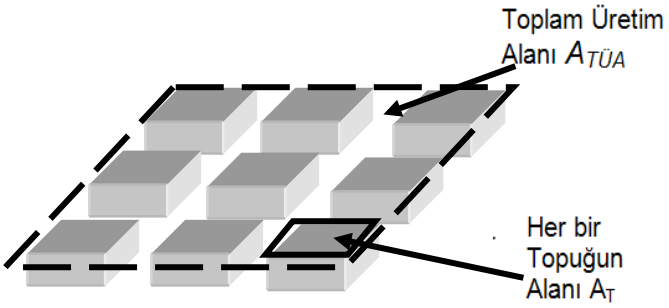
Şekil 1. Topuklar üzerine gelen arazi basıncı.

Herhangi bir topuğun Güvenlik Faktörü GF ise; oda-topuk üretimlerindeki topukların, üstündeki arazi kütlesine göre ne kadar duraylı kalacağının bir ölçütü olarak belirlenmektedir. Genel olarak her bir topuğun güvenlik faktörü ve toplamda tüm topukların güvenlik faktörü ayrıca hesaplanmalıdır. GF değeri aşağıda verilen Eşitlik 7'den hesaplanabilmektedir. Şekil 2'den de görüleceği gibi tüm üretim topuklarının GF_T değeri ise Eşitlik 8 kullanılarak elde edilmektedir.

$$GF = \frac{\sigma_P}{P_v} \qquad (7)$$

$$GF_T = \frac{\sigma_P \cdot A_{TTA}}{h \cdot \gamma \cdot A_{TÜA}} \qquad (8)$$

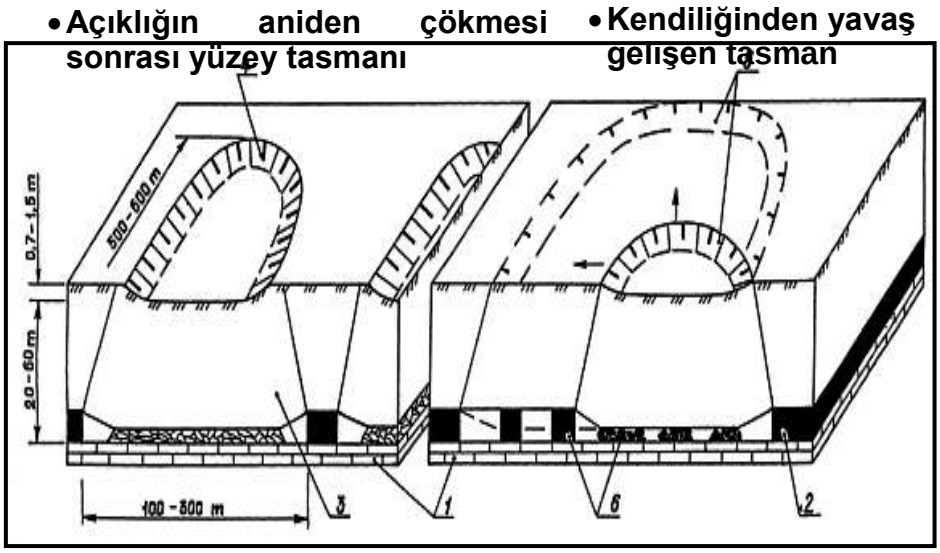
Bu eşitliklerde, $A_{TTA}=n \cdot A_T$, Toplam Topuk Alanlarını, $A_{TÜA}$ ise Toplam Üretim Alanını ifade etmektedir.



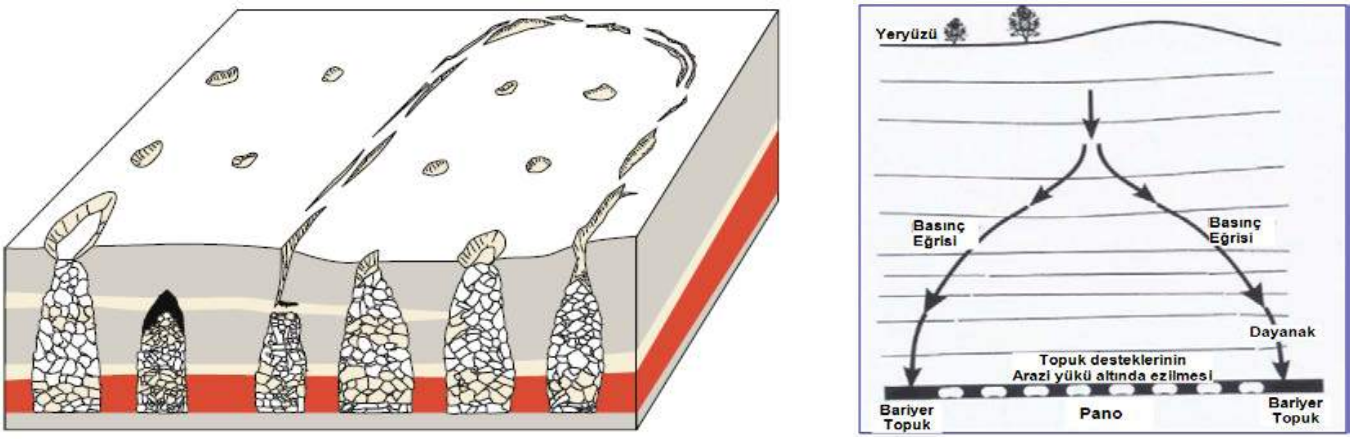
Şekil 2. Topuk ve üretim sınırının alanları.

3 ODA-TOPUK ÜRETİMLERİNDE TASMAN ANALİZİ

Oda topuk üretiminde temel amaç kazı açıklıkları çevresinde topuklar oluşturularak galeri ve tabaka duraylılığı sağlamaktır. Eğer geo-mekanik açıdan zayıf tabakalar (örneğin kiltaşı ve alüvyon) tabakalar altında bir oda topuk üretimi yapılmışsa veya topuklar narin veya yüksek topuklar şeklinde oluşturulmuşsa; yüzeyde Şekil 3 ve Şekil 4'de görülen türlerde tasman oluşumuna rastlanabilmektedir. Bu oluşumlar, ya üretim panosu merkezinin genişliği kadar bir alanda ve 0.7-1.5 m derinlikte yeryüzünde tasman küveti oluşturmak suretiyle ya da yüzeyde tasman bacaları şeklinde çöküntüler oluşur. Oda-topuk uygulamalarının bir özelliği olarak, topukların alınmaması durumunda zayıf uygulamalar sonucu meydana gelebilecek tasman, üretim panosu merkezi üzerinde oluşacak ve etrafa dağılmayacaktır. Kazı açıklıkları üzerindeki basınç dağılımları Şekil 4.b'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Stabil olmayan topuk yapısında tasman gelişimi.



(a) **(b)**

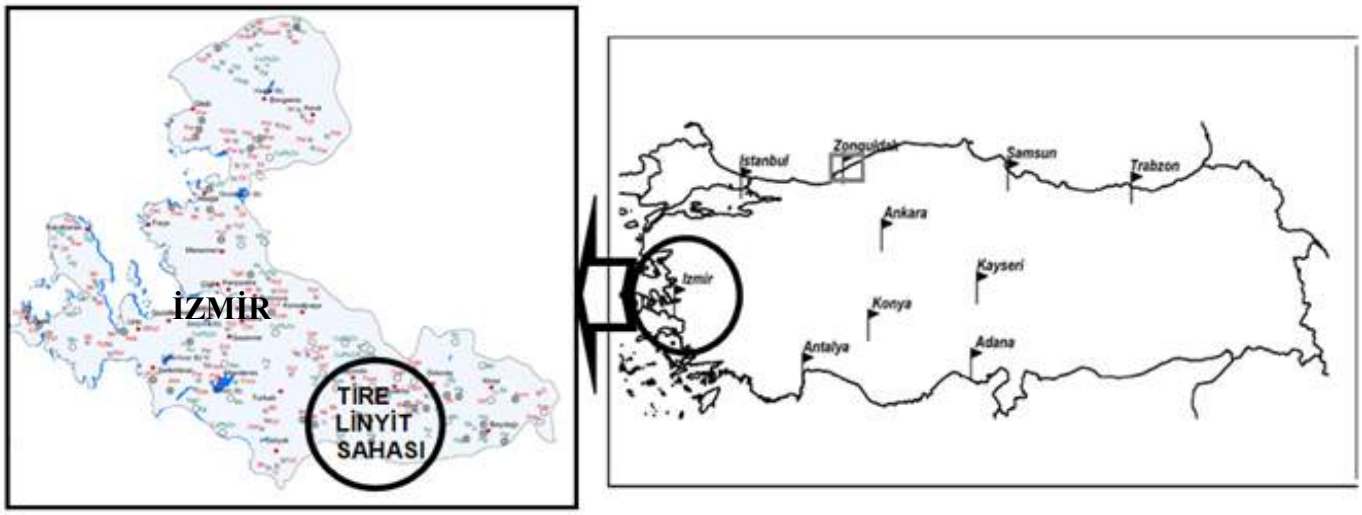
Şekil 4. Üretim panosu kazı açıklıkları üstünde (a) tasman bacaları (Amundson et al., 2009), (b) basınç kemerleşmesi.

Oda topuk üretimlerinin yüzeyde yaratacağı tasman oluşumun kestiriminde sayısal ve analitik kestirim teknikleri uygulanmaktadır. Sayısal kestirim teknikleri için "Bütünleşik Tasman Kestirim Tekniği-ISPTec" (Akçın vd., 2012; Ünlü et al., 2013) kullanılabilir. Yöntemin uygulamasında; gerilme dağılımları, yenilme bölgeleri ve yüzey tasman profilinin bir bütün olarak belirlenebilmesi için gerek üretim ortamının, gerekse yeryüzünün aynı koordinat sisteminde olması, jeolojik yapının da üç boyutlu olarak tanımlanması gerekmektedir.

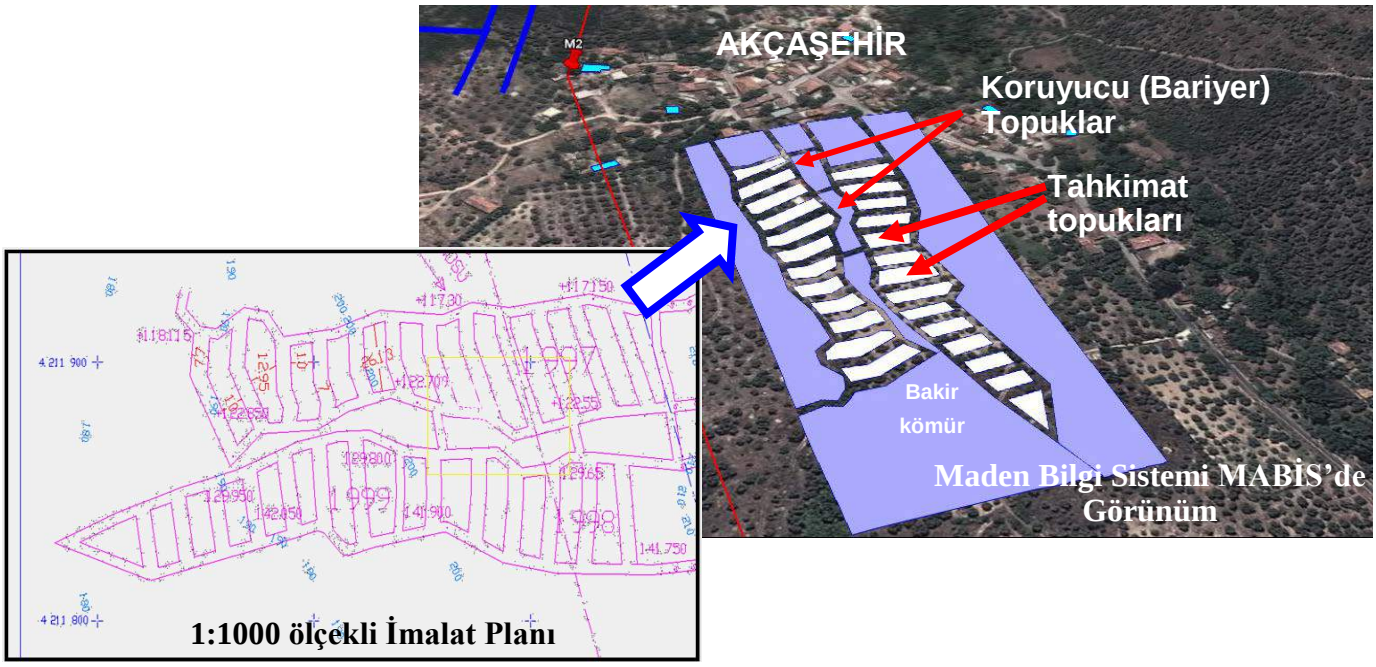
4 TİRE LİNYİTLERİ İÇİN UYGULAMA

Bu çalışmada, Tire Linyit sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından 1997 ile 1999 tarihleri arasında İzmir'in Tire İlçesi Akçaşehir Yerleşimi yakınlarında (Şekil 5) oda topuk yöntemiyle üretimi yapılan sahada bırakılan topukların (Şekil 6) basınç dayanımları, güvenlik faktörü değerleri ve bu sahaya ilişkin tasman oluşumun kestirimi ele alınmıştır.

Bu yaklaşım modelinde; elastoplastik teoriden hareketle, sonlu elemanlar yönteminin yeraltı üretimleri, jeolojik yapı ve yeryüzü verileri ile oluşturulmuş bir Maden Bilgi Sistemine (CBS) bütünleşmiş olarak, üretim seviyesi ile yeryüzü arasındaki tabakaların her üretim aşamasındaki tomografisi çıkartılmaktadır. Kestirim modelinde, kaya kütleleri ve kömür damarları dayanımının Hoek-Brown yenilme ölçütü ile tanımlandığı varsayılmıştır.



Şekil 5. Tire linyit sahasının konumu.



Şekil 6. Tire Linyit A.Ş. tarafından uygulanan Oda-Topuk üretimlerin genel yapısı.

Jeolojik açıdan Akçaşehir yerleşkesi; kuvaterner dönemine ait alüvyon, karasal, çökeller ve kaya; jurasik-kratese dönemine ait mermer ve metamorfik kaya yapısının hâkim olduğu bir bölgede bulunmaktadır. İşletme sahası, Kuzeydoğu-Güneybatı eksenli bir senklinal üzerinde yer almaktadır. Bu senklinalin Kuzeybatısında kalan pano "Batı panosu" ve Güneydoğusunda kalan pano da "Doğu Panosu" olarak adlandırılmıştır. Sahada; Büyük Damar (10-12m) ve Küçük Damar (1,5-2,0m) olmak üzere iki damar bulunmaktadır. Faaliyeti yürütülen alanda özel bir oda-topuk yöntemi uygulanmıştır. Panolar hazırlandıktan sonra yaklaşık 7 m'lik dilimler halinde üretim yapılmış ve aralarda da yaklaşık 10 m'lik topuklar bırakılmıştır.

Üretimlerde genel ortalama olarak W_k = 7m üretim açıklığı, W = 10m topuk genişliği, L_P = 26m topuk uzunluğu, H_P = 2,8m kazı yüksekliği, $\theta = 13^0$ üretim yapılan damarın eğim açısı, Üretim panosunun alt üretim derinliği h_a = 83m, üst üretim derinliği 57m, ortalama üretim derinliği 70m olarak bulunmuştur. Topuklar dikdörtgen kesitli olup topuk genişliği $W_p = \sqrt{W_{pr} \cdot L_p} \approx 16m$ olarak ele alınmıştır. Kömür kütlesinin yerinde basınç dayanımı 25 MPa, topuk üzerindeki tavan tabakalarının ortalama birim ağırlığı 0,025 MN/m^3 değerleri olarak belirlenmiştir. İşletme için kurulan Maden

Bilgi Sistemi kullanılarak her bir topuk için belirlenen alan ve tüm üretim alanı miktarları ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

Dikdörtgen kesitli topuklar için Marc ve Champoli (1995) eşitliği kullanılarak, bir topuk için kömür kütlesinin basınç dayanımı σ_p = 58 MPa, topuk üzerindeki tabakaların ağırlığından kaynaklanan düşey birincil gerilme 7 MPa ve sonuç olarak güvenlik faktörü;

$$GF = \frac{\sigma_p}{P_v} = \frac{58}{7} = 8$$

olarak elde edilmiştir. Panodaki tüm topukların Güvenlik Faktörü için ise;

$$GFT = \frac{\sigma_p}{h \cdot \gamma} = \frac{A_{TTA}}{A_{TÜA}} = \frac{58 \cdot 10563}{70 \cdot 0.025 \cdot 20538} = 17$$

değeri bulunmuştur. Elde edilen bu değerler Salamon-Munro için S_P= 13 MPa, GF= 2 ve Bienawski eşitlikleri için S_P= 67, GF= 10 olarak elde edilmiştir. GF'nin 2-15 arasında çıkması önerilen sınır değerlerdir, elde edilen değerlerin sınır değerler içinde olması üretim panosunun yüzeyde tasman oluşturmayacak kadar güvenli (emniyetli) olduğunu göstermektedir. Ayrıca panoda odaların alınmasından sonra topuk olarak bırakılan kömürün yüzdesi ((10563m^2 /20538m^2)·100)= %51 olarak hesaplanmıştır. Uluslararası standartlarda topuk yüzdesi ve üretim derinliğine göre topuk genişlikleri Çizelge 3'de verilmiştir. Bu çizelgeden 70m derinlik için bir panoda topuk olarak bırakılacak kömür yüzdesi %51 ve topuk genişliği 11'den büyük olması gerektiği şeklinde belirlenmiş olup, sonuç olarak bu panodaki üretimlerin bırakılacak topuk yüzdesi ve topuk genişliği açısından da uluslararası standartlara uyduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Hesaplanan topuk ve üretim alanları.

Oluşturulan Topukların Alanları (m^2)		
A_{T1}= 404	**A_{T11}= 391**	**A_{T21}= 224**
A_{T2}= 450	**A_{T12}= 289**	**A_{T22}= 365**
A_{T3}= 292	**A_{T13}= 597**	**A_{T23}= 427**
A_{T4}= 261	**A_{T14}=632**	**A_{T24}= 260**
A_{T5}= 261	**A_{T15}= 787**	**A_{T25}= 356**
A_{T6}= 319	**A_{T16}= 266**	**A_{T26}= 329**
A_{T7}= 373	**A_{T17}= 212**	**A_{T27}= 279**
A_{T8}= 479	**A_{T18}=213**	**A_{T28}= 362**
A_{T9}= 414	**A_{T19}= 210**	**A_{T29}= 433**
A_{T10}= 446	**A_{T20}= 232**	A_{TTA}= n·A_T=10563m^2
Toplam Üretim Alanı $A_{TÜA}$= 20538m^2		

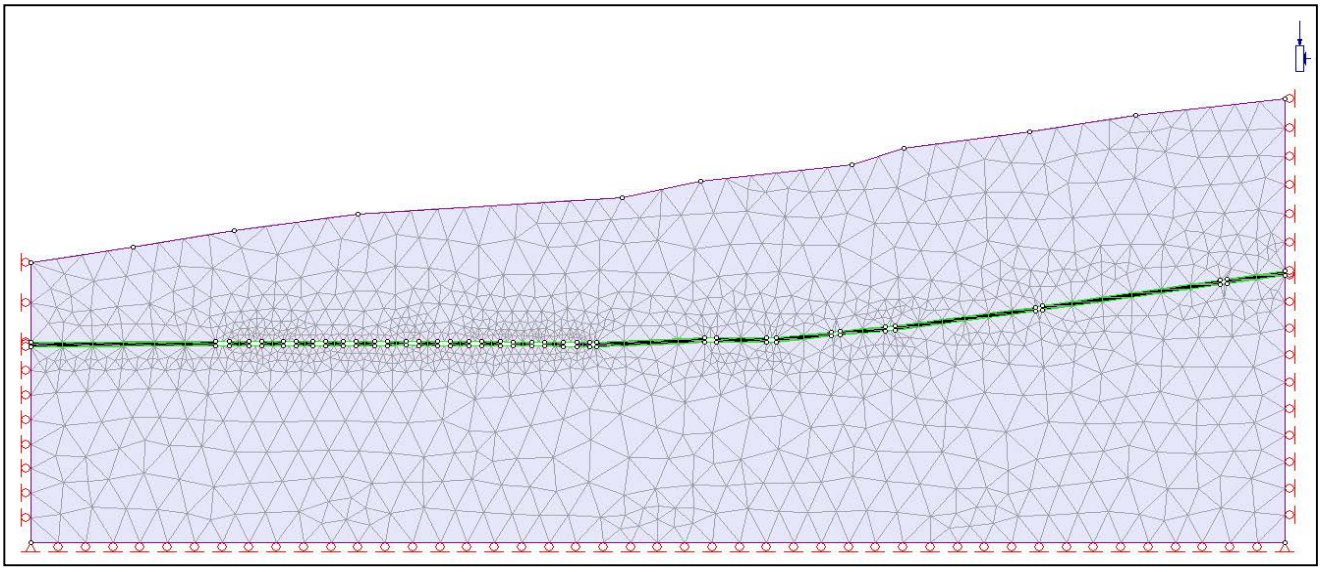
Çizelge 3. Uluslararası Kömür madenleri talimatlarına göre topuk boyutlarının örtü tabakası kalınlığı ile ilişkisi (Lekili, 1984).

Örtünün Derinliği (m)	**Topuk Olarak Bırakılacak Kömürün Yüzdesi (%)**	**Topuğun Genişliği (m)**
0-60	50'den aşağı değil	> 8
60-150	50-60	> 11
150-300	60-70	> 17
300-600	70-85	> 24

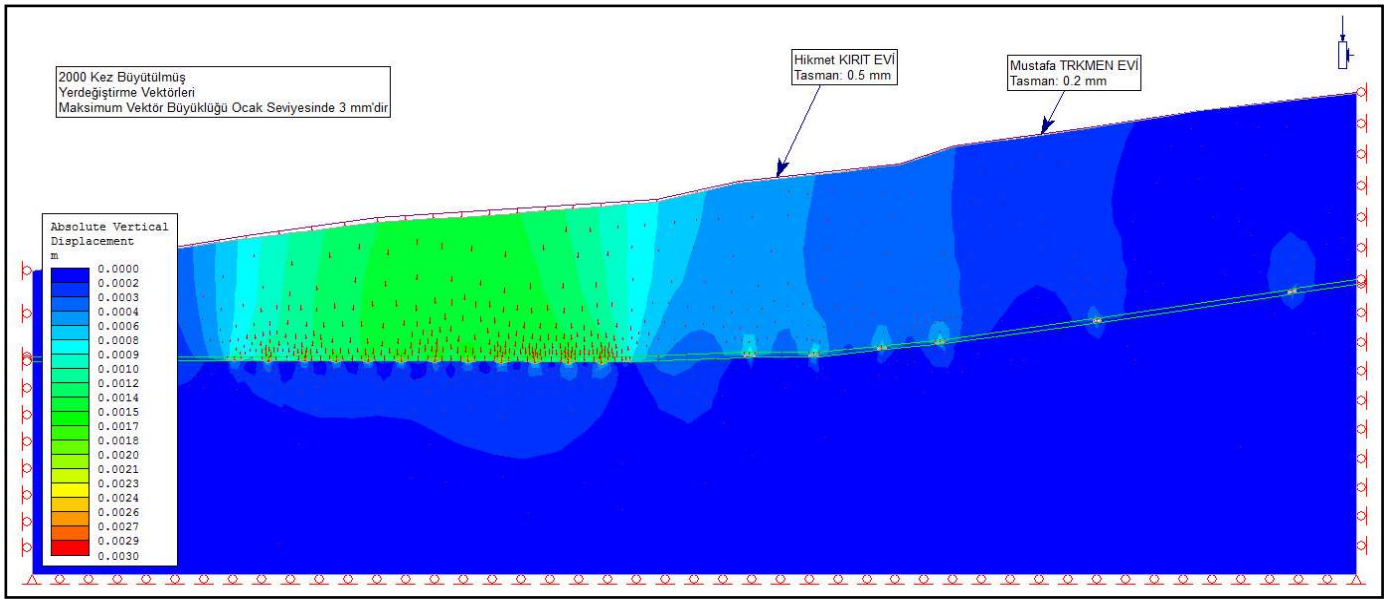
İşletmedeki üretimlerin tasman potansiyelinin belirlenmesine yönelik olarak "Bütünleşik Tasman Kestirim Tekniği-ISPTec" yöntemi ile Tire Linyit İşletmesi sahasındaki oda-topuk oluşumları incelenmiştir. Çalışmada ilkin üretim panosu doğrultusuna dik, damar eğim yönünde ve daha sonra damar doğrultusunda iki kesit, imalat haritası ve jeolojik harita üzerinden alınmış ve sonlu elemanlar yapısı oluşturulmuştur (Rocscience, 2012). Bu uygulamada damar doğrultusunda sonlu elemanlar yapısı Şekil 7'de, mutlak düşey yerdeğiştirme vektörel analizi Şekil 8'de, benzer analizlerin damar eğim yönündeki sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

Çalışmalarda; kömür tabakası için, tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci}=25, jeolojik dayanım indeksi GSI=40, Hoek-Brown dayanım parametresi m_i=14 ve kömür damarını çevreleyen kaya kütlesi (arjilli gre) için ise σ_{ci}=75 MPa, GSI=70, m_i=14 ve birim hacim ağırlığı 0.025 MN/m^3 olarak alınmış ve kesit tomografisi için uygulanmıştır.

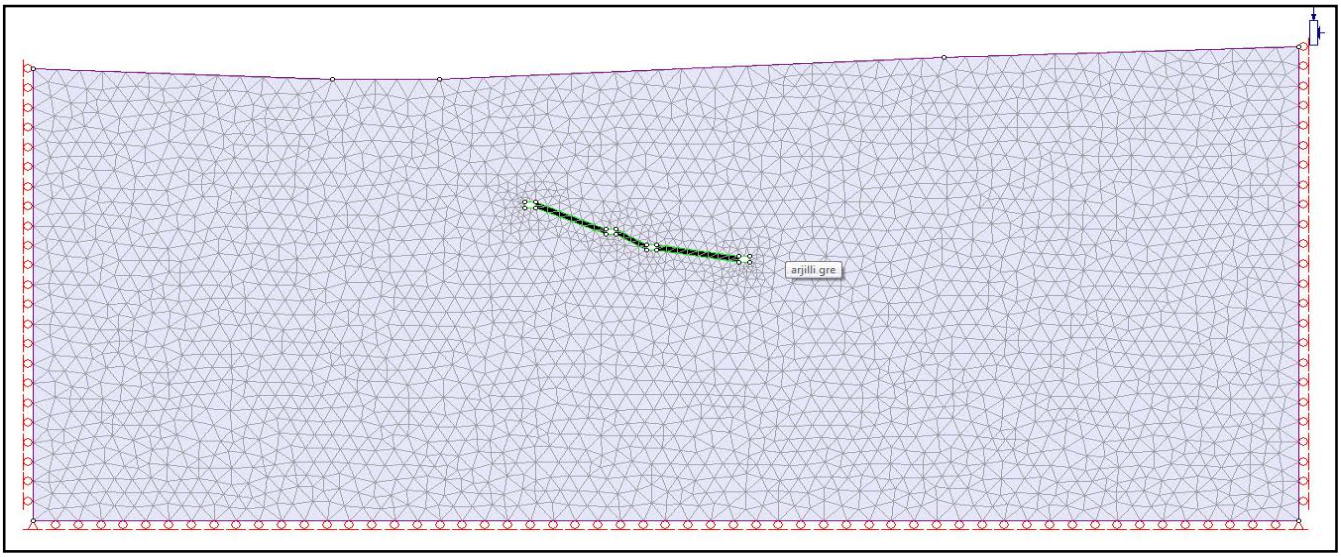
Damar doğrultusu boyunca elde edilen sonuçlara göre; pano açıklığı üzerinde yeryüzünde 1,7mm, üretim topukları çevresinde 3,0mm mutlak düşey yer değiştirmeler belirlenmiştir. Damar eğim doğrultusunda yüzeyde 0,5mm, üretim topukları çevresinde 0,8mm mutlak düşey yer değiştirmeler belirlenmiştir.



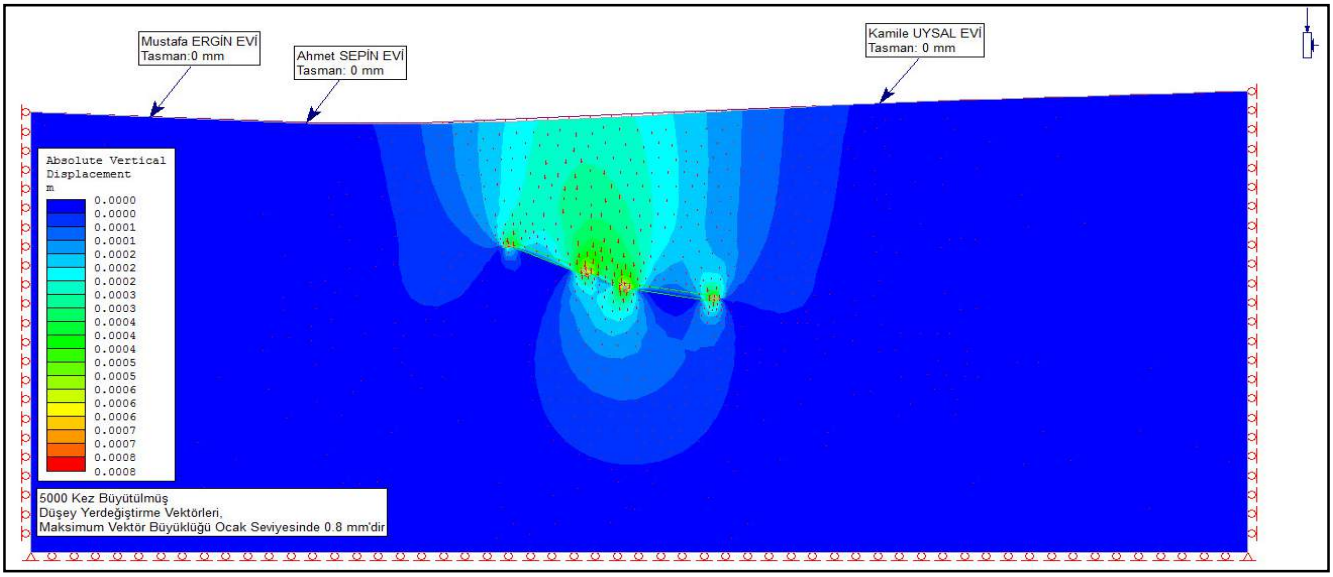
Şekil 7. Damar doğrultusu yönünde sonlu elemanlar yapısı, kazı açıklıkları ve topuklar.



Şekil 8. Damar doğrultusu boyunca mutlak düşey yer değiştirmeler.



Şekil 9. Damar eğimi yönünde sonlu elemanlar yapısı, kazı açıklıkları ve topuklar.



Şekil 10. Damar eğimi yönünde Mutlak Düşey Yerdeğiştirme Vektörleri

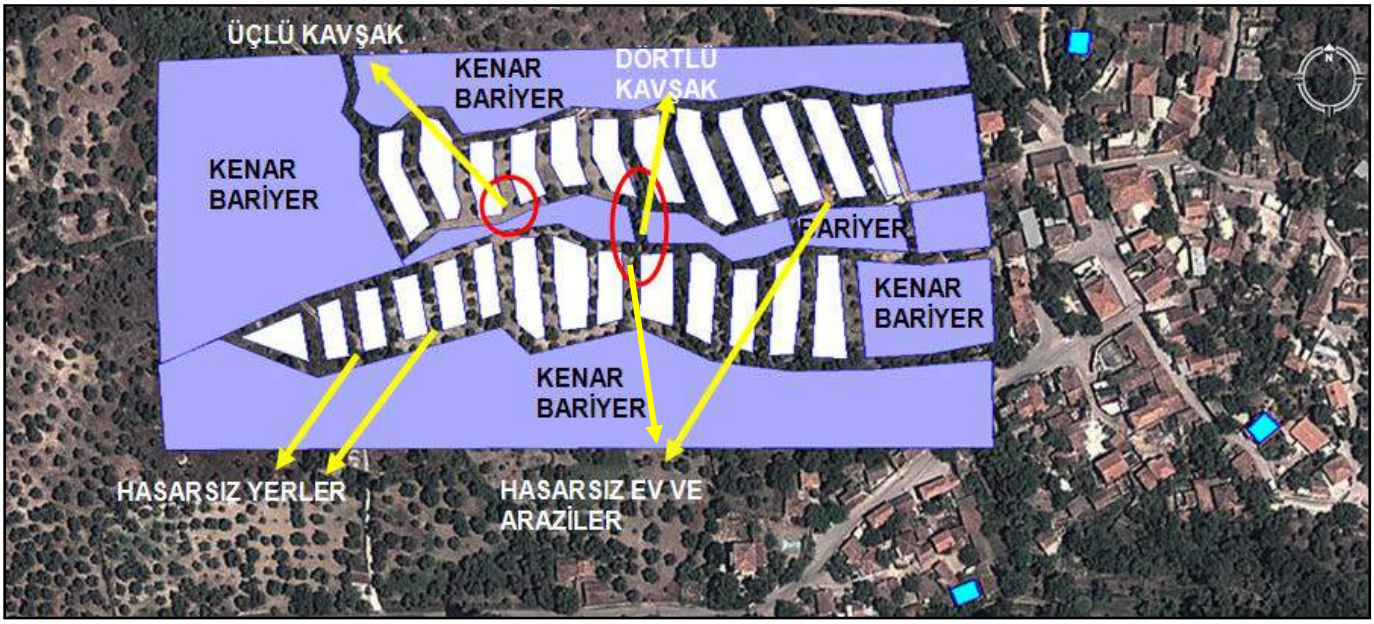
5 SONUÇLAR

Tire Linyit Sanayi ve Ticaret A.Ş'nin İR-1730 İşletme Ruhsat no'lu saha içerisinde kalan ve 1997 ile 1999 yılları arasında oda-topuk yöntemi (dikdörtgen topuklar ve uzun odalar) ile %49 kazı oranı gibi düşük bir değer ile üretimi yapılmış sahada iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki üretim panosunda bırakılan topukların dayanımı ve tasman etkisi yaratıp yaratmayacağına ilişkin eş yüklü alanlar yaklaşımı (tributary area concept) analizleridir. İkinci olarak "Bütünleşik Tasman Kestirim Tekniği-ISPTec" yöntemi ile açıklık çevresinde ve üstündeki mutlak düşey yer değiştirmeler analiz edilmiştir. Bu analizlerden çıkan sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Bırakılan topuklarda "Kömür Kütlesinin Basınç Dayanımı" ele alınan tüm yaklaşımlarda önerilen sınır değerlere uyumlu çıkması, üretim panosunun üstünde, topuk duraylılığına ilişkin bir problem oluşmayacağı ve yüzeyde tasman oluşturmayacak kadar güvenli (emniyetli) olduğunu göstermiştir.
- Bu bölge için gerek üretim alanı ve gerekse üretim alanı üzerindeki katman için oluşturulan sayısal modellerden elde edilen sonuçlar için pano açıklığı üzerinde tasman görülmemiştir.
- Oda topuk madenciliğinde karşılaşılan tasman; genel karakteristiği olarak, söz

konusu maden ocağının hemen üzerinde tasman bacaları şeklinde kendini özellikle üçlü kavşaklar veya dörtlü kavşakların yeryüzündeki iz düşümünde gösterir. Bu bölgede üretim panosu üzerindeki evlerde ve tarım arazisinde üretimin tamamlanmasından sonraki 12 yıl içerisinde bu yönde herhangi bir oluşum belirlenememiştir. Bu durum aşağıda Şekil 11'de açık olarak gösterilmiştir.

- Her ne kadar oda topuk panolarının üzerinde henüz herhangi bir tasman görülmemiş olmakla birlikte, 40-50 yıl içerisinde galeri ve kavşaklardaki tahkimatın etkinliğini yitirmesi olasılığı ve tavandan başlayan tavan düşmelerinin, yıllar içerisinde yeryüzüne ulaşabileceği düşünülmelidir. Bu bağlamda, odaların ve özellikle kavşakların duraylılığın kontrol altında tutulması ileride oluşabilecek tasman riskinin azaltılması açısından önemlidir.



Şekil 11. 1997-1999 yılları arasında üretilmiş sahadaki hasarsız ev ve araziler.

KAYNAKLAR

Akçın H., Ünlü T., Yılmaz Ö., 2012. Kömür üretim bölgelerinde zamansal tasman kestirimine ilişkin yeni bir yaklaşım modeli, *Türkiye 18. Kömür Kongresi*, Zonguldak.

Amundson A.l., Greenman, C. and Stover, B.K., 2009. Subsidence Above inactive Coal Mines, Special Publication 26, Colorado Division of Reclamation, Mining & Safety.

Bieniawski, Z. T., 1968a. The effect of specimen size on the compressive strength of coal. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 5, pp. 325-335.

Bieniawski, Z. T., 1968b. In-situ strength and deformation characteristics of coal. Engineering Geology, September, pp. 55-67.

Bieniawski, Z. T., 1982. Improved design of room and pillar coal mines for US conditions. Proceedings 1st Conference on Ground Control in Mining, SME-AIME, pp. 19-51.

Farmer, I., (1985) Coal Mine Structures. Chapman and Hall, London, 310 p.

Huising, S.U. and Peng S.S, 1985. Chain pillar for U.S. longwall tunnels, Mining Sci. and Techn. 2(3), pp 279-305.

Lekili M, 1984. Avustralya'da oda–topuk sisteminin incelenmesi, *Maden Mühendisleri odası*, URL/ http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/485ae387a981d78_ek.pdf.

Marc C and Champoli A.A., 1995. Analyses of Retreat Mining Pillar Stability. *Proc. of 1st Int. Conf. On Ground Control in Mining.* Morgantown, pp. 63-71.

Rocscience (2012) Phase2, Version 8.0, http://www.rocscience.com/products/phase2.asp

Salamon M.D.G. and Munro A.H., 1967. A study of the strength of coal pillars, *C. S. Afr. Inst. Metall*; Vol. 68 Sept., pp 55-67.

Salamon, M.D.G. and Oravecz, K.L., 1976. Rock mechanics in coal mining. Chamber of Mines of South Africa, PRD series, No. 198, pp. 59-65.

Sankar U.S., 2011. http://www.slideshare.net/sankarsulimella/pillar-design-in-coal-mines

Sheorey P.R., 1992. Pillar strength considering Instü stresses, *USBM Information Circular*, IC 9315, pp 122-127.

Ünlü T., 1994 *Stability and reinforcement of pillar workings with particular reference to deep coal Mining*, PhD. Thesis, University of Nottingham, 301 p.

Ünlü T., Akçın H., Yılmaz Ö., 2013. An integrated approach for the prediction of subsidence for coal mining basins, *Eng. Geo.*, 166, pp. 186-203.

Wagner, H. 1980. Pillar design in coal mines. J. of South Afr. Inst. of Min. Metall., January, pp. 37-45.

Tunçbilek Linyit Sahasında Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Açık Ocak Tasarımı

Computer-Aided 3D Open Pit Mine Designs on Tunçbilek Lignite Field

M. Yurdakul
Jeoloji Yüksek Mühendisi, NETCAD Yazılım A.Ş., Cyberpark B-Blok No:409 06800 Bilkent, Ankara

ÖZET Çalışmada, açık ocak işletmelerinde minimum maliyet ve maksimum kar elde etmek için bilgisayar destekli olarak yapılan tasarımlar ile çok daha güvenilir ve etkin sonuçlara daha hızlı bir şekilde ulaşılabileceği anlatılmaktadır. Madenleri çağdaş madencilik bilim ve teknolojisine uygun bir şekilde üretmek gerekir. Bu ise gerçekçi bir üretim modellemesi ve tasarımı gerçekleştiren yazılımlarla mümkündür. Bu çalışmada değerlendirilecek kısım, Bilgisayar destekli olarak 3 boyutlu açık ocak tasarımlarının yapılması, hızlı bir şekilde yetkin tasarımların sahaya adapte edilmesi, farklı ocak tasarımları arasında sonuçların değerlendirilmesidir.

Yazılım ile üretilen ocak ve pasa harman tasarımlarının gerek kullanıcı tanımlı, gerek otomatik olarak oluşması sağlanmaktadır. Böylece pek çok ocak alternatifini hızlı bir şekilde değerlendirmek mümkün olmaktadır. Düzgün bir tasarım ve planlama ile yapılmayan üretim sonucu kaynaklar kullanılamaz hale gelmektedir

Türkiye'de madencilik endüstrisinin büyümesine paralel olarak kaynakların daha bilimsel ve rasyonel bir şekilde kullanılmasına duyulan gereksinim artmaktadır. Ülke madenlerimizin etkin ve verimli kullanılması açısından bu tekniklerin kullanılması bir zorunluluktur.

Anahtar Kelimeler: Ocak tasarımı, açık işletme, kömür, Tunçbilek, 3 boyutlu modelleme

ABSTRACT In this study, it has been aimed to explain how to achieve minimum cost and maximum profit by using much more reliable and effective computer-aided designs on open pit mining. Mines should be produced in accordance with the modern mining science and technology. It is possible by using software which produces realistic production model and design. In this study, creation of the computer-aided 3 dimensional open pit designs, adapting them into real field and evaluating the results by using different designs will be analyzed.

Pit and blend design are being generated manually or automatically by using the software. Thus, it is possible to evaluate alternative pit designs in a short time. Productions without proper design and planning are emerging useless sources.

In Turkey, the need of scientific and rational use of the sources is increasing in parallel with the growth of mining industry. These techniques are necessity to use the national mining resources effectively and efficiently.

Keywords: Mine design, open pit, coal, Tunçbilek, 3D modelling

1 GİRİŞ

Ülkemizde maden kaynaklarının çağdaş madencilik, bilim ve teknolojisine uygun olarak üretilmesi önem kazanmıştır. Madencilik endüstrisinin büyümesine paralel olarak kaynakların daha bilimsel ve rasyonel bir şekilde kullanılmasına duyulan gereksinim artmaktadır. Madenlerimiz

verimli bir şekilde üretildiklerinde ekonomiye çok ciddi katkı yapma potansiyeline sahiptir.

Özel sektör firmaları ve kamu kurumları tarafından bilgisayar destekli cevher yatağı modellemesi ve maden tasarımları da daha yaygın bir şekilde yapılmaya başlamıştır.

Maden sahalarının üretime yönelik bilgisayar destekli olarak otomasyonunu; modellemeler ve tasarımlar olarak iki açıdan değerlendirebiliriz. Modelleme başlığı daha çok cevherin, fayın, damar yapılarının, ara kesmelerin veya jeolojinin modellenmesi olarak ele alınabilir. Tasarımlar başlığı altında ise galeri tasarımları, açık ocak tasarımları gibi işletmeyi optimum şekilde planlamayı hedefleyen tasarım süreçleri oluşturmaktadır.

Modelleme işlemlerinin sağlıklı olması ilerleyen süreçlerin doğruluğunu ve yapılan çalışmaların geleceğini doğrudan etkilemektedir.

Maden üretiminin yönetilmesinde, özellikle karar destek süreçlerinde bilgisayar destekli tasarımlar daha güvenilir ve hızlı sonuçlar verirler.

Açık ocak faaliyetlerinin bir parçası olan rampalar, yol tasarımları ile yer altı madenciliği ile ilgili galeri tasarımları ve bu konudaki havalandırma hesabı gibi parametrelerin elde edilmesinin de bilgisayar destekli tasarımlarında önemi oldukça fazladır.

Bu çalışmada, Tunçbilek linyit sahası içerisindeki açık ocak çalışmaları esnasında oluşan yeni topografya, basamak ve şevler üzerinde yapılan tasarımların bilgisayar destekli olarak 3 boyutlu oluşturulması değerlendirilmektedir. Bu çalışmada açık ocak tasarımları NETPRO/Mine madencilik otomasyon ve tasarım yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

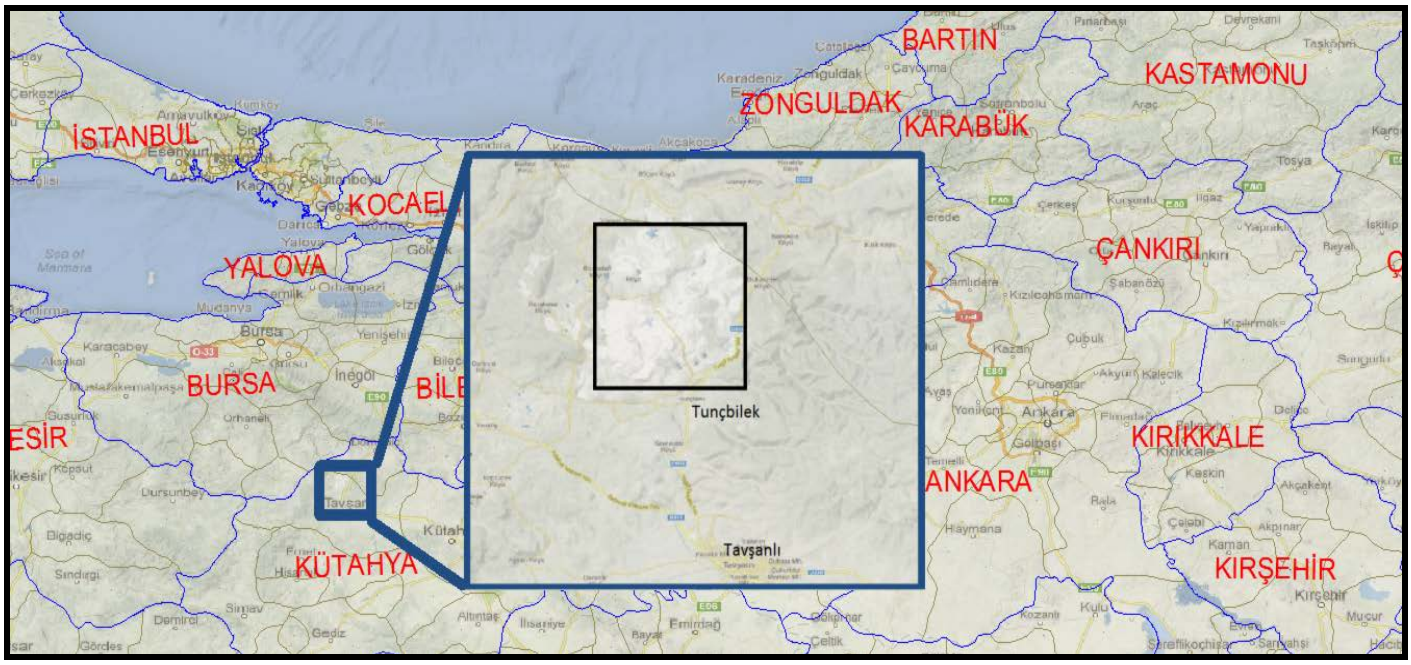
2 SAHANIN MODELLENMESİ

Açık ocak projelerinde modelleme sonrasında tesisin tenör ve miktar beklentileri üzerine ocak tasarımı yapılması üretimin sürekliliği ve karlılığını arttırır. Bu tasarımlar kısa dönem planlar veya uzun dönemli planlar için de yapılmalıdır. Böylelikle üretim süreçleri de önceden belirlenebilir.

NETPRO/Mine ile açık ocak tasarımları yaparken verimliği artırmak, zaman tasarrufu sağlamak, daha hızlı ve doğru bir şekilde maden üretim verilerini yönetmek hedeflenmektedir. Kullanıcılar bu amaca yönelik kullanabilecekleri özel yazılım araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Madencilik ile ilgili modelleme ve tasarım işlemlerini bütünleşik yapıda gerçekleştirmeyi sağlayan ileri düzeyde profesyonel ve aynı zamanda kullanıcı dostu yazılımsal araçlara ihtiyaç vardır.

Modelleme işlerinde ağırlıklı olarak cevher yatağının modellenmesi dolaylı olarak cevheri modellemeyi hedeflemektedir. Cevher modelleme ağırlıklı olarak sondaj verileri üzerinden sağlamaktadır. Buna ek olarak yüzeyden alınan mostra örnekleri ve okumaları, tabaka eğim ve doğrultuları, faylar, yeraltı galeri çalışmalar, jeofiziksel çalışmalar ve araştırma çukurları da modelleme sürecine bilgi sağlayarak doğru modellemenin yapılmasına olanak sağlarlar. Doğru bir modellemenin gerçekleştirilmesi bilgilerin birbirini destekleyecek şekilde kullanılarak güzel bir kompozisyonda sunulması ile mümkün olabilir.

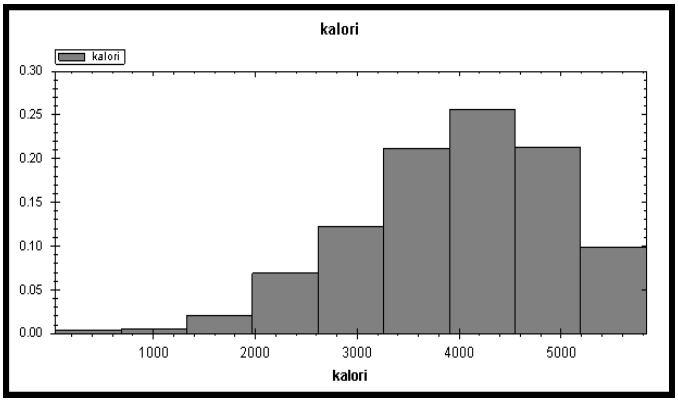
Çalışmada konu olan saha Kütahya ilinin Domaniç ilçe sınırlarında, Tunçbilek ’in kuzeyinde bulunmaktadır. Şekil 1’ de linyit üretiminin devam ettiği inceleme alanının yer bulduru haritası verilmektedir.



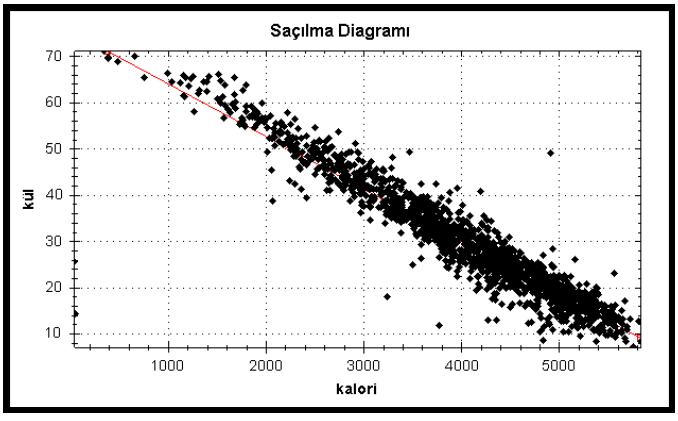
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bölgenin jeolojisinden çok kısa bahsetmek gerekirse, Domaniç, Tavşanlı, Kütahya ve Gediz volkanik ve sedimanter Tersiyer çökelleri geniş bir yayılım ile yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak gelmektedir. Bölgenin güneyinde Tavşanlı – Tunçbilek arası Eosen yaşlı kireçtaşları, bölgenin genelinde geç miyosen volkaniklerine rastlanmaktadır.

Bölgeye ait veriler kullanılarak NETPRO/Mine programında veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanlar üzerinde modelleme süreçlerini en fazla etkileyen süreç kompozitleme işlemdir. Kompozitlemenin doğru bir şekilde sahayı temsil eder şekilde yapılması ilk başta saha üzerinde bir öngörü oluşmasına olanak sağlamaktadır. Kompozitleme işlemi sonrasında saçılma diyagramları ve histogramları oluşmaktadır (Şekil 2-3). Bu grafikler saha için ön değerlendirmenin temelini oluştururlar.



Şekil 2. Linyit kömürü numunelerine ait örnek histogram grafiği



Şekil 3. Linyit kömürü numunelerine ait örnek saçılma diyagramı

NETPRO/Mine programı yardımı ile sahanın dijital yükseklik modeli, sondaj veri tabanı ile birleştirilmiştir. Blok model oluşturulmadan önce sondaj verilerinin

kompozitlenmesi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle linyit kömüründen alınan numune boyları eşitlenmiş ve aynı ağırlıklı ortalamaya getirilerek jeoistatistikte kullanılabilir hale gelmesi sağlanmıştır. Kompozitleme işleminde kompozit aralığı ortalama karot boyundan yüksek alınarak kompozitleme yapılmıştır.

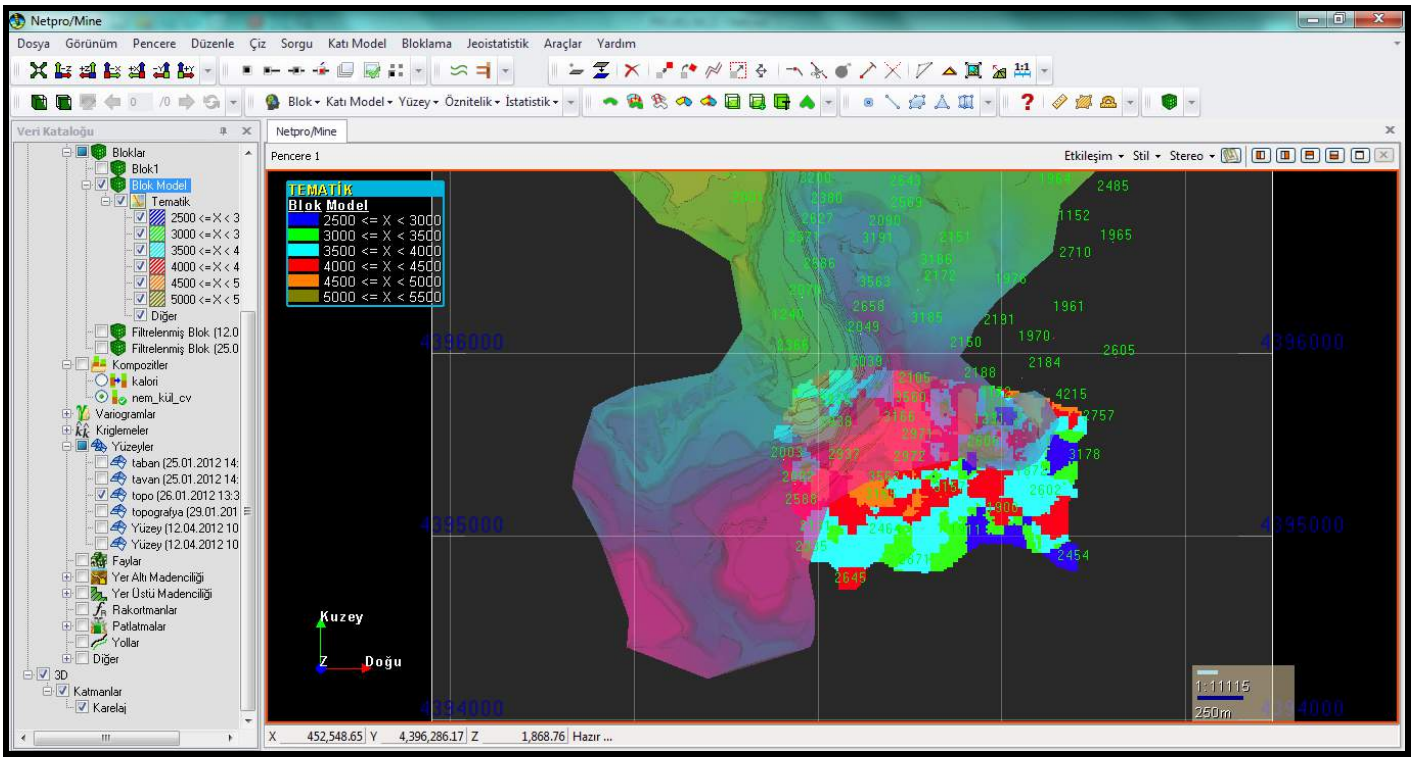
Maden sahasını modellemek için öncelikle katı model oluşturulmuş ve yatak bloklara ayrılmıştır. Bloklama ayrıma işleminden sonra bloklara cevherin dağılımı en iyi şekilde gösterecek kestirim yöntemi ile değer atılması en önemli kısımdır. Uygun jeoistatistik yöntemi kullanıcının da saha ve jeoistatistik deneyimi ile doğru orantılı olarak sahanın gerçekçi modellenmesini sağlayacaktır.

Saha da gerçekleştirilen blok model oluşturma ve kestirim işlemleri sonrasında sahada modelleme ile ilgili ilk görüntüler oluşmaktadır (Şekil 4).

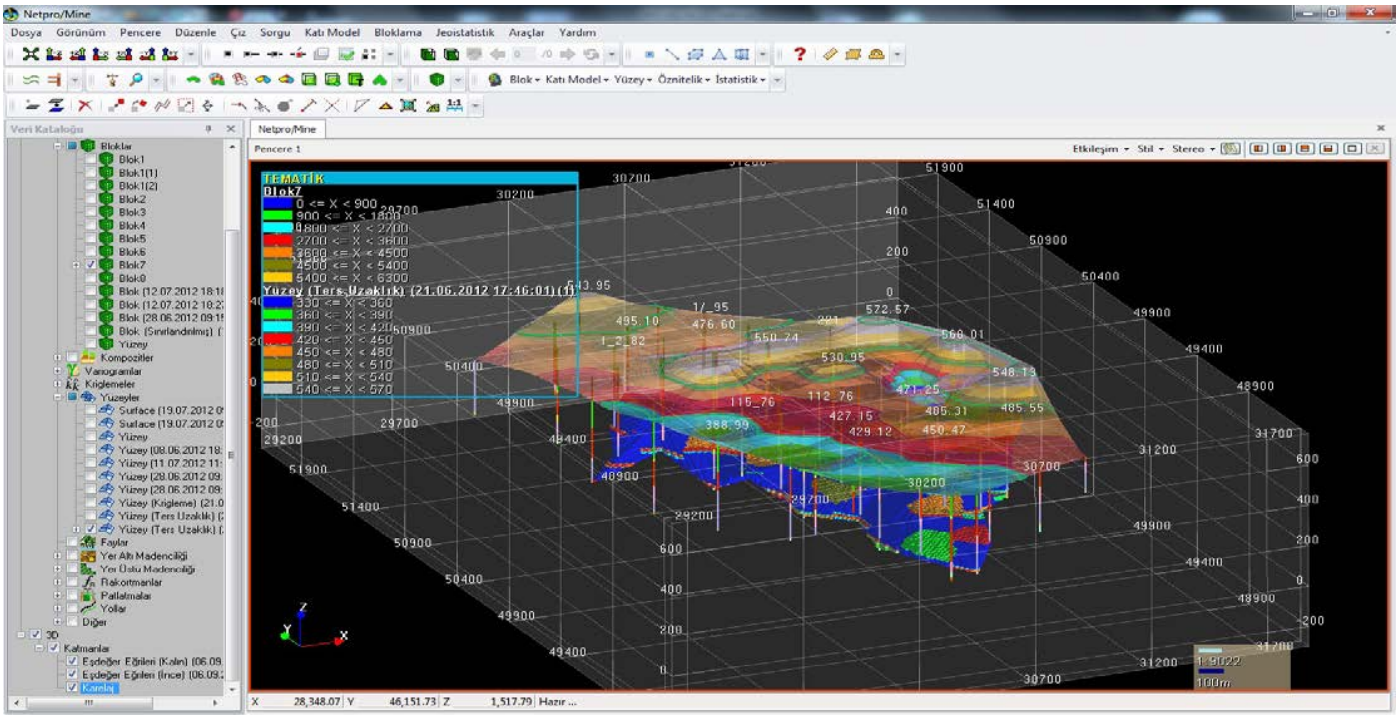
3 AÇIK OCAK TASARIMI

Açık ocak Madenciliğinde ocak tasarımı, ocak içi ve maden içi bağlantı yollarının tasarımı olarak ele alınan süreçte tasarım başlığı önemlidir. Tasarım işleri modellemeden farklı deneyim ve uzmanlık gerektirse de modellemenin sonuç ürünü tasarımın girdi verileri olmaktadır.

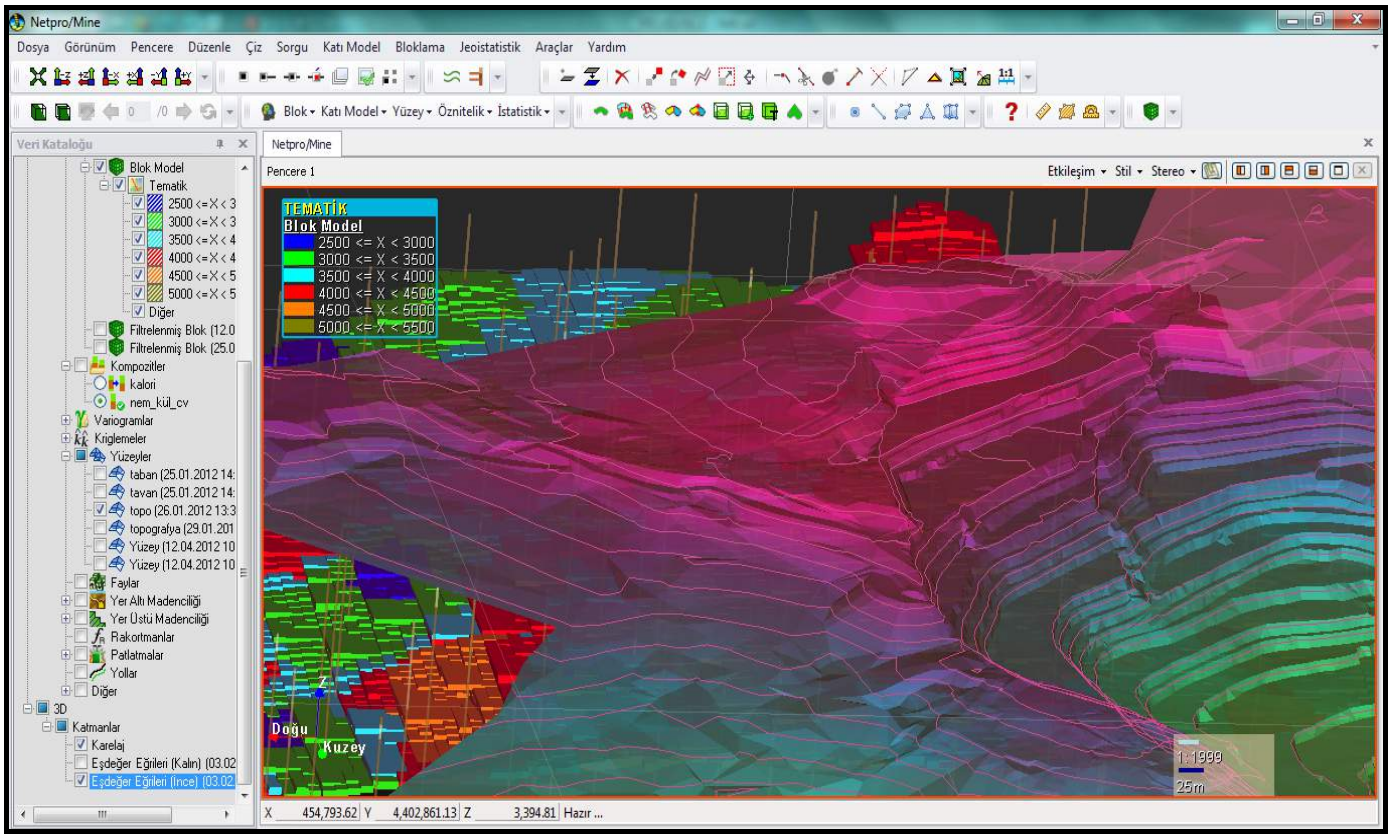
Her bir sahanın kendine has özelliklerine göre tasarım kriterleri belirlenmektedir. Açık ocak maden planları madenin cinsine, konumuna ve çevre kayacın dayanımı gibi birbirinden farklı birbiri ile ilişkili kriterlere göre tasarlanmaktadır. Pek çok kritere göre genel anlamada bir maden ocağı tasarımı ve nihai görünümünü elde etmek hedeflenmektedir (Şekil 5a ve 5b).



Şekil 4. Sahanın blok model ve yükseklik modeli ile birlikte gösterimi



Şekil 5.a. Maden ocağı tasarımı ve nihai görünümü

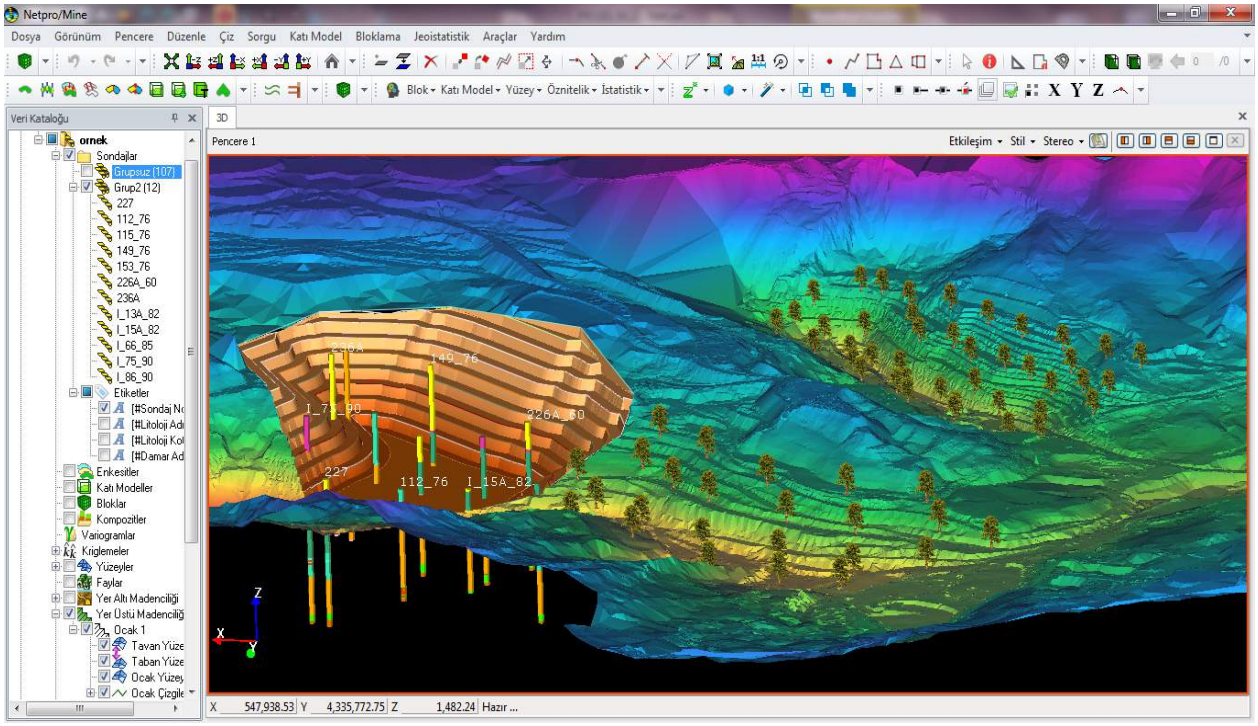


Şekil 5.b. Maden ocağı tasarımı ve nihai görünümü

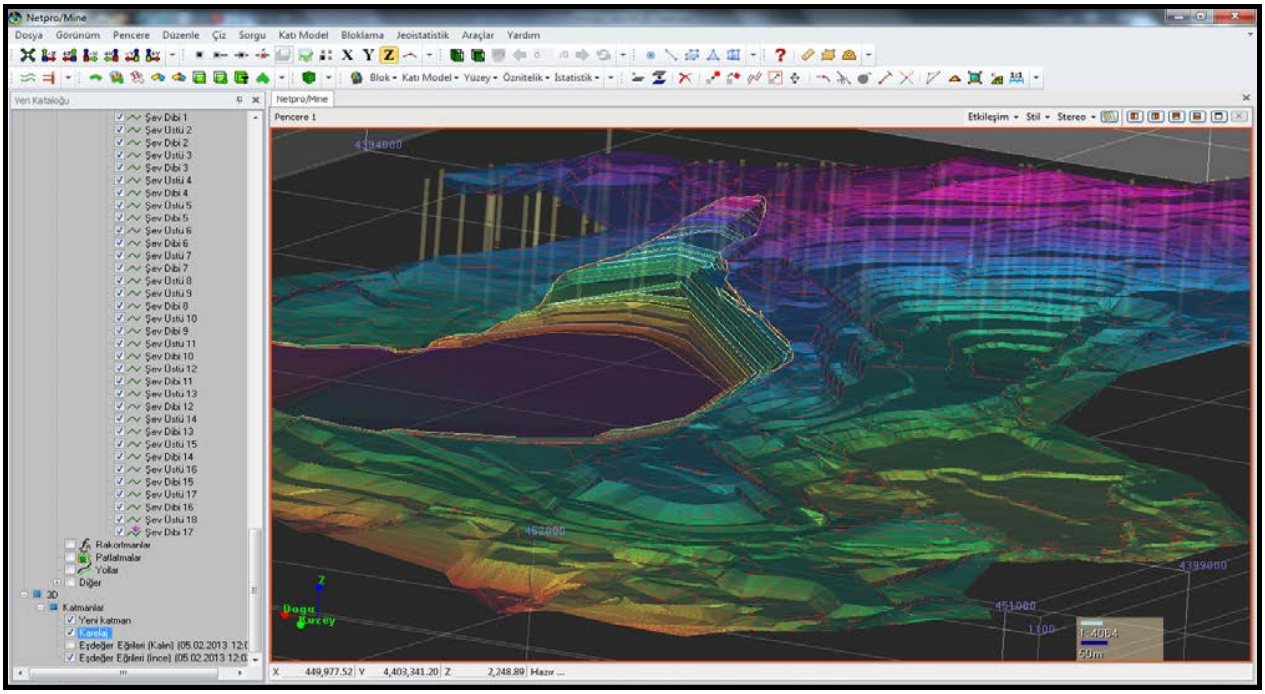
Açık ocaklarda tasarım aşağıdan yukarı doğru veya yukarıdan aşağıya yapılabilmektedir. Tasarımın yönüne karar veren ocak için sınırlayıcı alanların olmasıdır. Eğer ocak tasarımında çevresel faktörler, izin alanları ve buna benzer yüzeysel alan kısıtlamaları olduğunda tasarımda cevhere göre ocak tasarımı yapmak mümkün olmamaktadır. Bu durumlarda topografya üzerinde kısıtlamalar sonrasında oluşan sınırlarda tasarım yapılır. Sınıra göre topografya üzerinden aşağı

yönde ocak tasarlanmaktadır. Bu şekilde tasarlanmış ocaklarda elde edilen ocak taban sınır çizgisi cevher tabanına göre de güncellenerek ocak aşağıdan yukarı tekrar tasarlanabilir. Ocak tasarımında kullanılacak genel şev açısının belirlenmesi, basamak açıları ve basamak yükseklikleri ile ocak sınır alanlarına göre tasarım gerçekleşmiştir. (Şekil 6)

Hesaplama kriterlerinin belirlenmesinde genel şev açısı veya basamak genişlikleri sabit alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Uygun olduğu tespit edilen sınıra göre elde edilen açık ocak içinin hacmini hesaplamak için, hesaplama yapılacak kotlar arasını raporlayarak sonuç hacimleri vermektedir. Aynı zamanda görsel olarak da oluşan açık ocak mevcut topografya ile birleşerek nihai son durumu oluşturabiliriz (Şekil 7).



Şekil 6. Ocak tasarım kriterlerine göre ocak sınırlarının belirlenmesi



Şekil 7. Nihai ocak tasarımı

4 SONUÇLAR

Tunçbilek Linyit sahasında Bilgisayar destekli yapılan açık ocak tasarımları kâğıt ortamına göre %75 daha hızlı yapılmıştır. Hesaplanan rezerv ve pasa hesaplamalarında enkesitler yöntemi yerine tetrahedronlar kullanılmıştır. Bu yöntemle gerçek hacim hesabı arası %87 tutarlılık vermektedir.

Şev tasarımı için yapılan hesaplamalarda en fazla 70 derece şev açı, 7m ile 10m arası değişen palye genişlikleri tasarımda kullanılmıştır. Genel şev açısının 40 dereceyi geçmemesine dikkat edilmiştir.

Yazılım yardımı ile açık ocak tasarımında elle yapılan tasarımların çok ötesinde kontrol imkânları yakalanmaktadır. Yol tasarımları ve açık ocak şev tasarımı uygunluğu farklı bakış açıları ile 3 boyutlu olarak elde edilmektedir.

NETPRO/Mine ile elle yapılan yazılımlara göre kısa sürede pek çok farklı ocak tasarım alternatifi oluşturulmuştur. Bu alternatifler arasında en optimum maliyetli tasarımlar oluşturulmuştur.

Böylece farklı ocak alternatiflerini de planlama ve içlerinde en uygununu seçme açısından da kolaylık sağlamaktadır. 3boyutlu olarak ocakları değerlendirmek ve proje çıktıları almak; tasarım hatalarını minimize etmekte, koordinat ile ilgili hata yapılmasını engellemekte ve kullanım açısından hız ve performans sağlamaktadır.

Kullanıcıların yoğun ve doğru veri girmesi çalışmaların güvenilirliğini arttırmakta ve kullanıcılarına değerlendirme aşamalarında karar destek imkânı sunmaktadır

Madencilik yazılımları ile açık ocak tasarımları yaparken verimliği artırmak, zaman tasarrufu sağlamak, daha hızlı ve doğru bir şekilde maden üretim verilerini yönetmek hedeflenmektedir.

Cevher modellemesi ile elde edilen linyit sahası farklı alternatif ocak tasarımları ile irdelenmiştir. NETPRO/Mine sunduğu profesyonel ve aynı zamanda kullanıcı dostu araçlara bu süreçte tasarımcıya yardımcı olmaktadır.

KAYNAKLAR

A.E. Tercan, E. Akcan (2005), "Linyit Kalitesi-Rezerv Egrilerindeki Belirsizligin Jeoistatistiksel Benzetimle Degerlendirilmesi: Ornek Bir Calisma ", Madencilik, 44, 2, 3-16

A.E. Tercan, M.A. Hindistan, B. Ünver (2012), " Resource Estimation of a Coal Deposit Using NETPRO/Mine ", 21st International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES 2012), Kasım, Yeni Delhi, Hindistan, 861-870

Caccetta, L. and Giannini, L.M. (1986), Optimization Techniques for the Open Pit Limit Problem, Proc. Australas. Inst. Min. Metall. 291, 57-63.

M.A. Hindistan, A.E. Tercan, B. Ünver, (2010), "Geostatistical Coal Quality Control in Longwall Mining", International Journal of Coal Geology, 81, 3, 139-150

Pekmezciler, S,, 1955, Seyitömer linyit havzası1955 aramalarına aît rapor, 3, Cilt, MTA Deri,No, 2282

S. S. Mohammadi, A.E. Tercan, (2012)," Constrained Multiple Indicator Kriging Using Sequential Quadratic Programming ", Computers & Geosciences, 48, 211-219

Şengüler, i,, İPEKSEVER, M, ve SÜMER, A., 1982 SeyîtÖmer (Kütahya) bitümlü marn sahasının jeolojisi ve ekonomik olanakları, MTA Deri, No.7324 (yayınlanmamış,)

Autoscheduler, Runge Mining Pty Ltd. (Australia). Web:http://www.rpmglobal.com/xpac

LEMON A M. JONES N L. Building solid models from boreholes and user-defined cross-sections[J]. Computers & Geosciences, 2003, 29(3): 547–555.

Yersel Lazer Tarama: Taş Ocakları Uygulamaları

Terrestrial Laser Scanning (TLS-LiDAR): Applications for quarry

A.H. Deliormanlı, M.V. Özdoğan, H. Yenice, D. Karakuş, E. Yalçın
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Yersel Lazer Tarama (TLS-LiDAR) teknikleri endüstrideki bir çok uygulama için hızlı ve doğru arazi modelleri oluşturmak için kanıtlanmış bir yaklaşımdır. Yersel lazer tarama teknolojisi GPS ve GNNS sisteminin lazer teknolojisyle birlikte kullanılmasıyla 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulması temeline dayanır. TLS-LiDAR teknolojisinin madencilikte bir çok önemli avantajları vardır. Geleneksel arazi ölçüm tekniklerine nazaran TLS-LiDAR teknolojileri ile daha yüksek kalitede ve çok daha hızlı veri elde edilmesi mümkündür. Bu teknojiler kilometre alan başına milyonlarca nokta bulutu verisi oluşturulabilir. Bu yoğunluktaki nokta bulutu verisi ile hacim, yüzey, yapısal jeoloji, yol dizaynları, şev analizleri, yüzey modellemeleri fizibilite ve çevre etkilerinin araştırlması çalışmalarınadaki yüzey modellemeleri için doğru bir veri seti yaratılır.

Bu çalışmanın temel amacı kaya kütlesindeki süreksizliklerin yönelimlerinin belirlenmesi ve patlatma sonrası yığın hacminin hesaplanması gibi TLS-LiDAR sistemin taş ocaklarınadaki uygulamalarını ortaya koymaktır. Elde edilen sonuçlar çalışma içinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer, süreksizlik yönelimleri, delme-patlatma

ABSTRACT Light Detection and Ranging (LiDAR) is a proven approach to creating fast and accurate terrain models for applications in many types of industries. The technology is based on a scanning laser combined with both GPS and inertial technology to create a three dimensional set of points (point cloud). LiDAR has many distinct advantages when acquiring an existing or potential mine property. It creates a highly accurate data set cost effectively and combining acquisition and processing, a faster timeframe than traditional approaches. Traditional survey methods can be slow and result in lower sampling. With LiDAR surveys, we can acquire millions of points within each square kilometer. This density creates a robust data set for volume calculations, geomorphology and structural geology, design of transmission line or road corridors, slope analysis and run off surface modelling for feasibility studies and environmental impact studies.

The main objective of this research is TLS-LiDAR for quarry applications which are to estimate the orientations of discontinuities and rock blasting volume calculations in the quarry. Results of the study are presented in this paper.

Keywords: TLS-LiDAR, orientations of discontinuities, drilling and blasting

1 GİRİŞ

Bilim ve teknolojideki gelişmeler, ölçme tekniklerindeki gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. Ölçme alanında geliştirilen en son tekniklerden birisi de lazer tarama tekniğidir. 2000'li yıllardan günümüze yersel lazer tarama teknolojisi bir ölçüm aracı olarak araştırma ve uygulama alanı haline gelmiştir.

Geleneksel olarak kullanılan jeodezik ölçüm metotları(GPS-GNSS vb.) objelerin

kısa sürede geometrik (3B) ve görsel bilgilerine ulaşmak için hem uygun değil hemde yeterli değildir. Bu sistemler tek tek noktasal ölçüme dayanmaktadır. Bu nedenle oldukça yavaş sistemlerdir. Günümüz ölçüm sistemlerinde kullanılan reflektörsüz total stationlar ve diğer gelişen teknolojilerde de nokta bazlı tarama fonksiyonları mevcuttur. Ancak nokta verilerinin sayısı ve elde edilme süresi efektif olmadığı için 3B ve görsel bilgilerin elde edilmesinde yersel lazer tarama teknolojisi ön plana çıkmıştır. Hızlı ve güvenilir bütünsel obje ve yüzeyler hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile mümkün olabilmektedir.

Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen nokta kümeleri farklı amaçlar ile kullanılabilir. Bu veriler sayesinde çok kısa sürede çalışılması zor olan objelerin 3 boyutlu koordinatlı verileri elde edilmektedir. Bu özellikleri ile yersel lazer tarama tekniği;

- 3Boyutlu Görselleştirme
- Sanal Gerçeklik
- Arkeoloji
- Mimari Çalışmalar,
- Cephe Rölöveleri
- Arşivcilik: Tarihi ve Resmi Çalışmalar
- Şehir Modellemeleri
- Sanal Fabrikalar
- Orman Yönetimi
- Olay Yeri İnceleme
- Altyapı
- Tıbbi görüntüleme/ Uygulama
- Madencilik
- Sinema Endüstrisi
- Şantiye Gözlemleri
- Enerji Hatları
- Koruma
- Otomasyon ve Robotik
- Kesit, Hacim ve Alan Hesaplamaları
- Kalite Kontrolü
- Prototip Üretimi
- Taş Yüzü Analizi
- Topografya
- Tünel Ölçümleri (KIVILCIM C.Ö.)

gibi alanlarda hızla uygulama alanı bulmuştur.

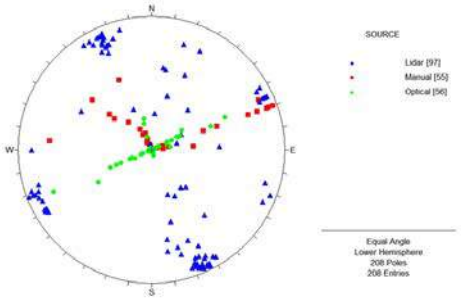
Bu çalışmada yersel lazer tarama tekniği(TLS-LiDAR) kullanılarak taş ocaklarındaki süreksizliklerin belirlenmesine ve patlatma sonrası yığın hacminin hesaplanmasına yönelik uygulamalar yapılmıştır.

2 TAŞ OCAKLARINDAKİ TLS-LİDAR UYGULAMALARI

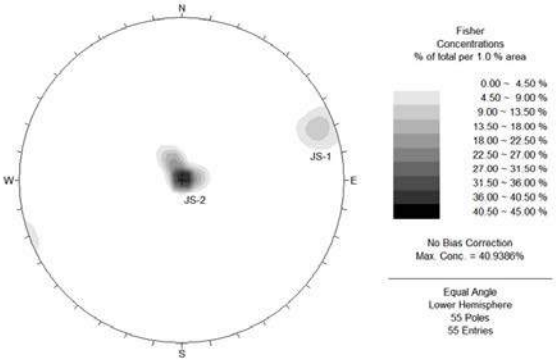
Taş ocaklarında uygulanan yersel lazer tarama uygulamalarında Leice Scan Station II modeli tarayıcı kullanılmıştır. Kullanılan tarayıcı mm hasssiyetinde 600m çap tarama mesafesine sahiptir. Tarama açıklığı 360 derece yatay ve 270 derece dikeydir. Taramalarda birden fazla istasyon noktası kullanılmıştır. Her istasyonda özel reflektörlü üç hedef hem istasyon bazındaki taramaları birleştirmek hemde nokta bulutu verilerini global koordinat sistemine dönüştürmek için kullanılmıştır. Hedeflerin bulundukları noktaların global koordinatları GNNS (RTK) sistemi ile belirlenmiştir.

2.1 Süreksizliklerin Yönelimlerinin Belirlenmesi

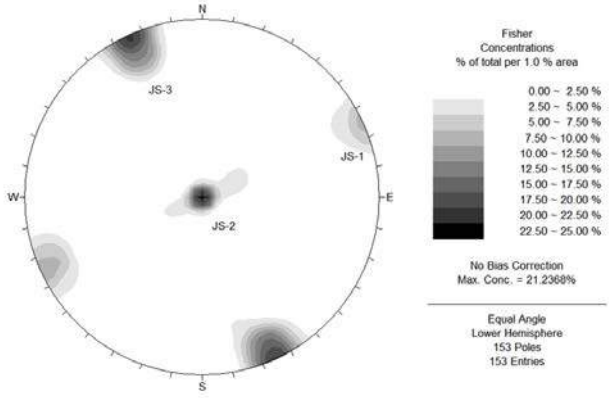
Kaya kütlelerindeki sürekszliklerin yöneliminin belirlenmesinde çalışmalar granit ocağında gerçekleştirilmiştir. Ocak içersinde jeolog pusulası kullanılarak manual olarak ölçülebilen süreksizlik düzlemleri belirlenmiştir. Daha sonra TLS-LiDAR sistemiyle aynı ocak içersinde tarama yapılmış ve elde edilen nokta bulutu verilerden süreksizlik düzlemlerinin (facet) üçlü nokta sistemi kullanılarak doğrultu ve eğimleri hesaplanmıştır (Deliormanlı A.H., 2014). Süreksizlik izlerinin(trace) yönelimleri ise nokta bulutu verisi temel alınarak optik yöntemlerle belirlenmiştir. Bu üç sisteme elde edilen süreksizlik yönelimlerinin stereonet üzerindeki konumları Şekil 1'de verilmiştir. Stereonetten elde edilen sonuçların analizinden manual ölçüme ait süreksizlik takımları Şekil 2'de verilmiştir. TLS-LiDAR ve optik analiz temelli süreksizlik analizlerinden elde edilen sonuçlarda Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Üç ölçüm yöntemiyle elde edilen süreksizlik düzlemlerinin stereonette gösterimi(kırmızı renk manual ölçüm, mavi renk TLS-LiDAR, yeşil renk optik ve TLS-LiDAR)



Şekil 2. Manual ölçümlerden elde edilen süreksizlik düzlemlerinin oluşturduğu süreksizlik takımları.



Şekil 3. TLS-LiDAR ve optik-TLS-LiDAR verilerinden elde edilen süreksizliklere ait süreksizlik takımları.

Tüm bu sonuçlar değerlendirilğinde manual ölçümlerden elde edilen verilerden ocakta 2 adet süreksizlik takımı elde edilirken TLS-LiDAR-optik ölçüm sonuçlarından 3 adet süreksizlik takımı elde edilmiştir. Tüm sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo1. Ölçüm yöntemlerine ait süreksizlik takımlarının Yönelimleri.

Süreksizlik Takımı	Manual		LiDAR-Optical	
	Eğim	Eğim Yönü	Eğim	Eğim Yönü
1	86	250	88	247
2	2	245	2	243
3			87	156

2.2 Delme-Patlatma Sonrası Yığın Hacminin Hesaplanması

Patlatma çalışmasında patlatılan şev aynası 10 m yüksekliğinde ve 80-85 derece eğimli kireçtaşı basamağıdır. Patlatma aynasının görüntüsü Şekil 4'de verilmektedir. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe kullanılarak patlatma sonucu oluşacak yığının miktarı teorik olarak hesaplanabilir. Buna göre;

Bir delikten elde edilecek teorik malzeme hacmi = 1,8 m x 2,0 m x 10 m = 36 m^3

Patlatma sonucu elde edilecek teorik malzeme hacmi : 36 m^3x25 = 900 m^3

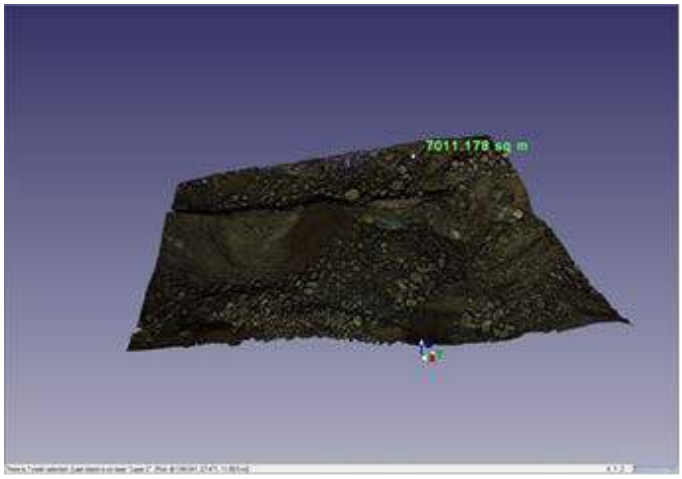
Teorik malzeme miktarı: 900 m^3x 2.5* ton/m^3 = 2250 ton

Oluşan yığının yaklaşık hacmi : 900 m^3x1.40**= 1260 m^3

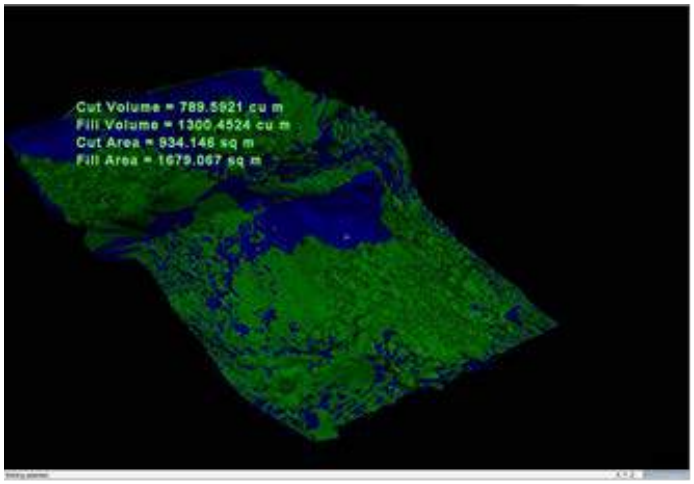
olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kalkerin yerinde yoğunluğu 2.5 ton/m^3 olarak alınmıştır. Kalkerin kabarma faktörü ise 1.40 olarak kabul edilmiştir.

Şekil 4. Patlatma çalışması aynanın görüntüsü.

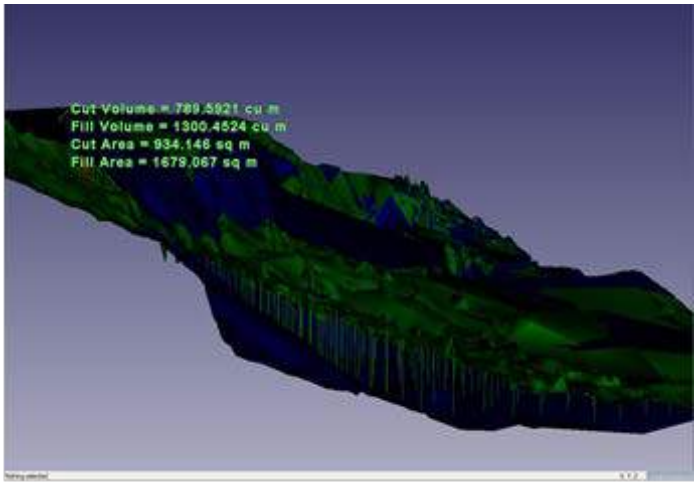
Patlatma öncesi ve sonrası ayna ve çevresi yersel lazer tarama cihazı ile 300m mesafede 5*5cm yoğunlukta taranmıştır. Tarama sonucu elde edilen nokta bulutu görüntülerine ait bir örnek Şekil 5'te verilmiştir. Patlatma öncesi ve sonrası oluşturulan nokta bulutları TIN-Mesh fonksiyonu ile katı model haline dönüştürülmüştür. Oluşturulan katı modeller patlatma öncesi mavi patlatma sonrası yeşil renk ile tanımlanmıştır. Patlatma öncesi ve sonrası katı modeller üzerinde "cut and fill" fonksiyonu uygulanmış ve elde edilen hacim farkı patlatma sonrası oluşan yığının hacmi olarak hesaplanmıştır. TLS ölçümleri sonucunda hesaplanan hacim 1300m^3 olarak bulunmuştur. Hesaplamalara ait fonksiyon(cut and fill) görüntüleri Şekil.6-7'de verilmiştir.



Şekil 5. Nokta bulutlarına ait görüntü.



Şekil 6. Nokta bulutlarından elde edilen yüzeylerin TIN-Mesh görüntüleri(Mavi patlatma öncesi, yeşil patlatma sonrası).



Şekil 7. TIN-Mesh fonksiyonu ile elde edilen yüzeylere cut and fill fonksiyonun uygulaması(Mavi patlatma öncesi, yeşil patlatma sonrası).

3 SONUÇ

Çalışma kapsamında TLS-LiDAR ölçüm teknikleri kullanılarak 2 adet uygulama yapılmıştır. Bunlardan ilkinde örnek taş ocağındaki süreksizliklerin yönemli belirlenmiştir diğerinde ise patlatma sonrası yığın hacminin hesaplanması yapılmıştır.

Süreksizlik yönelimlerinin belirlenmesinde kullanılan jeolog pusulası ölçümleri manual bir ölçüm tekniğidir. Bu ölçüm teknikleri insan bazlı olduğu için ölçüm hatası olabilme riski oldukça fazladır. Aynı zamanda saha içinde ulaşılamayan ve risk taşıyan bölgelerdeki süreksizliklerin yönelim ölçümleri ya hatalı yada mümkün olamamaktadır. TLS-LiDAR ölçüm tekniği ile bu olumsuzlukların etkisi minimuma indirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu yöntemle çok daha fazla süreksizlik düzlemi ölçülmüş ve manual yönetmle 2 adet belirlenen süreksizlik takımı TLS-LiDAR yöntemi ile 3 adet olarak belirlenmiştir.

Diğer uygulama özellikle patlatma verimini direk belirleyen ve net ölçülemeyen patlatma sonrası yığın hacmine yönelik bir çalışmadır. Teorik olarak hesaplanan yığın hacmi sonucu (1260m^3) ile tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verilerinin kullanılmasıyla elde edilen yığın hacmi(1300m^3) birbirine oldukça yakındır.

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda yersel lazer tarama tekniklerinin birçok alanda olduğu

gibi madencilik ve yerbilimlerinde kullanımı artan bir şekilde devam edecektir.

KAYNAKLAR

Deliormanlı A.H., Maerz N.H., Otoo J., 2014. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences v66 pp. 41-48,

Gümüş K., Erkaya H.,2007 "Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler" TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

KIVILCIM C.Ö. http://application2.ibb.gov.tr/TarihiCevreKoruma/yararli/Yersel_Lazer.pdf

Yenilikçi Madencilik Yöntemleri

Okyanus ve Denizaltı Madenciliğine Kısa Bir Bakış
A Brief Introduction to Marine Mining

A. Ehsani
Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Maden ve Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Adana

A. Kesimal
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Deniz ve okyanuslar, yeryüzünün %72'sini oluşturmaktadırlar. Deniz ve okyanus tabanı ve altındaki çeşitli maden ve mineral yatakları gelecekte meydana gelecek hammadde ihtiyacını karşılamak için belki de tek seçenek olarak karşımıza çıkacaktır. Bu nedenden dolayı deniz ve okyanuslarda oluşan maden ve mineral kaynaklarını çeşitli bilimsel çalışmalar ile tespit ederek, maksimum yararı sağlamamız gerekmektedir. Özellikle Türkiye'nin coğrafi konumu ve üç tarafının denizler ile çevrili olması bu alanda çalışmaların kapsamlı bir şekilde yapılması gerektiğini göstermektedir. Çeşitli kaynaklardan yararlanarak bu çalışmada bir araya getirdiğimiz konu başlıkları kısaca mineral maden yataklarının jeolojik oluşumu, deniz ve okyanus madenciliğin teknik analizi, dünyadaki uygulama alanı bulan yerleri ve özet ekonomik analizlerini içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Okyanus ve denizaltı madenciliği, uygulamalar, ekonomik analizler

ABSTRACT Seas and oceans constitute 72% of the earth surface area. The mineral deposits that occur on the sea and ocean floor perhaps is the only option that will be encountered to meet the needs of present and future raw materials. Due to this reason, we need to perform variety of scientific studies to provide the utmost benefit of seas and oceans' mineral resources. In particular, Turkey's geographical location, which surrounded by the sea on three sides, indicates that it should be done in a comprehensive way of working in this field. This study briefly comprises the geological formation, development process, technical and economic analysis of some practices in ocean and deep-sea (marine) mining.

Keywords: Ocean and marine mining, applications, economic analyses

1 GENEL BİLGİLER

1.1 Tarihsel Gelişimi

İlk olarak deniz bilimlerinin kökeni seyahatlerde yatmaktadır. Daha sonra teknolojik ilerlemeler ile oşinografik (okyanus ve deniz bilimi) çalışmalar ve araştırmalar gelişmiştir. Deniz ve okyanus biliminin tarihsel gelişimini Çizelge 1'de kısaca özetleyebiliriz (Halfar ve Fujita 2002, UN 2004, Vidyarthi 2005, ISA 2010).

1.2 Dünyada ve Türkiye'de Deniz Bilimi Çalışmaları

Okyanuslar ve denizler dünyamızın % 72' sini kapsamaktadır. Deniz suyu, Uranyum mineralleri dâhil yaklaşık 60'a yakın çözünmüş minerali içermektedir. Deniz ve okyanus tabanları petrol ve doğalgaz rezervlerinin önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Özellikle 1950-1960'lı yıllardan itibaren Japonya, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Rusya (Eski Sovyetler Birliği), Fransa, Almanya, Kanada ve

Hindistan gibi birçok ülkede deniz altı bilimi, araştırma ve geliştirme çalışmaları başlamıştır ve hızla devam etmektedir. Türkiye'de denizcilikle ilgili çalışmalar 1909'da kurulan ve merkezi İstanbul da olan Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD, Deniz Kuvvetleri Komutanlığına bağlı) tarafından başlatılmıştır.

Çizelge 1. Okyanus ve denizaltı biliminin tarihsel gelişimi.

Yıl	Yapılan araştırma
M.Ö. 2000	Giritliler ve Fenikeliler ilk deniz ve denizaltı araştırmaları.
M.Ö. 1500-500	Polenezyalılar tarafından Güney Pasifik ve Hawaii adalarında yapılan araştırmaları.
M.Ö. 900-700	Giritliler Deniz coğrafyası araştırmaları.
M.Ö. 230	Giritliler tarafından gel git hareketi hakkında yapılan araştırmalar
1855	Okyanusların derinlik ölçme (bathymetric) çalışmaları yapılmıştır.
1872-1876	Bilimsel araştırmaya tahsis edilmiş ilk okyanus seyahati.
1950-1960	Filipinler açıklarında (Mariana Çukuru)
1968	Glomar Challanger denizaltı araştırmaları (Güney Amerika).
1960-1970	ABD ve Sovyetler Birliğinin geniş ölçekli denizaltı araştırmaları
1970	Okyanus ve Denizaltı madenciliğinin önemini artması ve gelişmesi.
1979	Doğu Pasifik okyanusunda polimetalik masif sülfit yatakların bulunuşu.

Söz konusu kuruluşta birçok deneyimli ve kalifiye askeri ve sivil teknisyen ve uzman çeşitli çalışmalarına devam etmektedir. Bu kuruluşta daha çok deniz haritaları üretme, denizin biyolojik, jeolojik ve kimyasal özelliklerini tespit etme çalışmaları yapılmaktadır.

Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğünde (MTA) Deniz ve Çevre Araştırmaları Dairesi (Eski Deniz Araştırmaları Koordinatörlüğü) bulunmaktadır. Özet olarak MTA'da yapılan çalışmaların türü ve bu çalışmaların genel amacı Çizelge 3'te gösterilmiştir (Ehsani 2011). 2003 yılı sonuna kadar toplam 24258.5 km derin sismik çalışması, 6440.05 km sığ sismik çalışması ve 775 adet örnek alımı gerçekleşmiştir (Ehsani 2011).

Türkiye ve Dünyada deniz ve okyanus bilimi çalışmaları yapan bazı kuruluşlar Çizelge 2'de özetlenmiştir (Ehsani 2011).

Çizelge 2. Türkiye ve Dünyada deniz ve okyanus bilimi çalışmaları yapan bazı kuruluşlar.

Türkiye	Dünya
Deniz Kuvvetleri Komutanlığı (SHOD)	Tokai Üniversitesi Denizbilimi Fakültesi, Japonya
Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü (MTA)	Ulusal Denizbilimi Enstitüsü, Goa Hindistan
Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)	Fransız Denizaltı Araştırmaları Kurumu, Fransa
İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)	Moskova Üniversitesinde Denizbilimi Enstitüsü, Rusya
Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ)	Bedford Denizbilimi Enstitüsü, Kanada
Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ)	Ulusal okyanus ve Atmosfer Dairesi (ABD)

Çizelge 3. MTA'da yapılan çalışmaların türü ve bu çalışmaların genel amacı.

Genel Amaç	Yapılan veya devam eden Çalışmalar
Ulusal karasularının ekonomik ve bilimsel amaçlı araştırılması	1- Akdeniz ve Güney Ege Deniz jeolojisi ve jeofiziği
Denizlerimizin kıyılardan başlanarak derin kısımlarına kadar olan tüm alanların taban yapısının ortaya çıkarılması	2- Batı Karadeniz deniz jeolojisi ve jeofiziği
Deniz tabanın jeolojik yapısının belirlenmesine yönelik jeofizik ve jeolojik araştırmaların yapılması	3- Marmara denizi jeofizik projesi

2 JEOLOJİK VE OLUŞUM BAKIMINDAN YAPILAN ARAŞTIRMALAR

2.1 Okyanus ve Denizaltı Mineral ve Maden Yatakları

1960'lı yıllara kadar okyanus ve deniz tabanı, okyanus ve deniz suyunu içeren büyük bir küvet gibi düşünülmekte idi. Buna göre minerallerin, toprak ve kayaç erozyonu neticesinde akarsular, nehirler ve rüzgâr ile taşınmış olup deniz suyunda çözülerek daha sonra çökeltileri oluşturmuştur (UN 2004, ISA 2010). 1960'lı yıllarda jeoloji biliminde devrim sayılacak plaka tektoniği teorisi yerbilimciler tarafından geliştirilmiştir. Bu yeni teori, deniz ve okyanus tabanını dinamik ve hareketli plakalar şeklinde düşünmektedir ve tamamen eski teorinin yerini almıştır. Plaka tektoniği teorisine göre yer küresinin en dışındaki tabaka (kalınlık: 5-100 km) sert litosfer tabakasıdır (Vidyarthi 2005). Litosfer tabakası plastik özellikli ve akışkan bir tabaka olan astenosfer tabakasının üzerinde yüzerek hareket eder. Litosfer tabakası 12 asıl plakaya (levha) ve birçok küçük plakaya bölünmüştür.

Plaka tektoniği teorisi gelişmeden önce bilim adamları ve yerbilimciler okyanus ve deniz tabanında oluşan yataklarının oluşum süreçlerini (özellikle polimetalik sülfit yatakları) anlatmakta büyük zorluklar yaşamışlardır (UN 2004). Plaka tektoniği teorisinden önce okyanus ve deniz tabanında oluşan yatakların meydana gelmesini kara kıtasında (dağların, buzulların, toprak) erozyonun gerçekleşmesi ve böylece akarsularla deniz ve okyanus tabanında sedimanter tabakalar şeklinde birikmesi ile açıklanmakta idi.

Petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının oluşumu da hayvanlar ve bitkilerin kalıntılarının çökelmesi sonucunda oluştuğu ve söz konusu bu yataklarının tamamen hareketsiz olduğunu ve sabit kaldığı düşünülmekte idi. Plaka tektoniği teorisi dünyanın litosfer tabakasının hareketine dayanmaktadır. Başka bir değişle, kıta tabakaları plakalar şeklinde sürekli hareket halindedirler. Söz konusu bilimsel bir devrim sayılan teori (kuram) özellikle deniz tabanlarında oluşan polimetalik sülfür yataklarının meydana gelmesini açıklamamaktadır (UN 2004, ISA 2010).

Plaka tektoniği teorisine göre hareket eden plakalar okyanus ve deniz tabanında büyük sırtlara ve kırılmış fay ve zonlara sebep olmaktadır. Söz konusu bu kırılmış zon ve sırtlarda hidrotermal eriyiklerinin çıkacağı yarıklar oluşmaktadır.

Hidrotermal eriyikler büyük bir mineral kaynağıdır ve bu maddeler deniz suyu ve çeşitli mikroorganizmalar ile tepkimeye girerek okyanus ve deniz tabanında polimetalik sülfit yataklarının oluşumunu sağlamaktadır (UN 2004, Vidyarthi 2005). Söz konusu polimetalik masif sülfit yatakları değişik miktarlarda bakır, çinko, gümüş, altın ve demir içermektedir.

Bu hidrotermal tepkimeler yaklaşık 400°C sıcaklıkta ve ortalama 100-3700m derinlik aralığında okyanus tabanında gerçekleşmektedir (Halfar ve Fujita 2002, UN 2004).

2.2 Okyanus ve Denizaltı Mineral ve Maden Yatakları

Plaka tektoniği teorisinin gelişimi ile birlikte 1960'lı yıllarda bilimsel alanda gerçekleşen ilerlemeler, mineraller ve yapıları ile ilgili bilgilerimizi önemli ölçüde arttırmıştır.

Çökel ortamlar dışında oluşan mineraller ve malzemeler ise, örneğin ağır metal mineralleri (altın, kalay), değerli taşlar (elmas vb.), kum ve çakıl (agrega) kıta kenarlarında çökelmişlerdir. Ayrıca kıtasal kenar boşluklarında, derin deniz ve okyanus suyunda, polimetalik yumrular (nikel, demir, mangan vb.) deniz suyundaki çözünmüş metal minerallerinin çökelmesi sonucunda oluşmuşlardır (ISA 2010).

Diğer taraftan, okyanuslar ve denizler, jeolojik dönemlerde olduğu gibi, günümüzde de en önemli çökel havza olma özelliğini korumaktadır. Okyanusların ve denizlerin değişik kesimlerinde birbirinden farklı özelliklerde çökel istifleri gelişmektedir. Bu çökellerin taşınmasında ve biriktirilmesinde su hareketlerinin (özellikle denizaltı akıntılarının) önemi büyüktür.

Güncel denizel çökelme ortamları ve bunların arasındaki bazı ortamlarda gelişen çökel istiflerin genel özellikleri kısaca şu şekilde açıklanabilir: Kıyıdan açığa doğru, çökelme ortamları

- ✓ Kıyı zonu
- ✓ Geçiş zonu,
- ✓ Kıta Sahanlığı,
- ✓ Kıta Yamacı,
- ✓ Kıta Yükselimi,
- ✓ Derin deniz olarak ifade edilebilir (Ehsani 2011).

Okyanus ve deniz altı mineral madenciliğinde söz konusu olan mineral topluluk ve cevher yataklarının büyük bir bölümü kıta sahanlığı ve derin deniz ortamlarında bulunmaktadır (Cruickshank 1990). Genel olarak deniz ortamında bilinen maden kaynakları çeşitlilik bakımından yeryüzü üzerindeki gibidir. Ancak Nicel anlamda, üç boyutlu iyi bir veri toplama sisteminin olmaması deniz ortamında bulunan mineral kaynakları miktarı ve kalitesinin tam belirlenememesi, çoğu zaman tahminler ve gerçek dışı analizlere sebep olmaktadır. Fakat bu alanda ve yerküresinin dinamik yapısı ile ilgili bilgi edinme ve teknik donanımı hızla gelişmektedir ve dolayısıyla kabul edilebilir analiz ve araştırma sonuçlarına ulaşılabilmektedir (Mero 1965, Cruickshank 1990).

Deniz mineral maden yataklarının fiziksel durumu sağlam yapılı (pekişmiş), pekişmemiş ve sıvı şeklinde olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Söz konusu özellikler, deniz mineral yataklarını çıkarma teknik ve yöntemini belirleyen en önemli özelliklerdir. Mineral yatağının fiziksel özellikleri dikkate alınarak madencilik tekniğinin seçiminde kolaylık sağlayabiliriz. Örneğin pekişmemiş yataklarda tarama ve sıyırma teknikleri kullanılmaya daha uygundur, ancak pekişmiş ve sağlam yapılı yataklarının işlenebilmesi için daha fazla kazı gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Hukuksal sınıflandırma olarak da denizaltı minerallerini bulunduğu bölgeye göre iki ana kısımda anlatmak mümkündür, kıta sahanlığı ve derin deniz ve okyanus havzası.

Ayrıca, yatağın bulunma yerine göre deniz tabanının üstü ve deniz tabanının altı olarak ayırabiliriz. Fakat Bazı mineraller (fosfor gibi) her iki yerde de (deniz tabanının üstü veya altı) olabilirler.

2.2.1Kıta sahanlığı

Genel olarak kıta sahanlığı kıyıların devamındaki batık yeryüzü parçalarını içermektedir. Kıta sahanlığı yeryüzünde bulunabilen tüm maden ve mineral kaynaklarını içermekle birlikte deniz ortamlarından kaynaklanan mineral ve maden kaynaklarını da içermektedir.

Denizlerdeki kum ve çakıl yatakları, yeryüzündeki kayaçların ve buzulların erozyonundan oluşan, akarsu ve nehirler ile deniz yataklarına taşınan yataklar, deniz yataklarındaki önemli bir kısmı teşkil etmektedir (Cruickshank 1990). Mineral kum yatakları ise genel olarak altın, elmas, kalay mineralleri (kasiterit), titanyum mineralleri (rutil, ilmenit) ve diğer metaller dünyadaki bütün kıyı ve sahil alanlarına geniş bir ölçekte dağılmıştır. Bu yataklar genellikle yeryüzündeki kayaçların erozyonundan kaynaklanmaktadır. Söz

konusu yatakların büyük bir çoğunluğu değerlendirilebilmektedir. Daha derin sular ve jeolojik yaş olarak yaşlı olan tabakalar bu tip yataklar bakımından zengindir (Cruickshank 1990, Glasby 2006).

2.2.2Okyanus ve deniz tabanı ve havzası

Genel olarak okyanus ve deniz tabanı ve havzası yapısal olarak çoğunlukla bazalitik kayaçlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte söz konusu bölge, okyanus sırtları, volkanik adalar (denizlerde oluşan dağlar), kıtasal bölgeden kalıntılar meydana gelmektedir. Genellikle sedimanter yapılar derin ve jeolojik olarak yaşlı bölgelerde çok seyrek ve aralıklı şekilde bulunmaktadır.

Söz konusu sedimanter yapılar genellikle birbirine yakın kıtaların veya adaların erozyona uğraması veya deniz canlıların iskeletlerinin parçalanıp bozuşmasından oluşmaktadır. Daha derin deniz ve okyanus bölgelerinde ise çok ince taneli kalsiyum veya silisyum içeren derin deniz çamurlarını oluşturmaktadır. Diğer çamurlu yapılar ise deniz suyunda veya hidrotermal sularda çözünmüş şekilde bulunan minerallerin çökmesi ile oluşabilmektedir (Cruickshank 1990, ISA 2010). 1960'lı yıllardan sonra Mangan yumruları, kobaltça zengin kabuklar ve polimetalik (bakır, demir vs.) sülfit yatakları gibi mineral yatakları plaka tektoniği teorisin gelişmesi ve derin deniz ve okyanusların dinamik yapısının incelenmesi ile keşf edilmiştir ve hala bilimsel ve teknik çalışmalar bu konuda devam etmektedir.

En son olarak keşf edilen polimetalik sülfit yatakları aktif levha sınırlarının yakınlarında ve okyanusların tamamını kapsayacak şekilde bulunmaktadır. Bu tip yataklar çeşitli form, yapı (çamur şeklinde veya derin bölgelerde masif yapıda) ve derinlikte bulunmaktadırlar. Genel olarak bu tip yataklar sıcak deniz suyu ile kırılmış kabuksu kayaçlar arasındaki etkileşim ve reaksiyondan oluşmaktadırlar. Başka bir değişle, özellikle levha sınırlarında sokulum bölgelerinde ve yeni levhaların sokulum ve oluşma bölgelerinde söz konusu oluşum gerçekleşmektedir. Bu mineral maden yatakları çok çeşitli metalleri (bakır, kurşun, çinko, gümüş, altın vs.) içermektedir. Söz konusu metaller yapılan kimyasal analiz ve numune incelenmesinden tespit edilmektedir (ISA 2010).

2.2.3Deniz mineral yataklarının oluşum kaynakları kıtalara göre dağılımı

Özetle yakıt olarak kullanılmayan deniz mineralleri, oluşum kaynakları esas alınarak Çizelge 4'te gösterilmiştir (Rona 1983, UN 2004). Deniz ve Okyanus Minerallerinin kıtalara göre dağılımı ise Çizelge 5' te özet bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4. Yakıt olarak kullanılmayan deniz mineral yatakları.

Oluşum Türü	Örnek Mineral Yatakları	Başlıca Mineraller
Kıta ve karadan kaynaklanan mineral yatakları	plaser yatakları, Deniz suyundan çökelmiş Kireç ve Fosforit yatakları. Plaser yatakların büyük bir çoğunluğu sığ sularda, deniz tabanında oluşmaktadır.	Baryum, Krom, Altın, Demir, Nadir Toprak Elementleri (NTE), Kalay, Tungsten, Titanyum, Toryum ve Zirkonyum.
Okyanus havzalarındaki mineral yatakları	Metalik çökeller, polimetalik masif sülfit yatakları	Bakır, Çinko, Gümüş, Altın, Antimon vs.
Kara ve okyanus havzasının bir arada bulunan mineral yatakları	Polimetalik manganez nodülleri ve kobaltça zengin(feromanganez) kabuklar	Mangan, Kobalt, Demir, Molibden vs.

Çizelge 5. Deniz ve okyanus mineral kaynaklarının kıtalara göre dağılımı.

Kıta	Deniz ve Okyanus Mineral Kaynakları	Kaynaklar
Afrika	Tuz yatakları (Batı Afrika Kıyıları), Elmas (Güneybatı Kıyıları), Plaser yataklar (Madagaskar Güneydoğu kıyısı)	Rona 1983, Garnett 2000, 2002
Kuzey ve Orta Amerika	Plaser Au yatakları (Alaska kıyıları), Kömür (Kanada, Cape Bretton bölgesi), Fosforit yatakları (Kaliforniya – Pasifik)	Garnett 2000, 2002
Güney Amerika	Metalik maden ve kıymetli taşlar (And dağları kıyılarında)	UN 2004
Avrupa	Fosforit yatakları (İspanya Açıkları), Kömür (İngiltere Doğu kıyısı), Mercan (Napoli Körfezi)	UN 2004
Asya	Plaser yataklar (Güney ve Güneydoğu kıyıları), Kalay (Endonezya açıkları), NTE (Güney Hindistan açıkları)	Yim 2000, UN 2004
Okyanusya	NTE (Avustralya açıkları), Plaser Au ve Fosfat yatakları (Yeni Zelanda açıkları)	Von Rad ve Kudrass 1984

3 HAZIRLIK ÇALIŞMALARI, TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZLERİ

3.1 Giriş

Bu bölümde denizaltı ve derin okyanus ve kıta sahanlığı madenciliğin kısaca teknik yönlerini anlatmaya çalışacağız. Deniz altı madenciliği birçok değişik faktörler tarafından etkilenen bir endüstridir. Bu aktörlerin bazıları girişimcilik, ileri mühendislik şirketleri, yöneticiler, çevreciler, hukukçular, petrol ve boru hattı inşaatı yapan şirketlerdir. Genel olarak deniz ve okyanus madenciliğini bir sanayi veya endüstri olarak tanımlamamız erken olmaktadır. Çünkü bu sektör hala tam olarak gelişimini tamamlamamıştır. Bu konuda en doğru yaklaşım ise deniz madenciliği endüstrisinde her işletmeyi ayrı - ayrı bütün boyutları ile ele almak ve incelemektir.

3.2 Deniz Madenciliğinde Doğa ve İnsan Tarafından Etki Eden Faktörler

Doğal faktörler deniz madenciliği geleneksel madenciliğinden ayıran en önemli unsurdur. Deniz madenciliğinde cevher yatağı çok dinamik ve öngörülemeyen bir durumdadır. Ayrıca, maden yataklarının yapısı jeolojik süreç ve sistemler ile okyanus arasındaki etkileşimin sonucudur.

Deniz madenciliğinde çalışma ortamı geleneksel madenciliğinden çok farklıdır. Bu nedenden dolayı maden mühendislerinden olağanüstü talepler söz konusu olmaktadır ve aynı zamanda çevreyi tehdit edebilme bakımından mühendislerden ve işletmecilerden azami bir gayret göstermeleri istenmektedir. Dolayısıyla herhangi bir deniz altı veya okyanus madenciliği başlamadan önce bu yönleri, tamamen dikkate almak gerekmektedir. Aksi takdirde, madencilik girişimi hayal kırıklığı, başarısızlık ve umutsuzlukla sonuçlanır (Cruickshank 1990).

Hava, su, toprak ve tüm canlıları içeren bu doğal çevre, doğa tarafından kontrol edilir. Deniz ortamında tüm mineral madencilik faaliyetleri bu doğal çevreyi göz önünde bulundurarak tasarlanmalıdır. Deniz Madenciliğini etkileyen doğal faktörleri kısaca Çizelge 6'da özetleyebiliriz (Annon 1981, Cruickshank 1990, UN 2004).

Çizelge 6. Denizaltı madenciliğini etkileyen doğal faktörler.

Doğal Faktöreler ve Unsurlar	Açıklama
Hava	Madenciliğin yapıldığı bölgeye göre değişim gösterir. İklim koşulları çök önemli, örneğin muson yağmurları, fırtına vs.
Su	Derinlik, Dalga boyu ve hızı, Deniz suyunun Acı, Tatlı veya Tuzlu su olması
Toprak	Kıyı morfolojisi
Biyolojik sistemler (Canlı ve Bitkiler)	Karasal sisteme göre farklılık ve değişkenlik gösterirler. Çok az bir bilgi birikimi mevcut.

3.3 Deniz ve Okyanus Madenciliğin Teknolojik Analizi

3.3.1Altyapı

Genel olarak deniz ve okyanus madenciliği faaliyetlerini gerçekleştirmek ve gelişimini sağlamak için karasal merkezli bir altyapı bulunması gerekmektedir. Eğer söz konusu faaliyetler için yeni bir altyapı tesisatı kurulamıyorsa veya maliyet bakımından ekonomik değilse mevcut olan altyapı tesisler ve işletmelerden faydalanılabilmektedir.

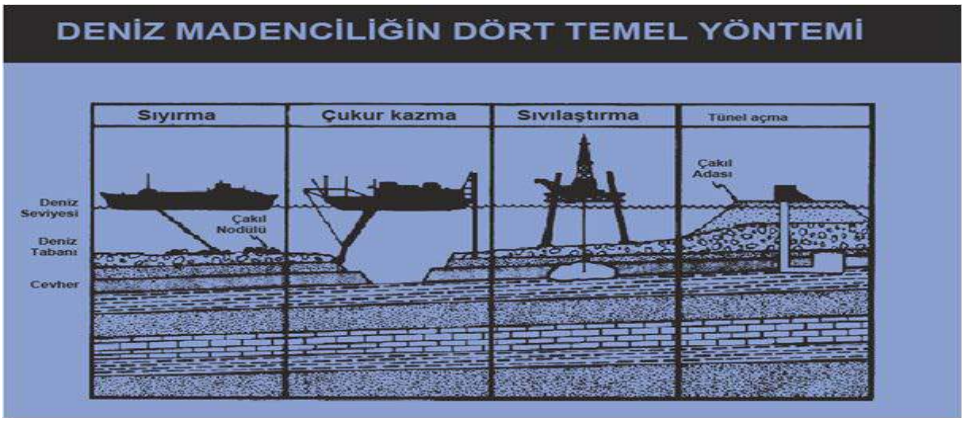
Altyapı tesislerin hazır olama pozisyonu, nakliyat araçlar ve sistemleri, diğer hizmetlerin hazır olması, tersane ve bakım onarım tesislerinin bulunması, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinin yakınlığı ve atık stoklarının bulunulması deniz ve okyanus madenciliği açısından büyük ve hayati bir öneme sahiptir (Annon, 1981, Cruickshank 1990). Söz konusu faaliyetler, hazırlıklar ve gerekli araç ve gereçler kısaca Çizelge 7'de özetlenmiştir.

Çizelge 7. Denizaltı madenciliğinin ön hazırlık ve altyapı çalışmaları.

Ön Hazırlık ve Altyapı	İşlev ve Araçları	Türleri
Gemi ve Platformlar	Üç temel işlemi kapsar: ✓ Prospeksiyon, Ölçüm ve Gözlemleme ✓ Kazı, Bakım ve Onarım ve Servis noktası ✓ Personel ve Malzeme Nakliyatı	Konuma göre: Yüzen Deniz altı
Güç Kaynakları	Güç kaynakları seçiminde etkili olan parametreler: ✓ Gerekli olan güç miktarı ✓ Güç üreticinin çeşitleri ✓ Maliyet	Yakıt türü: Elektrik- Dizel Jeneratör Doğal gaz Nükleer
Hava Durumu	İklim ve hava durumu verileri detaylı ve eksiksiz bir biçimde yetkin kuruluşlar (Örneğin: Ulusal Okyanus ve Atmosfer Kurumu-NOAA) tarafından sağlanmalıdır.	
Konum Belirleme (Navigasyon)	GPS (Global Positioning System- ABD)- GLONASS (Global Orbiting Navigation Sattelite System- Sovyetler Birliği-Rusya)- GALILEO (Avrupa Birliği Küresel Konum Belirleme Sistemi)	
İletişim Araçları	Uydu, telsiz, telefon, bilgisayar vs.	

3.3.2 Okyanus ve deniz madenciliği sistemleri ve uygulanan yöntemler

Okyanus ve deniz madenciliğinde madencilik yöntemini etkileyen en önemli parametreler maden yatağının genel fiziksel özelliği ve maden yatağının konumudur. Fiziksel özellikler genel olarak maden yatağının sert (masif) veya çamurumsu (pülp) şeklinde olmasını ifade etmektedir. Maden yatağının konumu ise, maden yatağının deniz tabanının üstünde veya altında, derinliği vb. özellikleri olarak ifade edilmektedir. Genel olarak denizaltı madenciliği yöntemleri sıyırma, çukur kazma, sıvılaştırma ve tünel açma özetlenmektedir (Şekil 1.). Denizlerde mineral madenciliğin özelliklerini kısaca Çizelge 8'de gösterilmiştir. Bu yöntemler genel olarak hem derin deniz yataklarında, hem de kıta sahanlığında bulunan yataklarda uygulanmaktadır. Birçok maden yatağı tipi bir veya birden çok madencilik yöntemi ile işletilebilmektedir (Cruickshank 1990, UN 2004).



Şekil 1. Denizaltı madenciliğinin 4 temel yöntemi.

Çizelge 8. Denizaltı madencilik yöntemlerinin kısa özellikleri.

Yöntem	Kısa Açıklama
Sıyırma ve tarama	Deniz tabanı yüzeyi veya mineral yüzeyini tarama
Çukur kazma-Kazı	Açık işletme tasarımına benzer bir çukur ve boşluk kazarak üretimi gerçekleştirmek.
Sıvılaştırma ve Liç işlemi (Çözelti madenciliği)	Sondaj veya bir boru sistemi ile cevher mineralini çamur veya sıvı şeklinde yüzeye çıkararak gerçekleşen üretim yöntemi.
Tünel ve galeri Açma	Mineral yatağında karadan tünel kazarak üretimi gerçekleştirme.

3.3.1.1 Sıyırma ve tarama yöntemi

Deniz ve okyanuslarda bulunan mineral maden yatakları, deniz yüzeyine yakın veya daha derin deniz tabanı bölgelerinde, mekanik araçlar ile süpürme veya sıyırma şeklinde toplanabilmektedir. Daha sonra cevher zenginleştirme veya başka işlemler için su yüzeyine çıkarılmaktadır. İşlem en basit şekli ile tarama, tırmıklama, kürek (kepçe) ile almak veya bazı durum ve pozisyonlarda vakum şeklinde temizleme işlemine benzemektedir.

Eğer okyanus ve deniz altında maden yatağı kalın ve sert bir yapıdan oluşuyor ise sıyırma, tarama veya süpürme işleminden önce kesme veya riperleme (sökme-sökülme) işlemi gerçekleşmesi gerekmektedir. Çizelge 9'da bu yöntemin uygulama şekil ve alanları özetlenmiştir.

Çizelge 9. Tarama (Sıyırma) yönteminin uygulama şekli ve alanı.

Yöntem	Uygulama Şekli ve Alanı	Kaynak
Dragline şeklinde taramak	Bu yöntemde deniz yüzeyinden cevher ve mineral büyük kepçe ve kovalar ile sıyrılmak ve taranmaktadır. Açık deniz (off-shore)- Mangan yumruları ve Fosfor yatakları	Mero 1965
Emici kafa (Trailing Suction)	Huni şeklinde emici kafa- Sedimanter yataklar, kum ve çakıl ve suyollarını temizlemek – Max sıyırma derinliği: 45 m	Padan 1983, Drinnan ve Bliss 1986, Cruickshank 1990
Zincirli-Kovalı ekskavatör sistemi (Continuos Line Bucket)	Boş kovalar hat boyunca döngü biçimde hareket etmektedir ve kısmen dolan bu boş kovalar platformun (geminin) diğer tarafından su yüzüne çıkmaktadır. Zincirli Kovali Ekskavatör- Kobaltça zengin kabuk şeklinde yataklar- Fosfor yatakları	Annon 1981, Annon 1981
Kabuk şeklinde yatakların değerlendirilmesi (Crust Mining)	Sert şeklinde maden yatakları- Kobaltça zengin polimetal (Kobalt, Demir) kabuklu maden yatakları- Kabuk kalınlığı: 38 cm.	Cruickshank 1990,

3.3.1.2 Çukur kazma yöntemi

Eğer mineral maden yatağının tamamı veya bir kısmı deniz ve okyanus tabanının altında yer alıyor ise o halde açık işletme tasarımına benzer çukur kazınarak madencilik faaliyeti gerçekleşmektedir. Söz konusu bu mineral yataklar kalın kum yatakları, polimetalik çamurlar, tabakalı veya saçınımlı pekişmemiş plaser mineral yatakları ve masif yapılı yataklardan oluşmaktadır. Genel olarak bu yöntemin uygulanması üç temel parametreye bağlıdır (Cruickshank 1990):

- ✓ Madencilik faaliyetinin olduğu bölgenin iklim şartları
- ✓ Su derinliği ve mineral maden yatağının bulunduğu derinlik
- ✓ Okyanus veya deniz tabanının sertliği ve kazılan malzemenin fiziksel özellikleri

Çizelge 10'da bu yöntemin uygulama şekli ve alanı özetlenmiştir.

Çizelge 10. Açık ocak işletme yönteminin uygulama şekli ve alanı.

Yöntem	Uygulama Şekli ve Alanı	Kaynak
Çift çeneli kepçe (kovalar) ile yapılan kazı	Çift çeneli kepçe deniz tabanını kavrayarak kopartma prensibine dayanır. İri taneli malzeme üretimi için uygulanır. Kum ve çakıl (Japonya), Kalay (Tayland), Fosfor (Yeni Zelanda)	Cruickshank 1990
Döner Kepçeli Ekskavatör	Yüksek bir tork ve dönme gücü uygulanmaktadır. Kazı ve emiş işlemi bir arada gerçekleşmektedir. Kum çakıl-Plaser yataklar	Cruickshank 1990
Kesici- Emici kazı ve tarama	Max Derinlik: 30 m.- pekişmiş ve kompakt mineral yataklarının kesici kafa hareketli ve döner biçimindedir. Plaser kalay yatakları (Tayland), kum ve çakıl (Japonya), 2000 m derinliğindeki polimetalik çamurlar (Kızıl Deniz)	Drinnan ve Bliss 1986
Delme Patlatma-Hidrolik kırma	Çok sert yapılı maden yatakları- Yüksek basınçlı su ile kırma	Cruickshank 1990

3.3.1.3 Sıvılaştırma (Çözelti madenciliği) ve Tünel Açma Yöntemleri

Sıvılaştırma (çözelti madenciliği) yönteminde cevher sondaj deliklerinde kaynar su veya yüksek basınçlı su jeti ile akışkan ve pülp haline getirilmektedir. Daha sonra akışkan hale getirilen cevher sondaj boruları ve güçlü pompalar vesilesi ile su veya yeryüzüne taşınmaktadır. Ayrıca bazı mineraller ve maden yataklarında, mineraller seçimli bir şekilde liç işleminden geçmektedir. Böylece değerli kısım çözelti içine alınarak pompalar ile yeryüzüne taşınabilmektedir. Eğer mineral veya maden yatağı çok derin de ise ve açık işletme tekniğine benzer çukur kazılamıyorsa, bu durumda yer altı üretim yöntemlerinde uygulandığı gibi şaft veya karadan (sahil kenarından) veya adalardan tünel ve galeri açma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemde mineral yatağına erişim sağlama, havalandırma veya maden yatağının üstünde ve bir tahkimat alanı sağlama gibi problemler göz önünde bulundurulmalıdır. Bir başka değişle bu yöntemde cevhere erişim, tahkimat ve havalandırma problemleri oluşmaktadır ve göz önünde bulundurulmalıdır. Okyanus ve deniz madenciliğinde (yakıt olarak kullanılan malzemeler dışında) öncelikli olarak uygulanmayan söz konusu bu iki yöntemi kısa ve özet olarak Çizelge 11'te açıklanmıştır.

Çizelge 11. Sıvılaştırma ve tünel açma yöntemlerinin uygulama şekli ve alanı.

Yöntem	Uygulama şekli ve alanı	Kaynak
Sıvılaştırma (Çözelti madenciliği)	Masif veya pekişmemiş mineral yatakları sıvı çamur haline getirerek- yüksek basınç ve sıcaklık daki su ile cevher eriterek sıvılaştırır ve pompalar yardımı ile yeryüzüne çıkarmaktadır. Japonya (1974)- Fosfor yatakları (ABD-Florida)	Padan 1983
Tünel Açma	Sert kayaçlardan oluşan deniz tabanı ve deniz tabanının altındaki mineral yatakları- deniz tabanının altındaki kömür, potas, demir kalay, kurşun ve bakır mineral yatakları üretimi.	Cruickshank 1990

3.4 Deniz ve Okyanus Madenciliğin Uygulamalarına Kısa Bir bakış

Genel ve özet olarak dünyada deniz ve okyanus madenciliğin uygulamalarına ve teknik ve ekonomik özellikleri Çizelge 12' de gösterilmiştir. Söz konusu çalışmalardan en dikkat çekeni Solwara projesidir. Solwara projesi şu anda 19 ayrı bölgede devam etmektedir. Numune alınan bazı bölgelerde ise % 17 Cu ve %4 Zn tenörüne rastlanmıştır. Projenin birçok bölgesinde jeolojik, jeofizik ve kimyasal analiz çalışmaları devam etmektedir. Bu projede ekipmanların tamamen fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiş ve ekonomik olduğu belirlenmiştir. Fakat yine de hem çevresel faktörler, hem de üretim miktarı ve oranı, hidrostatik basınç altında çalışma şartları gibi bazı riskler içermektedir (SRK Cons. 2010).

Çizelge 12. Dünyada deniz ve okyanus madenciliğin uygulamaları.

Uygulama Adı	Teknik Özellikler	Ekonomik Analiz	Kaynak
Kalay üretimi (1910- Endonezya)	Kıta sahanlığı-Döner Kepçeli Sıyırma ve Tarama (Kazı)- Platform- Kazı derinliği: 50-80 cm- İlerleme hızı: 1.4 m/döngü- kazı kapasitesi: 500 m^3/gün. Yıllık üretim: 3000 ton kalay	18 saat/gün 120 saat/ay Bakım onarım genel harcamalarının dağılımı ise kısaca: ✓ Ücretler için harcamaların %34 ✓ Malzeme ve yakıt için %30 ✓ Ulaşım %11 ✓ Bakım onarım %7 ✓ Diğer %18	Cruickshank 1990
ABD (1986- Alaska-Nomme bölgesi) Altın madenciliği	Döner kepçeli sıyırma ve tarama platformu (BİMA) Uzunluğu 110m, Genişliği 30m Yüksekliği 6m Kazı derinliği: 30 m Cevher kalınlığı:9 m Toplam kazı gücü: 15,000 hp (11,000 Kw). Kazı kapasitesi: 15,000 m^3/saat plaser yatağında altının tenörü ortalama 0.65 g/m^3	Haziran-Ekim arasında İşletme verimi: %80 Yıllık: 1500 Kg	Cruickshank 1990
Solwara Projesi (2009- Papua Yeni Gine açıkları) Kanada merkezli Nautilus Co. Başta olmak üzere, Golder Associates, SRK consulting (Avustralya), Clough Engineering (Avustralya), Ausenco (Avustralya).	19 ayrı bölgede proje devam etmektedir. Masif sülfit yatağı polimetal (Cu, Zn, Ag, Au) ve elementi içermektedir. Ortalama derinlik: 1500 - 2500 m. Solwara-1 tenör değerleri: ✓ % 6.8 Cu ✓ 4.8 g/ton Au ✓ 23 g/ton Ag ✓ % 0.4 Zn Görünür rezerv: 870,000 ton. Solwara (Genel tahmini tenör) ✓ % 7.5 Cu ✓ 7.2 gr/ton Au ✓ 37 gr/ton Ag ✓ %0.8 Zn	Solwara 1 projesine ait: Üretim: 3700 ton/gün (2009 yılında) İlk yatırım maliyet: ~383 m$ (Toplam). Üretim maliyeti: (Toplam): ~71 $/ton	Vidyarthi 2005

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genel ve özet bir biçimde bu çalışmayı aşağıda maddeler halinde değerlendirebiliriz:

1. Kıta sahanlığı metalik ve metalik olmayan birçok mineral yatağının bulunması bakımından büyük bir potansiyel taşımaktadır.
2. Deniz ve okyanus madencilik faaliyetini başlamadan önce veriler ve gerekli bilgiler ve parametreler (iklim, hava koşulları, bölgenin sosyo-ekonomik durumu, yatakların jeolojik durumu, maliyet, nakliye ve ulaştırma olanakları, gerekli olan enerjinin temini vs.) uzman kişiler tarafından değerlendirilmesi gerekmektedir.
3. Denizaltı ve okyanus madencilik yönteminin seçimini etkileyen en önemli parametreler ise: maliyet, yatağın jeolojik durumu, derinlik, enerji sarfiyatı, iklim, hava koşulları ve yatağın ekonomik değeri ve ömrü olarak ifade edebiliriz.
4. Denizaltı ve okyanus madencilik yöntemleri dört ana metoda ayrılmaktadır. a) Sıyırma ve tarama b) Açık ocak yöntemi (Çukur kazı) c) Sıvılaştırma (çözelti madenciliği) d) Tünel açma.
5. Ülkemiz üç taraftan denizlerle kaplı olmasına rağmen, denizlerdeki maden ve mineral yatakları hakkında çok az çalışma gerçekleştirilmiştir. Şüphesiz ki bu durum geçmiş yıllarda teknik bilgi bakımından yeterli olmamamızdan kaynaklanmaktadır. Fakat şu anda ülkemizin gelişen teknik ve ekonomik kapasitesi bu alanda da çalışmalarda bulunmamızı sağlayabilmektedir.

KAYNAKLAR

Annon, 1981. Deep Seabed Mining: Final Programmatic Environmental Statement, vol. 1, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Ocean Minerals and Energy, Washington.

Cruickshank, M, J, 1990. Marine Mining In *SME Mining Engineering Handbook*, 1985–2004.

Drinnan, R.W., ve Bliss, D.G., 1986. The U.K. Experience on the Effects of Offshore Sand and Gravel Extraction on Coastal Erosion and the Fishing Industry, Nova Scotia Department of Mines and Energy, 77.

Ehsani, A, 2011. Okyanus ve Denizaltı Madenciliği, Lisans Bitirme Çalışması, Trabzon, 91s.

Garnett, R, 2002. Recent Developments in Marine Diamond Mining. *Marine Georesources and Geotechnology*, 20, 137–159.

Garnett, R.H.T., 2000, Marine placer diamonds, with particular reference to Southern Africa, in Cronan, D.S., (ed.), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press Marine Science Series, CRC Press, Boca Raton, Florida, 103-141.

Glasby, G.P., 2006. Manganese: Predominant Role of Nodules and Crusts, In Marine Geochemistry, H.D. Shulz and M. Zabel (ed.), 2.nd Revised Edition, 371–429.

Halfar, J., ve Fujita R. M., 2002. Precautionary Management of Deep-Sea Mining. *Marine Policy*, 26, 103–106.

ISA (International Seabed Authorithy)., UN (United Nations), 2010. Marine Mineral Resources, Kingston, Jamaica.

Mero, J.L., 1965. The Mineral Resources of the Sea, Elsevier, New York.

Padan, J,W, 1983. Offshore Sand and Gravel Mining, Paper No. OTC 4495, 14th *Annual Offshore Technology Conference*, 437-447.

Rona, P.A., 1983. Potential mineral and energy resources at submerged plate boundaries, Natural Resources Forum, 329-338.

SRK Consulting 2010. Solwara1 Offshore Production System Definition and Cost Study Rev 3 21, Prepared for Nautilus Minerals.

United Nations (UN), International Seabed Authority, 2004. Marine Mineral Resources: Scientific Advances and Economic Perspectives. New York, NY.

Vidyarthi, D, 2005. Marine Mining, National Mineral Developement Corporation, India.

Von Rad, U. ve Kudrass, H., 1984. Phosphorite deposits on the Chatham Rise, New Zealand, Geologische Jahrbuch.

Yim, W.W.-S., 2000, Tin placer deposits on continental shelves CRC Press, Boca Raton, Florida, 27-66.

Delme Patlatma, Sondaj Teknolojileri ve Mekanizasyon

Açık Ocak Patlatmalarında Toz, Hava Şoku, Gürültü, Titreşim ve Taş Fırlamasının Bir Bilgisayar Yazılımı ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Dust, Air Blast, Noise, Vibration and Fly-Rock Issues in Open-pit Mine Blasts with a Computer Program

Z. Duran
Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas

B. Erdem, T. Doğan
Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

ÖZET Açık ocak patlatmaları sırasında ortaya çıkan başlıca çevresel sorunlar toz, gürültü, hava şoku, titreşim ve taş fırlamasıdır. Bu faktörler günümüzde yerleşim yerlerinin açık ocaklara giderek yakınlaşması nedeniyle çevredeki yapılar üzerinde hasara ve işletmeler ile çevre yerleşim sakinleri arasında anlaşmazlıklara neden olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında; açık ocak madenciliğinde basamak patlatması kaynaklı etkiler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı ilgili yönetmeliklerdeki sınır değerler dikkate alınarak hazırlanan bir bilgisayar yazılımı ile değerlendirilmiştir. Patlatma ile üretim yapan açık maden işletmesinde yapılması planlanan yıllık üretim, aylık ve günlük çalışma süreleri ve basamak patlatma parametreleri geliştirilen algoritmaya veri olarak girilmektedir. Algoritmaya girilen veriler ile toz, gürültü, hava şoku, titreşim ve taş fırlamaları yönetmeliklerdeki çevresel sorunlara neden olmayacağı öngörülen etki alt limitlerine dayanılarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalar ile ilgili yönetmeliklerdeki en alt sınır değer patlatma tasarımı olarak kabul edilmektedir. Algoritma, Sivas ilindeki bir ocakta yapılan patlatmalarda kullanılan tasarım parametrelerinin değerleri ile test edilmiştir. Patlatma tasarım parametreleri, algoritma yardımıyla çevre yönetmeliklerinde öngörülen sınırlara uyumlu hale gelecek şekilde değiştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Etki zonu, emisyon faktörü, gürültü seviyesi, PM_{10}

ABSTRACT The main environmental problems encountered during the open pit blasting are dust, noise, air blast, vibration and fly-rock. These factors may cause damage on the surrounding residential areas and conflicts may arise between residents of the surrounding settlements and mine management due to gradual approach of mines to surrounding settlements.

In this study; blasting-induced effects from open-pit mining were analyzed using an in-house computer program by taking into account the limits of the relevant regulations issued by the Ministry of Environment and Urbanization of Turkey. Yearly production rate, monthly and daily working hours and bench blasting parameters are entered into the developed algorithm as inputs for an open-pit mine that operates with blasting. With the data entered in the algorithm emissions from dust, noise, air blast, vibration and fly-rock are calculated separately based on the lower acceptable limit in the regulations that are predicted not to cause environmental impact. The lower limit of the regulations concerning the value of the calculations are considered to be the design of blasting. The algorithm has been tested with the values of the design parameters used in the blasting in a mine operating in the province of Sivas. Blasting design parameters have been modified to become compatible with the limits prescribed in environmental regulations.

Keywords: Impact zone, emission factor, noise level, PM_{10}

1 GİRİŞ

Maden hammaddelerini elde etmenin en kolay ve en hızlı yöntemlerinden birisi de patlatmalı kazı çalışmalarıdır. Nüfus artışına paralel olarak madenlere olan talep artmakta, madencilik ve alt yapı çalışmalarına paralel olarak da patlatmalı kazı çalışmalarının artması beraberinde çevresel sorunları da getirmektedir. İşletmelerin amacı; toz, yer sarsıntısı (titreşim), taş fırlaması, hava şoku ve gürültü gibi çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak patlatma işlemlerini emniyetli ve ekonomik yoldan gerçekleştirmektir.

2 PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL FAKTÖRLER

2.1 Toz

Planlama aşamasındaki bir maden işletmesinin ve/veya tesisin, kurulması düşünülen bölgedeki hava kalitesini hangi boyutta etkileyebileceğini, atmosfere verilen kirleticilerin atmosferik koşullara ve verecekleri tepkimelere bağlı olarak, nasıl dağıldığını belirlemek için kullanılacak tek yöntem modellemedir (Değerli ve Ünver, 2002). Modelleme doğal koşulların laboratuvarda benzetilmesi temeline dayanılarak hazırlanan fiziksel modeller ve teorik hesaplamalara dayanan matematiksel modeller olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Ancak uygulama kolaylığı nedeniyle yaygın olarak matematiksel modelleme tekniği kullanılmaktadır. Matematiksel modeller arasında doğrudan ölçüm yoluyla bulunan değerler ile uyumlu sonuç vermesi açısından en çok kullanılanı Gauss modelidir (Demirci, 1998; Güllü, 2001; Cora and Hung, 2003).

Toz dağılım hesaplamalarında kullanılan dağılım bilgisayar modelleri, aslında matematiksel modellerin bilgisayar yazılımlarıdır. Ancak ulusal ve uluslararası kaynaklarda bilgisayar yazılımı isminden çok, dağılım bilgisayar modeli ismi kullanılmaktadır. Bilgisayar modelleri arasında ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiş olan endüstriyel kaynak dağıtım modelleri (industrial source complex dispersion models – ISC models), bölgesel dağılım modelleri (all terrain dispersion models – ATDM), rüzgâr dalga modelleri (breeze wake models), rüzgâra göre hava grafik modelleri (breeze air graphics models) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak atmosferik taşınım olaylarının son derece karmaşık olması, çok sayıdaki katsayının belirlenmesindeki güçlükler, model kurma ve veri derlemede ortaya çıkan sorunlar nedeniyle bilgisayar yazılımlarının kullanımında sorunlar çıkmaktadır. Bu nedenle, evrensel bir model elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Buna karşın, temel model yaklaşımlarının uygulama yapılacak kaynak ve bölgenin özeliklerine bağlı olarak çeşitli kabul ve sadeleştirmelerle ele alınması daha yaygındır (Kalafatoğlu vd, 1995; Demirci, 1998; Turanoğlu, 2000). Bu çalışmada toz yayılımı için 02.11.1986 tarih ve 19269 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Hava Kirliliği Yönetmeliği'ndeki eşitlikler, katsayılar ve kabuller kullanılmıştır. Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının hesabında ise; 20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 'Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in Ek-12 Tablo 12.6'daki değerler ile karşılaştırma yapmak üzere EPA'nın belirlediği patlatma toz emisyon faktörleri de kullanılmıştır (USEPA, 1998).

2.2 Yer Sarsıntısı

Yer sarsıntısı, patlatma ile çevreye verilen rahatsızlıkların en önemlisidir. Taş savrulması ve hava şoku genellikle patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken, yer sarsıntısı daha uzak mesafelerde (örneğin 2 – 5 km) hissedilebilmekte ve insanların tepkisine veya binalarda hasara yol açabilmektedir (Çebi, 2007). Diğer taraftan yapılan patlatmadan iyi bir sonuç almak için belirli miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Patlayıcı maddeler kullanılarak elde edilen bu enerjinin tamamı kaya üzerinde yararlı iş görmemekte sadece %20 kadarı patlatmadan verimli bir sonuç almak için kullanılabilmekte ve patlatma sonrası

kullanılan enerjinin %40 kadarı yer titreşimlerine neden olmaktadır (Berta, 1990). Yer sarsıntısı tahmini ile ilgili birçok model geliştirilmiştir (Duvall and Fogelson, 1962; Devine *et al*, 1966; Langefors *et al*, 1978; Richards and Moore, 2005).

2.3 Hava Şoku ve Gürültü

Hava şokunun iki bileşeni bulunur. Bunlardan birincisi insanların duyma frekansı aralığı içindedir. Diğer bir deyişle bu bileşenin frekansı orta-yüksek sınıfında olduğundan, kişiler bu bileşeni işitebilirler. İkinci bileşen ise düşük frekanslıdır ve insanların duyamayacağı gürültü bileşenini oluşturur. Bu bileşen yapılarda pencere camlarının kırılması, dış cephede sıva çatlakları oluşması gibi hasarlar yaratabilir. Hava şoku ile gürültü arasındaki ayrımın iyi yapılması gerekmektedir (Erkoç ve Esen, 1998). Hava şoku dalgaları 0,1 Hz – 200 Hz arasında değişen geniş bir frekans aralığına sahip olup 20 Hz ve altındaki frekansa sahip dalgalar hava şoku olarak adlandırılır ve binalara asıl hasar veren ve temel olarak insan kulağı tarafından duyulamayan dalgalardır. Gürültü ise 20 Hz – 200 Hz frekans aralığındaki değere sahip olup, çok yüksek olması halinde binaların camları kırılabilir ve insan kulağı tarafından duyulabilir (Yücel, 2008).

Ülkemizde gürültü ile ilgili Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı "çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükûnunun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak" olarak belirtilmiştir. Bu yönetmeliğin EK–I'de Gürültü Göstergeleri başlığı altında öncelikle göstergeler tanımlanmış ve açıklanmıştır. Örneğin $L_{gündüz}$: TS 9315'de (ISO 1996-1) tanımlandığı gibi A ölçeği ağırlıklı ses seviyesinin enerji ortalaması olup, gündüz zaman diliminin tamamı veya gündüz zaman dilimi içinde belli bir sürece göre belirlenmiştir.

Madencilikte patlatma kaynaklı gürültü belirli bir zaman aralığında olan kısa gürültüdür. Bu nedenle Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirtilen gürültü göstergeleri yerine EK – I'de Gürültü Göstergeleri Bölüm 1.2 'İlave Gürültü Göstergeleri' altındaki gürültü çeşitleri dikkate alınabilir. Patlatmalarda gürültü ile ilgili ABD'nde (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 dB'e karşılık gelen hava şoku düzeyi, hasar başlangıcı ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir (Dowding, 1985). Diğer taraftan patlatmalarda baş ağrısı alt sınırı 120 dB'dir (Persson, 1994). Patlatma kaynaklı hava şoku ve gürültü tahmini ile ilgili birçok modeller geliştirilmiştir (Calzia, 1969; Richards and Moore, 2005; Zeeman, 2012).

2.4 Taş Savrulması

Patlayıcı madde, patlatma işlemi sırasında kaya kütlesi içinde yeterince hapsedilemezse reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gazlar atmosfere erken deşarj olmaktadır. Bu yüksek hızlı gaz boşalımının etkisiyle bazı kayaç parçaları kütlesinden ayrılmakta, uzak mesafelere savrulabilmekte ve insanlarda yaralanmalar ile yapılarda ciddi hasarlara neden olabilmektedir (Bilgin vd, 1999). Patlatma sırasında taş savrulma uzaklığının tahmini için literatürde çeşitli görgül modeller mevcuttur (Lundborg, 1981; Hüdaverdi ve Kuzu, 2005; Richards and Moore, 2005, 2014; Guerin, 2011).

3. BİLGİSAYAR MODELİ VE ÖRNEK UYGULAMA

3.1 Giriş

Patlatma kaynaklı çevresel faktörlerin etkisi için geliştirilen model, Sivas il sınırları içerisindeki bir maden işletmesinde denenmiştir. Maden işletmesi için ana girdi parametreleri, çalışma ve patlatma parametreleri olarak iki ana grup altında toplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir.

3.2 Toz Modelleme

Bu modellemede 02.11.1986 tarih 19269 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Hava Kirliliği Yönetmeliği'nde havada asılı kalan ve çöken toz hesabının yayılımı için verilen eşitliklerden (Eşitlik 1, 2 ve 3) yararlanılmıştır. Geliştirilen modelde toz emisyonu için kullanılan sınır değerleri, 20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 'Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in (Değişik başlık: RG-20.12.2014-29211) 'Ek – 1 İşletmeler İçin Hava Emisyonu Esas ve Sınır Değerleri' kullanılmıştır (Çizelge 2).

Toz etki değerlendirmesi yapmak için Eşitlikler 1, 2 ve 3 bir teknik hesaplama yazılımı aracılığıyla modellenmiştir. Modelde patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının kestirimi için 20.12.2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in (Değişik tablo: RG-20/12/2014-29211) Ek – 1'deki 'Toz Emisyonu Kütlesel Debi Hesaplamalarında Kullanılacak Emisyon Faktörleri – taş çıkarma, kırma ve sınıflandırma tesisler' başlığı altında kontrolsüz patlatmalar için toz emisyon faktörü 0,080 kg/ton alınmıştır. 22.07.2006 tarih ve 26236 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği uyarınca, modelde, patlatma sonrası açığa çıkan tozun %80'inin 10 mikrondan büyük partiküller meydana getireceği ve çökeceği, geriye kalan %20'lik kısmın havada asılı kalacağı ve rüzgârın etkisiyle seyrelerek dağılacağı kabul edilmiştir.

Modelde; işletmenin mevcut girdi ve patlatma parametreleri (Çizelge 1) değiştirilmeden patlatma sırasında bir atımdaki delik sayısına bağlı olarak açığa çıkan toz miktarına (kg) göre, havada asılı kalan ve çöken toz yayılımını hesaplamak için Eşitlikler 1, 2 ve 3 kullanılmış ve Çizelge 2'de verilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre delik sayısı birer birer arttırılarak her defasında havada asılı kalan ve çöken toz dağılımı, 980 m mesafedeki yapı baz alınarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak bir atımdaki delik sayısının 50 olduğu durumda havada asılı kalan toz partikül dağılımı Çizelge 2'de verilen sınır değerlere yaklaştığı için model sonuçlandırılmıştır. Bu durumda bir atımdaki delik sayısına göre, aylık ve yıllık patlatma sayıları, atım başına üretilen malzeme miktarı ile toz miktarları Çizelge 3'te ve bir atımdaki patlatma verilerine göre mesafeye bağlı olarak havada asılı kalan ve çöken toz dağılımı sırasıyla Çizelgeler 4 ve 5'de verilmiştir.

Çizelge 1. İşletme girdi parametreleri.

Maden işletmesi çalışma parametreleri	
Yıllık üretim miktarı (m³)	125000
Çalışılan ay sayısı (ay/yıl)	8
Ayda çalışılan gün sayısı (gün)	26
Kayaç yoğunluğu (g/cm³)	2,4
Patlatma yerine en yakın konutun (yapının) mesafesi (m)	980
Patlatma parametreleri	
Ateşleme sistemi	Nonel sistem
Delik çapı (mm)	89
Delik eğimi (°)	78
Basamak yüksekliği (m)	10,0
Dip delgi (m)	1,0
Delik boyu (m)	11,0
Delikler arası mesafe (m)	3,0
Yük mesafesi (m)	2,5
Sıkılama boyu (m)	2,5
Yıllık çalışma süreleri (gün/yıl)	208
Yıllık üretim miktarı (ton/yıl)	300 000
Aylık üretim miktarı (ton/ay)	37 500
Aylık üretim miktarı (m^3/ay)	15 625
Günlük üretim miktarı (ton/gün)	1 442
Günlük üretim miktarı (m³/gün)	601
Bir delikteki teorik hacim (m³)	75
Bir delikteki teorik hacim (ton)	180
Yıllık toplam delik sayısı (adet)	1667

$$C(x,y,z)=\frac{10^6}{3600\cdot 2\pi}\frac{Q}{U_h\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z}\exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]\left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \quad (1)$$

$$C(x,y,z)=\frac{10^6}{3600\cdot 2\pi}\frac{Q_i}{U_h\cdot\sigma_y\cdot\sigma_z}\exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right]\cdot\left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]\cdot\exp\left[-\sqrt{\frac{2V_{di}}{\pi U_h}\int_0^x\left(\frac{1}{\sigma_{z(\xi)}}\cdot\exp\left(\frac{-h^2}{2\sigma_z^2(\xi)}\right)\right)d\xi}\right] \quad (2)$$

$$d(x,y)=86400\cdot\sum_{i=1}^{4}V_{di}\cdot C_{i(x,y,0)} \quad (3)$$

Çizelge 2. Tesis etki alanında uzun ve kısa vadeli sınır değerler ile kademeli azaltım tablosu.

Parametre	Süre	Sınır değer [µg/m³] Çöken toz [mg/m²-gün]	YIL 2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	2024 ve sonrası
Havada asılı partikül madde (PM 10)	KVS	100*	100	90	80	70	60	50	50
	UVS	60*	60	56	52	48	44	40	40
Çöken toz	KVS	390*	390	390	390	390	390	390	390
	UVS	210*	210	210	210	210	210	210	210

*Sınır değer 2024 yılı hedeflerine ulaşılana kadar yıllık eşit olarak azaltılacaktır.

Çizelge 3. Bir atımdaki delik sayısının 50 olduğu durumdaki çıktı parametreleri.

Bir atımdaki delik sayısı (adet)	50
Yıllık patlatma sayısı (adet)	33
Aylık patlatma sayısı (adet)	4,17
Patlatma sayısı (gün/ay)	6,24
Atımdaki malzeme miktarı (ton)	9 000
Atımdaki ANFO miktarı (kg)	2165
Delik içi elektriksiz kapsül sayısı (adet)	50
Yüzey gecikme kapsülü sayısı (adet)	50
Elektrikli kapsül sayısı (adet)	1
Özgül şarj (kg/m³)	0,58
Gecikme başına düşen p. miktarı (kg)	44
Atımda açığa toz miktarı (kg)	720
Çöken toz miktarı (kg)	576
Havada asılı kalan toz miktarı (kg)	144

Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarı, aşağıdaki eşitliğe göre de hesaplanabilmektedir (USEPA, 1998). Buna göre patlama sırasında açığa çıkan toz miktarı; patlatma alanı, patlatılacak malzemenin nem içeriği (%) ve delik uzunluğu ile ilişkilendirilmiştir Eşitlik 4).

$$EF=344\cdot A^{0,8}\cdot M^{-1,9}\cdot D^{-1,8} \quad (4)$$

Burada;
EF = Emisyon faktörü (kg/ton)
A = Patlatma alanı (m²)
M = Nem içeriği (%)
D = Patlatma deliğinin boyu (m)

Yukarıdaki eşitliğe göre 10 mikrondan küçük tozların (PM_{10}) miktarı, toplam toz miktarının 0,52 ile çarpılmasından elde edilmektedir.

Çizelge 4. Ülkemiz mevzuatına göre havada asılı kalan partikül dağılımı (µg/m³).

Yön/Mesafe	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	980 m
N	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
NNE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
NE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
ENE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
E	6986,77	2002,84	929,40	535,90	349,05	245,74	182,59	141,15	112,47	**95,43**
ESE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
SE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
SSE	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
S	6986,77	2002,84	929,40	535,90	349,05	245,74	182,59	141,15	112,47	**95,43**
SSW	6986,77	2002,84	929,40	535,90	349,05	245,74	182,59	141,15	112,47	**95,43**
SW	6986,77	2002,84	929,40	535,90	349,05	245,74	182,59	141,15	112,47	**95,43**

Çizelge 4 (devamı). Ülkemiz mevzuatına göre havada asılı kalan partikül dağılımı (µg/m³).

Yön/Mesafe	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	980 m
WSW	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
W	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
WNW	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
NW	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**
NNW	4658,53	1337,00	620,43	357,74	233,01	164,04	121,89	94,22	75,08	**63,70**

Çizelge 5. Ülkemiz mevzuatına göre çöken tozların dağılımı (µg/m³).

Yön/Mesafe	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	980 m
N	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
NNE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
NE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
ENE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
E	4673,34	1262,79	565,80	318,47	203,68	141,34	103,77	79,39	62,70	**52,86**
ESE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
SE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
SSE	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
S	4673,34	1262,79	565,80	318,47	203,68	141,34	103,77	79,39	62,70	**52,86**
SSW	4673,34	1262,79	565,80	318,47	203,68	141,34	103,77	79,39	62,70	**52,86**
SW	4673,34	1262,79	565,80	318,47	203,68	141,34	103,77	79,39	62,70	**52,86**
WSW	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
W	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
WNW	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
NW	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**
NNW	3197,21	881,39	399,48	226,65	145,84	101,69	74,96	57,54	45,58	**38,51**

Çevre Bakanlığının ilgili yönetmelik ve eklerine göre belirlenen maksimum delik sayısı ve patlatma paterni değiştirilmeden USEPA (1998) yaklaşımı ile tekrar toz modellemesi yapılmıştır. Buna göre bir atımdaki patlatma verileri ile havada asılı kalan toz ve çöken toz miktarları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. USEPA (1998) göre toz dağılımı.

Bir atımdaki delik sayısı (adet)	50
Delikler arası mesafe (m)	3,0
Dilim kalınlığı (m)	2,5
Basamak yüksekliği (m)	10
Delik boyu (m)	11
Patlatılacak malzemenin nem içeriği (%)	2,5
Atımda açığa toz miktarı (kg)	92,30
Çöken toz miktarı (kg)	44,40
Havada asılı kalan toz miktarı (kg)	48,00

Modele göre patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarına göre havada asılı kalan ve çöken toz partikül dağılımı sırasıyla Çizelgeler 7 ve 8'de verilmiştir. Ayrıca granit gibi sert kayaçların patlatmalarında toz emisyon oranının 0,16 lb/ton olduğu (Pedco, 1976), kömür madeni patlatmasında 49,8 lb/patlatma ve diğer madenlerin patlatmalarında toz emisyon oranının 0,001 – 0,16 lb/ton (OEP, 1983) olduğu belirtilmiştir. USEPA (1991) ile Richard and Brozell (2001) patlatmalardaki toz emisyon değerinin belirlenmesi için aşağıdaki denklemi önermiştir (Eşitlik 5).

$$E = 0{,}00022 \cdot A^{1,5} \quad (5)$$

Burada;

E = Toplam askıda partikül emisyon faktörü (kg/patlatma)

A = Patlatma alanı (m²)

$PM_{10} = 0{,}52 \cdot E$

Buna göre, bu modellemede patlatma alanı 375 m² olduğu için E = 1,59 ve PM_{10} = 0,82 kg/patlatma olarak bulunmuştur.

Patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının belirlenmesi için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardaki farklılıkların temel nedeni, patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarının, patlatılan malzemenin yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Dolayısıyla patlatma sırasında açığa çıkan

toz miktarlarını kesin olarak hesaplamak için ocak bazında çalışma yapılması gerekmektedir. Maden işletmeleri faaliyete geçmeden önce maden ile ilgili proje tanıtım dosyası (PTD) raporu hazırlamak zorunda olduğundan, patlatma kaynaklı emisyon hesapları için yukarıda belirtilen kabullerden yararlanılabilir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik eki ve USEPA (1998) tarafından patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının hesabında patlatma sonrası gevşetilen malzeme miktarı önemlidir. Bu değer sabit tutulup delik paterni ve delik sayısı değiştirilerek patlatma işlemi gerçekleştirilebilir. Toz dağılım modellemesinde havada asılı kalan toz miktarı, çöken toz miktarına göre daha önemlidir.

Çizelge 7. USEPA'ya göre havada asılı kalan partikül dağılımı (µg/m³).

Yön/Mesafe	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	**600 m**	700 m	800 m	900 m	**980 m**
N	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
NNE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
NE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
ENE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
E	2328,67	667,54	309,77	178,61	116,34	**81,90**	60,86	47,04	37,48	**31,81**
ESE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
SE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
SSE	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
S	2328,67	667,54	309,77	178,61	116,34	**81,90**	60,86	47,04	37,48	**31,81**
SSW	2328,67	667,54	309,77	178,61	116,34	**81,90**	60,86	47,04	37,48	**31,81**
SW	2328,67	667,54	309,77	178,61	116,34	**81,90**	60,86	47,04	37,48	**31,81**
WSW	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
W	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
WNW	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
NW	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**
NNW	1552,67	445,62	206,79	119,23	77,66	**54,68**	40,63	31,40	25,02	**21,23**

Çizelge 8. USEPA'ya göre çöken tozların dağılımı (µg/m³).

Yön/Mesafe	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m	800 m	900 m	**980 m**
N	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
NNE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
NE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
ENE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
E	359,45	97,13	43,52	24,49	15,67	10,87	7,98	6,11	4,82	**4,07**
ESE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
SE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
SSE	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
S	359,45	97,13	43,52	24,49	15,67	10,87	7,98	6,11	4,82	**4,07**
SSW	359,45	97,13	43,52	24,49	15,67	10,87	7,98	6,11	4,82	**4,07**
SW	359,45	97,13	43,52	24,49	15,67	10,87	7,98	6,11	4,82	**4,07**
WSW	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
W	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
WNW	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
NW	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**
NNW	245,91	67,79	30,73	17,43	11,22	7,82	5,77	4,43	3,51	**2,96**

3.3 Yer Sarsıntısı Modelleme

Patlatma sırasında oluşan yer sarsıntısı etkisini hafifletmenin en önemli yollarından birisi birim zamanda patlayabilecek patlayıcı madde miktarının düşürülmesi yani gecikme verilmesidir. Bunu sağlamanın en kolay yöntemi sınırsız gecikme verilen elektriksiz ateşleme sistemlerinin kullanılması, diğer etkili bir yöntem ise patlatma sırasında ateşlemenin en yakın yerleşim yerine yakın

noktadan başlatılmasıdır. Sıralar arasında uygun gecikmenin verilmesi de sarsıntının büyüklüğünü azaltacaktır. Yer sarsıntısı modellemesi için gecikme aralığında kullanılan patlayıcı madde miktarı ile kaya türüne bağlı olarak kaya katsayıları ile ilişkilendirilen görgül yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu görgül modellerden birisi Eşitlik 6'da sunulan Devine modelidir (Devine *et al*, 1966).

$$v = k\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1,6} \quad (6)$$

Burada;

ν = Kayaç içinde yayılan titreşim hızı (inç/s)
k = Kayaç türüne bağlı titreşim iletme kapasitesini gösteren katsayı (26–260)
D = Patlatma noktası ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili mesafe (ft)
W = Bir gecikme aralığındaki patlayıcı miktarı (lb)

Patlatma alanı ile yapı arasındaki birimlerin değişkenliği, kırık, fay, çatlak gibi süreksizliklerin yoğunluğu k katsayısını etkilemektedir. Homojen birimlerde katsayı 260'a yaklaşırken, tektonik etkilerin yoğunluğu ve geçilen her farklı birim katsayıyı 26'ya doğru azaltmaktadır. Modellemede patlatma yapılan ocaktaki birimlerin değişkenliği, fay, çatlak gibi süreksizlikler bilinmediği için k katsayısı, en olumsuz durumun değerlendirilebilmesi için 260 olarak alınmıştır. Devine *et al* (1966) yaklaşımına göre mesafeye bağlı titreşim değerleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Modelde karşılaştırma yapmak için kullanılan ikinci yaklaşım Richards and Moore (2002a) tarafından geliştirilen bağıntıdır (Eşitlik 7).

$$v = k\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1,6} \quad (7)$$

Burada;

ν = Kayaç içinde yayılan titreşim hızı (mm/s)
k = Kayaç türüne bağlı katsayı (500–5000)
D = Patlatma noktası ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili mesafe (m)
W = Bir gecikme aralığındaki patlayıcı miktarı (kg)

Richards and Moore (2002a) k sabitinin maden ve taş ocakları için 500, ortalama şartlarda serbest yüzeyler için 1140 ve hassas alanlardaki patlatmalarda 5000 olarak alınmasını önermişlerdir. Bir çevresel etki değerlendirmesi çalışmasında da aynı bağıntı kullanılmış ancak k sabiti sırasıyla, 1140 ve 3272 olarak alınmıştır (SLR, 2013). Bu çalışmada k sabiti, en olumsuz durum düşünülerek hassas alanlardaki patlatmalarda kullanılması önerilen 5000 değeri ile temsil edilmiştir. Yukarıdaki bağıntıya göre titreşim sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir. Kayaç içerisinde yayılan titreşim hızı (V), mesafe ve birim zamanda patlatılan patlayıcı madde ile ilişkilendirilmiştir.

Çizelge 9. Patlatma sonucu oluşan titreşim hızının mesafeye göre değişimi.

D	Devine *et al*, (1966)		Richards and Moore, (2002a)	
(m)	V (mm/s)	V_o (mm/s)	V (mm/s)	V_o (mm/s)
10	969,00	290,7	2608,56	782,57
20	319,65	95,9	860,51	258,15
50	73,79	22,14	198,63	59,59
60	55,12	16,53	148,37	44,51
70	43,07	12,92	115,94	34,78
80	34,78	10,44	93,64	28,09
90	28,81	8,64	77,56	23,27
100	24,34	7,30	65,52	19,66
200	8,03	2,41	21,61	6,48
270	**4,97**	**1,49**	**13,37**	**4,01**
430	**2,36**	**0,71**	**6,35**	**1,91**
500	**1,85**	**0,56**	**4,99**	**1,50**
600	1,38	0,42	3,73	1,12
700	1,08	0,32	2,91	0,87
800	0,87	0,26	2,35	0,71
980	**0,63**	**0,19**	**1,70**	**0,51**

Çizelge 9 incelendiğinde, Richards and Moore (2002a) tarafından önerilen kayaç içinde yayılan titreşim hızının (V) Devine *et al* (1966) yaklaşımına göre yaklaşık 2,7 kat daha yüksek değer ürettiği görülecektir. Bunun temel nedeni, yaklaşımlar arasında k katsayısındaki değişkenliktir. Bu modelleme çalışmasında çevresel risklerin en düşük seviyede tutulması için Richards and Moore (2002a) yaklaşımı uygulanmıştır.

Forssblad (1981) bina temelindeki titreşim hızının (V_o), kayaç içindeki titreşim hızının

%30 kadarı olduğunu öne sürmektedir. Yine, bina temelindeki titreşim hızı (V_o) değerlerine bağlı olarak patlatma nedeniyle hasar görebilecek bina türleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 10). Buna göre patlatma sahasına en yakın mesafedeki yapı, yıkılmaya yüz tutmuş eski binalar (köy) olduğu için patlatma hasar sınır mesafesi, Çizelge 9'dan yaklaşık 430 m olarak alınabilir.

Çizelge 10. Bina temeli titreşim hızı (V_o) değerlerine bağlı olarak patlatma nedeniyle hasar görebilecek bina türleri (Forssblad, 1981).

Bina türü	V_o (mm/s)
Yıkılmaya yüz tutmuş çok eski tarihi binalar	2
Sıvalı briket, kerpiç yığma tuğla evler	5
Betonarme binalar	10
Fabrika gibi çok sağlam yapıda endüstriyel binalar	10–40

Diğer taraftan 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VII altındaki Tablo 6'da maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama kaynaklı titreşimlerin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (ÇGDYY, Ek-1).

Titreşim frekansı (Hz)	İzin verilen en yüksek titreşim hızı (tepe değeri – mm/s)
1	5
4 – 10	19
30 – 100	50

Forssblad (1981) yaklaşımına göre titreşim etki mesafesi **430 m** civarında iken ÇGDYY, Ek-1 yaklaşımına göre bu mesafe **500 m** civarındadır (Bkz. Çizelge 10). Tasarımın emniyetli olması açısından ÇGDYY, Ek-1 yaklaşımı benimsenmiş ve **500 m**'lik mesafe, titreşim etkilenim mesafesi olarak kabul edilmiştir.

İnsanların yer sarsıntısını algılama derecesi Çizelge 12'de verilmiştir. Buna göre 980 m mesafedeki yapıdaki insanların yersarsıntısını hissedebildikleri görülmektedir.

Çizelge 12. İnsanların yer sarsıntısını algılama derecesi (Richard Heggie Associates, 2005).

Titreşim seviyesi (mm/s)	Algılama derecesi
0,10	Hissedilemez
0,15	Algılama başlangıcı
0,35	Güçlükle hissedilir
1,00	Hissedilir
2,20	Kolaylıkla hissedilir
6,00	Kuvvetli bir şekilde hissedilir
14,0	Çok kuvvetli bir şekilde hissedilir

3.4 Hava Şoku ve Gürültü Modelleme

Ocak faaliyetlerinde karşılaşılan önemli problemlerden biri de patlayıcı kullanımından dolayı meydana gelen hava şoklarıdır. Patlatma sonucu oluşan hava şoku aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır (Calzia, 1969; Richards and Moore, 2002). Calzia'ya (1969) göre etki zonları aşağıdaki gibi olup hesaplama sonuçları Çizelge 13'de verilmiştir. Buna göre hafif şiddette etki zonu en büyük değeri 99,49 m'dir.

Şiddetli etki zonu : $D < 5\sqrt{W}$
Orta şiddette etki zonu : $5\sqrt{W} < D < 10\sqrt{W}$
Hafif şiddette etki zonu : $10\sqrt{W} < D < 15\sqrt{W}$

Burada;
D = Etkili zon aralığı (m)
W = Bir gecikme aralığında kullanılan patlayıcı madde miktarı (kg)

Çizelge 13. Etki zonları (Calzia, 1969).

Atımdaki patlayıcı miktarı (kg)	44
Şiddetli etki zonu (m)	33,16
Orta şiddette etki zonu (m)	33,16 – 66,33
Hafif şiddette etki zonu (m)	66,33 – 99,49

Richards and Moore (2002a) hava şoku tahmini için aşağıdaki modeli geliştirmiştir (Eşitlik 8).

$$D_{115} = \left(\frac{Ka \cdot d}{SH} \right)^{2,5} \cdot \sqrt[3]{m} \quad (8)$$

Burada;
D_{115} = 115 dBA'daki mesafe (m)
d = delik çapı (mm)
m = Şarj miktarı (kg)
SH = Sıkılama boyu (mm)
Ka = sabit katsayı (değeri 150 alınabilir)

Yukarıdaki modellemeye göre 115 dBA'daki mesafe D_{115} = 229,8 m'dir. Patlatma sırasında ortaya çıkan gürültünün mesafeye ilişkisi ile ilgili birçok modelleme bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan gürültünün mesafe ve anlık şarj ile ilişkilendirildiği ve literatürde sıklıkla karşılaşılanlar aşağıda verilmiştir (Heiling, 2006 (Eşitlik 9); SLR, 2013 (Eşitlik 10); Zeeman, 2012 (Eşitlik 11).

$$dBl = 164 - 24 \cdot \log\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right) \quad (9)$$

$$SPL(50\%) = 164{,}4 - 24\left(\log(D) - \frac{\log(W)}{3} \right) \quad (10)$$

$$L = 165 - 24 \cdot \log_{10}\left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} \right) \quad (11)$$

Yukarıdaki üç eşitlik modelde denenmiş ve tümünün sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu nedenle hesaplamalarda Zeeman eşitliği esas alınmış olup sonuçlar aşağıdaki gibidir (Çizelge 14).

Patlatma sonucu kabul edilebilir gürültü seviyeleri Çizelgeler 15 ve 16'da verilmiştir. Buna göre ocak patlatmalarında ses ağrı sınır eşiği 120 dBA olarak kabul edilebilir. Buna göre mesafeye bağlı olarak gürültü hesaplandığında yaklaşık 270 m civarından sonra gürültü açısından herhangi bir olumsuz durum bulunmamaktadır (Çizelge 14). 980 m mesafedeki gürültü seviyesi (106,45 dBA) olup kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Çizelge 14. Mesafeye bağlı gürültü seviyeleri.

D (m)	W (kg)	Gürültü seviyesi (dBA)
10	44	154,02
20	44	146,82
50	44	137,27
60	44	135,37
70	44	133,76
80	44	132,37
90	44	131,14
100	44	130,04
200	44	122,82
270	**44**	119,69
400	**44**	115,59
500	44	113,27
600	44	111,37
700	44	109,76
800	44	108,37
980	44	106,25

Diğer taraftan Çizelge 17'de NIOSH'un (1998) gürültü seviyesine bağlı olarak önerdiği en yüksek maruziyet süreleri verilmiştir. Patlatma süresi oldukça kısa (<10 s) olduğundan ve 980 m mesafedeki yerleşim yerindeki gürültü seviyesi de 106,25 dBA olduğundan, Çizelge 17 gereğince patlatma kaynaklı gürültüye en uzun maruziyet süresi 1,5 dakikadan az olmalıdır. Modelleme ile bu kısıt sağlanmıştır.

Çizelge 15. Patlama ses şiddetinin sınıflandırması (Zeeman, 2012).

İnsan tepkisi ve yapısal kabul edilebilir sınıflandırma	Gürültü seviyesi (dBA)
Sorunsal	>134
Şikâyet	<130 – yaklaşık 120
Kabul Edilebilir	<120
Düşük	<115

Çizelge 16. Patlatmada hasar limitleri (Persson *et al*, 1994).

Tanımlama	Gürültü düzeyi (dBA)
Ses ağrısı eşiği	120
Geniş yüzeylerde (çatılar, tavanlar) rezonans etkisi, şikayet başlama sınırı	>130
Bazı pencereler kırılır	150
Çoğu pencere kırılır	170
Yapısal hasar	180

Çizelge 17. NIOSH'a (1998) göre gürültü seviyesine bağlı en yüksek maruziyet süreleri.

Gürültü seviyesi (dBA)	Gürültüye maruz kalınan süre (dakika/gün)
85	480
90	151
92	95
95	47,5
97	30
100	15
102	9,5
105	4,7
110	1,5
115	0,25
120	0,15

3.5 Taş Fırlaması Modellemesi

Patlatma sırasında savrulan taşlar kontrol edilmediğinde bazen 600 m'ye varan uzaklıklara kadar fırlayabildiği ve ölümle sonuçlanan kazalara neden olduğu bilinmektedir. Fırlayan taşlar çoğu zaman makine ve ekipmana hasar vermekte veya taş ocaklarında çalışan işçiler için yaralanma ve ölüm ile sonuçlanan kazalara yol açmaktadır. Bu nedenle patlatma sırasında fırlayan taş kontrolünün yapılması gerekmektedir. Taş savrulma mesafesinin hesaplanması ile ilgili birçok görgül formül geliştirilmiştir (Lundborg, 1973, 1981; Lundborg *et al*, 1975; Richards and Moore, 2004). Lundborg yaklaşımı Eşitlikler 12a ve 12b'de, Richards and Moore yaklaşımı ise Eşitlikler 13a ve 13b'de verilmiştir, Patlatma sonucu her üç yaklaşım için güvenlik açısından maksimum taş fırlama mesafeleri aşağıdaki gibidir.

$$L_{max} = 260 \cdot d^{2/3} \quad (12a)$$

$$L_{max} = 143 \cdot d \cdot (q - 0{,}2) \quad (12b)$$

$$\Phi = 0{,}1 \cdot d^{2/3}$$

Burada;
L_{max} = Maksimum taş savrulma mesafesi (m)
d = Delik çapı (inç)
q = Özgül şarj (kg/m³)
Φ = Savrulan taş parçalarının boyutu (m)

Modellemede delik çapı 3,5 inç ve özgül şarj 0,58 kg/ton olduğu için yukarıdaki eşitliklere göre maksimum taş savrulma mesafeleri;

L_{max} = **594 m** (12a)
L_{max} = **190,2 m** (12b)
Φ = **0,22 m**
olarak bulunur.

$$L = \frac{k^2}{g}\left(\frac{\sqrt{m}}{SH}\right)^{2,6} Sin2\theta \quad (13a)$$

$$L_{max} = \frac{k^2}{2g}\left(\frac{\sqrt{m}}{SH}\right)^{2,6} Sin^2\theta \quad (13b)$$

Burada;
L = Taş savrulma mesafesi (m)
L_{max} = Maksimum yükseklik (m)
θ = Delik açısı (°)
m = Şarj miktarı (kg/m)
SH = Sıkılama yüksekliği (m)
g = Yerçekimi ivmesi
k = Sabit sayı

Richards and Moore'a (2004) göre k sabiti yumuşak kayaçlarda (kömür vb.) 13,5 iken sert kayaçlarda (granit, bazalt vb.) 27'dir. Buna göre k katsayısı 27, delik eğim açısı 78°, şarj miktarı 5,09 kg ve sıkılama 2,5 m olduğu durumda taş savrulma mesafesi L = 23,16 m ve L_{max} = 27,24 m'dir. Bu yaklaşıma göre emniyet katsayısı tesis ve ekipmanlar için 2, çalışanlar için 4 olarak alınmalıdır. Böylece taş savrulma mesafesi çalışanlar için 4 emniyet katsayısı alınarak

23,16 × 4 = 92,64 m olarak bulunur. Diğer taraftan taş savrulma mesafesinin maksimum olması durumunda taş fırlatma açısının 45° olması gerekmektedir. Bu durumda insanlar için emniyet mesafesi de dikkate alınarak taş savrulma mesafesi L = 227,85 m olarak bulunur. Dolayısıyla emniyet mesafesi bu yaklaşıma göre en az **227,85 m** olmalıdır. Yukarıdaki üç farklı yaklaşım göz önüne alındığında emniyet mesafesi 227,85 m ile 594 m arasında tutulmalıdır.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Patlatmanın çevresel etkilerinin ön değerlendirme yöntemi ile modellendiği bu çalışmada, Sivas ilindeki bir maden işletmesinin daha önce hazırladığı işletme projesindeki patlatma parametresi değerleri çevresel faktörler dikkate alınarak değiştirilmiş ve çevre mevzuatı ile uyumlu hale getirilmiştir. Modelleme sonuçları aşağıdaki gibidir:

a) Yapılan modellemede patlatma kaynaklı çevresel faktörler (toz, hava şoku, titreşim ve taş fırlaması) değerlendirilmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik ve eklerine göre en önemli çevresel faktör havada asılı toz yayılımıdır.

b) Yapılan toz modellemesi ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmeliklerindeki toz sınır değerlerine göre patlatma paterni değiştirilmeden, bir atımdaki delik sayısının maksimum **50 adet** olacağı bulunmuş olup patlatma kaynaklı çevresel faktörler bu değer üzerinden modellenmiştir.

c) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik sınır değerlerine ilaveten dünyada genel anlamda kabul gören USEPA (1998) yaklaşımına göre patlatma sonrası havada asılı kalan ve çöken toz miktarı hesaplanmıştır. Bu işletmede Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik ekine göre patlatma sırasında açığa çıkan toz miktarı (50 adet delik için) **720 kg** iken USEPA'ya (1998) göre bu miktar **92,30 kg** olarak bulunmuştur. Patlatma paterni değiştirilmeden açığa çıkan toz miktarı arasında yaklaşık **7, 5 kat** farklılık bulunmaktadır. Bu farklılığın temel sebebi patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarı (kg) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik ekine göre sabit (0,08 kg/ton) alınırken, USEPA'ya (1998) göre bu değer; patlatma alanı, patlatılacak malzemenin nem içeriği ve delik boyuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. USEPA'ya (1998) göre bir maden işletmesinde patlatma sonrası açığa çıkan toz miktarının düşük olması, patlatılan malzemenin nem içeriğinin yüksek ve patlatma yapılan delik boyunun uzun olmasına bağlıdır.

d) USEPA'ya (1998) göre patlatma sırasında açığa çıkan toz partikül miktarı (havada asılı kalan ve çöken), Bakanlığının ilgili yönetmelik ekindeki değere göre daha düşük olduğu için 980 m uzaktaki yapıdaki emisyon oranı da daha düşük olacaktır.

e) USEPA'ya (1998) göre patlatma sonrası havada asılı kalan toz partikül dağılım mesafesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmeliğindeki sınır değere göre yaklaşık **600 m'**dir.

f) Patlatma sonrası oluşan yer sarsıntısı farklı yaklaşımlar göz önüne alınarak modellenmiş ve tasarım, en yüksek yer sarsıntısı değeri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Forssblad (1981) yaklaşımına göre en büyük etki mesafesi **430 m** iken, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili yönetmelik ekine göre bu değer **500 m** olarak hesaplanmıştır.

g) Hava şoku ve gürültü etkileri de farklı yaklaşımlar dikkate alınarak modellenmiştir. Calzia'ya (1969) göre hafif şiddetli etki zonu **99,49 m** olarak bulunurken, Richards and Moore'a (2002) göre D_{115} = **229,8 m**

bulunmuştur. Farklı araştırmacılar tarafından kabul gören patlatma anlık eşik değeri olan 120 dBA esas alındığında etki mesafesi en yüksek değer olan **270 m** kabul edilebilir.

h) Patlatma sırasında en büyük taş savrulma mesafesi Lundborg (1973, 1981) yaklaşımına göre **594 m**, Richards and Moore (2004) yaklaşımına göre ise **227,85 m** olarak hesaplanmıştır.

Patlatma kaynaklı çevresel etkilerle ilgili farklı araştırmacıların geliştirdikleri yaklaşımlar ile maden işletmesi çalışmaya başlamadan patlatma kaynaklı çevresel faktörler dikkate alınarak projelendirme yapıldığında, işletme çalışmaya başladıktan sonra oluşabilecek çevresel riskler ve şikâyetlerin ciddiyet düzeyi azaltılabilir. Çevresel etki unsurlarının işletme sırasında izlenmesi ve Yönetmeliklerde verilmiş olan güncel sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda proje revizyonuna da gereksinim duyulmayabilir.

Diğer yandan, en uygun patlatma koşullarının belirlenebilmesi için ocakta üretim patlatmalarının yapılmaya başlamasını takiben bunların izlenmesi (en az 30 adet) ve titreşim kayıtlarının tekrar alınarak, Ülkemiz standartlarına göre değerlendirilmesi gereklidir. Böylece patlatma kaynaklı gerçek çevresel ve yapısal hasarların ilgili mevzuatta izin verilen sınırların altına indirgenebildiği bir patlatma uygulamasına geçilebilir.

KAYNAKLAR

Berta, G, 1990, Explosives: an engineering tool, Italesplosivi, Milano, Italy,

Bilgin, HA, Esen, S, Kılıç, M, 1999. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının binalar üzerindeki etkisi ve büyütme faktörünün önemi, *16, Madencilik Kongresi bildiriler kitabı*, 25-32, Ankara.

Calzia, J, 1969. *Les substances explosives et leurs nuisances*, Dunod, 344 pp, Paris.

Cora, MG, Hung, YT, 2003. Air dispersion modelling: a tool for environmental evaluation and improvement, *Environmental Quality Management*, Spring, 75-86 (DOI: 10,1002/tqem,10075).

Çebi, MA, 2007. *SLİ'de yapay süreksizliklerin patlatma kaynaklı yer sarsıntılarına etkilerinin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 45 s.

Değerli, E, Ünver, B, 2002. Açık ocaklarda toz dağılımının bir bilgisayar yazılımı ile değerlendirilmesi, *Madencilik*, Cilt 41, Sayı 3, 3-17.

Demirci, E, 1998. *Samsun'da hava kirliliğinin matematiksel modellerle incelenmesi ve modellerin karşılaştırılması*, Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

Devine, JF, Beck, RH, Meyer, AVC, Duvall, WI, 1966. *Effect of charge weight on vibration levels from quarry blasting*, United States Bureau of Mines Report of Investigations 6774.

Dowding, CH, 1985. *Blast vibration monitoring and control*, Prentice-Hall, 297 pp.

Duvall WI, Fogelson DE, 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*, United States Bureau of Mines Report of Investigations 5968.

Erkoç, ÖY, Esen, S, 1998. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının ölçülmesi ve sarsıntı ölçer cihaz çıktılarının değerlendirilmesi, *3, Delme ve Patlatma Sempozyumu Bildiriler kitabı*, s,139-147, Ankara.

Forssblad, L, 1981. *Vibratory soil and rock fill compaction*, Dynapac Maskin AB, Stockholm, 175 pp.

Guerin, F, 2011. *Drilling and blasting design and related regulatory considerations*, Kiggavik project environmental impact statement, Tier 3 Technical Appendix 2B.

Güllü, G, 2001. *ÇED çalışmalarında hava kalitesi modellemesi, eğitim seminerleri-1*, Çevre Mühendisliğinde Bilişim Teknolojileri, Çevre Mühendisleri Odası, Ankara.

Heiling, JH, 2006. *Overpressure restrictions: review and implication on blast design, a report to the Hong Kong Construction Association*, Heiling and Partners Pty, Ltd.

Hüdaverdi, T, Kuzu, C, 2005. "Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi ve Analizi" Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara.

Kalafatoğlu, E, Tırıs, M, Örs, N, Gözmen, T, Erencek, E, Şirek, A, 1995. *SPU 04-hava modellemesi ve hava kalitesi modellemesi kurs notları*, Çimento ve Toprak Sanayi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Langefors, U, Kihlstrom, B, Westerberg, H, 1978. Ground vibrations in blasting, Water Power, Part I-III.

Lundborg, N, 1973. The calculation of maximum throw during blasting, SveDeFo Rep DS 1973:4.

Lundborg, N, Persson, A, Ladegaard-Pedersen, A, Holmberg, R, 1975. *Keeping the lid on flyrock in open-pit blasting*, Eng Mining J, 176, pp, 95–100.

Lundborg, N, 1981. The probability of flyrock, Sve De Fo Report, DS 1981.

NIOSH, 1998. *Criteria for a recommended standard; occupational noise exposure*, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Publication No, 98-126, Cincinnati, Ohio.

OEP, 1983. *Supplement no. 1 - reasonably available control measures for fugitive dust sources*, Ohio Environmental Protection Agency Division of Air Pollution Control Engineering Section, Ohio, USA.

Pedco, 1976. *Evaluation of fugitive dust emissions from mining task 1 - report identification of fugitive dust sources associated with mining*, Pedco Environmental.

Persson, PA, Holmberg, R, Lee, J, 1994. *Rock blasting and explosives engineering*, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Richards, J, Brozell, T, 2001. *Compilation of National Stone, Sand and Gravel Association sponsored emission factor and air quality studies 1991–2001*, Arlington, Virginia: National Stone, Sand and Gravel Association.

Richards, AB, Moore, AJ, 2002a. Fly rock control – by chance or design, *Proceedings ISEE Conference*, New Orleans.

Richards, AB, Moore, AJ, 2002b. Airblast design concepts in open pit mines, *Proceedings 7th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 7)*, China Society of Engineering Blasting and Chinese Society of Mechanics Beijing, China.

Richards, AB, Moore, AJ, 2004. Flyrock control – by chance or design, *Proceedings 30th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, The International Society of Explosives Engineers, New Orleans, Louisiana, USA.

Richards, AB, Moore, AJ, 2005. *Blast vibration course, measurement-assesment-control*, Terrock Consulting Engineering**,** Australia.

Richards, AB, Moore, AJ, 2014. *Blasting assessment*, The Big Hill enhanced development project, Crocodile Gold Corporation, Australia.

Richard Heggie Associates, 2005. *North South Bypass tunnel environmental impact statement working paper No,8, construction noise and vibration*, SKM Connel Wagner Joint Venture, Australia.

SLR, 2013. *Appendix E: noise and blasting impact assessment* – Cowal gold mine extension modification, SLR Consulting Australia Pty Ltd.

Turanoğlu, N, 2000, *Hava kirliliği meteorolojisi dersi*, ISCLT-3 Hava Kirliliği Modellemesi Çalışmaları, Yüksek lisans programı, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

USEPA, 1991. *Review of Surface Coal Mining Emissions Factors*, U,S, Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina.

USEPA, 1998. *Compilation of air pollutant emision factors*, AP-42, Fourth Edition, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, 27711.

Yücel, HL, 2008, *Konya çimento fabrikası kireçtaşı ocağındaki patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Zeeman, JD, 2012. *Blast management and consulting report: environmental impact assessment: ground vibration and air blast study*, Lodestone magnetite mine project, Colin Christian & Associates CC.

TOZ MODELİNDE KULLANILAN SİMGELER

x, y, z : Tepe noktasındaki kartezyen koordinatlar (x: yayılma yönünde ve bu yayılma yönüne dik durumlarda y: yatay, z:dikey)

C(x,y,z) : Tepe noktasında herhangi bir yayılma durumu için hava kirlenmesine katkı değeri (HKD) (mg/m³ konsantrasyon biriminde)

(ζ) : x yönünde integrasyon değişkeni

z : Tepe noktasının zeminden yüksekliği (m)

Q : Emisyon kaynağından çıkan emisyonların kütlesel debisi

U_h : Rüzgâr hızı (m/s)

V_{di} : Tane büyüklüğü dağılımı (m/s), ilgili yönetmeliğe göre tane dağılımı belli olmadığı için değer 0,07 m/s alınmıştır.

σ_y, σ_z : Yatay ve dikey yayılma parametreleri (m)

$\sigma_y = F, X^f$

$\sigma_z = G, X^g$

(F ve G katsayıları ile f ve g üstel değerleri 02.11.1986 tarih 19269 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Hava Kirliliği Yönetmeliği"ndeki eşitlikler kullanılmıştır.)

KVS : Kısa Vadeli Sınır Değerleri

UVS : Uzun Vadeli Sınır Değerleri

Açık ve Kapalı Mod TBM'lerin Performans karşılaştırması: Üsküdar-Ümraniye- Çekmeköy Metrosu Örneği

Performance Comparison of Open and Close Mode TBM's: The Case of Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro

İ. Ocak, H. Eker, R. Aslan, S. Martinoğlu
İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

M. Namlı
İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Raylı Sistemler Daire Başkanlığı; İstanbul

A. Pekin
Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Balıkesir

ÖZET Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro projesi, toplam 20 km uzunluğunda ana hat tünelleri ve 16 adet istasyonu olan bir projedir. Proje Mart 2012 tarihinde başlamış olup yapımı devam etmektedir. Proje sahibi İstanbul Büyükşehir Belediyesi olup yüklenici Doğuş İnşaat ve Ticaret AŞ'dir. Ana hat tünelleri 4 adet TBM ile kazılmaktadır.

Bu çalışmada, Çarşı-Ümraniye istasyonları arasındaki Hat 1 ve Hat 2 tünellerinde açık ve kapalı modda çalışan TBM'lerin performansı incelenmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca TBM'lerde yaşanan sorunlar sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık mod, kapalı mod, TBM

ABSTRACT Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro Project has total 20 km long main line tunnel and is a project with 16 stations. The project started on March 2012 and is still under construction. The project owner is Istanbul Metropolitan Municipality and contractor is Dogus Construction Corporation. Mainline tunnels have been excavated with 4 TBM.

In this study, the performance of the TBMs were examined and compared with each other running in the open and closed modes on line 1 and line 2 between Çarşı-Ümraniye stations. It is also classified the problems experienced in the TBMs.

Keywords: Open mode, close mode, TBM

1 GİRİŞ

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe metro hattı toplamda yaklaşık 20 km uzunluğundadır ve Üsküdar - Çekmeköy istasyonları arasında yer alan ana hat tünelleri delme-patlatma, NATM (New Australian tunneling method) ve TBM (tunnel boring machine) ile açılmaktadır. Proje kapsamında 16 adet istasyon ve 2,7 km uzunluğunda depo sahası bağlantı tünelleri de bulunmaktadır.

Projede yer alan tüm istasyonların peron tünelleri ve makas tünelleri NATM yöntemi ile kazılmaktadır.

Ana hat tünelleri kazısı dört adet Herrenknecht marka TBM ile yapılmaktadır (İBB, 2014). Çizelge 1'de kullanılan TBM'lerin özellikleri verilmiştir.

Bu çalışmada Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro projesinin, Çarşı-Ümraniye istasyonları arasındaki hat 1 ve hat 2 olarak adlandırılan iki hatta biri açık modda diğeri kapalı modda yapılan TBM kazıları

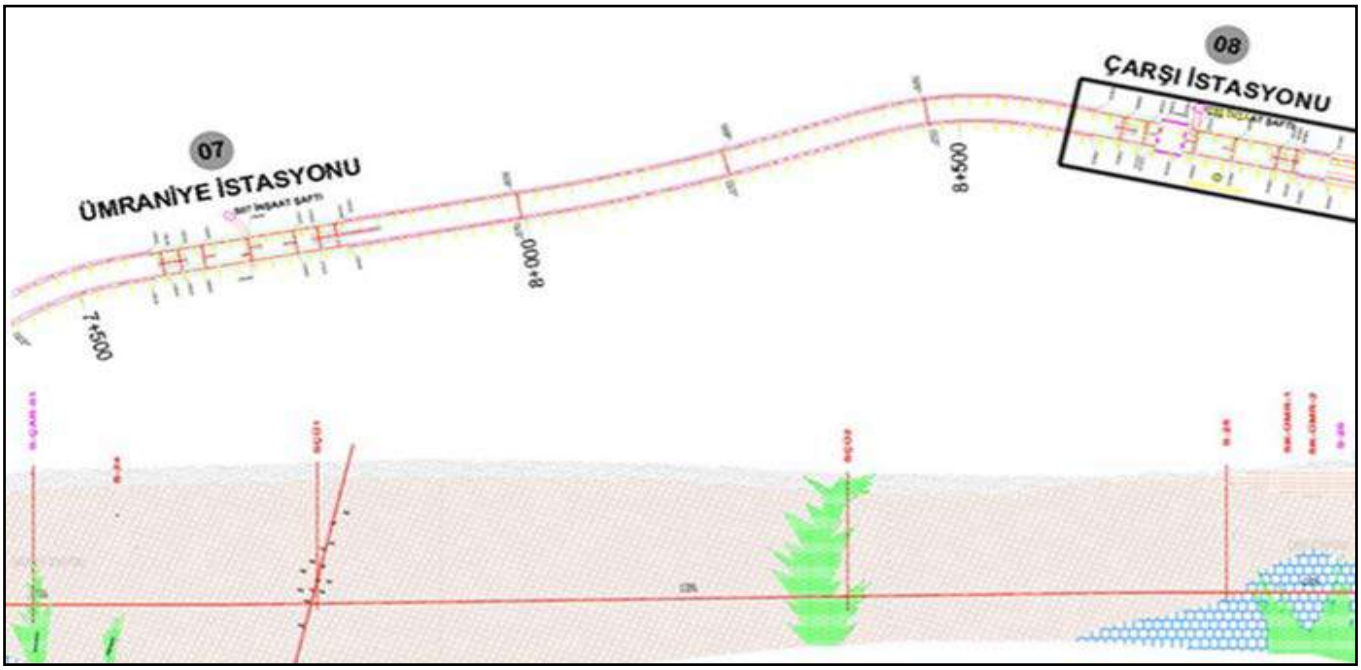
incelenmiş ve kazılar sırasında TBM'in gösterdiği performans incelenmiştir.

Çizelge 1. TBM'lerin özellikleri (Aslan, 2014).

Özellik	Değer
Makine tipi	EPB + sert kaya
Monte edilen güç	2150 kW
Çalışma basıncı	4 Bar
Delme çapı	6570 mm
Kesici Diskler (1'li)	26 Adet
Kesici Diskler (2'li)	6 Adet
Kesme bıçağı	72 Adet
Taraklar	8 Adet
Kesici Kafa gücü	1280 kW
Devir sayısı	0 - 5,33 dk
Tork (nominal)	3663 kNm
Tork (aşırı yük)	5018 kNm
İtme gücü	42575 kN

Çarşı-Ümraniye istasyonları arasındaki formasyon Gözdağı formasyonudur. Bu formasyon, laminalı şeyller ile onların üzerinde yer alan kuvarsit mercekli şeyllerden oluşmaktadır. Formasyon grimsi yeşil, boz ve kahve renklerinde, inceden kalına doğru değişen tabaka, silisli ve mikalı şeyl ve grovaklardan oluşmuştur (Kurtuluş vd., 2008). Ancak formasyonda düzensiz aralıklarla diyabaz ve andezit dayklarına da rastlanılmaktadır. Kazılar sırasında bu sokulumlar büyük zorluklara da sebep olmaktadır. Şekil 1'de kullanılan TBM ve Şekil 2'de Çarşı - Ümraniye istasyonları arasındaki jeolojik profil gösterilmiştir.

Şekil 1. Kullanılan EPB makine (Aslan, 2014).



Şekil 2. Çarşı - Ümraniye istasyonları arasındaki jeolojik profil.

2 TBM PERFORMANS ANALİZLERİ

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesi kapsamında, S07 (Ümraniye) ve S08 (Çarşı) şaftları arasında yapılan kazının bir aylık performans verileri değerlendirilmiştir. İki şaftın arasında TBM ler hat-1'de kapalı mod ve hat-2'de açık modda kazı yapmışlardır. Çizelge 2'de bu iki TBM'in çalıştığı alanın kaya mekaniği özellikleri verilmiştir.

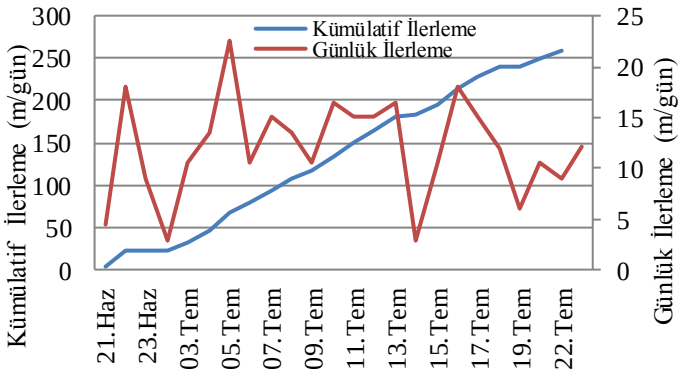
Çizelge 2. İncelenen alanın kayaç özellikleri (Aslan, 2014).

Özellik	Ortalama
Kaya kalite değeri, RQD (%)	36,03
Kaya kütle oranı, RMR	43,2
Jeolojik dayanım indeksi, GSI	36
İçsel sürtünme açısı, φ (^{o})	52,58
Kohezyon, c (kPa)	2690
Tek eksenli basınç dayanımı, σ_c (MPa)	28,09
Elastisite modülü, E_k (MPa)	25288,7
Poisson oranı, v	0,30
Permeabilite, p (m/s)	1,47E-06
Doğal birim hacim ağırlık, ɣ (kN/m^3)	26,02
Porozite, n (%)	5,99

2.1 Kapalı Mod Performans Analizi

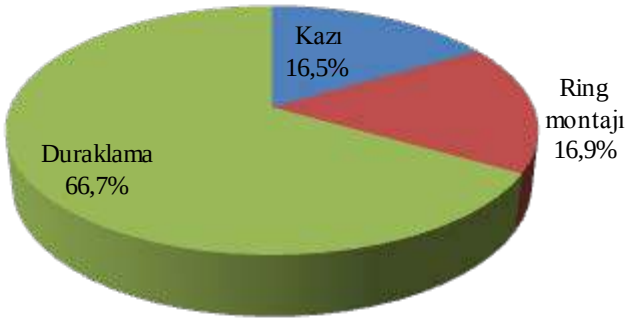
Ümraniye – Çarşı istasyonları arasındaki hat 1'in kazısı kapalı modda çalışan bir EPBM (earth pressure balance machine) TBM ile gerçekleştirilmiştir. 21 Haziran 2013 ile 22 Temmuz 2013 tarihleri arasındaki EPBM verileri incelendiğinde; toplam 185 adet ring döşendiği, günde ortalama 12,07 metre ve toplamda 277,5 metre ilerleme yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada günlük ilerleme ve kümülatif ilerleme miktarları ortaya konulmuştur. En hızlı ilerlemesi 5 Temmuz'da 22,5 metredir ki bu 15 ringe tekabül etmektedir. Şekil 3'de TBM'in aylık yaptığı ilerleme, günlük ve kümülatif olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Hat 1 TBM İlerlemesi.

Toplam performansa bakıldığında, TBM zamanının %16,5'ini kazıya, %16,9'unu ring montajına harcar iken duraklamalar %66,7 zaman almıştır (Şekil 4). Grafikten de anlaşıldığı üzere TBM normalden fazla duraklamıştır. Bunun sebebi yaşanan ve günlerce süren arızalardır. Ayrıca bakım çalışmaları da bunda etkili olmuştur.



Şekil 4. Hat 1 performans dağılımı Martinoğlu, 2014).

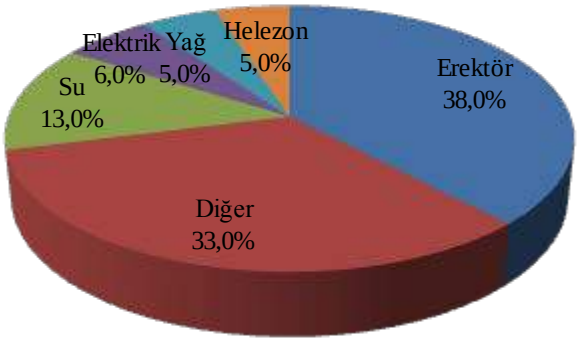
Meydana gelen arızalardan ve bakım çalışmaları sonucu EPBM'de zaman zaman durmalar meydana geldiği görülmüştür. Gerçekleşen bu arızalar ilerlemeyi olumsuz yönde etkilemiştir. EPBM'de aşağıdaki arızalar meydana gelmiştir;

-Erektör arızası,
-Soğutma suyu arızası,
-Kesici kafa güç nakli arızası,
-Harç enjeksiyonu arızası,
-Konveyör bandı arızası,
-Su boşaltma arızası,
-Yağ deposu arızası,
-Makine bandı arızası,
-Kumanda paneli arızası,

-Helezon konveyör arızası,
-Kuyruk kalkanı yağ pompası arızası,
-Yağ takibi conta arızası,
-Yağ sızma arızası.

EPBM'in en az ilerlemesi 26 Haziran ve 14 Temmuz günlerinde olmuştur ve 3 metredir. Bu da 2 ring anlamına gelmektedir. 26 Haziran'da en az ilerleme 105 saatlik erektör arızasından kaynaklanmıştır. Özellikle 23 Haziran, 26 Haziran ve 14–18-19 Temmuz günlerinde durmalar saatlerle ifade edilmektedir. 23 Haziran'da yaşanan duraklama, 23 saatlik bir erektör arızasından kaynaklanmıştır (Martinoğlu, 2014).

Arızaların dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir. En büyük oran %38 ile erektör arızasıdır. Bunu takip eden oranlar ise %33 diğer arızalar, %13 ile su arızası, %6 elektrik arızası, %5 yağ arızası ve %5 helezon arızasıdır (Martinoğlu, 2014).

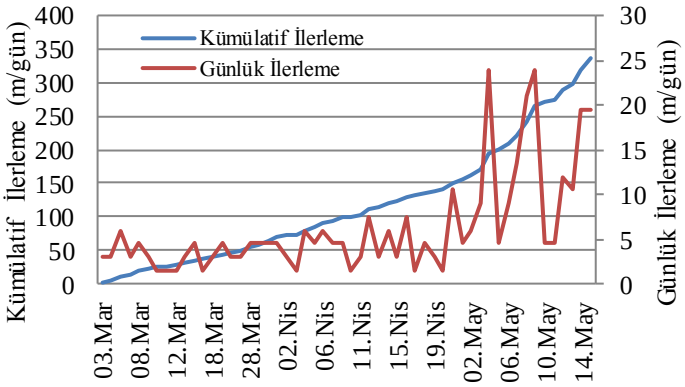


Şekil 5. Hat 1 arıza dağılımı (Martinoğlu, 2014).

2.2 Açık Mod Performans Analizi

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro projesinin Çarşı ve Ümraniye istasyonları arasındaki hat 2'de kazı yapmış olan ve açık modda çalışmış olan TBM'in günlük çalışma raporlarından yararlanılarak aylık performans analizi yapılmıştır. 3 Mart 2014 ile 15 Mayıs 2014 tarihleri arasında TBM'den alınan veriler incelendiğinde, toplam 224 adet ring döşendiği, bir günde ortalama 6,22 metre ve toplamda 336 metre ilerleme yapıldığı görülmüştür.

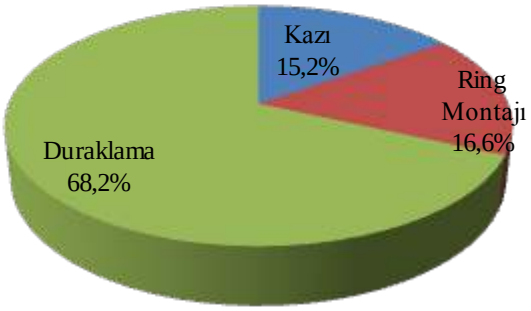
Çarşı-Ümraniye durakları arasında hat 2'deki TBM'in günlük ve kümülatif kazı miktarları Şekil 6'da görülmektedir. TBM en yüksek kazı hızına 4 Mayısta 24 m kazı yaparak ulaşılmıştır, en düşük ilerleme miktarını ise 1,5 metredir.



Şekil 6. Hat 2 TBM ilerlemesi.

Şekil 6'daki kümülatif ilerleme grafiğinde yatay çizgiler arıza ve bakım nedeniyle kazı yapılamamasını göstermektedir. Toplamda 72 günlük çalışma süresinde 18 gün arızadan ötürü duraklamalar yaşanmıştır. TBM'de gerçekleşen bu arızalar ilerlemeyi olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca formasyondaki su geliri yüzünden duraklamalar yaşanmış ve arızaların bir kısmı su boşaltma nedeniyle gerçekleşmiştir.

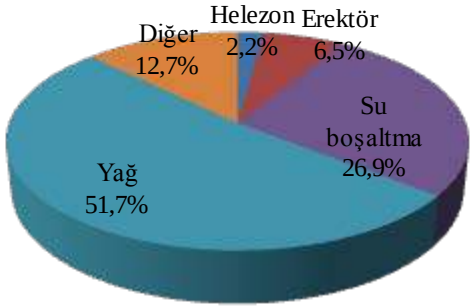
Şekil 7'de TBM'in hat 2'deki performans dağılımı gösterilmiştir. Kazı sırasında TBM toplam sürenin %15,2'sini kazı, %16,5'ini ring montajı, %68,2'sini duraklamada geçirmiştir.



Şekil 7. Hat 2 performans dağılımı (Aslan, 2014).

Toplam arızalarda en büyük oran %51,7 ile yağ arızasıdır. Bunu takip eden oranlar ise

%26,9 ile su boşaltma arızası, %12,7 ile diğer arızalar, % 6,5'ini eraktör arızası ve % 2,2 ile helozon konveyör arızasıdır (Şekil 7) (Aslan, 2014). Bu hatta fazlaca su geliri olduğu için ve TBM de bu hatta açık modda çalıştığı için makine içerisine fazla miktarda su gelmiş ve bu durum grafikte su boşaltma arızası olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. Hat 2 arıza dağılımı (Aslan, 2014).

3 SONUÇLAR

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Projesi Çarşı-Ümraniye istasyonları arasında yapılan çalışmalarda, hat 1 (kapalı mod) ve hat 2'de (açık mod) kazı performansları analiz edilmiş ve birbiriyle mukayese edilmiştir.

TBM hat 1 kısmında toplam sürenin %16,5'ini kazıya, %16,9'unu ring montajına harcar iken duraklamalar %66,7 zaman almıştır. Hat 2 kısmında ise toplam sürenin %15,2'sini kazı, %16,5'ini ring montajı ve %68,2'sini duraklamalar almıştır.

Günlük ortalama ilerlemelerde hat 1'de kapalı modda ortalama 12,07 metre ilerleme sağlanır iken, hat 2'de açık modda günde ortalama 6,22 metre kazı yapılabilmiştir. Bunun en önemli sebebi de kazı sulu bir ortamda yapıldığı için ve açık modda arında basınç olmadığı için makine içine fazla miktarda su geldiği, bunun ise yağ arızasının (sırasıyla %51,7 ve %5) ve su boşaltma arızasının (sırasıyla %26,9 ve %13) açık modda çok fazla olmasına sebep vermesidir.

Sonuç olarak yüksek bir kazı performansı elde edebilmek için çalışılacak bölgenin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini bilmek ve bu özelliklere uygun TBM kullanmak çok önemlidir. Ancak bu çalışmada ortaya çıkmıştır ki aynı tip makinenin açık veya kapalı modda çalışması da performansı fazlasıyla etkilemektedir.

Aynı su geliri olan aynı bir formasyonda çalışan aynı tip iki makineden kapalı modda çalışanın kazı hızı açık modda çalışanın kazı hızının iki katı olmuştur. Bunun en önemli sebebi de açık modda TBM içine gelen suyun fazlaca arızalara ve su tahliyesi için zaman kaybına sebep olmasıdır.

KAYNAKLAR

Aslan, R., 2014, *Açık Modda Çalışan Bir TBM'de, Aylık Performans Analizinin Yapılması*, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi.

İBB, 2014, *Üsküdar-Ümraniye- Çekmeköy-Sancaktepe Metrosu Genel Bilgiler*, http://www.uskudarumraniyecekmekoymetrosu.com/ana-sayfa.aspx, (Ziyaret Tarihi:09.12.2014)

Kurtuluş C., Bozkurt A., Demirci C. H., 2008, *Tuzla (İstanbul) İlçesi'nde Jeolojik, Jeofizik Ve Jeoteknik Yöntemler İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi*, Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2, Ekim-Kasım 2008, s. 10-30, http://yerbilim.kocaeli.edu.tr/ekim_kasim_2008/UYBekim-kasim_10_30.pdf (Ziyaret Tarihi:29.05.2014)

Martinoğlu, S., 2014, *Kapalı Modda Çalışan Bir TBM'de Aylık Performans Analizinin Yapılması,* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi.

Küre Yeraltı Projesi, Mekanize Kuyu Açma Uygulamalarında Raise Boring Operasyonları

Kure Underground Project, Raise Boring Operations in Mechanized Shaft Sinking Applications

F. Yazar
Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi, Maden Jeoloğu, Kastamonu

S. Ö. Koç
Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi, Planlama ve Teknik Ofis Şefi, Kastamonu

K. Küçükateş
Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi, Proje ve Maden Müdürü, Kastamonu

ÖZET Küre Yeraltı Bakır Madeninde, projelendirme çalışmalarının derinleşerek devam etmesi nedeniyle, havalandırma ve cevher nakil kuyularının sağlıklı açılması büyük önem kazanmıştır. Kuyuların inşa edilmesinde kullanılacak kazı yöntemi belirlenirken, iş emniyeti, kuyu maliyetleri, zaman faktörü ve çalışma kolaylığı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Bu nedenle, Dünyadaki benzer madenlerinde her amaca yönelik şaft kazılarında yaygın olarak kullandığı Raise Boring sistemi tercih edilmektedir.

RBM tamamen sondaj mantığına dayalı rotasyon hareketi ile kazı yapar. Sadece tek bir operatör ve işçi ile çalıştırılır. Çok daha hızlı ve güvenli şekilde, kazı yüzeylerini örselemeden kuyular inşa etmektedir. Çalışma başlamadan önce, kuyu bölgesinin havalandırma, aydınlatma ve lojistik gibi ortam koşulları iyileştirilir. Bu sayede çalışan personel için tozdan, gürültüden ve insan hayatını riske edebilecek etmenlerden uzak, konforlu bir çalışma alanı hazırlanmış olur. Ayrıca iş verimliliği anlamında maksimum fayda sağlanmış olmaktadır. Klasik yöntemler ile kazı işlemlerinde ise bu sağlanamamaktadır. Özellikle çevreye olan etkilerinin ve kaya titreşimlerinin çok az olması, Raise Boring sisteminin tercih edilme nedenlerini güçlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eti Bakır, Küre Projesi, Raise Boring, RBM, Mekanize Kuyu Açma

ABSTRACT Due to the rapid development of Kure Underground Copper Mine, several point gained importance such as opening new ventilation shafts and ore passes more safely. In determine the excavation method, the operation safety, cost of a shaft opening, duration of the operation process and convenience of the operation hava all been taken into account. Resultantly, the RBM being used World widely in similar purposes, has been chosen.

The RBM works on the same principle of as a core drill machine, which is the rotation. A single operator and an assistant can control. Among the advantages of the RBM operations are safety, speedy, less-vibration, silence and less dust. Prior to a RBM operation, ventilation and illumination of the working are a improved, providing better working condition for miner. Compared to conventional excavation methods, the RBM is more efficient and environment friendly.

Keywords: Eti Bakir, Kure Project, Raise Boring, RBM, Mechanized Shaft Sinking

1 GİRİŞ

Bünyesindeki yeraltı kaynaklarının araştırılıp işletilerek, ülke ekonomisine kazandırılmasını hedefleyen Eti Bakır A.Ş. başta Küre Yeraltı İşletmesi olmak üzere, projelendirmekte olduğu yeraltı madencilik faaliyetlerini, dünyada çok hızlı büyümekte ve ilerlemekte olan sektörün gelişmelerine uygun şekilde takip edip, ülkemizde bu gelişim ve büyümenin öncüsü konumuna yükselmeyi kendine hedef edinerek yürütmektedir.

Bu amaç çerçevesinde, hazırlık ve projelendirme çalışmaları halen devam etmekte olup, ilerleyen yıllarda ülkemizin en derin maden işletmelerinden biri haline gelecek olan Küre Yeraltı Projesi'nin, havalandırma ve cevher nakil kuyularının, iş emniyeti, kuyu maliyeti, zaman faktörü ve çalışma kolaylığı gibi unsurlar değerlendirildiğinde, dünyadaki benzer işletmelerde de yaygın olarak kullanılan Raise Bore Makinesi ile açılması kararına varılarak harekete geçilmiştir.

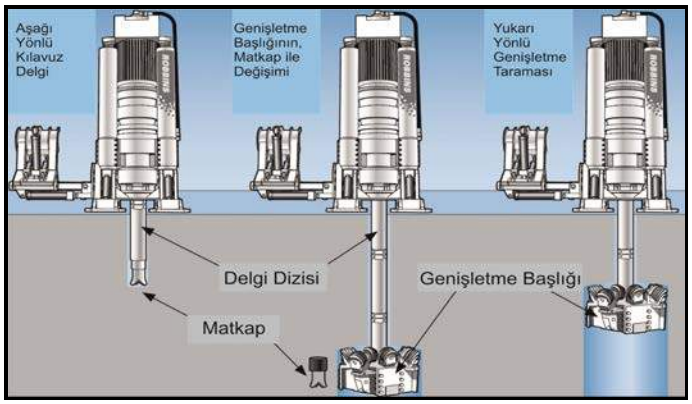
Bir takım sektörel araştırmalar neticesinde, öncelikli olarak yedek parça ve servis hizmetleri göz önünde bulundurularak, başta Küre Projesine, sonrasında ise firma bünyesinde bulunan diğer madencilik, tünel ve inşaat projelerine en uygun model RBM'nin alınmasına karar verilmiştir. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan RBM teknolojisinin tercihinde, madencilik ve diğer kullanım alanlarında da yürüteceği faaliyetlerde, iş kalitesi ve verimliliğini arttırarak uzun vadede makine parkımızda önemli bir konuma sahip olacağının büyük etkisi bulunmaktadır.

Şekil 1. RBM'nin park halindeki konumu

2 GENEL ÇALIŞMA SİSTEMİ

Raise Boring, Türkçe çevirisi "Baş Yukarı Delme" olarak tanımlanan bir kazı yöntemidir. Genel çalışma ilkesi baş yukarı sondaj kavramına dayanan sistem, 6 metre çapına ve 1000 metre derinliğine kadar boyutlarda kuyular inşa edilebilmektedir. Raise Boring, günümüzün devamlı gelişen ve yenilenen madencilik koşullarında, havalandırma, cevher nakil ve personel taşıma amacıyla, gerek dikey gerekse eğik ve yatay kuyu açmanın en emniyetli, modern ve hızlı yoludur.

Baş yukarı sondaj operasyonunun temel çalışma mantığı, iki veya daha fazla seviyedeki katlar arasında dikey ya da eğik olarak nispeten dar çaplı bir pilot kuyu açılması, daha sonrasında ise açılan bu kuyunun tarama yöntemi ile genişletilmesi işlemidir.



Şekil 2. RBM'nin genel çalışma sistemi. Kılavuz delgisi (Piloting) ve Genişletme (Reaming)

Baş yukarı sondaj işlemi esnasında RBM, kuyu ile bağlanması istenen iki seviyeden, üstte olanın tabanında hazırlanan bir lokasyona kurulur. İlk olarak alttaki seviyeye kadar kılavuz olması açısından bir pilot delik açılır. Pilot delme işlemi tamamlandıktan sonra, alttaki seviyede kılavuz deliği açan matkap (rock bit) çıkarılarak, kuyunun sahip olması istenen çapta tarama yapacak olan genişletme başlığı (reamer) delgi dizisinin ucuna takılır. Genişletme başlığı ile delgi işlemi gerçekleştirilen kuyu boyunca belirli parametrelerde rotasyon hareketi sağlanarak, üst seviyedeki makinaya kadar tarayıp genişletme işlemi gerçekleştirilir. Pilot delgi esnasında matkap ucun kestiği kayaç

parçaları kuyuda sağlanan su sirkülasyonu ile dışarıya atılıp, kuyu ağzından bir kanal yardımıyla tahliye edilirken, genişletme başlığının tarama esnasında parçaladığı malzemeler, alttan yukarıya doğru çapı genişlemekte olan kuyudan tabana düşerek zeminde birikme yapar. Bu yığılma, belirli bir seviyeye kadar yükseldiğinde, kovalı bir loder yardımıyla emniyetli şekilde tabandan sıyrılarak taşınır. (Raise Boring-Mining and Construction, 2012)

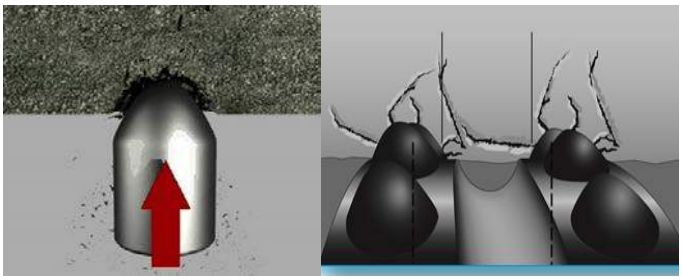
2.1 Mekanik Kaya Kazısı

Raise boring, dönme ve kırma gücünü aynı anda kullanan bir delme metodudur. Genişletme başlığı dönerken, kayaya çok yüksek bir baskı kuvveti ile bastırılır. Bunun sonucunda genişletme başlığının her bir dönüşünde 0,3–2mm arasında bir penetrasyon (ilerleme) sağlanır. Delme performansının optimize edilmesindeki ana amaç, en iyi kesici uç ömrü ve ilerleme hızı kombinasyonunu sağlamaktır.

Raise boring mekanik kaya kazısı işlemi sırasında iki ana prensipten yararlanılır. Bunlar Krater oluşturma ve Kerf (Keserek) Kırmadır.

2.1.1 Krater Oluşturma

Krater oluşturma, kaya üzerinde delici ucun kontak alanının hemen altında yer alan bölgede yarattığı kırma olayı için kullanılan bir terimdir. Eğer kayacın tek eksenli basınç dayanımını yenecek miktarda bir baskı uygulanırsa, tungsten karbit uçların temas ettiği bölgenin hemen altında, kaya istenilen şekilde ufalanır ve bir krater oluşur.



Şekil 3. Krater Oluşturma ve Kerf (Keserek) Kırma

2.1.2 Kerf (Keserek) Kırma

Yeterli baskı kullanıldığı zaman, yan yana yerleştirilmiş olan tungsten karbit uçların oluşturduğu yanal çatlaklar, alt tarafta birleşerek kayaç yüzeyinden daha çok parça koparılmasını sağlar. Yan çatlaklar veya keserek kırma, raise boring uygulamasındaki en temel kaya kırma etkisidir. (Atlas Copco-Rock Drills, 2012)

3 OPERASYON SÜRECİ

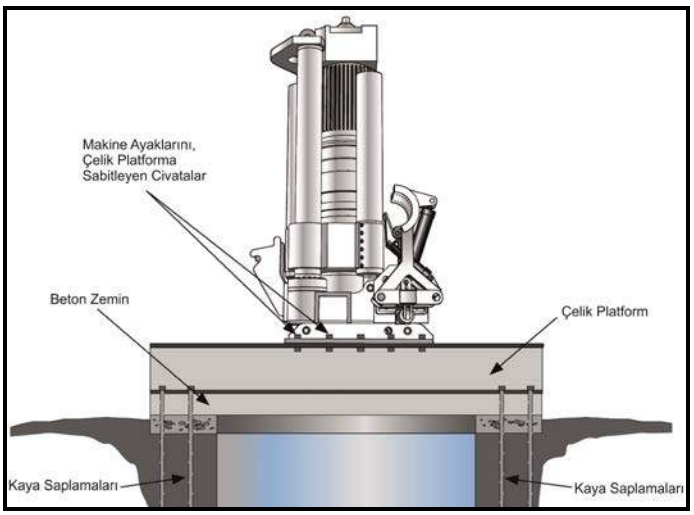
3.1 Teorik ve Pratik Eğitimler

Raise Bore Makinesinin Küre Yeraltı İşletmesine teslimi gerçekleştirildikten sonra, ilk iş olarak RBM'in çalışma programından sorumlu olan planlama-operasyon birimlerinin mühendis ve formenlerine RBM'in temel çalışma sistemi hakkında sunum ve eğitimler verilmiştir. Daha sonrasında RBM ile delgi çalışması yapacak operatörler ve işçiler ile çalışmaya elektrik ve mekanik yönden destek verecek servis birimlerine teorik bilgilendirme yapılarak, saha uygulama sürecine başlanılmıştır. Bu aşamada RBM ile delgi planı yapılan ilk lokasyon, eğitim noktası olarak belirlenip, operasyon grupları tarafından, teknik eğitim ekiplerinin eğitim sürecinde RBM uygulamalarına emniyetli ve konforlu bir çalışma sunması açısından dizayn edilmiştir.

Şekil 4. RBM tarama başlığının saha uygulama eğitimleri ve kesicilerin montaj işlemleri

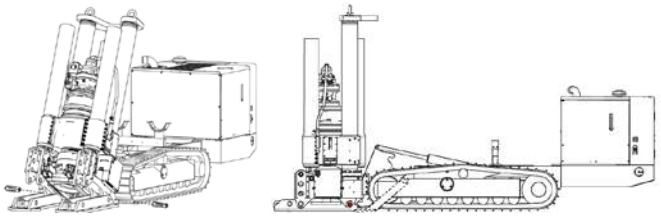
3.2 Nakliye ve Kurulum

RBM ve güç ünitelerinin çalışma yerine nakliyesi yapılmadan önce, makine ayaklarının oturacağı platformun zemine montajı için taban betonu dökümü yapılmış, makine yerleşim planı topoğraflar tarafından hassas ölçülerde kontrol edilerek, platform betona sabitlenmiştir.



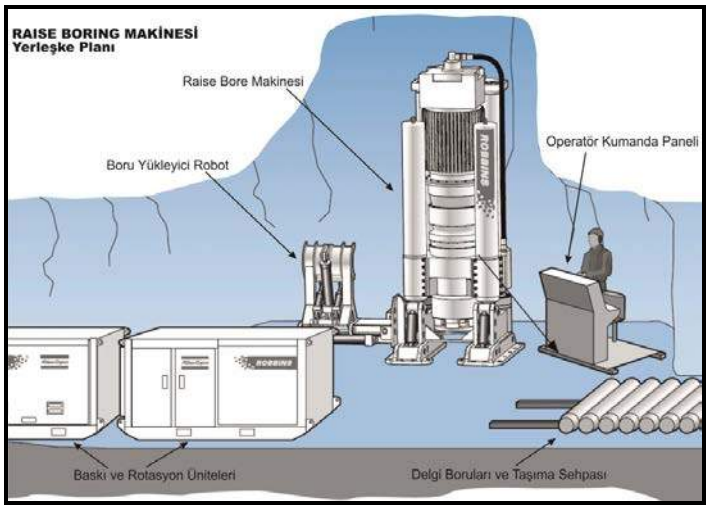
Şekil 5. RBM'nin makine ayaklarına civatalanması ve çelik platforma ait kaya saplamalarının yerleşimi

Lokasyon ölçümleri tamamlandıktan sonra, güç üniteleri (Rotasyon Ünitesi:200kW, Baskı Ünitesi: 55kW) ile yardımcı bağlantı ve montaj ekipmanları çalışma alanına taşınarak plana uygun şekilde konumlandırılmış, enerji ve su hattı bağlantıları hazırlanmıştır. Ardından RBM, uzaktan kumandalı paletli taşıyıcısı (crawler) ile delgi lokasyonuna getirilerek, makine ayakları için hazırlanan platformun üzerine oturtulmuş ve montaj işlemi sonrasında, paletli taşıyıcı, makine ile bağlantıları kesilerek, parka çekilmiştir.



Şekil 6. RBM'nin paletli taşıyıcı üzerinden indirilerek, çalışma lokasyonuna kurulum işlemleri

RBM elektronik terazisi ile dengeye getirildikten sonra güç ünitelerinin bağlantıları yapılmış, son etapta standart ve özel delgi tijleri ile trikon matkap ucu çalışma yerine taşınarak, boru yükleyici robotun altında konumlandırılan sehpa üzerine yerleştirilmiştir. Böylelikle pilot delgi için hazırlıklar tamamlanmış ve operasyonun birinci etabına başlanılmıştır.



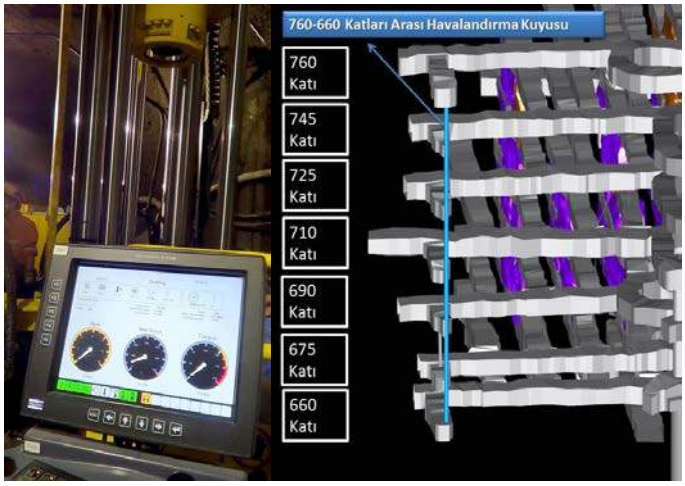
Şekil 7. RBM'nin güç üniteleri ve delgi borularının çalışma bölgesindeki yerleşim planı

3.3 Kılavuz Delgi ve Tarama (Genişletme)

Pilot delgi aşamasında, matkabın kestiği kırıntılı malzemenin dışarıya atılması için kuyuya dakikada yaklaşık 800 ile 1000 litre arasında su verilmektedir. Kırıntılı malzemeyi kuyu dışına taşıyan su, kuyu ağzından bir kanal aracılığıyla tahliye edilerek, çökertme havuzlarında dinlendirilip, tekrar kuyuya basılmaktadır. Kılavuz kuyunun tamamlanmasının ardından, alt seviyeye kadar indirilen delgi takımının ucundaki matkap ile dengeleyici ve genişletici tijler, hidrolik sistemli özel bir kriko yardımıyla sökülerek, delgi dizisinin ucuna genişletme başlığı takılır. Başlık, kriko ile belirli limitlerde basınç değerine ulaşana kadar sıkılarak, delgi takımı tarama operasyonuna hazır hale getirilir.

Şekil 8. RBM'nin kılavuz delgisinin tamamlanıp, matkabın genişletme başlığı ile değiştirilmesi

Küre Projesinde planlanmakta olan havalandırma ve cevher nakil kuyuları 1.8 ile 2.6 metre çaplarında, 20 ile 250 metre arasında değişen derinliklerdedir. İlerleyen dönemdeki tünel havalandırma projelerinde, kuyu derinliklerinin artacağı düşünülmektedir. Dolaylı olarak, RBM tercihi de bu çaplarda maksimum 700 metreye kadar delgi yapılabilecek kapasitede belirlenmiştir. Genişletme operasyonu öncesinde, istenilen kuyu çapına göre, tarama yapacak başlığa çap büyütme kanat ve kesicileri eklenilir. Montaj işleminin tamamlanmasının ardından, her biri 1.52 m olan tij borular, delgi esnasındakinin aksine yukarıya doğru çekilerek operasyona tarama işlemi ile devam edilir. Genişletme aşamasında, çıkarılan pasa, yerçekimi etkisi ile tabanda biriktiği ve kuyu ağzından atılması gereken malzeme olmadığı için, kılavuz delgide kullanılan miktarda suya ihtiyaç kalmamaktadır. RBM'in soğutma tahliyesinden gelen su, kılavuz kuyudan verilerek delgi dizisi ve kesicilerin (cutters) soğutulması ve yağlanması sağlanır. Çekilen her borunun, dişlerindeki özel katkılı yağ temizlenip, diş kalınlıkları kontrol edilerek bakımları yapılır ve kapakları kapatılarak muhafazaya alınır. Boruların üzerindeki seri numaraları, delgi dizisindeki pozisyonlarına göre kuyu bilgilerine kayıt edilir, bu sayede yorulmuş tijlerin, sonraki operasyonlarda daha az yük altında çalışması sağlanır. Kuyu veri tabanı oluşturulurken, pilot delgi ve genişletme çalışmalarının, ilerleme süreleri hassas şekilde kayıt altına alınır. Bu ilerleme verileri, delgi parametreleri (devir, baskı, yük vs.) ile birlikte raporlanarak, iş ve maliyet analizi yapılmasını kolaylaştırır. Örneğin; Farklı çaplı kuyuların, genişletme aşamalarında kesicilerin sayısı ve üstüne binen yük miktarları değiştiği için, tarama yüzeyine temas eden alan miktarı ile orantılı olarak ilerleme hızında da azalma meydana gelecektir. Öyle ki, 1.8 m çaplı kuyuda, tarama hızı ortalama 1.35 m/s iken, 2.6 m çaplı kuyuda 0,90 m/s'e kadar düşmektedir.



Şekil 9. RBM'nin kumanda panelinden çalışma verilerinin alınması, 3D ortamda kuyu modellenmesi

Delgi dizisinin tamamının çekilmesinin ardından, çap büyütme işleminin tamamlanabilmesi için, genişletme başlığının kuyudan alınması gerekir. Ancak üzerinde RBM kurulu iken başlığı alabilmek imkansız olduğu için, kuyu derinliği ve ortam koşullarına göre uygun strateji geliştirilerek başlık söküm işlemi yapılmalıdır. Bunun için uygulanabilecek iki yol vardır.

Birincisi; genişletme işleminin ardından, delgi dizisini ucundaki başlık ile birlikte alt seviyedeki katın tabanına kadar indirerek, başlığın kriko yardımıyla sökümünü sağlamak ve delgi takımını tekrar çekerek operasyonu tamamlamaktır. Genellikle sığ derinlikli kuyularda tercih edilen bu sistem, nispeten fazla zaman gerektirse de, daha emniyetli ve garantilidir.

İkincisi ise; Genişletme başlığı ile RBM'in tabanındaki beton, platforma kadar sıfırlanarak temizlenilir ve ardından birkaç metre kuyuya indirilip, en az dört noktasından zincirlenerek, yüzeye sabitlenir.

Bu işlem öncesinde, genişletme başlığı ağırlığına göre zincirlerin taşıma kapasitesi, yük dağılım hesapları ve sabitlenecek donatının yük çekme testleri yapılmış olması gerekir. Zincirlerle kuyuda sabit pozisyona getirilen başlık, delgi dizisinden çözülüp, RBM üzerinden toparlandıktan sonra, uygun bir vinç yardımıyla kuyudan alınarak operasyon sonlandırılır. İlkine göre daha riskli olduğu kabul edilen bu yöntem, çok daha pratik olması ve az zaman gerektirmesinden dolayı özellikle derin kuyularda tercih edilmektedir. (Küçükateş, Koç, Yazar, 2013)

Şekil 10. RBM ile açılan kuyularda alt ve üst seviyelerden gözlenen yan duvarların kaya titreşimi olmaksızın örselenmemiş yüzeylerinin görünümü

4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Geçmiş dönemlerde yeraltı madencilik operasyonlarında, havalandırma, cevher nakil ve insan taşıma kuyuları, klasik delme, patlatma yöntemi ya da insan gücüne dayalı el burgusuyla delme şeklinde yapılmaktaydı. Bu yöntemlerde, çok sayıda personel ve kazıda kullanılan malzemenin kuyuya nakledilmesinden, patlatılmış kayaç ve atıkların kuyudan tahliyesine kadar tüm aşamalar oldukça zaman alan ve son derece tehlikeli şekilde yapılmaktaydı. Ayrıca kuyu içerisinde kazı çalışması yapan personelin, havalandırma ihtiyacını gidermek ve iş kazası riskini indirgemek de başka büyük bir problem oluşturmaktaydı. Tüm bu risk ve zorluklar, açılacak kuyunun kesiti veya derinliğindeki büyümeye bağlı olarak artmaktaydı.

Eti Bakır A.Ş. olarak, her amaca yönelik şaft kazılarında RBM'in tercih edilmesinin ve buna bağlı olarak gelişen beklentilerin başında hiç şüphesiz iş emniyeti gelmektedir. RBM ile çalışma yapılacak bölgenin havalandırma, aydınlatma ve lojistik gibi ortam koşulları, iş sağlığı ve güvenliği standartlarına göre iyileştirilmektedir. Bu sayede çalışmayı yürüten personel için tozdan, gürültüden ve insan hayatını riske edebilecek etmenlerden uzak, konforlu bir çalışma alanı hazırlanarak, gerek çalışanların sağlığı ve güvenliği gözetilmiş, gerekse iş verimliliği anlamında maksimum fayda sağlanmış olmaktadır.

Tamamen sondaj mantığına dayalı rotasyon hareketi ile kazı yapan RBM, sadece tek bir operatör ve işçi ile çalışarak, çok daha hızlı ve güvenli şekilde, kazı yüzeylerini örselemeden hareket etmektedir. Delgi esnasında ufalanan kayaç parçalarının kuyu cidarına sıvanıp, zımpara etkisi yaratması sayesinde, yuvarlak ve pürüzsüz bir kuyu inşa etmektedir. Klasik yöntemler ile kazı işlemlerinde ise bu sağlanamamaktadır.

Özellikle çevreye olan etkilerinin ve kaya titreşimlerinin çok az olması, raise boring sisteminin tercih edilme nedenlerini güçlendirmektedir. Öyle ki, günümüzde gelişmiş ülkelerin çoğu klasik yöntemler ile kuyu açmayı terk ederek raise boring sistemini kullanmaya başlamışlardır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Eti Bakır A.Ş. Küre İşletmesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Küçükateş,K, Koç,S.Ö., Yazar,F., 2013. Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi, RBM Kullanım Yönergesi (in Turkish)

Raise Boring Mining and Construction, Atlas Copco Rock Drills AB, SE-701 91, Örebro, Sweden 2012

Matkap Aşınmaları ve Eşdeğer Kuvars İçeriği
Bit Wear and Equivalent Quarts Content

M. Çapik, A.O. Yılmaz, S. Yaşar
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

İ. Çavuşoğlu
Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

ÖZET Bu çalışma Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde ki farklı kayaç formasyonları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA6 Jumbo makinaları üzerinde matkap ömrü ölçümleri alınmıştır. Ayrıca matkaplar üzerinde görülen aşınma şekilleri incelenmiştir. Literatürde görülen matkap aşınma şekillerinden farklı olarak matkabın rod'tan kırılması ve gövdenin ortadan yarılması olarak iki yeni matkap aşınma şekli belirlenmiştir.

Matkap aşınması özellikle kuvars gibi aşındırıcı mineral içeriği ve miktarında etkilenmektedir. Matkap aşınması eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla artmaktadır. Eşdeğer kuvars içeriği ince kesit incelemesi sonucunda kayaç içerisinde bulunan aşındırıcı mineral yüzdesi belirlenmesi ile hesaplanmıştır. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde farklı kayaç delgisinde kullanılan matkap ömürleri ile elde edilen eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi incelenmiştir. Sonuç olarak matkap aşınımı eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla artığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Matkap aşınımı, eşdeğer kuvars içeriği

ABSTRACT This study was carried out on the different rock formations. This study was carried out in two stages including in-situ and laboratory studies. To determine the drill bit life, measurements were realized on Atlas Copco ROCKET-BOOMER 282, Sandvik DD320 and Tamrock AXERA6 Jumbo machines. Also, wear types of bits were also investigated. Two new wear types were encountered which are namely split of bit shaft and break on drifter rod.

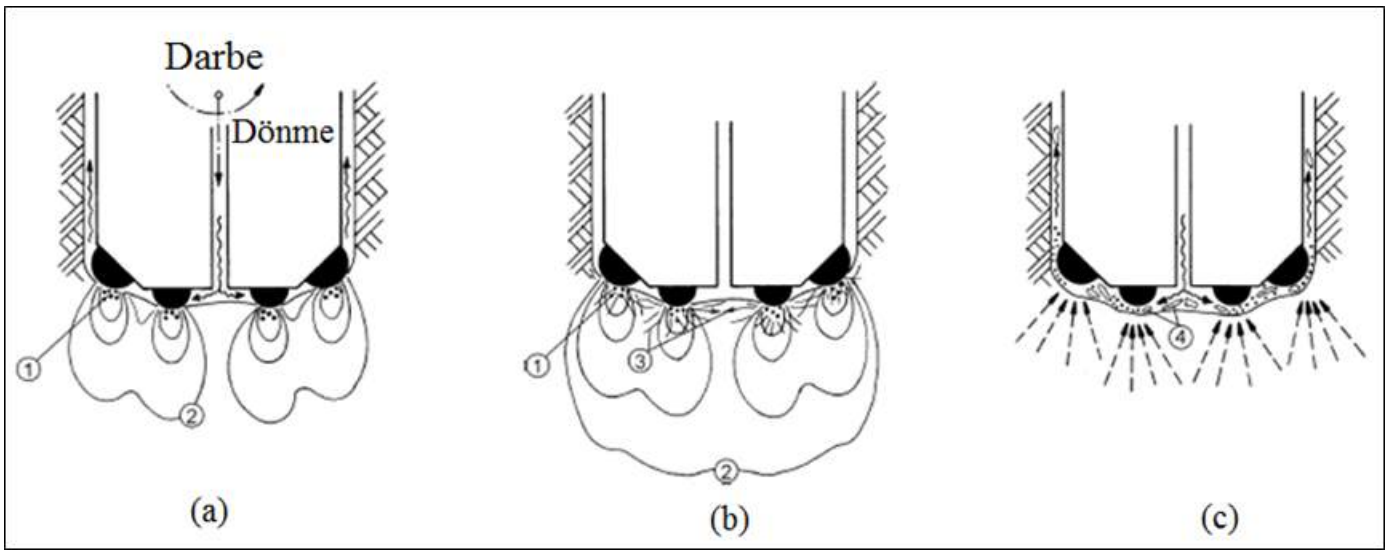
Bit wear is predominantly a result of the abrasive mineral content especially like quartz. Drilling bit wear increases with the equivalent quartz content. The equivalent quartz content has been determined in thin sections. The bit lifetime of different rock types in Cankurtaran and Salmankaş tunnels is correlated with its equivalent quartz contents. As result, it is visible that bit lifetime decreases mainly with increasing equivalent quartz content.

Keywords: Bit wear, equivalent quartz content

1 GİRİŞ

Delme işleminde matkap üzerine darbe ve baskı uygulanarak belirli bir dönme hızıyla ve bir miktar suyla, matkap kayaç içinde ilerleme yaparken aynı zamanda kayaç tarafında aşınmaya uğramaktadır. Yüksek aşındırıcı özelliğine sahip kayaçlar, kısa zamanda matkap aşınmasına sebep olabilmektedir. Meydana gelen aşınma işleminde, aşınma tipi (wear type) ve aşınma oranı (wear ratio) olarak iki farklı ifade kullanılmaktadır. Aşınma tipi matkap

üzerinde gözlenen özel bir aşınma şeklini açıklar. Ayrıca bir aşınma sınıflandırma sistemi kullanılarak, niteliksel olarak aşınma işlemi tarif edilebilir. Aşınma hızı ise matkap üzerindeki malzemenin uzaklaşma oranı olarak açıklanır. Bu terim bir matkabın gerçekleştirdiği delme miktarı (m / matkap), başka bir deyişle "matkap ömrü" olarak ifade edilir (Plinninger, vd 2002a; Plinninger, vd 2002b; Plinninger, 2008) Delme işleminde delme mekanizması ve kaya parçalama süreci Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Delme işleminde kaya parçalanma süreci (Thuro ve Spaun, 1996b; Plinninger vd., 2002a).

Delme mekanizmasına bakıldığında darbe etkisinden dolayı, kayaçtaki basınç ve çekme dayanımı, matkap dönmesinden meydana gelen kesme dayanımının yanında kayaç malzemesinin elastik özelliği delme işleminde büyük önem taşımaktadır. Buton delme işlemi boyunca her zaman çatlamış kayaç üzerinde delme işlemini gerçekleştirmektedir. Çünkü matkap ilerledikçe kayaçta sürekli radyal çatlaklar oluşur ve oluşan bu çatlaklar üzerinde delme gerçekleşir.

Şekil 1 incelendiğinde; (a) darbenin başlaması; dönen matkapla birlikte butonlar darbe ve baskı altında kaya kütlesi içine nüfuz edilir. Bu işlem sırasında yüksek lokal gerilimlere sebep olur. Yüksek gerilmeler buton uçların altında ezilmiş bölgelerin oluşmasına neden olur (a-1). Delme yönü boyunca düşük seviyede gerilme alanları oluşmaktadır (a-2).

(b) Çatlama işlemi; bu aşamada kayaç üzerinde darbe ve baskı ile gerilmeler artar ve kaya dayanım gücünü kaybetmektedir. Bu işlemden sonra ilk çatlaklar ezilmiş bölgelerin kenarında oluşmaya başlar ve oluşan çatlaklar yavaşça kayanın içine doğru ilerlemeye devam ederler (b-3). Çatlaklar komşu bölgelerde etkileşim oluşturmaya başlar ve parçalanan malzemeler suyun yardımıyla matkabın çevresinden dışarı doğru atılır.

(c) Darbe işleminin tamamlanması; delme işlemi bittikten sonra matkap geri çekilir. Delme işleminin bitmesiyle delikte oluşan gerilmeler serbest kalır ve kaya kütlesinin elastik geri tepmesi oluşmaya başlar. Ayrıca bu aşamada da su yardımıyla ezilmiş ve kırılmış parçalar uzaklaştırılır (c-4). İşlem sonunda eğer delikte tıkanma mevcutsa basınçlı hava yardımıyla bu parçalar delikten dışarı atılır.

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Çalışma Alanları

Çalışma Cankurtaran ve Salmankaş Karayolu Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran Tüneli Hopa-Borçka (Artvin) karayolu 7+980-13+208 km'leri arasında çift tüp olarak inşa edilmektedir. Yapımı tamamlamasıyla birlikte 5.288,00m

uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun tüneli olma özelliğini taşıyacaktır. Salmankaş Tüneli ise Trabzon ili Araklı ilçesi Dağbaşı-Uğrak yolu üzerinde, Araklı ile Bayburt arasında inşa edilmektedir. Salmankaş Tüneli karayolunun 36+121.97-40+151.67 km'leri arasında 4.030,00 metre uzunluğunda çift tüp olarak kazısı devam etmektedir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait yer bulduru haritası Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait yer bulduru haritası.

2.2 Matkap Aşınım Şekilleri

Tünel hattı boyunca delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan çift boomlu Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalar üzerinde matkap aşınım şekilleri ve matkap ömrü ölçümleri alınmıştır. Cankurtaran ve Salmankaş Tünelleri delgi işlemi boyunca takip edilen matkapların genel aşınma tipi ve aşınma şekilleri Çizelge 3'de verilmiştir (Plinninger, vd., 2002a; Plinninger, vd., 2002b; Çapik, vd., 2013; Çapik, 2014). Tünellerde takip edilen matkaplar üzerinde gözlenen aşınma tipleri Plinninger, vd (2002a); Plinninger, vd (2002b) tarafında elde edilen aşınma tiplerine paralellik göstermiştir. Ayrıca literatürde görülen aşınma tiplerine ilaveten iki yeni aşınma tipi daha belirlenmiştir.

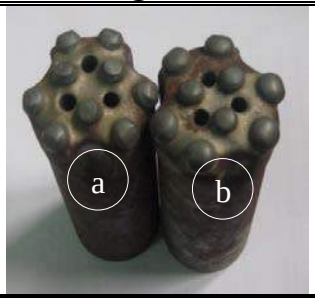
Bunlar;

- Matkap gövdesinin ortadan yarılması, (A10 tipi aşınma),
- Matkabın rod'tan kırılması, (A11 tipi aşınma),

Matkap gövdesinin ortadan yarılması, çoğunlukla üretim hatası veya malzeme kalitesinden dolayı görülen aşınma tipidir. (Çapik, 2014).

Matkabın rod'tan kırılması, bu aşınma tipi yanlış kullanım sonucu meydana gelmiş olabilir veya operatör tarafından delici takımlara uygulanan aşırı darbe ve baskı sonucu meydana gelen bir aşınma tipi olabilmektedir (Çapik, 2014).

Çizelge 3. Tünellerinde kullanılan matkapların aşınma sınıflandırılması.

Tünelde kullanılan matkaplardaki aşınma sonrası görünümü	Aşınma No	Açıklama
	A1	Normal aşınma: Matkap gövdesinin ve gövde üzerinde gömülen butonların zamanla düzgün bir şekilde aşındırıcı tarafında aşınmasıdır. Bu aşınma tipi, yüksek dayanım ve aşındırıcı özelliğe sahip kayaçların delinmesinde görülen tipik bir aşınma çeşididir. • Salmankaş tünelinde görülen bu aşınma tipi, a) balistik buton ve b) küresel buton tipi matkaplarda elde edilmiştir.
	A2	Matkap gövdesinin butonlarda önce aşınması; Bu aşınma tipi, zayıf kaya türlerinde delgi yaparken karşılaşılan tipik bir aşınma tipidir. Matkaplar kaya kütlesi içine derin şekilde nüfuz etmekte ve çok kırıntılı malzemeler çıkartmaktadır. Böylece hem çelik gövde hem de butonlar kaya kırıntısına maruz kalmaktadır. Dolayısıyla matkap gövdesi butonlardan daha hızlı aşınır. • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerinde elde edilen matkaplarda görülen aşınma tipleridir.
	A3	Bağlayıcı eksikliği ve yetersiz gömme; Butonların altındaki bulunan bağlayıcı eksikliği, kalitesizliği ve yetersiz gömmeden dolayı butonlar zamanla yerinden kopabilmekte veya düşebilmektedir. Eğer bir buton kırılmaya başlarsa bu buton diğer butonları da etkileyebilir. Çünkü kırılan buton diğer butonlar üzerinde çok yüksek dinamik darbe kuvveleri meydana getirmektedir. • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerinde elde edilen matkaplarda görülen aşınma tipleridir.
	A4	Çapın aşınması: Buton ve matkap gövdesinin yan duvarlarında fazla aşınması. Genelde yüksek gerilimli değişken kayaç delgisinde görülen tipik bir aşınma çeşididir. Aşındırıcı kayaç malzemesi duvarlardan matkaba kuvvet uygular, matkabın delik çapı azalır ve çevresel butonlar kopmaya başlar. • Bu aşınma tipi, a) Cankurtaran çıkış tüplerinde, b) Salmankaş tünelinde elde edilen matkaplarda görülen aşınma tipleridir.
	A5	Çap aşınmasının devamı: Aşındırıcı kayaç malzemesi duvarlardan matkaba kuvvet uygular. İlk olarak, çevresel butonları dış kısım üzerinde aşınma göstermeye başlar, daha sonra matkap gövdesi etkilenir, matkap delik çapı azalır ve çevredeki butonlar tamamen kopmaya başlar. • Salmankaş tünelinde elde edilen bir aşınma şeklidir.

Çizelge 3. Devamı

Tünelde kullanılan matkaplardaki aşınma sonrası görünümü	**Aşınma No**	**Açıklama**
	A6	Butonların yapıldığı malzeme kusuru; malzeme kusurundan dolayı butonlarda kırılmalar olmaktadır. Butonların mikroskobik hatası birçok parametreden etkilenebilir. Bazen dinamik darbe malzeme yenilmesinin temel nedeni olmaktadır. Bu aşınma tipi, Cankurtaran giriş ve çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen matkaplarda görülmüştür.
	A7	Eksik bağlayıcı; Butonların altındaki bağlayıcı kısmın eksikliğinde veya kalitesizliğinden dolayı butonlar kopabilmekte /düşebilmektedir. • Bu aşınma tipi, Cankurtaran çıkış tüplerindeki kazılarda takip edilen matkaplarda görülmüştür. Eksik bağlayıcıdan kaynaklı bir aşınma tipi olduğu görülmektedir. Çok az kullanılmış olmasına rağmen buton kopmuştur.
	A8	Matkap gövdesinin kırılması Matkap gövdesinin kırılması çoğunlukla üretim hatası ya da yanlış kullanımın sonucudur. Bu durum, herhangi bir kayaç özelliği ile ilişkili olmayabilir. • Cankurtaran tünelindeki kazılarında görülen aşınma şeklidir.
	A9	Yüzeyin tamamen aşınması Matkap üzerinde bulunan bütün butonların aşınması, bu tür aşınmalar çoğunlukla jeolojik koşullardan bağımsızdır. Ayrıca matkabın geç değiştirilmesinde ve kopan butonun diğer butonlara zarar vermesinden kaynaklı olabilmektedir. • Aşınma tipi Salmankaş tünelindeki kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.
	A10	Matkabın rod'tan kırılması; bu durum yanlış kullanım sonucu meydana gelmektedir. Delici takımları uygulanan aşırı darbe ve baskı sonucu meydana gelen bir aşınma tipidir. • Aşınma tipi Cankurtaran tünelindeki kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.
	A11	Gövdenin ortadan yarılması, çoğunlukla üretim hatası ya da yanlış kullanımın sonucu meydana gelen bir aşınma tipidir. • Aşınma tipi Salmankaş tünelindeki kazılarında görülen bir aşınma şeklidir.

2.3 Eşdeğer Kuvars İçeriği

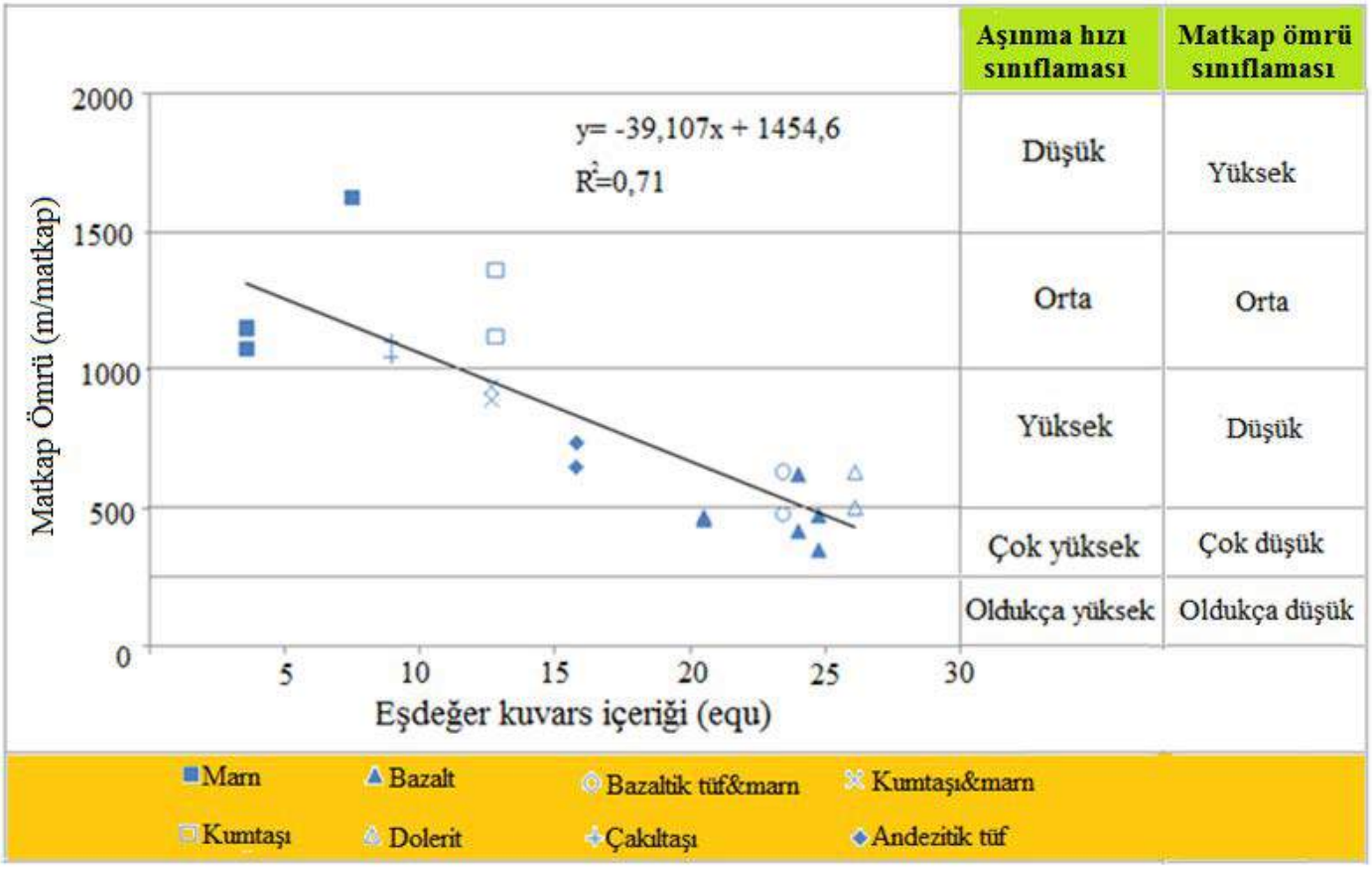
Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinden alınan kayaçlardan petrografik analizleri yapılmış ve kayaçlar içerisinde bulunan aşındırıcı mineraller oranları belirlenmiştir. Bu oranlardan faydalanarak kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri belirlenmiştir. Kayaçların eşdeğer kuvars içerikleri (equ) belirlenirken Rosiwal aşındırıcılık katsayısından faydalanılmıştır. Kayaç içerisinde bulunan aşındırıcı mineral yüzdesi ile Rosiwal aşındırıcılık katsayısına çarparak eşdeğer kuvars içeriği (%) olarak saptanmıştır. Rosiwal aşındırıcılık indeksine ait mineral değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalarıyla gerçekleştirilen delgi işleminde makinaların kullandıkları matkapların aşınma tipleri izlenmiş ve matkap ömürleri hesaplanmıştır. Hesaplanan matkap ömürleri ile eşdeğer kuvars içeriği arasında ilişki elde edilmiş ve Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Rosiwal aşındırıcılık indeksi mineral değerleri (Schormair vd., 2006).

Mineral	Rosiwal aşındırıcılık değeri (%)
Feldspat	32
Piroksen	43
Kuvars	100
Pirit ve biotit	55
Kalsit, kil	4
Mika	4
Plajiyoklas	25
Potasyum feldspat	25

Matkap ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği arasında R^2 =0,71 gibi azalan bir ilişki bulunmuştur. Şekil 4'de görüldüğü gibi eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla matkap aşınma oranı artmakta ve matkap ömrü azalmaktadır.



Şekil 4. Matkap ömrü ile eşdeğer kuvars içeriği ilişkisi.

Tünellerdeki matkap ömrünün en fazla ve matkap aşınmasının düşük olduğu birim marn formasyonudur. Bu formasyonunda bir matkapla yapılan en yüksek delgi işlemi 1623 (m/matkap) ile Cankurtaran tünelinde gerçekleştirilmiştir. Bu matkap, Thuro (1996) matkap sınıflamasına göre, matkap aşınma hızı düşük, matkap ömrü ise yüksektir.

Şekil 4'de Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kullanılan matkap ömrü ve matkap aşınma hızı sınıflaması Thuro (1996) tarafında Ø 43 - 48 mm matkap çapları için geliştirildiği matkap aşınım oranı ve matkap ömürleri sınıflandırılması göre yapılmıştır Çiz 2).

Tünellerde matkap ömrü sınıflandırılmasının düşük ve çok düşük olduğu, matkap aşınma hızı sınıflandırılmasının ise yüksek ve çok yüksek olduğu birimler bazalt, bazaltik tüf, dolerit ve andezitik tüf olan formasyonlarda olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Matkap aşınım oranları ve matkap ömürleri sınıflandırılması (Thuro, 1996).

Aşınma hızı sınıflaması	**Matkabın delme miktarı (m/matkap)**	**Matkap ömrü sınıflaması**
Çok düşük	>2000	Çok yüksek
Düşük	1500-2000	Yüksek
Orta	1000-1500	Orta
Yüksek	500-1000	Düşük
Çok yüksek	200-500	Çok düşük
Oldukça çok yüksek	<200	Oldukça çok düşük

Matkap aşınma hızı ve matkap ömründeki görülen bu farklılıklar matkap yapımında kullanılan çeliğin kalitesinden ziyade kazılan formasyondaki aşındırıcı mineral içeriği ve aşındırıcı mineral miktarında kaynaklanmaktadır. Matkap aşınması çeliğin (Mohs sertliği 5.5) yapısından çok kuvars (Mohs sertliği 7) gibi aşındırıcı minerallerin içeriğinden daha çok etkilenir.

Eşdeğer kuvars içeriği ile matkap ömrü arasındaki ilişki Thuro ve Spaun (1996a), Thuro (1997a-1997b) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir.

Thuro ve Spaun, (1996a), Thuro, (1197a-1997b), Thuro ve Plinninger, (2003), farklı kayaçlar üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarından eşdeğer kuvars içeriği ile matkap ömrü ve matkap aşınma miktarı arasında güçlü ilişkiler olduğunu göstermişlerdir. Eşdeğer kuvars içeriğinin artmasına bağlı olarak matkap aşınma oranının artığı matkap ömrünün ise azaldığı görülmüştür. Kireçtaşı, marn, konglomera ve fillit-mermer gibi kayaçlar üzerinde gerçekleştirilen çalışmada kayaçların eşdeğer kuvars içeriği miktarından faydalanarak matkap aşınma miktarı ve matkap ömrü tahmininin yapılabildiğini göstermişlerdir. Genelde yüksek porozite değerine sahip bazı kumtaşı çeşitlerinde matkap aşınma miktarı ve matkap ömrü kayacın içerdiği silisli çimentolama derecesiyle ilişkili olduğu belirtmişlerdir.

3 SONUÇLAR

Çalışma Cankurtaran ve Salmankaş Karayolu Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Delik delme işleminde takip edilen matkaplar üzerinde farklı aşınma şekilleri gözlenmiştir. Aşınma şekilleri içinde istenilen aşınma şekli normal aşınma tipidir. Çünkü normal aşınma tipinde matkap üzerinde hiçbir buton kopmadan, kırılmadan gövde ile birlikte zamanla aşınmaktadır.
- Literatürde, görülen matkap aşınma tiplerinden farklı olarak iki yeni aşınma tipi daha eklenmiştir. Bunlar; birincisi (A10) aşınma tipi, matkabın rod'tan kırılması, bu durum yanlış kullanımın sonucu meydana gelen aşınma tipi, ikincisi (A11) aşınma tipi, gövdenin ortadan yarılması bu durum çoğunlukla üretim hatası ya da malzeme kusurundan dolayı meydana gelen aşınma tipidir.
- Dayanımı ve sertliği yüksek olan andezit ve bazalt gibi kayaçlarda matkap aşınması yüksek ve matkap ömrü ise kısadır. Ancak marn gibi yumuşak formasyonlarda matkap ömürleri oldukça yüksektir. Burada matkap aşınmasını ve matkap ömrünü etkileyen en

önemli parametre, kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı mineraller miktarlarıdır.

- Kayaçlar içerisinde bulunan aşındırıcı mineral oranlarından faydalanarak eşdeğer kuvars içerikleri belirlenmiş ve elde edilen verilerle matkap ömürleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Matkap ömürleri ile eşdeğer kuvars içeriği arasında R^2 =0,71 azalan bir ilişki elde edilmiştir.
- Eşdeğer kuvars içeriğinin artmasıyla matkap aşınımı artığı ve matkap ömrü azaldığı tespit edilmiştir. Cankurtaran Salmankaş tünelinde matkap ömrünün en fazla ve matkap aşınmasının düşük olduğu formasyonun marn olduğu tespit edilmiştir.
- Eşdeğer kuvars içeriğinin belirlenmesi matkap üreticisi ve kullanıcısı açısından önemlidir. Çünkü eşdeğer kuvars içeriği miktarına göre ve kayacın özelliklerine göre matkap seçimi yapılabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 8683 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonuna teşekkürü bir borç biliriz.

Arazi çalışmaların yapılması için, Hopa – Borçka Cankurtaran Tünelini yürüten NAS-YSE Ortak girişimine ve taşeron Jumbo İnşaat ve Kartaş İnşaata ve ayrıca Bayburt Salmankaş tüneli yapımını sağlayan AS-Yol inşaat yetkilerine teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Çapik, M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O. ve Çavuşoğlu, İ., 2013. Matkap Aşınımı ve Ömrü, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Underground Excavation for Transportation*, İstanbul. p. 225-232.

Çapik, M., 2014. Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerindeki Kayaçların Delinebilirlik, Aşındırıcılık, Mekanik ve Petrografik Özelliklerinin Araştırılması, Net Delme Hızı ve Bit Tüketimi ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Plinninger, R.J., 2008. Abrasiveness Assessment for Hard Rock Drilling, *Geomechanik und Tunnelbau 1 Berlin*, DOI: 10.1002/geot.200800004, p. 38-46.

Plinninger, R.J., Spaun, G. and Thuro, K., 2002a. Prediction and Classification of tool wear in Drill and blast tunneling . In Van.Roy & Jermy (editors), *Proceedings 9th Int. IAEG Congress*, Durban, South Africa 2226-2236.

Plinninger. R.J, Spaun, G. and Thuro K., 2002b. Predicting tool wear in drill and blast. *Tunnels Tunnelling Int Mag*, p. 1-5.

Schormair, N., Thuro, K. and Plinninger, R., 2006. The influence of anisotropy on hard rock drilling and cutting. *In: Proceedings of the IAEG*, Geological Society of London.

Thuro, K., 1996. Bohrbarkeit beim konventionellen Sprengvortrieb.- Münchner Geol. Hefte B, 1: p.45

Thuro, K. and Plinninger, R.J., 2003, Hard rock tunnel boring, cutting, drilling and blasting: rock parameters for excavatability, ISRM, 2003 Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 1227-1234.

Thuro, K. and Spaun, G., 1996b. Introducing the 'destruction work' as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling. In: Barla M, editor. *Proceedings of the Eurock '96*, Prediction and performance in rock mechanics and rock engineering, vol. 2, p. 707–713.

Thuro, K. and Spaun., G., 1996a. Drillability in hard rock drill and blast *Tunnelling, Geomechanics*, 1-11.

Thuro, K., 1997a. Drillability prediction- Geological influences in hard rock drill and blast Tunnelling, *Geol Rundsch* 86,426-438.

Thuro, K., 1997b. Prediction of drillability in hard rock tunnelling by drilling and blasting, Balkema, Rotterdam. p.103-108.

Patlatma İşlemlerinde Malzeme Yükleme Maliyetinin En Az Olmasını Sağlayan Matematiksel Bağıntıların Geliştirilmesi

Development of Mathematical Relations Providing The Minimum Cost of The Loader at Blasting Operations

A.Tosun
Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, İzmir

G. Konak, A. H. Onur
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Birçok araştırmacı tarafından da belirtildiği gibi patlatma işlemlerinde yükleyicinin ekonomik ve verimli olarak çalışması, sahanın süreksizlik özelliklerine, kayacın dayanımına ve kullanılan özgül şarj değerlerine bağlıdır. Sözkonusu parametrelere göre patlatma işlemi öncesi yükleyicinin veriminin belirlenmesi ekonomik patlatma operasyonları gerçekleştirmek açısından önemlidir. Bu araştırmada, iki farklı kalker ocağında patlatma deneyleri yapılmıştır. Kayacın tek eksenli basınç dayanımı ve özgül şarj değerlerine göre ters kepçeli hidrolik yükleyicinin; hidrolik basınç zorlanmaları, bir kamyonu ortalama yükleme süresi, kepçe sayısı ve ortalama yakıt tüketimi değerlerini patlatma öncesi tahmin eden çoklu regrasyon denklemleri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yükleyici verimi, özgül şarj, optimum patlatma

ABSTRACT As indicated by many researchers, economic and efficient operation of the loader depends on field discontinuity properties, strength of the rock and the specific charge value during blasting operations. It is very important to determine the efficiency of the loader before blasting operations for achieving economic blasts. In this study, blast tests were carried out in two different limestone quarry. Hydraulic pressure stress, the average loading time of a truck, bucket number and average fuel consumption values of the bucket hydraulic loader were estimated multiple regression equations that were created prior to blasting according to the rock uniaxial compressive strength and specific charge values.

Keywords: The efficiency of loader, specific charge, optimum blast

1 GİRİŞ

Patlatma işlemi yapılan açık ocaklarda üretim aşamaları patlatma, yükleme, nakliye ve duruma göre boyut küçültme operasyonlarıdır. Hammes 1966'da Quebec-Cartier madeninde yaptığı birtakım patlatma deneyleri ile delme, patlatma, yükleme ve nakliye işlemlerinin maliyet olarak birbirleriyle olan ilişkisini araştırmıştır. Bu araştırmada patlatma sonucu oluşan malzemenin yükleme işinin maliyeti, toplam maliyetin % 15'ini oluşturduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle yükleyicinin malzeme yükleme sırasındaki maliyetinin en az olması önemlidir. Bilindiği gibi bir patlatma işleminde, patlayıcı madde miktarı arttırıldığında patlatma maliyeti yükselerek yığın içinde daha ince taneler oluşmakta, bu durum da malzeme yükleme maliyetini düşürmektedir; tersi durumda ise patlatma maliyeti düşecek yükleme maliyeti de yükselecektir. Bu noktada patlatma öncesi patlayıcı madde miktarına göre yükleyicinin malzeme yükleme maliyetinin nasıl

değiştiğini bilmek, ekonomik açıdan optimum patlatma operasyonları dizayn edebilmek için önemlidir. Patlatma işlemlerinde kullanılan özgül şarj değeri, yığın boyut dağılımını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle özgül şarj değeri yükleyicinin yükleme verimiyle ilişkilidir [Michaud ve Blanchet (1996), Singh ve Yalcin (2002), Sarı ve Lever (2007), Segarra vd. (2010), Tosun vd. (2012)]. Ancak birçok araştırmacı tarafından da belirttildiği gibi yığın boyut dağılımı dolayısıyla malzeme yükleme maliyeti, sadece patlayıcı madde miktarına bağlı değil; aynı zamanda patlatma yüzeyinin kayaç dayanım özelliklerine de bağlıdır [Cunnigham (1983), Lilly (1986), Hüdaverdi vd. (2012)]. Bu nedenle patlayıcı madde ve yükleyici maliyetinin optimum olmasını sağlamak için, sahanın özelliklerine ve kullanılan patlayıcı madde miktarına göre yükleyici verim parametrelerini tahmin eden bağıntıların oluşturulması çok önemlidir.

Bu çalışmada, birbirinden farklı özellikler içeren iki farklı kalker sahasında toplam ondokuz adet patlatma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde özgül şarj değeri ve patlatma aynasının kayaç dayanım değerleri kullanılarak, ters kepçeli hidrolik yükleyicinin hidrolik basınç zorlanmaları, bir kamyonun ortalama yüklenme süresi, kepçe sayısı ve ortalama yakıt tüketimi değerlerini patlatma öncesi tahmin eden çoklu regrasyon denklemleri oluşturulmuştur.

2 ÇALIŞMA SAHALARI VE SAHA ÇALIŞMALARI

Araştırma kapsamında İzmir Bornova'da bulunan BATIÇİM'e ait Aravadi kalker ocağında dokuz, Üst Aravadi kalker sahasında da on olmak üzere toplam ondokuz adet patlatma deneyi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de çalışma sahalarının konumları verilmiştir.

Şekil 1. Çalışma sahasının konumu.

Sözkonusu patlatma deneylerinde patlamış malzemenin yüklemesini PC 550 adı verilen 3,6 m^3 kepçe kapasitesine sahip ters kepçeli hidrolik yükleyici gerçekleştirmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında tüm patlatma deneylerine ait özgül şarj değerleri, yükleyicinin malzeme yükleme sırasındaki hidrolik pistonlarında oluşan basınç zorlanmaları, yükleyicinin bir kamyonun ortalama yükleme süresi ve kepçe sayısı, yükleyicinin ortalama yakıt tüketimi ve değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Ölçüm işlemleri patlatma sonucu oluşan malzemenin tümünün yüklenip bitmesine kadar devam edilmiş ve değerler ortalama olarak hesaplanmıştır.

2.1 Özgül Şarj Değerlerinin Hesaplanması

Gerçekleştirilen tüm patlatma deneylerinde kayacı parçalayıcı olarak Anfo tipi patlayıcı madde kullanılırken; yemleme olarak da nitrogliserin esaslı dinamit kullanılmıştır. Patlatma işlemleri öncesi her bir patlatmada kullanılan patlayıcı madde miktarı gözlemlerle hassas bir şekilde kaydedilmiştir. Patlatma sonucu oluşan toplam malzemenin ağırlık değerleri de işletmeye ait kantar kullanılarak ölçülmüştür. Toplam patlayıcı madde miktarının patlatma sonucu oluşan toplam malzeme hacmi değerlerine bölünmesiyle de özgül şarj değerleri hesaplanmıştır (Çiz. 1). Burada kayacın birim hacim ağırlığı 2,65 ton/m^3 olarak ölçülmüştür.

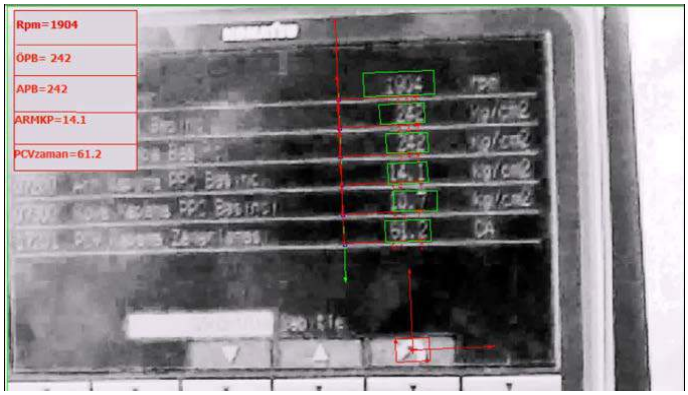
Çizelge 1. Patlatma işlemlerinin hesaplanan özgül şarj değerleri.

Deney No.	Özgül şarj (kg/m^3)	Delik sayısı	Ortalama Delik boyu (m)	Patlatmasonucu oluşantoplam malzememiktarı (ton)	Kullanılan toplam ANFO miktarı (kg)	Kullanılan toplam yemleme miktarı (kg)
Aravadi Kalker Ocağı						
1	0,416	2	17,00	1607,07	250,0	1,25
2	0,395	2	17,00	1692,09	250,0	1,25
3	0,291	2	17,00	2454,44	267,5	1,25
4	0,511	2	17,00	1426,45	275,0	1,25
5	0,300	2	17,00	2428,08	275,0	1,25
6	0,404	3	17,00	2625,62	400,0	1,88
7	0,195	2	17,00	3748,8	276,25	1,25
8	0,282	3	16,00	3989,73	426,88	1,25
9	0,326	2	17,00	2442,76	301,25	1,25
Üst Aravadi Kalker Ocağı						
1	0,372	6	13,00	2343,94	325,00	3,750
2	0,287	7	12,00	2350,10	250,01	4,375
3	0,318	20	13,70	7816,74	925,00	12,500
4	0,406	18	14,00	4965,16	750,00	11,250
5	0,466	4	14,00	995,80	172,50	2,500
6	0,387	7	13,50	2084,94	300,01	4,375
7	0,344	18	13,80	5861,80	750,00	11,250
8	0,362	6	14,00	1673,46	225,00	3,750
9	0,329	7	14,00	2653,40	325,01	4,375
10	0,379	7	14,00	2305,12	324,91	4,375

2.2 Yükleyicinin Hidrolik Basınç Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışma sahalarında patlatılan malzemenin yüklenmesini 3,6 m³ kova kapasitesi, 362 HP gücüne sahip PC 550 LC markalı ters kepçeli hidrolik yükleyici gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada yükleyicinin veriminin belirlenmesinde veri olarak kullanılan ön pompa, arka pompa, kol kapama ve kova kapama hidrolik basınç değerleri, yükleyici monitöründen anlık sayısal değerler olarak izlenebilmektedir.

Yükleyici monitöründeki anlık görüntü verilerinin kayıt altına alınması için görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Görüntü işleme tekniği ile ölçülmüş veya kaydedilmiş olan elektronik (dijital) görüntü verileri, özel yazılımlar kullanılarak sayısal verilere dönüştürülmüştür (Şek. 2). Bu veriler patlatma sonucu oluşan tüm malzemenin yüklenip bitmesine kadar sürekli olarak bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.



Şekil 2. Yükleyici veri izleme ekranından alınan verilerin sayısallaştırılması.

2.3 Yükleyici Döngü Süresi ve Kepçe Sayısının Belirlenmesi

Her patlatma deneyinde yükleyici veriminin belirlenmesi amacıyla yükleyicinin döngü süreleri, bir parametre olarak kullanılmıştır. Patlatma deneylerinde yükleyicinin her bir kamyonu kaç kepçeyle ve ne kadar zamanda yüklediği belirlenmiştir. Döngü sürelerinin belirlenmesinde kronometre kullanılırken; kepçe sayısı da gözlemlerle tespit edilmiştir.

2.4 Yükleyicinin Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi

Yükleyicinin patlatmadan sonra oluşan yığını yüklemesi sırasında tükettiği yakıt miktarı, litre/saat (l/saat) olarak belirlenmiştir. Yakıt tüketimi değerleri, yükleyicide bulunan veri izleme monitöründen sürekli olarak kaydedilerek ortalama olarak hesaplanmıştır.

Saha çalışmaları sırasında yükleyici veriminin tespit edilmesinde ölçülen veriler Çizelge 2'de ortalama olarak verilmiştir.

Çizelge 2. Özgül şarj ile ortalama yüklenme süresi değerleri.

Deney No.	Özgül şarj (kg/m^3)	Yükleyici Hidrolik Basınçları (kg/cm^2)					Ortalama yüklenme Süresi sn./kamyon	Yükleyici Yakıt Tüketimi l/saat	Ortalama Kepçe sayısı (adet/kamyon)
		ön pompa	arka pompa	kol kapama	kova kapama	Toplam			
Aravadi Kalker Ocağı									
1	0,416	151,84	152,24	7,25	5,68	317,01	202,10	36,50	8,79
2	0,395	152,41	155,58	7,26	5,76	321,01	208,78	37,90	9,17
3	0,291	161,20	163,66	7,90	6,98	339,74	232,05	41,20	9,20
4	0,511	144,50	147,20	7,07	5,30	304,07	196,57	32,81	8,73
5	0,300	161,30	164,10	7,80	6,91	340,11	234,23	40,8	9,47
6	0,404	150,20	151,10	7,20	5,56	314,06	210,57	37,00	9,00
7	0,195	170,80	172,50	8,54	7,61	359,45	249,48	41,5	9,69
8	0,282	161,40	164,10	7,94	7,07	340,51	231,44	41,00	9,33
9	0,326	158,70	159,40	7,75	6,82	332,67	226,68	39,70	9,40
Üst Aravadi Kalker Ocağı									
1	0,372	149,39	152,43	7,21	6,44	315,47	191,80	36,20	9,06
2	0,287	152,27	156,58	10,00	14,90	333,70	230,60	39,30	9,65
3	0,318	149,11	161,90	8,13	6,72	325,90	211,90	38,70	9,04
4	0,406	128,13	140,73	6,69	6,53	282,09	188,10	34,70	8,70
5	0,466	116,60	119,19	5,08	4,26	245,12	183,30	29,90	8,65
6	0,387	137,76	139,52	7,86	5,35	290,49	187,90	35,10	8,82
7	0,344	147,60	151,61	7,53	15,23	321,97	194,10	37,10	9,12
8	0,362	146,34	150,66	8,62	6,58	312,20	190,50	35,80	9,00
9	0,329	147,99	160,10	7,39	8,65	324,10	208,50	38,30	9,18
10	0,379	140,05	148,13	6,79	5,91	300,88	188,70	35,00	8,90

3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Patlatma deneylerinin yapıldığı Aravadi ve Üst Aravadi kalker ocaklarından blok halinde getirilen numuneler, öncelikle karot numuneleri olarak hazırlanmış ve fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile kaya mekaniği laboratuvarında fizikomekanik deneyler yapılarak değerlendirilmiştir. Çizelge 3'de uygulanan deneyler ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Çizelge 3. Çalışma sahalarına ait tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı değerleri.

	Aravadi Ocağı	Üst Aravadi Ocağı
	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
Ortalama	29,305± 5,35	20,3325± 2,07
Deney sayısı	18	20
	Birimhacim ağırlığı (ton/m^3)	Birimhacimağırlığı (ton/m^3)
Ortalama	2,65± 0,003	2,64± 0,004
Deney sayısı	22	24

4 DEĞERLENDİRME

Aravadi ve Üst Aravadi kalker ocağında gerçekleştirilen patlatma deneylerinde, patlatma sonucu oluşan malzemenin yüklemesini aynı tip olan PC 550 LC ters kepçeli hidrolik yükleyici gerçekleştirmiştir. Bu nedenle söz konusu iki kalker ocağında yapılan patlatma deneyleri sonucunda elde edilen yükleyici verimlerini belirleyen veriler birlikte değerlendirilmiştir.

Aşağıda hem Aravadi hem de Üst Aravadi kalker ocağında yapılan patlatma deneylerinden elde edilen ve yükleyici verimini belirlemede kullanılan veriler, özgül şarj ve kayacın tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre ilişkilendirilip bağıntılar oluşturulmuştur. Bu ilişkilerde iki tane değişken olduğundan dolayı çoklu regresyon denklemleri geliştirilmiştir.

Gerçekleştirilen patlatma deneylerinde özgül şarj ve kayacın tek eksenli basınç dayanımına göre yükleyicinin çalışması sırasında yağ pistonlarında oluşan toplam hidrolik basınç değerini belirleyen bağıntı 0,766 regresyon katsayısıyla

$$c = 2{,}21y - 261x + 356 \quad (1)$$

şeklinde elde edilmektedir.

$c =$ Yükleyicinin yağ pistonlarında oluşan toplam hidrolik basınç değeri (kg/cm^2)
$x =$ Özgül şarj değeri (kg/m^3)
$y =$ Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Gerçekleştirilen patlatma deneylerinde özgül şarj ve kayacın tek eksenli basınç dayanımına göre bir kamyonun ortalama yüklenme süresini belirleyen bağıntı 0,887 regresyon katsayısıyla

$$b = 2{,}24y - 200x + 225 \quad (2)$$

şeklinde elde edilmektedir.

$b =$ Bir kamyonun ortalama yüklenme süresi (sn)
$x =$ Özgül şarj değeri (kg/m^3)
$y =$ Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Gerçekleştirilen patlatma deneylerinde özgül şarj ve kayacın tek eksenli basınç dayanımına göre yükleyicinin bir kamyonu yüklemesindeki ortalama kepçe sayısı değerini belirleyen bağıntı 0,774 regresyon katsayısıyla

$$e = 0{,}0134y - 3{,}57x + 10 \quad (3)$$

şeklinde elde edilmektedir.

$e =$ Yükleyicinin bir kamyonu yüklemesindeki ortalama kepçe sayısı değeri (adet)
$x =$ Özgül şarj değeri (kg/m^3)
$y =$ Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Gerçekleştirilen patlatma deneylerinde özgül şarj ve kayacın tek eksenli basınç dayanımına göre yükleyici yakıt tüketim değerini belirleyen bağıntı 0,881 regresyon katsayısıyla

$$d = 0{,}229y - 35{,}2x + 44{,}2 \quad (4)$$

şeklinde elde edilmektedir.

$d =$ Yükleyici yakıt tüketim değeri (lt/saat)
$x =$ Özgül şarj değeri (kg/m^3)
$y =$ Kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Bu çalışma sonucunda patlatma operasyonları yapan maden işletmeleri, sahanın kayaç dayanımı ve kullanılan özgül şarj değerlerine göre geliştirilen bağıntılar yardımıyla yükleyicinin verimini, patlatma

işlemi öncesi tahmin edebileceklerdir. Bu sayede en az ekonomi ve en çok yükleyici verimini sağlayan patlatma operasyonları dizayn edebileceklerdir. Yapılan çalışmada, işletmenin üretim planından dolayı hep aynı yönde patlatma deneyleri yapılmıştır. Bu nedenle sahanın süreksizlik özellikleri patlatma deneyleri için sabit kalmıştır.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Aravadi bölgesinde dokuz ve Üst Aravadi bölgesinde de on adet olmak üzere toplam ondokuz patlatma deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir patlatma deneyinin baştan sona bitmesi 10 ile 48 saat arası sürmüştür.

Patlatma operasyonlarında, patlayıcı madde olarak ANFO, ANFO'yu patlatmak için de dinamit kullanılmıştır. Patlatma işlemlerinde, delik geometrisine göre hesaplanan malzeme miktarından hariç olarak patlatma aynasının arka ve yan kısımlarından bir miktar daha malzeme patlamaktadır. Ek olarak patlayan malzeme de üretime katılmaktadır. Bu nedenle, bağıntılarda kullanılan özgül şarj değerlerinin hesaplarında patlatma sonucu oluşan tüm malzeme miktarları kullanılmıştır.

Bu deneylerde özgül şarj değeri ve patlatma aynasının kayacın dayanım değerleri kullanılarak, ters kepçeli hidrolik yükleyicinin hidrolik basınç zorlanmaları, bir kamyonun ortalama yüklenme süresi, yükleyicinin ortalama kepçe sayısı ve yükleyicinin ortalama yakıt tüketimi değerlerini patlatma öncesi tahmin eden çoklu regrasyon denklemleri oluşturulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 110M282 nolu proje ile Tübitak tarafından desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar bu çalışma sırasında hiçbir desteği esirgemeyen Bornova Batıçim yönetimine ve çalışanlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Cunningham, C .V. B., 1983. The Kuz-Ram modelfor prediction of fragmentation from blasting, *In Proc 1st Int Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pp. 439-453.

Hammes, J.K., 1966. The economics of producing and delivering iron ore pellets from North American taconite type resources, *Proceedings of the 27th Annual Mining Symposium*, University of Minnesota, pp. 9-16.

Hudaverdi, T., Kuzu, C., Fisne, A., 2012. Investigation of the blast fragmentation using the mean fragment size and fragmentation index, *International Journal of Rock Mechancs&Mining Sciences*, pp. 136-145.

Lilly, P.A., 1986. An Empirical method of assessing rock mass blastability, *In ProcLarge Open Pit Mining Conference*, pp. 89-92.

Michaud, P. R., Blanchet, J. Y., 1996. Establishing a quantitative relation between post blast fragmentation and mine productivity a case study, *Proceedings of 5th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pp. 386-396.

Singh, S. P., Yalcin, T., 2002. Effects of muck size distribution on scooping operations, *Proceedings of 28th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques*, pp. 315-325.

Sarı, M., Lever, P. J. A., 2007. Effect of blasted rock particle size on excavation machine loading performance, *20th Intenational Mining Congress and Exhibition of Turkey*, ISBN 978-9944-89-288-9.

Segarra, P., Sanchidrián, J. A., López, L. M., Querol, E., 2010. On the prediction of mucking rates in metal ore blasting, *Journal of Mining Science*, Vol. 46, No. 2.

Tosun, A., Konak, G., Karakuş, D., Onur, A.H., Toprak, T., 2012. Investigation of the relationship between blasting pile density and loader productivity, *Rock Fragmentation by Blasting*, pp. 385-391, Indıa.

Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın KuzRam Modeli İle Değerlendirilmesi

Evaluation of Blast Fragmentation Using KuzRam Model

T. Hüdaverdi
İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Ö. Akyıldız
İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

ÖZET Bu çalışma patlatma kaynaklı parçalanmanın tahmini ve değerlendirilmesi konusuna odaklanmaktadır. Bir taş ocağında ölçülen atımlar kullanılarak görüntü işleme yazılımları ve KuzRam modeliyle parçalanma verimliği incelenmiştir. Yığının farklı bölgelerinden alınan fotoğraflar görüntü işleme yazılımıyla analiz edilmiş ve yığının parça boyut dağılım eğrisi elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, yığının parça boyut dağılımının tespiti amacıyla KuzRam modeli kullanılmıştır. Bu model parça boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılan Kuznetsov denklemi ve parçalanma eğrisinin oluşturulması için kullanılan Rosin−Rammler fonksiyonundan oluşmaktadır. Modelin girdi parametreleri patlatma tasarım parametreleri ve kayaç özellikleridir. KuzRam modeli ile görüntü işleme yazılımı yoluyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. KuzRam modelinin önemli parametrelerinden biri olan kayaç parametresi üzerine yorumlarda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kaya patlatma, parçalanma, boyut dağılımı, ANFO

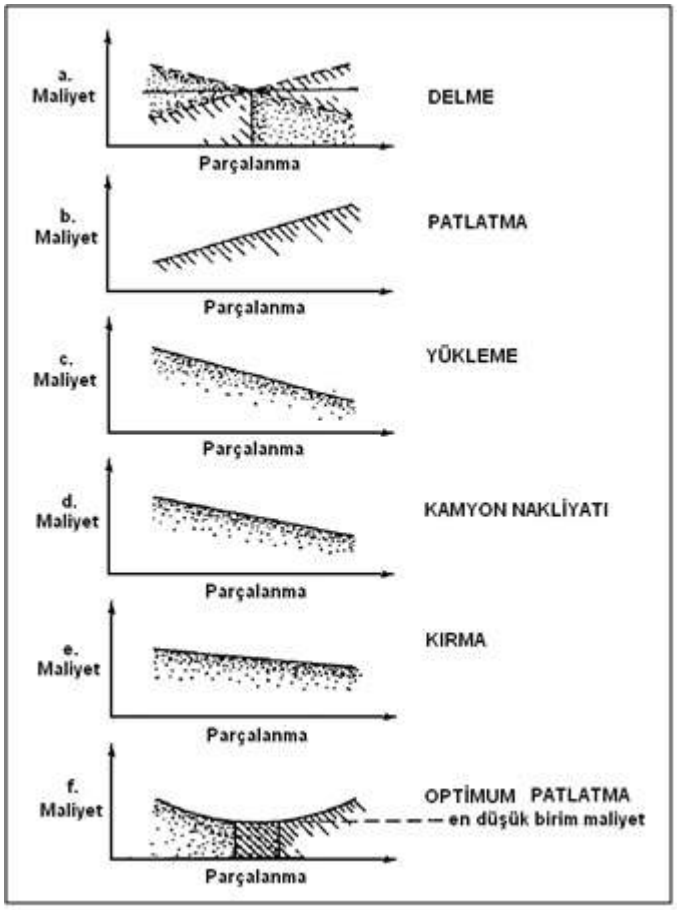
ABSTRACT This paper focuses on evaluation and prediction of blast induced rock fragmentation. Image analysis techniques and KuzRam fragmentation model were used to examine efficiency of quarry blasts. The photographs taken from several locations on muckpile were analyzed using image analysis software and the particle size distribution of muckpile was determined. As a second step, KuzRam fragmentation model was used to determine particle size distribution of muckpile. KuzRam model consists of the Kuznetsov equations that is used to predict mean particle size and Rosin−Rammler function which is used to draw size distribution curve. The input parameters of KuzRam model are blast design parameters and rock mass properties. The results of KuzRam model and the image analysis technique were compared. The rock mass parameters of KuzRam model was interpreted in detail.

Keywords: Rock blasting, fragmentation, size distribution, ANFO

1 GİRİŞ

Agrega madenciliğinde patlama sonrası yığının parça boyut dağılımının en uygun şekilde elde edilmesi büyük önem taşımaktır. Parçalanma verimliliği nakliyatın ve yüklemenin yanı sıra kırıcılardaki verimliliği de büyük ölçüde etkilemektedir. Arzu edilenden iri parçalar kırıcılarda tıkanmalara, aşırı yüklenmelere ve aşınmalara neden olmaktadır. Ayrıca atım sonrası yığında patar olarak nitelenen büyük kayaç parçalarının mümkün olduğunca en düşük seviyede olması gerekmektedir. Parçalanmanın artışı patlatmayı takip eden operasyonlarda verimlik artışı sağlayacaktır. Patlatma operasyonunda patlatma tasarım

parametrelerinin tamamen doğru uygulandığı varsayılırsa; parçalanmayı iyileştirme yönünde hareket edildiği zaman birim patlatma maliyeti artacaktır. Bununla beraber yükleme, nakliyat ve kırma operasyonlarında maliyet düşüşü sağlanmaktadır. Bu açıdan maliyetin minimum olduğu çalışma şartlarının tespit edilmesi gerekmektedir (Ouchterlony, 2003). Şekil 1'de parçalanma verimliliğinin ardışık operasyonlara etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi (Mckenzie, 1967).

Bu çalışmada taş ocağında atım sonrası yığının parça boyut dağılımı görüntü işleme yazılımıyla tespit edilmiştir. Görüntü işleme yazılımları günümüzde çok uzun süredir yığının boyut dağılımının tespitinde kullanılmaktadır. Ek olarak ampirik bir model olan KuzRam modeli yığının parça boyut dağılımını tespiti için kullanılmıştır. Genel olarak bu model kayaç özellikleri ve patlatma tasarım parametrelerini kullanarak yığının parça boyut dağılımını tespit etmektedir. Burada öncelikle kayaç özelliklerinin bir girdi parametresi olarak modele doğru bir şekilde eklenmesi gerekliği vardır (Hudaverdi ve diğ, 2012). KuzRam modeli ile görüntü işleme yoluyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış; KuzRam modelinin başarısı test edilmiştir.

Bildirinin bundan sonraki bölümlerinde öncelikle KuzRam modeli tanıtılacak ve agrega ocağında incelenen 2 örnek atım üzerinden KuzRam modelinin verimliliği tartışılacaktır.

2 KuzRam MODELİ

KuzRam modeli genel olarak Kuznetsov'un (1973) ortalama parça boyutu tahmin denklemi ve yığının boyut dağılımını belirlemek için kullanılan Rosin−Rammler eğrisine dayanır. Ek olarak Cunningham (1983) adlı araştırmacı KuzRam modelindeki kayaç faktörünün daha hassas belirlenmesi için modele bir patlatılabilirlik indeksi dahil etmiştir.

Ortalama parça boyutunu veren Kuznetsov denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$x_{50} = A\,(V_o / Q_e)^{0,8}.Q_e^{\,0,167}.(115 / E)^{0,633} \quad (1)$$

Burada,
x_{50} = Ortalama parça boyutu (cm)
A = Kaya faktörü (1−13, ortalama kayaç = 7)
Q_e = Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg)
V_o = Delik başına kayaç hacmi: BxSxH
B = Dilim kalınlığı (m)
S = Delikler arası mesafe (m)
H = Basamak yüksekliği (m)
E = Patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvetidir. (ANFO = 100)

Kuznetsov denklemini TNT için yazmıştır. Denklemin sonundaki Cunningham (1983) tarafından eklenen ifade diğer patlayıcıların da kullanımına imkan vermektedir. Parçalanma eğrisinin çiziminde Rosin-Rammler eşitliği olarak adlandırılan aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$R = e^{-(x/x_c)^n} \quad (2)$$

Burada;
R : Elek üzerinde kalan malzemenin oranı
x : Elek açıklığı

x_c : Yüzde miktarı bulunacak tane boyutu
n : Üniformite indeksi olmaktadır.

Patlatma işleri için Rosin-Rammler formülü kullanıldığında x_c karakteristik boyut olarak belirlenir ve malzemenin %63,2'sinin geçtiği açıklığını gösterir. Kuznetsov denklemi malzemenin %50'sinin geçtiği boyutu vermektedir. Bundan yaralanarak karakteristik boyut aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$x_c = \frac{x}{\sqrt[n]{0,693}} \quad (3)$$

Üniformite indeksi (n) Cunningham tarafından (1983) aşağıdaki bağıntıyla ortaya konmuştur.

n = (2,2–14B/D) [((1+S/B)/ 2)^{0,5}] (1–W/B) (L/ H) (4)

Bu bağıntıda;
D : Delik şarj çapı (mm)
B : Dilim kalınlığı (m)
S : Delikler arası mesafe (m)
W: Delik sapmalarının standart sapması (m)
H : Basamak yüksekliği (m)
L : Şarj uzunluğu (m)' dur.

Lilly (1986) tarafından geliştirilmiş olan Patlatılabilirlik İndeksi, Cunningham (1987) tarafından modele dahil edilmiş ve kaya faktörünün tespiti detaylandırılmıştır:

A = 0,06 (RMD+JF+RDI+HF) (5)

Burada;

- RMD: Kaya Kütle Sınıflaması

Kayaç kırılgan, parçalanmış, gevrek yapıdaysa = 10
Düşey yönde süreksizlikler mevcut ise = JF
Kayaç masif yapıdaysa = 50

- JF = Süreksizlik Katsayısı (JF = JPS+JPA)
- JPS: Düşey süreksizlik aralığı

Düşey süreksizlik aralığı <0,1 m =10
0,1< Düşey süreksizlik aralığı < iri blok boyutu =20
İri blok boyutu < Düşey süreksizlik aralığı < delme paterni =50

- JPA: eklem düzlemi yönelimi

Basamak yüzeyinin dışına doğru dalan süreksizlikler= 20
Süreksizlik düzlemi yüzeye dik ise = 30
Basamak yüzeyinin içine doğru dalan süreksizlikler =40

- RDI: Kayaç yoğunluk etkisi = (25 RD) –50

RD = Kayaç yoğunluğu (t/m^3)

- HF: Sertlik katsayısı:

Elastisite modülü (E)<50 GPa ise HF = E/3
E>50 GPa ise HF = UCS/5 UCS = Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)'dır.

3 KUZRAM MODELİNİN AGREGA OCAĞINDA UYGULANMASI

3.1 KuzRam Uygulaması Ve Görüntü İşleme Tekniği İle Karşılaştırılması

Bu bildiri kapsamında İstanbul Cendere Bölgesi'ndeki bir taş ocağında ölçülen iki atım üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Ocaklarda delik çapı 89 mm'dir. Taş ocağında elektriksiz ateşleme sistemi, patlayıcı madde olarak emülsiyon dinamit ve ANFO kullanılmaktadır. Genellikle bir atımda 10-20 deliğin patlatıldığı gözlemlenmiştir. Taş ocağında basamak yükseklikleri 10 m'yi geçmemektedir. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değerleri 1,8-3 m arasında değişmektedir.

Öncelikle her atımdan önce patlatma tasarım parametreleri dikkatlice ölçülmüş KuzRam modelinde kullanılmak üzere kayaç parametreleri, süreksizlikler dikkatlice gözlenmiştir. Üretilen kayaç kumtaşıdır ve yoğunluğu 2,7 gr/cm^3'dür. Kayacın elastisite modülü 15,9 GPA'dır.

Şekil 2. Parçalanmanın tespiti amacıyla kullanılan örnek fotoğraf

Atım sonrası yığının parça boyut dağılımının tespiti amacıyla yığının farklı noktalarından

örnek fotoğraflar alınmıştır. Bu fotoğraflardan biri Şekil 2'de verilmiştir. Fotoğraftaki toplar ölçek olarak yerleştirilmiştir. Bu araştırmada İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü envanterinde bulunan WipFrag görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır.

Görüntü işlemede örnekleme sayısı, örnek resimlerin alındığı lokasyon önem arz etmektedir. Parça boyut dağılımı yığının farklı kesimlerinde değişiklik gösterebilir. Genellikle analiz sırasında yığının birden fazla noktasından fotoğraf alınmakta yazılımların birleştirme (merge) özelliği kullanılarak görüntüler birlikte değerlendirilmektedir (Hüdaverdi ve diğ, 2009). Çeşitli görüntü işleme yazılımlarının karşılaştırılması Latham ve diğerleri (2003) tarafından ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir.

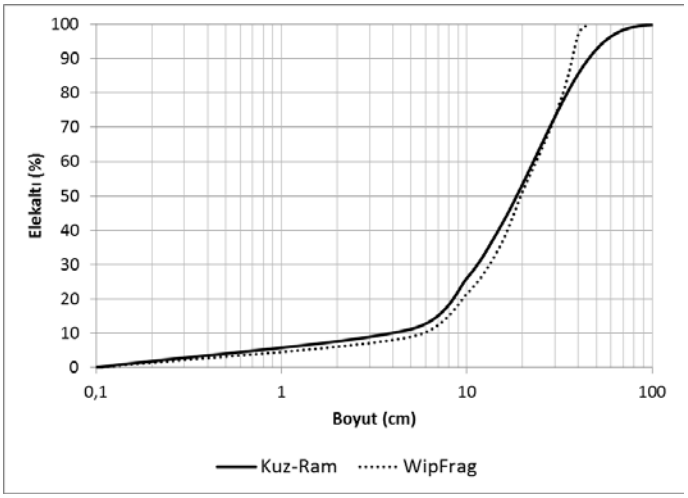
Çizelge 1'de ocakta incelenen iki farklı atıma ait patlatma tasarım parametreleri verilmiştir. Ölçülen atımlar için Kuznetsov formülünde (1 No'lu denklem) kullanılan kayaç faktörü (A) hesaplanmış ve bu değer 7,36 olarak bulunmuştur.

Çizelge 1.Taş ocağında incelenen atımlar

Atım No	D (mm)	H	B(m)	S(m)	T(m)	U(m)	L(m)	Qe (kg)	V(kg/m^3)
I	89	7	2	2,5	3	0,5	4,5	23,78	0,68
II	89	8	2,2	2,5	2,5	0,5	6	31,71	0,72

D: Delik çapı, H: Basamak yüksekliği, B: Dilim kalınlığı, S: Delikler arası mesafe, T: Sıkılama mesafesi, U: Alt delme, L: Şarj yüksekliği, Qe: Bir delikteki patlayıcı miktarı, V: Özgül Şarj.

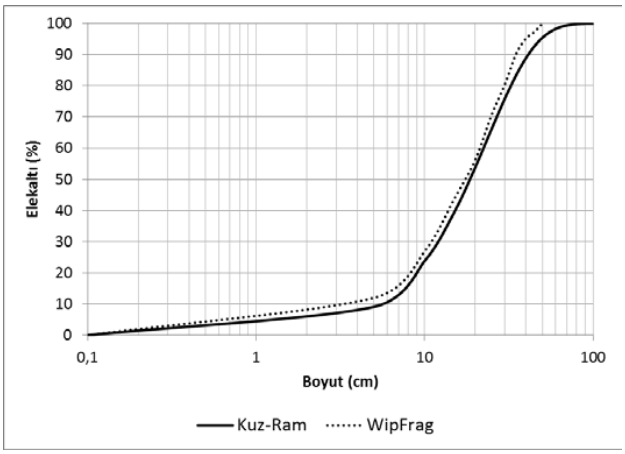
I. atıma ait parça boyut dağılım grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Bu atımda görüntü işleme yoluyla ortalama parça boyutu 19,6 cm olarak hesaplanmıştır. Kuznetsov denklemiyle (1 No'lu formül) hesaplanan ortalama parça boyutu 18,57 cm'dir.



Şekil 3. I. Atıma ait yığının parça boyut dağılımı

Şekil 3'de KuzRam modeliyle hesaplanan parça boyut dağılım eğrisi ve yığının WipFrag görüntü işleme yazılımı ile analiz sonucu elde edilen boyut dağılım eğrisi birlikte verilmiştir. Burada KuzRam modelinin iri boyutta görüntü işleme ile yapılan analizden farklılaştığını söylemek mümkündür. WipFrag yazılımıyla gerçekleştirilen ölçümde yığındaki 40 cm üzeri malzeme miktarı %2,82 iken, KuzRam modeli bu oranı %14,34 olarak hesaplanmıştır.

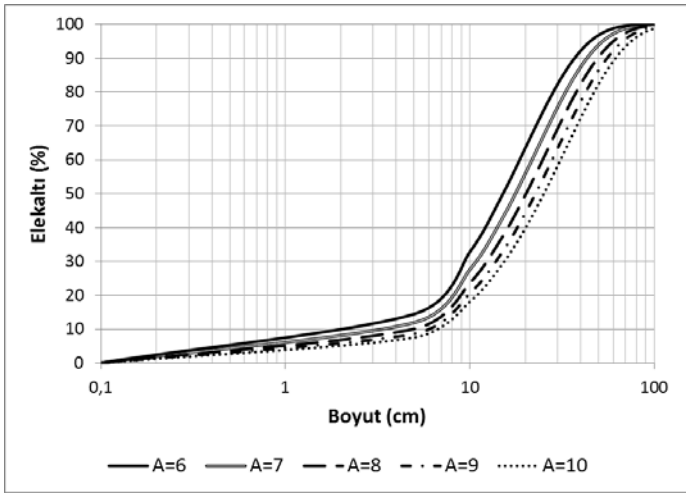
Şekil 4'de ikinci atıma ait ölçülen ve hesaplanan boyut dağılım eğrileri verilmiştir. Bu atımda WipFrag yazılımıyla ortalama parça boyutu 17,5 cm olarak ölçülmüştür. Kuznetsov denklemiyle (1 No'lu formül) hesaplanan ortalama parça boyutu 18,59 cm'dir. Çizilen iki eğrinin birbiriyle uyumlu olduğu söylenebilir. KuzRam nispeten daha iri bir parçalanmaya işaret etmiştir.



Şekil 4. II. Atıma ait yığının parça boyut dağılımı

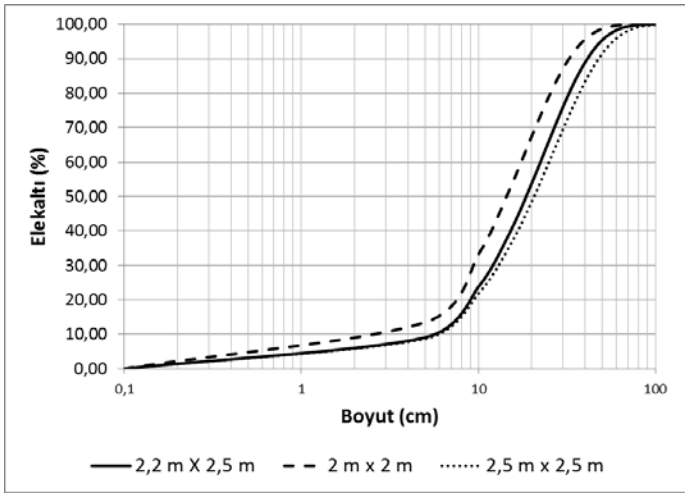
3.2 Patlatma Tasarım Parametrelerinin Ve Kayaç Özelliklerinin Modele Etkisi

KuzRam Modelinde kayaç parametresinin değişiminin parçalanmayı ne derece etkilediğini anlamak için, I No'lu atımda Çizelge 1'de sunulan patlatma tasarım parametrelerini değiştirmeden farklı kayaç değerleri için KuzRam Modeli tekrar hesaplanmış ve parça boyut dağılım eğrileri çizilmiştir. Hesaplanan eğriler Şekil 5'de verilmiştir. Görüldüğü üzere kayaç faktörünün artışı nispeten daha iri parçalanmaya neden olmaktadır. Burada göz önüne alınan kayaç faktörleri 6-10 arasında değişmekte orta-orta sert kayacı temsil etmektedir. Kayaç faktörü 6 iken ortalama parça boyutu 15,14 cm olarak hesaplanmışken, kayaç faktörünün 10 olması durumunda bu değer 25,24 cm'dir.



Şekil 5. Kayaç Faktörü (A) değişiminin KuzRam Modeli boyut dağılımına etkisi

Patlatma tasarım parametrelerinin parçalanma verimliliğine etkisi Şekil 6'da incelenmiştir. Çizelge 1'de verilen II. atıma ait her türlü parametre sabit tutulmuş dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değiştirilerek bu iki parametrenin parçalanma verimliliğine etkisi incelenmiştir. 2,2 m dilim kalınlığı x 2,5 m delikler arası mesafe, II. atımın kendi paternidir. II. Atımın ortalama parça boyutu 18,59 cm iken patern küçülünce (2mx2m) parçalanmanın daha ince olduğu görülmektedir. Atım paterninin 2mx2m olması durumunda ortalama parça boyutu 14,41 cm olarak hesaplanmıştır. Bu durum patlatma tasarımının arazide uygulanırken dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6. KuzRam modelinde farklı patlatma tasarımlarının boyut dağılımına etkisi

Taş ocaklarında genellikle patlatma deliklerinin delinmesi delici operatörünün inisiyatifine bırakılmakta ve dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe hatalı olarak delinmektedir. Kimi zaman 20-30 m atım boylarında delikler delinmekte, aynı sıranın içinde delikler arası mesafenin düzensizlik gösterdiği görülmektedir. Teorik hesaplanan dilim kalınlığı ile taş ocaklarında uygulanan fiili dilim kalınlığı uyumsuz olmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri basamak aynalarının düzensiz olmasıdır. Örneğin kimi zaman 2 m olarak hesaplanan dilim kalınlığına göre delik delinmekte fakat basamağın tabanına doğru dilim kalınlığı 2,5 m'ye çıkmaktadır.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Agrega ocaklarında parçalanmanın tespiti amacıyla görüntü işleme yazılımları çok uzun süredir kullanılmaktadır. Bu çalışmada görüntü işleme yazılımının sonuçları ile ampirik bir model olan KuzRam modeli karşılaştırılmıştır. Örnek iki atımda yığının parça boyut dağılımı KuzRam modeli ile başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. Modelde kullanılan Kuznetsov denklemi

ortalama parça boyutunu 3 cm'nin altında bir hata ile tespit etmiştir. KuzRam modelinin özellikle yığındaki iri boyutlu malzeme oranını daha yüksek miktarda tahmin ettiği söylenebilir.

Burada önemli olan, patlatma tasarım parametrelerinin ve kayaç parametrelerinin KuzRam modeline doğru bir şekilde dahil edilmesidir. Kayaç faktörünün belirlenmesi büyük ölçüde mühendis deneyimi gerektirmektedir. Bu çalışmada patlatma tasarım parametrelerindeki küçük bir sapmanın parçalanma verimliliğini büyük ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Mühendisler özellikle basamak aynasındaki düzensizliklere dikkat etmeli, KuzRam modelinin önemli bir parametresi olan dilim kalınlığı doğru hesaplanmalıdır.

Ek olarak KuzRam modelinin patlayıcının ideal verimlilikte patladığını göz önüne alarak hesaplamalar yaptığını hatırlatmakta fayda vardır. Özellikle ANFO kullanılıyorsa patlayıcı karışım tekniğe uygun olarak hazırlanmalıdır. Deliklerde su olup olmadığı kontrol edilmeli, su olması durumunda ANFO`nun plastik poşetlere (kartuş) konulması yerine emülsiyon patlayıcı kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Cunningham, C, V, B, 1983, The KuzRam model for prediction of fragmentation from blasting, *Proceedings of 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, s. 440-453, Lulea, Sweden.

Cunningham, C, V, B, 1987. Fragmentation estimations and KuzRam model – four years on, *Proceedings of 2nd Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, s. 475-487, Keystone, Colorado.

Hüdaverdi, T, Güçlü, E, Kuzu, C, 2009. Parçalanma İndeksi ile Taş Ocaklarında Patlatma Verimliliğinin İncelenmesi, *V. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s. 407–413, İstanbul.

Hudaverdi, T, Kuzu, C, Fisne, A, 2012. Investigation of the Blast Fragmentation Using the Mean Fragment Size and Fragmentation Index, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 56, s. 136-145.

Kuznetsov, V, M, 1973. Mean diameter of fragments formed by blasting rock, *Soviet Mining Science*, 9, 2, s. 144-148.

Lilly, P,A., 1986. An Emprical method of assessing rock mass blastability, *AusIMM Large Open Pit Mining Conference*, s. 89−92, Melbourne.

Latham, J, P, Kemeny, J, Maerz, N, Noy, M, Schleifer, J, Tose, S, A, 2003. Blind comparison between results of four image analysis systems using a photo-library of piles of sieved fragments, *Fragblast, 7, 2, s.* 105–132.

Mckenzie, A, S, 1967. Optimum blasting, *Proceedings of the 28th Minnesota Mining Symposium*, s. 181−188, Duluth, USA.

Ouchterlony, F, 2003. Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state of the art rewiev, *Report of Investigation,* Lulea University of Technology, Lulea, 112 s.

Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Yeraltı Yapılarına Etkisinin Değerlendirilmesi- Örnek Çalışma

Evaluation of Blast Induced Environmental Vibration Effects on Underground Structure- a Case Study

T. Öngen, Ç. Pamukçu, M.V. Özdoğan, A.H. Deliormanlı, D. Karakuş
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Maden ve taş ocakları ile benzeri üretim faaliyetleri, üretim teknolojilerine bağlı olarak çevresel titreşime neden olmakta ve çeşitli nedenlerden kaynaklanan şikâyetlere maruz kalmaktadır. Şikâyetlerin değerlendirilmesi amacıyla Ülkemizde konu ile ilgili yönetmelik (Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği-2010) sadece yerüstü yapılarının hasar görme kriterlerine göre hazırlanmıştır. Yeraltı yapıları için bir değerlendirme ve hasar limit değerlerini içermemektedir. Patlatma kaynaklı titreşim seviyelerinin yeraltı yapıları açısından değerlendirildiği çalışmaların yeterli sayıda olmaması eksiklik olarak görülmektedir. Buna bağlı olarak akademik çalışmaların ışığında ortaya çıkan yasal düzenlemeler söz konusu konuda eksik kalmaktadır. Bazı durumlarda yeraltı yapılarına yakın patlatmalı kazı çalışmaları kaçınılmaz olarak yapılmaktadır. Bu durumda yapılacak patlatmalardan kaynaklanan çevresel titreşimin yeraltı yapısı üzerindeki etkisi karakterize edilememektedir ve konuyla ilgili yasal düzenleme olmaması belirsizlik yaratmaktadır.

Bu çalışmada, patlatma kaynaklı titreşimin bir kalker ocağının yakınında yer alan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'ne ait su toplama kuyularına etkisi incelenmiştir. Yöntem olarak titreşim seviyesi ile yeraltı yapısı dinamik etkileşimi değerlendirilmemiş olup, patlayıcı miktarı ve mesafe ilişkisi kullanılarak titreşimin sönümleneceği mesafe belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çevresel titreşim, patlatma, kalker,

ABSTRACT Mining and quarrying activities cause environmental vibration depending on the production technologies and therefore are exposed to several complaints. In order to prevent these complaints, regulations in Turkey related to this subject (Regulation of Environmental Noise Management) were prepared only according to damage criteria of aboveground structures. It does not include any assessment and damage limit values for underground structures. It is seen as a lack the insufficient number of studies that evaluated blast induced vibration levels in terms of underground structures. Accordingly, the regulations developing in the light of academic studies also remain incapable in this subject. In some cases, excavation works with blasting close to the underground structures are inevitably conducted. In this situation, impact on the underground structure of blast induced environmental vibration cannot be characterized and lack of regulations creates uncertainty. In this study, effects of blast induced vibration were investigated on water collection wells which belong to DSI and are located near a limestone quarry. Dynamic interaction of vibration level and underground structure was not evaluated. Instead, attenuation distance of vibration was determined by using the relationship between the amount of explosive charge and distance

Keywords: Environmental vibration, blasting, limestone

.

1 GİRİŞ

Maden üretimi, inşaat, baraj, tünel, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde kazı işlemleri sırasında patlayıcı maddelerden yararlanılmaktadır. Patlatmalı kazı işlemlerinin gerçekleştirildiği bölgelerin yakınında yerleşim yeri, baraj, tünel gibi hasar görme ihtimali olan bölgelerin varlığı söz konusu ise iş güvenliği ve çevresel titreşim etkisi bakımından kapsamlı değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir.

Patlatma işlerinin kaçınılmaz olarak yapıldığı kazı çalışmalarında teknik ve ekonomik şartların sağlanmasının yanı sıra, patlatmanın meydana getirebileceği çevresel titreşim etkilerinin de göz önünde bulundurulması ve bu sorunun mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Patlatma işlemleri sonucu patlayıcı madde enerjisinin bir kısmı kayacı parçalamak için kullanılırken bir kısmı da kaya kütlesinin içerisinde kaya kütle özelliklerine bağlı olarak titreşimler oluşturmaktadır. Diğer taraftan patlatmalar sonucu gürültü oluşumu, taş savrulması ve toz emisyonu da meydana gelmektedir. Özellikle nakliye mesafelerinin belirleyici olduğu hammadde ocakları patlatma kaynaklı çevresel nedenlerden dolayı sürekli gündemde olabilmektedir. Rekabet şartları ve ruhsat hukuku gereği şehirlere yakın konumlanan bu hammadde ocakları şehirlerin inşaat ve altyapı ihtiyacını karşılamakla birlikte sayılarının çokluğu nedeniyle değişik durumlarda incelemelere ve şikâyetlere maruz kalabilmektedirler.

Patlatma sonucu oluşan çevresel titreşim etkilerinin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla literatürde çok sayıda farklı yaklaşımlar mevcuttur. Genel bir değerlendirmeyle 1940'lı yıllardan sonra konuyla ilgili çalışmalar yoğunlaşarak devam etmiş ve patlatma kaynaklı titreşimlerin hasar kriterlerinin belirlenmesinde partikül (parçacık) hızı ve frekans değerleri baz alınarak sınır değerler oluşturulmuştur. Ülkeler kendi yapı standartlarına göre patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyelerinin hız değerleri ve frekans değerleri için sınır değerler belirlemiştir. Benzer şekilde Ülkemizde de bu kavram temel alınarak hazırlanmış olan madencilik ve alt yapı çalışmalarında yapılan patlatmalar sonucu titreşimlerin değerlendirilmesine ait yönetmelik (Çevresel Gürültünün Yönetimi Yönetmeliği-2010) mevcut olup, bu yönetmelik binaların yapı tekniği göz önüne alınarak hasar görme kriterlerine göre hazırlanmıştır. Yönetmeliklerin ve standartların çok büyük kısmında tanımlanan titreşim seviyesi hasar eşik sınır değerleri yerüstü yapılarını kapsamakta, yeraltı yapıları için herhangi bir değerlendirme ve hasar limit değerlerini içermemektedir.

Diğer taraftan yerüstü yapıları ile yeraltı yapıları arasında yapısal farklar bulunmaktadır. Yerüstü yapılarının kendi rezonans değerleri vardır. Herhangi bir kaynaktan yayılan titreşimler, gövde ve yüzey dalgaları olarak farklı frekanslarda sismik dalgalar oluşturmaktadır. Çevresel titreşim etkisi açısından değerlendirildiğinde, genliği yüksek frekansları düşük olan yüzey dalgaları en tehlikeli dalgalardır. Bu dalgalar yapıların genelde 10-20 Hz civarında olan düşük doğal frekansları ile rezonansa girebilir, kaynaktan yayılan çevresel titreşim incelenen yapının temelinden geçip gittiği halde kafes sistemleri şeklinde olan binada serbest salınım hareketleri meydana gelebilir. Bina rezonans halindeyken, partikül hızı sınır değerlerin altında ise binada hasar oluşmaz ama binada bulunan insanlar rahatsız olabilmektedir. Ancak yeraltı yapılarının (su kuyuları, maden üretim kuyuları, metro tünelleri, baraj enjeksiyonları vb.) serbest yüzeyi kısıtlı olmasından dolayı rezonans değerleri yoktur. Diğer bir ifadeyle yeraltı yapısının bulunduğu yeraltı ortamından bağımsız serbest salınım yapma şansı yoktur. Ayrıca yeraltı yapılarında, yapının zarar görmesi için frekansın etkisinin ne derece belirleyici olduğuyla ilgili literatürde genelleme yapılacak bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Yeraltı mühendislik yapıları genel olarak açıklıkları ve destek sistemleri ile karakterize edilebilirler. Bu çerçevede bir yeraltı yapısının yakınında yapılan patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesinin hangi destek sisteminde hangi açıklıkta ne kadar etkisinin oluşabileceğinin belirlenmesiyle ilgili özel

şartlar altında yapılmış çalışmalar mevcuttur. Diğer taraftan hem gelişen alt yapı çalışmaları hem de hammadde ihtiyacı nedeniyle yeraltı yapılarına yakın patlatmalı kazı çalışmaları bazı durumlarda kaçınılmaz olarak yapılmaktadır. Bu durumda yapılacak patlatmalardan kaynaklanan çevresel titreşimin yeraltı yapısı üzerindeki etkisi karakterize edilememekle birlikte, konuyla ilgili yasal düzenleme olmaması belirsizliğe neden olmaktadır.

Bu çalışmada, patlatmalı kazı yapılması istenilen kalker sahasının yakınında yer alan yeraltı yapılarına (DSİ'ne ait su toplama kuyuları), patlatma sonucu oluşan çevresel titreşimin etkisi incelenmiştir. Yöntem olarak titreşim seviyesi ile yeraltı yapısı dinamik etkileşimi değerlendirilmemiş olup, patlayıcı miktarı ve mesafe ilişkisi kullanılarak titreşimin sönümleneceği mesafe belirlenmiştir.

2 ÇEVRESEL TİTREŞİM ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Patlatmalı kazı çalışmalarında patlayıcı enerjisi kullanılması sonucu oluşan sismik dalgaların meydana getirdiği *partikül hızları ve frekans*, çevreye olumsuz etki yaratmadaki en etkili parametrelerdir. Genel olarak patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan titreşim seviyelerinin, bu çalışmalara yakın yapılar üzerindeki etkisi titreşim ölçümlerinin metodolojisi çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımda da titreşim seviyeleri karakterize edilmekte ve yerüstü yapıları için yasal olarak belirlenmiş titreşim seviyelerinin altında patlatma tasarımları yapılmaktadır. Patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyelerinin binalar üzerindeki etkisini inceleyen farklı metotlar, analiz yöntemleri ve tahmin modelleri bulunmaktadır. Bunlar bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe regresyon analizi, titreşim formu sayısal çözümlemeleri, ileri istatistik çözümlemeleri başlıkları altında genelleştirilebilir. Rockwell'in 1934 yılında yayımlamış olduğu titreşim enerji formülünden hareketle patlatma kaynaklı titreşim ile ilgili kronolojik bir değerlendirme Çizelge1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Patlatma sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesi ile ilgili bazı çalışmalar (Mohamed, 2010)

Çalışma Adı	Yayımlanma Tarihi
Rockwell Enerji Formülü	1934
USBM İvmelenme Kriterleri	1935-1940
USBM Formülü	1942
Crandell Enerji Oranı	1949
Langefor Parçacık Hızı Kriteri	1958
Edwards veNorthwood Parçacık Hızı	1959
USBM Parçacık Hızı Kriteri	1969-1971
Medearis Parçacık Hızı ve Frekans	1976
Bauer Parçacık Hızı Kriteri	1977
USBM Çeşitli Parçacık Hızları ile Frekans karşılaştırması	1980
OSM Güncel Federal Yönetmelikler	1983
DGMS Hint Kriterleri	1997
DIN 4150,. Germany Norm,	1999

Çizelge 1'de verilen çalışmalar patlatma sonucu oluşacak titreşim seviyelerinin tahmini/belirlenmesi eksenindedir. Bu konuda çeşitli yaklaşımlar olsa da en yaygın olarak kullanılanı ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı değişimini ortaya koyan değerlendirmedir. Buna göre bir patlatmadan kaynaklanan titreşim seviyesinin ana bileşenleri anlık patlayıcı miktarı ve patlatma kaynağına olan uzaklıktır. Bunların dışında patlatma tasarımından patlatılacak kaya kütlesinin süreksizlik özelliklerine kadar birçok önemli değişken ölçüm sonuçlarından elde edilebilen katsayılar ile ifade edilmektedir.

Çeşitli ülkelere ait standartlar ve yürürlükte olan yönetmelikler, patlatmalar sonucu oluşan titreşimi bileşke partikül hızı ve frekansı ile karakterize ederek, bu iki değişkene ait sınır değerler vermektedir. Ülkemizde de patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin çevreye etkisiyle ilgili yasal düzenleme Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 04.06.2010 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve

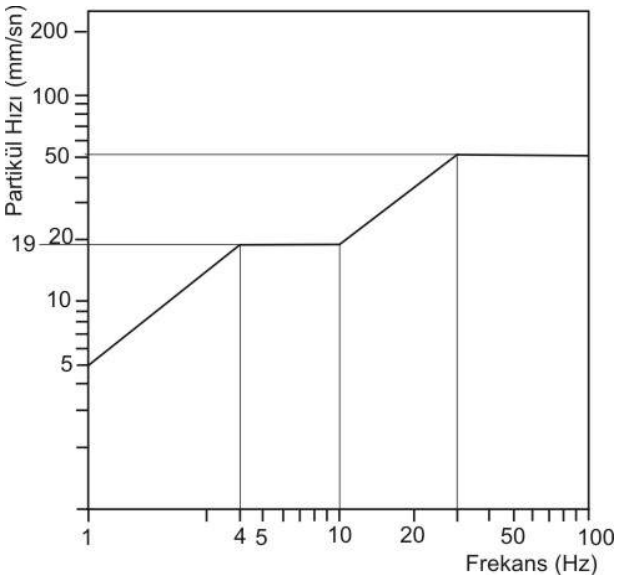
Yönetimi Yönetmeliği'dir. Yönetmeliğin 25. maddesi (a) bendi maden ve taşocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler ile ilgilidir. Yönetmeliğin 25. Madde a bendi şöyledir. *"...MADDE 25 – (1) Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:*
a)Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VIII'de yer alan Tablo-6'da verilen sınır değerleri aşamaz...." Yönetmelikte atıf yapılan *Ek-VIII'de yer alan Tablo-6,* Çizelge 2'de verilmiştir. Sınır değerleri baz alınarak tabloda tarif edilen yönteme göre çizilen partikül hızı-frekans eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VIII'de verilen Tablo 6 Yönetimi Yönetmeliği 25/a maddesinde tarif edilen esaslara göre).

Tablo –6: Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	**İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)**
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)



Şekil 1. Partikül hızı-frekans sınır değerleri (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve

Bu yönetmelikte verilen değerler Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda yapılan patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan titreşim seviyelerinin sahaya yakın yerleşim birimleri/binalar gibi yerüstü yapıları için verilen yasal sınır değerlerdir.Bu çalışmaya konu olan DSİ'ne ait su toplama kuyuları yakınında yapılan patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyeleri yukarıdaki Yönetmelikte verilen sınır değerler ile değerlendirilememektedir.

Konunun değerlendirilmesi için her ne kadar kısıtlı olsa da patlatma kaynaklı titreşim seviyelerinin yeraltı yapılarına (kuyular özelinde) etkileriyle ilgili yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Buna göre Froedge (1983), patlatma sonucu oluşan titreşimlerin su kuyularına olan etkilerini incelemiştir. Maksimum parçacık hızı 25 mm/sn'nin altındaysa kuyuda geçici olarak su seviyesinin 3-6 cm değişiklik göstereceğini belirtmiş, ayrıca titreşim ölçümlerini hem yüzeyde hem de kuyu içerisinde almıştır. Aldığı ölçümlerden kuyu içerisinde elde ettiği veriler her zaman yüzeyde elde ettiklerinden düşük olmuştur. Ölçüm yaptığı bölgede kuyular açısından verilen sınır değer 12 mm/sn olarak belirtilmiştir. Yapmış olduğu çalışmada açık ocağın 60 m uzağında bulunan sığ su kuyusunun ortasında 32.3 mm/sn bileşke parçacık hızı kaydetmiş, herhangi bir hasar oluşumu ve su akış debisinde bir farklılık tespit edememiştir. Bu

çalışmasında takip ettiği patlatmalar sonucunda bileşke parçacık hızının 50 mm/sn olması durumunda su kuyularında kayda değer bir hasar meydana gelmeyeceğini raporlamıştır.

Rose ve ark. (1991), patlatma kaynaklı titreşimin Nevada'daki bir açık ocağın çok yakınında bulunan su kuyularına etkisini incelemiştir. Bu patlatmalarda gecikme başına 70 kg patlayıcı kullanılmış olup, patlatmalar derin su kuyusunun 70 m uzağında yapılmıştır. 177.8-203.2 mm/sn parçacık hızlarında kuyu cidarında herhangi bir hasar gözlenmemiş, fakat su seviyesinde dalgalanmalar ve akış oranında değişim gözlenmiştir.

Matheson ve ark. (1997), yapılan patlatmalarla ilgili yaygın olarak gelen şikâyetleri incelediği çalışmada su kuyuları ve pompaların zarar görmesinin patlatma kaynaklı olmadığını, bu zararların patlatma öncesi farklı olaylarla meydana geldiğini rapor etmiştir.

Suskind (2000), yapmış olduğu çalışmada patlatma kaynaklı titreşimin bileşke partikül hızı (PPV) değerinin 13-635 mm/sn arasında değiştiğini belirtmiş, bu değerlerin patlatma alanının 17 m uzağında bulunan kuyulara etkisini incelemiştir. Yalnızca bir çimento kaplı kuyuda 119 mm/sn PPV değerinde hasar oluşumu gözlemlemiş, 625 mm/sn ölçüm aldığı patlatmada hiçbir kuyu cidarında hasar tespit edememiştir. Çalışma yaptığı alanda, kuyu ve pompa ekipmanları içeren yerin altındaki birimler için 127 mm/sn PPV değerini sınır değer olarak belirlemiştir.

Lafarge (2013), bir açık ocağın 60 m yakınında bulunan ve yeraltı yapısı sayılabilecek olan petrol boru hattının patlatma kaynaklı titreşimden etkileneceği sınır değeri 50 mm/sn olarak kabul etmiştir.

Romanya standartlarında baraj ve yeraltı boru hattının hasar görme sınırı 320 mm/sn, izin verilen sınır ise 161 mm/sn'dir. Muhafaza borulu sondaj deliğinin zarar görmemesi içinse sınır değer 381 mm/sn'dir (Lafarge, 2013).

Rorke (2011), patlatma kaynaklı titreşimlerin yakında bulunan birimlere etkisini raporladığı çalışmada, yeraltı boru hatlarının zarar görmemesi için limit değerlerin yüksek olduğunu belirtmiştir. Basınçlı çelik boru hattı yakınındaki patlatmalarda (Güney Afrika) güvenli alanda kalınması için partikül hızının 50 mm/sn'yi geçmemesi gerektiğini, bu durumun çok zayıf materyallerle yapılmış ya da eski çimento boru hatlarını kapsamadığını belirtmiştir. Yaptığı çalışma için patlatma yapılan alandan 100 m mesafede ve daha yakında Transnet boru hattı varsa patlatma kaynaklı titreşimin bileşke partikül hızının 25 mm/sn'yi geçmemesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu durum Transnet özeldir. Ayrıca bu boru hatlarına 100 m'den daha yakın alanda kesinlikle patlatma yapılmamasını önermiştir.

Hulshizer ve Desai, 1984 yılında taze beton için limit titreşim hızı değerlerini tanımlamışlardır. Beton yaşlarına göre limit titreşim seviyeleri belirlemişlerdir. Bu değerler Çizelge 3'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3. Taze beton için limit titreşim seviyeleri (Hulshizer ve Desai, 1984)

Beton yaşı (Saat)	**Limit Titreşim Seviyesi mm/sn**
<3	102 mm/sn (4 inç/saniye)
3-11	38 mm/sn (1.5 inç/saniye)
11-24	50 mm/sn (2 inç/saniye)
24-48	102 mm/sn (4 inç/saniye)
<48	178 mm/sn (7 inç/saniye)

Uygulamadan uygulamaya farklılıklar olmasına rağmen, Bauer ve Calder tarafından 1977'de ampirik çalışmalara dayanılarak çeşitli yapılara yönelik sınır değerler verilmiştir. Örneğin yeraltı yapısı olarak geçebilecek muhafaza borulu sondaj deliği için hasar sınır değeri (15 inç/sn) 381 mm/sn olarak verilmiştir.

Köy evleri, yeraltı yapıları olarak sayılan basınç altında kalmış olan borular, gaz ve petrol kuyuları ve maden kuyuları ile çok zayıf/hassas yapılar için Romanya standartlarında olası hasarlar için izin verilen partikül hızı 0.5 mm/sn, hasar limiti de 1 mm/sn olarak belirtilmiştir. Aynı standartta yeraltı boru hattı ve barajların hasar görebileceği izin verilen partikül hızı 16.1

mm/sn, hasar limiti de 32 mm/sn olarak belirtilmiştir (Lafarge, 2013).

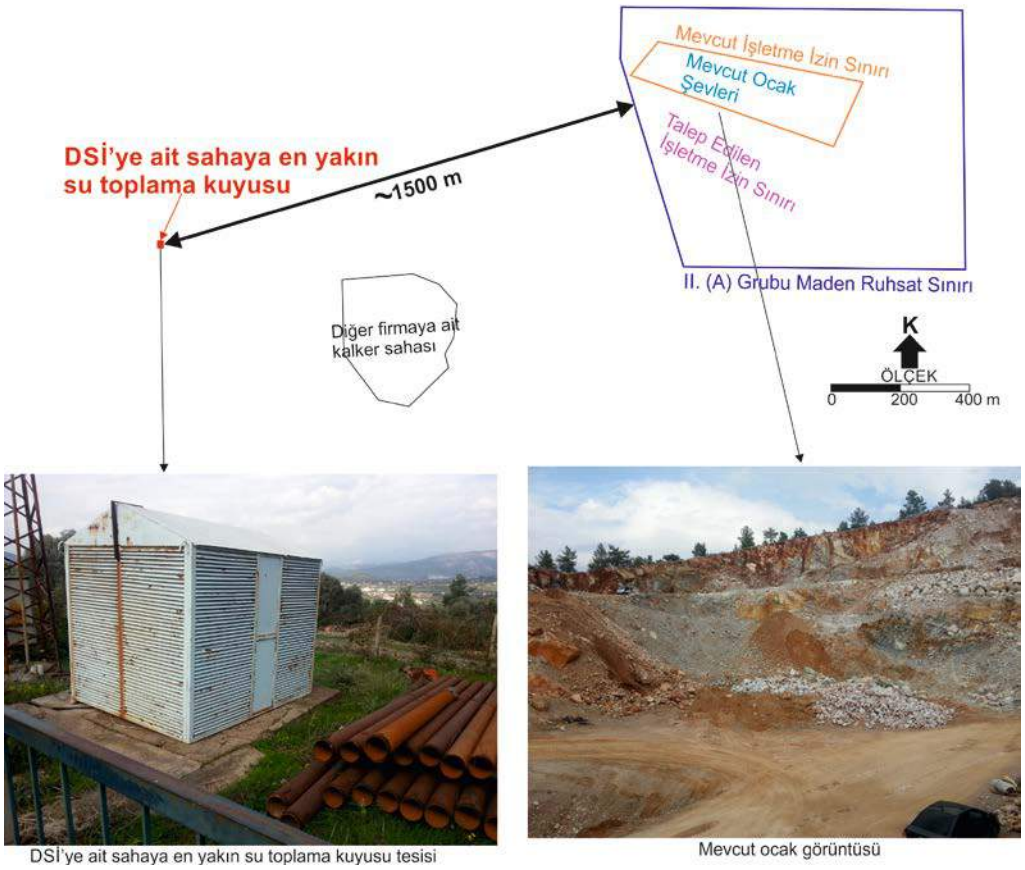
3 ARAZİ ÇALIŞMASI

Yukarıda verilen değerlendirmeler ışığında görülmektedir ki, patlatma sonucu oluşan titreşimlerin yeraltı yapısına etkisiyle ilgili farklı sınır değerleri bulunmaktadır. Bunun nedeni su toplama kuyusu gibi yapım özelliği değişiklik gösterebilen yeraltı yapılarının karakterize edilmesindeki farklılıktır. Çalışma kapsamında faaliyetleri devam eden bir kalker ocağının yaklaşık 1500 m mesafede güneybatısında yer alan su toplama kuyularına etkisi araştırılmıştır. Metot olarak öncelikle patlatma sonucu oluşan titreşim seviyelerinin titreşim ölçümleri baz alınarak yayılma karakteristiği ortaya konulmuş sonrasında bu yayılma karakteristiği kullanılarak anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir.

3.1 Titreşim Ölçümleri

Kalker sahasında gerçekleştirilen üretim amaçlı patlatmalı kazı çalışmalarının neden olduğu çevresel titreşim seviyesinin, mesafe ile değişiminin ortaya konulması ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'ne ait olan su toplama kuyusuna etkisinin incelenmesi için gözlem titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu hammadde ocağı ruhsat sahasının yakınında DSİ'ne ait su toplama kuyularının sayısı birden fazladır (Şekil 2). Ancak sahada yapılacak patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyelerinin bu kuyular üzerindeki etkisinin incelenmesi için en yakın DSİ su toplama kuyusu baz alınmıştır (Şekil 3). Yerüstü yapıları için kullanılan sınır değerlerin DSİ su toplama kuyuları için kullanılamayacağı, kuyuların titreşimlerden etkilenme mekanizmasının farklı olabileceği değerlendirilmesi yapılmış, sahada yapılacak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim seviyelerinin su toplama kuyusuna ulaşmadan sönümlenmesi dolayısıyla titreşim etkisine maruz kalmaması öngörülmüştür.

Şekil 2. Saha yakınındaki DSİ'ne ait bazı su toplama kuyuları



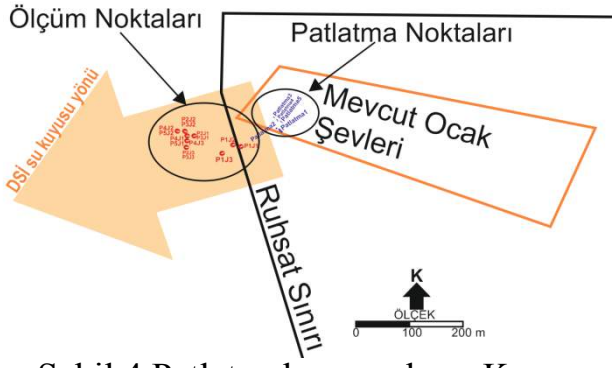
Şekil 3. Patlatma yapılan II (a) grubu kalker sahası sınırları ve titreşim açısından incelenen DSİ'ye ait sahaya en yakın su toplama kuyusu konumları

Farklı ölçekli mesafelerde (farklı şarj miktarı ve farklı mesafelerde) yapılan toplam 5 atımdan partikül hız değerleri ölçülerek analizi yapılmış ve arazi ile ilgili katsayılar (K ve β katsayıları) bulunmuştur. Patlatmalara ait teknik veriler Çizelge 4'te verilmiştir. Çalışma sahasında gerçekleştirilen patlatmalarda 0.5 kg/delik yemleme ile gecikme başına 32.5-37.5 kg arasında değişen ANFO kullanılmıştır.

Çizelge 4. 5 adet Patlatmaya ait teknik veriler

Delik Çapı	89 mm
Delik Boyu	10 m
Delikler Arası Mesafe	1.5-2.5 m
Dilim Kalınlığı	0.8 -2.0 m
Sıkılama Boyu	3 m
Şarj Kolonu Yüksekliği	7 m
Gecikme Sistemi	Nonel (Delik içi 500ms yüzeyde 25ms ve 4 ms)
Delik Sayısı	Patlatma-1 için 28 adet Patlatma-2 için 11 adet Patlatma-3 için 4 adet Patlatma-4 için 4 adet Patlatma-5 için 4 adet

Gerçekleştirilen 5 adet araştırma patlatmasından 14 adet titreşim ölçümü kaydedilmiştir. Titreşim ölçümlerinde yöntem olarak patlatma yapılan bölge ile kalker sahasının maden ruhsatlı sınırından itibaren 1500 m mesafe uzaklıktaki DSİ su kuyusu arasındaki yön esas alınmıştır. Çizelge 5'te ölçümlerde elde edilen patlayıcı miktarı, ölçüm noktasının patlatma bölgesinden olan uzaklığı, ölçekli mesafe ve bileşke partikül hız değerleri verilmiştir. Şekil 4'te sahada gerçekleştirilen araştırma patlatmaları ve laın konumu verilmiştir.



Şekil.4 Patlatmaların ve laın Konumu

Çizelge 5. Titreşim ölçümleri bileşke partikül hızı, patlayıcı miktarı ve ölçüm noktaları mesafeleri

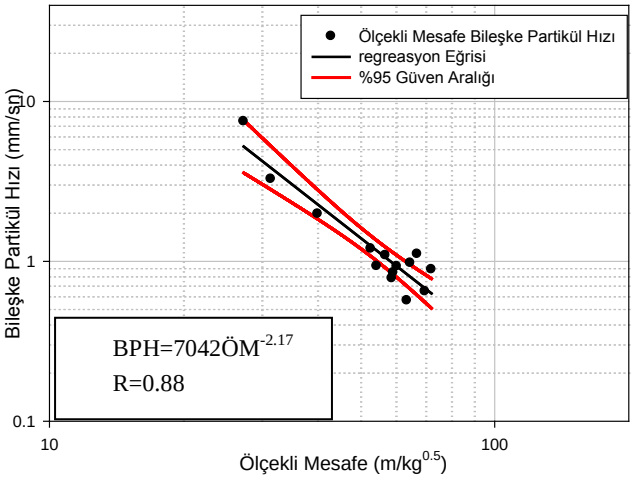
Patlatma No	Jeofon No	Mesafe (m)	Anlık Patlayıcı Miktarı (kg)	Ölçekli Mesafe (m/kg$^{0.5}$)	Bileşke Partikül Hız (mm/sn)
1	1	167.2	37.5	**27.3**	**7.51**
	2	192.6	37.5	**31.4**	**3.27**
	3	245.3	37.5	**40.1**	**1.98**
2	1	321.5	35.0	**54.3**	**0.933**
	2	347.7	35.0	**58.8**	**0.783**
	3	356.7	35.0	**60.3**	**0.93**
3	1	322.7	37.5	**52.7**	**1.20**
	2	348.0	37.5	**56.8**	**1.09**
	3	362.6	37.5	**59.2**	**0.849**
4	1	368.4	32.5	**64.6**	**0.976**
	2	397.6	32.5	**69.7**	**0.648**
	3	362.2	32.5	**63.5**	**0.568**
5	1	381.8	32.5	**67.0**	**1.11**
	2	411.1	32.5	**72.1**	**0.889**

Söz konusu sahada gerçekleştirilen ölçümler sonucu farklı mesafelerden farklı anlık patlayıcı miktarlarında 0.568 mm/sn ile 7.51 mm/sn arasında değişen bileşke partikül hız değerleri elde edilmiştir.

3.2 Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Ocak içinde belirli patlayıcı miktarlarında uygulanan patlatmaların incelenen yönde ne kadar mesafeye yayıldığı ve hangi mesafelerde sönümlendiğinin ortaya konulması için ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi kullanılarak titreşimin etki mesafeleri belirlenmiştir. Kullanılan patlayıcı miktarlarının değişmemesi nedeniyle yüksek bileşke partikül hızı değerleri, patlatmaya yakın bölgelerde titreşim ölçümü yapılması ile sağlanmıştır. İşletme izni sınırında bulunan üretim basamaklarında yapılan patlatmaların neden olduğu titreşim seviyesi DSİ su toplama kuyusunun bulunduğu yönde 14 farklı mesafede ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler kullanılarak oluşturulan ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi Şekil 5'te verilmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda araştırılan bölge için arazi ve sönümlenme katsayıları $K = 7042$; $\beta = 2.17$ olarak elde edilmiştir. Buna göre, farklı mesafelerde oluşacak bileşke partikül hızı tahmini için incelenen yön için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$BPH = 7042\left(\frac{R}{\sqrt{Q}}\right)^{-2.17}$$

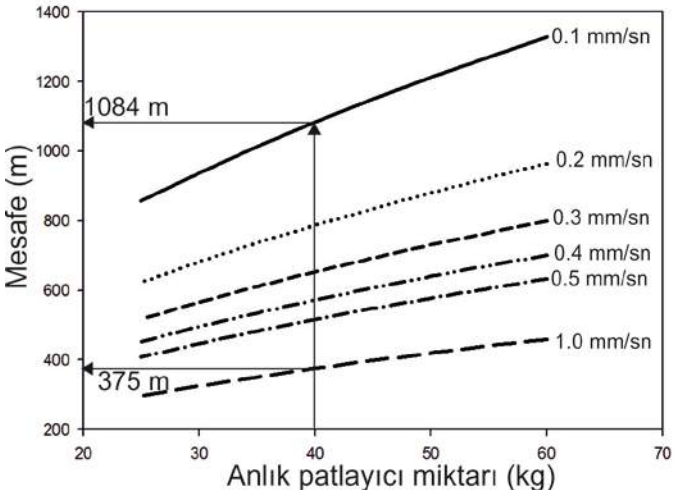


Şekil 5. İncelenen bölge ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi

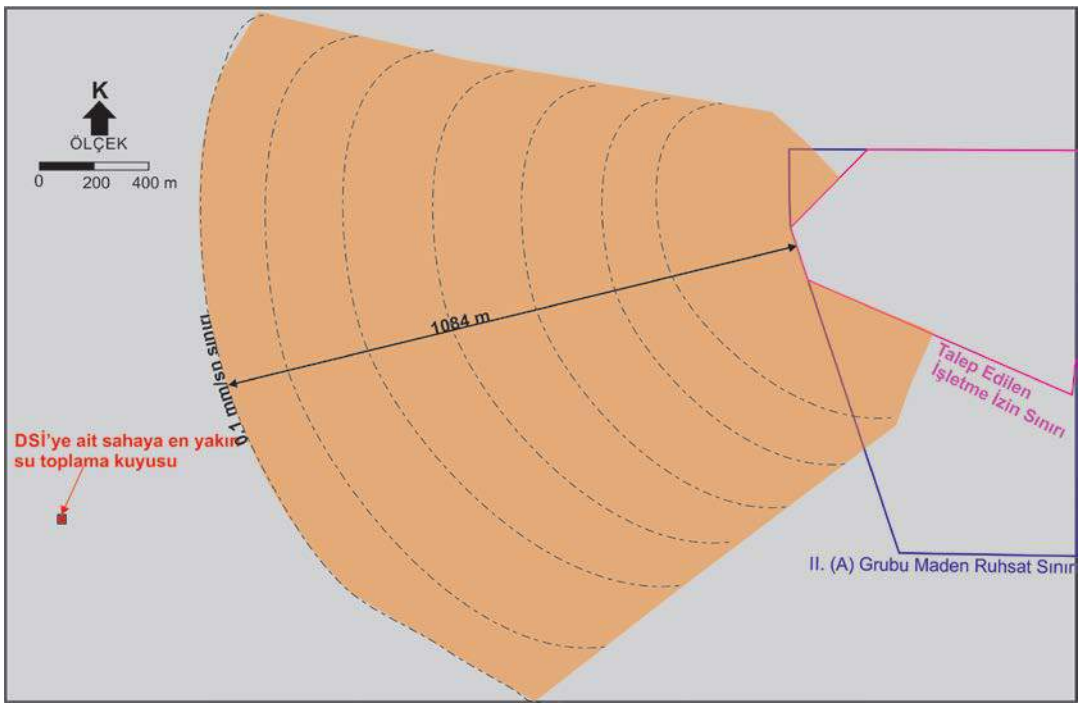
Şekil 5'de verilen Bileşke Partikül Hızı (BPH) - Ölçekli Mesafe (ÖM) ilişkisi hızı grafiğine görüldüğü gibi yaklaşım fonksiyonu % 88 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Sayısal analiz çalışmalarında, yaklaşım eğrilerinin güvenilirliği güven aralığı sınırları ile denetlenmektedir. Gerçek ölçüm verileri ile oluşturulmuş yaklaşım eğrilerinin doğruluğu hakkında değerlendirme yapılmasını sağlayan güven aralığı sınırları, gerçek ölçüm verilerinin normal dağılım grafiğinden istatistik analizler yardımıyla elde edilebilmektedir. Diğer bir anlatımla, bölgede gerçekleştirilecek bir patlatma sonucu oluşacak titreşim seviyesinin, patlayıcı miktarına bağlı olarak hangi mesafede hangi seviyede oluşacağı ancak yüzdesel ihtimaller ile tahmin edilebilir. İncelenen bölgeye ait ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı grafiğine bakıldığında, istatistiksel olarak iki farklı eğri bulunmaktadır. Grafikten elde edilen formül, gerçek ölçüm sonuçlarına dayanılarak gerçekleştirilmiş regresyon analizi uygulanarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analize göre, ölçekli mesafeye bağlı bileşke partikül hızı değerleri %95 doğrulukla Şekil 5'de verilen alt ve üst sınırlar içerisinde gerçekleşecektir.

Bu çerçevede kalker ocağında yapılacak patlatmaların DSİ'ye ait su kuyusu yönünde yayılması karakterize edilmiş olunur. Ölçüm sonuçlarına dayalı olarak oluşturulan ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı regresyon analizi kullanılarak ocakta yapılacak patlatmalar sonucu oluşacak çevresel titreşim seviyesi, anlık patlayıcı miktarı ve mesafe değişimi Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi farklı anlık patlayıcı miktarlarında regresyon analizi fonksiyonu kullanılarak farklı bileşke partikül hız değerlerine göre mesafe tahmini yapılabilir. Örneğin sahada yapılan bir patlatma grubunda 40 kg anlık patlayıcı kullanılması durumunda oluşan çevresel titreşim % 95 ihtimalle patlatma noktasından itibaren yayılarak 375 m sonra 1.0 mm/sn değerine, bu mesafeden sonra yayılmasına devam ederek 1084 m sonra 0.1 mm/sn bileşke partikül hızı değerine sahip olacaktır. Bu yaklaşımla sahada yapılacak patlatmaların DSİ'ne ait su toplama kuyusuna ulaşmadan sönümlenmesi için gerekli patlayıcı miktarı öngörülebilir ve patlatma tasarımı bu değer üzerinden gerçekleştirilebilir. Şekil 7'de patlatma yapılacak sahanın ve DSİ' ne ait en yakın su toplama kuyusunun konumu verilmiştir.



Şekil 6. Mesafe- anlık patlayıcı miktarı eğrileri



Şekil 7. Titreşim yayılma modeli

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada gerek madencilik faaliyetleri olsun gerekse altyapı çalışmalarında olsun gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan çevresel titreşimin yeraltı yapılarına etkisiyle ilgili değerlendirme yapılmıştır.

Patlatmalı kazı çalışmaları madencilik, arazi düzenleme, tünel ve yol kazısı çalışmalarında yaygın olarak

kullanılmaktadır. Bu durumda Madencilik özelinde konumları şehirlere yakın olan hammadde ocakları daha sık olmak üzere patlatmalı kazı çalışmaları çevresinde korunması gerekilen ve/veya etkisinin belirlenmesi beklenilen yeraltı yapılarına rastlanabilmektedir. Tünel, yol ve baraj gibi altyapı işlerinde gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarında patlatma işleri süreklilik arz etmeyeceği, çoğu durumda geçici olabileceği için özel patlatmalar çözüm olabilmektedir. Ancak hammadde ocakları gibi üretimin bir parçası olarak gerçekleştirilen üretim patlatmaları sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesinin yeraltı yapısına etkisi ve sınır değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu çerçevede Ülkemizde patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyesinin yeraltı yapılarına etkisi veya sınır değerleri ile ilgili bir düzenleme yoktur. Farklı ülkelerin standartlarında da bu konuyla ilgili kısıtlı değerlendirme olmakla birlikte var olan sınır değerler oldukça farklılık göstermektedir. Bunun nedeni açıklık ve destek sistemi ile karakterize edilebilecek yeraltı boşluklarının titreşim gibi dinamik bir yük etkisine maruz kaldığında davranışının tespit edilmesindeki belirsizliktir. Diğer taraftan hammadde madenciliği başta olmak üzere geçici patlatmalı kazı çalışmalarında oluşan titreşim seviyesinin yeraltı yapılarına etkisinin belirlenmesi sıklıkla talep edilmektedir.

Bu çalışmada metot olarak patlatmalardan kaynaklanan titreşim seviyelerinin yeraltı yapılarına etkisinin belirsiz olması nedeniyle çözüm olarak titreşimlerin yeraltı yapılarına ulaşmadan sönümlenmesine yönelik patlatma tasarımlarının uygulanabileceği sunulmuştur. Günümüzde patlatma teknolojisindeki gelişmeler, milisaniye mertebesindeki gecikme sistemleri anlık patlayıcı miktarları kontrolü ile oluşan titreşim seviyelerinin denetlenmesini mümkün kılmaktadır. Patlatmalı kazı çalışması yapılacak bölge ile patlatma sonucu oluşacak titreşimden etkilenebileceği bölgenin arasındaki mesafe değiştirilemeyeceği için titreşim denetimi ancak anlık patlayıcı miktarı ile gerçekleştirilebilinir. Ancak bunun gerçekleştirilebilmesi için patlatma yapılacak bölge ile incelenen bölge arasında titreşim ölçümlerine dayalı titreşimin yayılmasının karakterize edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 04.06.2010 tarihli 26809 sayılı Resmi Gazete.

Bauer, A., Calder, P.N., 1977. Pit Slope Manual. Canmet Report 77–14, pp. 60–82

Froedge, D.T.,1983. Blasting Effects on Water Wells, Proc. Ninth Conf. on Explosives and Blasting Technique, Int. Soc. of Explosives Engineers

Hulshizer AJ, Desai AJ.,1984. Shock Vibration Effects on Freshly Placed Concrete. ASCE J Constr Eng Manag.110:266–285

Lafarge Canada Inc., 2013. Report on Proposed Dundas South Quarry Extension Blasting Impact Assesment Lafarge Canada Inc.Report Number 06-1112-020., Mississauga, Ontario

Matheson, G.M.,& Miller, D.K., 1997. Blast Vibration Damage to Water Supply Well Water Quality and Quantity, Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Las Vegas, Nevada.

Mohamed M.T.,2010. Source: Vibration Control, Book edited by: Dr. Mickaël Lallart, ISBN 978-953-307-117-6, pp. 380, September 2010, Sciyo, Croatia.

Rorke, A.J, 2011. Blasting Impact Assesment for the Proposed New Largo Colliery Based on New Largo Mine Plan 6, AJR_NL001_2011 Rev 4.

Rose, R., Bowles B., & Bender W., 1991. Results of Blasting in Close Proximity to Water Wells at the Sleeper Mine near Winnemucca, Nevada. In Proceedings of the Seventeenth Conference on Explosives and Blasting Technique. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers.

Suskind, D.E. 2000. Vibrations from Blasting, International Society of Explosive Engineers, Cleveland, Ohio.

Silvan Tünel Projesi ve Karşılaşılabilecek Problemler
Silvan Tunnel Project and Potential Problems

D. Aydın
Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

M. Çoğalan
Yertaş Turizm San. ve Mad. Tic. Ltd. Şti, Ankara

ÖZET Bu bildiri Silvan 1. Kısım Sulama Projesi içinde yer alan Silvan Tünel inşaatı ile ilgili ilk bilgileri içermektedir. Öncelikle tünel projesi ile ilgili temel bilgiler, güzergahın jeolojisi ve sonra da kazı için seçilen TBM hakkında bilgi verilmiştir. Jeolojiye bağlı olarak karşılaşılabilecek problemler ve bu problemlerin çözümüne yönelik önerilerin işlenilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silvan Tüneli, TBM, problemler

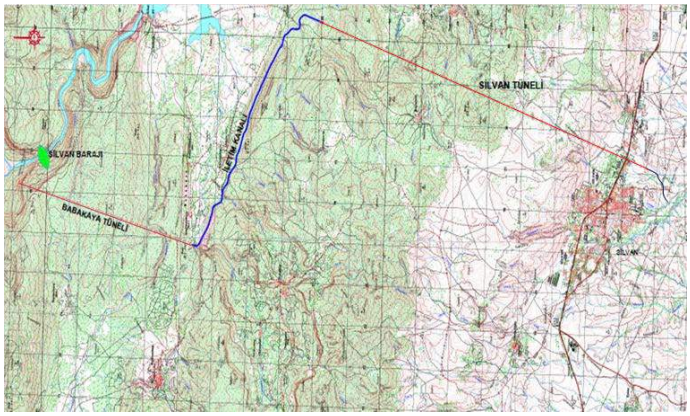
ABSTRACT This paper aims to give the first informations about Silvan Tunnel Project which is located in Silvan Irrigation Project Section One. It is presented that basic data about tunnel project, the geology of the route and selected TBM for the excavation. It was aimed to discuss problems may be encountered depending on the geology and recommendations for the solution of these problems.

Keywords: Silvan Tunnel, TBM, problems

1 GİRİŞ

Sahibi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), yüklenicisi Sistem-Kayaoğlu-Yertaş-İntekar İş Ortaklığı olan Silvan Tüneli Projesi; Silvan Baraj gölünden başlayan 5300 m uzunluğundaki Babakaya Tüneli, 7545 m uzunluğundaki Silvan iletim kanalı, 1067,55 m uzunluğundaki Silvan ana kanalı ile 1196 ha Babakaya sulama ve drenaj şebekesi ve 4764 ha Silvan sol sahil sulama ve drenaj şebekesi ile birlikte Silvan 1. Kısım Sulama Projesi içinde yer almaktadır. Şekil 1'de proje alanı görülmektedir.

Proje ile Dicle Nehri Sol Sahil ovalarında toplam 245.372 ha tarım arazisinin sulanması için gerekli olan su ihtiyacını karşılayan iletim sisteminin yapılmasını amaçlanmaktadır.



Şekil 1. Silvan 1. Kısım Sulama Projesi Proje Alanı.

Projenin su kaynağı Batman Çayı'nın Kulp Kolu üzerinde inşa edilecek ve 7,3 milyar m^3'lük bir göl hacmi ile 178 m^2'lik gölalanı oluşturacak olan Silvan Barajıdır. Silvan sulaması kuzeyde Kulp çayı, güneyde Bismil ilçesi, doğuda Batman çayı ve batıda Dicle nehri ile çevrili alanı kapsamaktadır. Silvan

Barajı ve HES'in başlangıçta tamamen enerji üretimi amacıyla hizmet vermesi, sonrasında ise Silvan ovalarının gelişimine paralel olarak enerji üretiminde kullanılan suyun kademeli olarak sulamaya verilmeye başlanması ve sonuç olarak 245372 hektarlık alanın sulanması planlanmaktadır. Şekil 2'de Silvan sulaması etki alanı görülmektedir.

Şekil 2. Silvan Sulaması Etki Alanı

Silvan Tüneli Projesi; Tünel Açma Makinesi (TBM) kullanılarak iç çapı 7.00 m, dış çapı 7,60 m ve kazı çapı 7,90 m olan, tünel eksenleri arasında 45 m mesafe ve birbirine paralel olacak şekilde açılacak 10.210 m uzunluğunda serbest akımlı çalışan iki adet tünelden oluşmaktadır. Tünellerin toplam kapasitesi Q=212,20 m^3/sn'dir.

2 BÖLGESEL JEOLOJİ

Arap plakası ile Anadolu plakasının hareketleri sonucu kuzey-güney yönünde gelişen basınçların etkisiyle bugünkü tektonik yapı gelişmiştir. Bunun sonucu olarak antiklinal ve senklinal eksenleri ile faylanmalar doğu-batı doğrultusunda gelişmiştir.

İnceleme alanının en önemli tektonik yapılarından biri Silvan fayıdır. Bu fay batıda Kocaköy ilçesi yakınlarından başlamaktadır. Buradan Silvan ilçesi çıkışındaki Yüksek köyüne kadar olan kesimde örtülü normal fay şeklinde olup burası ile Batman çayı yakınındaki Malabadi köyü arasındaki kesimde ters faya dönüşmektedir.

İnceleme alanında doğu-batı doğrultulu ve doğuya dalımlı antiklinal ve senklinal eksenleri bulunmaktadır. Formasyonlarda tabaka eğimleri yer yer belirgindir. Tabaka doğrultu ve eğimleri genellikle kıvrım eksenleri ile uyum içerisinde bulunmaktadır. Midyat ve Silvan formasyonlarında eklem sistemleri gelişmiştir.

Güzergah boyunca %15 oranında sert formasyon olan Silvan formasyonu, %30 oranında orta sert formasyon olan Midyat formasyonu, %5 oranında yumuşak formasyon özelliği gösteren Germik formasyonu, %40 oranında yumuşak formasyon özelliği gösteren Gercüş formasyonu, %10 oranında yumuşak formasyon özelliği gösteren Şelmo formasyonlarının geçilmesi beklenmektedir.

Proje alanı ve çevresinde yayılım gösteren Silvan ve Midyat formasyonları yeraltısuyu yönünden önemli akiferlerdir. Şelmo formasyonu yeraltısuyu yönünden zayıf olup kumtaşı ve çakıltaşı seviyelerine bağlı olarak az miktarda yeraltısuyu içermektedir. Diğer formasyonlar ise genel olarak yeraltısuyu yönünden verimsizdir. Geçilecek formasyonlar ve özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Geçilecek formasyonlar ve özellikleri

Formasyon	Silvan (895m)	Germik (215m)	Midyat (920m)	Gercüş (4165m)	Midyat (2175m)	Silvan (795m)	Şelmo (1045m)
Geçilecek birim	Kireçtaşı, marn	Kiltaşı, marn, killi kireçtaşı	Kireçtaşı, killi ve tebeşirli kireçtaşı	Kiltaşı, çamurtaşı, konglomera, kumtaşı	Kireçtaşı, killi ve tebeşirli kireçtaşı	Kireçtaşı, marn	Kiltaşı, kumtaşı, silttaşı, çakıltaşı
Özellik	Oldukça sert, yer yer parçalı, kırıklı ve karstik Geçirimli-çok geçirimli iyi dayanımlı	Orta sert, kısmen çatlaklı, eklemli, Az geçirimli-geçirimli	Eklemli, çatlaklı, erime boşluklu, Az geçirimli-geçirimli Orta-iyi dayanımlı	Orta sert ve yer yer yumuşak	Eklemli, çatlaklı, kırıklı, erime boşluklu Az geçirimli-geçirimli Orta-iyi dayanımlı	Oldukça sert, yer yer parçalı, kırıklı ve karstik Geçirimli-çok geçirimli iyi dayanımlı	Yumuşak-orta sert, zayıf dayanımlı, zayıf çimentolu
Tabaka eğimi	Kuzey ve KD	Kuzey ve KD	Kuzey ve KD	Kuzey-KD Güney-GB	Güney-GB	Güney-GB	Güney-GB
Çatlak sayısı	>50	1-3	3-10	3-10		Masif-parçalanmış	Silvan fayı
RMR	24-37	37-46	49-62	48-53	49-62	45-77	-
RQD (%)	0-25	50-75 75-90	90-100	25-50 50-75 90-100		0-25	0-25
Beklenen problem	Su boşalımı	Su boşalımı	Karstik boşluk, su boşalımı	Zayıf zonlarda kopma, Su boşalımı	Karstik boşluk	Su boşalımı	Nakliye Tıkanma

Silvan ve Midyat formasyonlarından; Taşköprü, Darıseven (Malahermo), Büyük, Orta, Kulfa, Yılanlı (Kepo) olmak üzere 6 tane önemli kaynak vardır. Bunlardan debisi en yüksek olan 179 l/s, en düşük olan ise 4-5 l/s civarında akmaktadır. Proje alanındaki su kaynakları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Proje Alanında Bulunan Su Kaynakları

Kaynak	Debi (l/s)	Kot (m)
Malahermo	50	748
Büyük kaynak	179	852
Orta kaynak	50	864
Kulfa	4-5	860
Yılanlı	124	630
Hanık	25	835
Külbeyt	Kuru	902
Taşpınar	8	889
Çiğdemli	25-30	866
Ganiyeseye	20-25	923
Gürpınar	*	882
Kayadere	35-40	1096
Boyunlu	8	1140

3 TÜNEL VE MAKİNE ÖZELLİKLERİ

Tünel Açma Makineleri (TBM) kesici kafa, hidrolik silindirler, yönlendirme silindirleri, kilitleme pabuçları (gripper), kesici kafayı döndüren motorlar ve beton tahkimat elemanlarını yerleştiren sistemler (erektör) ile TBM arkasında bulunan (backup sistemler) kısımda yer alan hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, tavan cıvatalarında kullanılmak üzere bir delici, havalandırma fanları, pasa nakliyatı için bant konveyörler, vagonlar gibi elemanlardan oluşur. TBM'ler Sert kayaç ve yumuşak zemin tünel açma makineleri olarak iki ana sınıfa; bunlar da sert kayaç için kalkansız, tek kalkanlı ve çift kalkanlı, yumuşak zemin için arazi dengeleme makineleri ve çamur basınçlı olarak alt sınıflara ayrılırlar.

Sistem-Kayaoğlu-Yertaş-İntekar İş Ortaklığı ile Devlet Su İşleri adına yürütülen Silvan tüneli projesi; 10210 m uzunluk ve 7 m iç çapa sahip 2 adet tünel olarak öngörülmüştür. Tünel yaklaşık olarak 778,38 m taban kotundan başlayıp 770,61 m taban kotunda sonlanacaktır. Projede; Herrenknecht marka S-794 model sert kaya çift kalkanlı tam cephe tünel açma makinesi (TBM) kullanılacaktır. Bu tür tünel açma makineleri teknolojik olarak en donanımlı makine türlerindendir. Bu tipteki tünel açma makineleri farklı jeolojik koşullara uyum sağlayabilmektedir. Çift kalkanlı tünel açma makineleri özellikle fay zonlarının bulunduğu sert kaya koşulları altında inşa edilen uzun tünellerin kazılmasında kullanılmaktadır.

Çift kalkanlı makinelerde hem tek kalkanlı olarak hem de teleskopik olarak ana kalkanın içine uzanabilen kuyruk tarafındaki ikinci kalkan bir kavrayıcı (gripper) düzeneği ile kullanmak mümkündür.

Klasik çift kalkanlı TBM çalışmaya başladığında öncelikle kavrayıcılar açılır ve TBM sabitlenir. Ardından ana itme silindirleri kesici kafayı aynaya doğru iter ve kesici kafa dönmeye başlar. TBM kazı yaparken erektör segmentleri yerleştirir. Ana itme silindirleri tam olarak açılır ve kazı biter. Son olarak kavrayıcılar kapatılır ve ikincil itme silindirleri segmentlere dayanarak kavrayıcı şildini kapatırlar.

Bu çalışma düzeninde kazı yapılırken aynı anda segmentlerin yerleştirilebilmektedir. Böylelikle zamandan kazanım sağlanır. Silvan Tüneli Projesinde kullanılacak TBM'nin teknik özellikleri Tablo 3'te, fotoğrafı Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Projede Kullanılacak TBM'nin Teknik Özellikleri

Özellik	Birim
Kafa Çapı	7,960 mm
Disk Sayısı	49 adet tekli 4 adet çiftli
Disk çapı	432 mm (17'')
Kesici halka sayısı	57 adet
Sıyırma kovaları	4 adet büyük 2 adet küçük
Makinenin devir sayısı	0-8 rpm
Keskiler arası mesafe	90 mm
Tek bir keskiye etkiyen normal kuvvet	267 kN
Aynaya uygulanan toplam itme kuvveti	14151 kN
Kesici kafa torku	5384 kNm
İtme silindirleri çapları (10 adet)	360/280 mm
İtme silindirleri toplam gücü (350 bar'da)	35600 kN
Yardımcı itme silindirleri çapları (22 adet)	280/240 mm
Yardımcı itme silindirleri toplam gücü (350 bar'da)	47400 kN
Anti tork silindirleri çapları (2 adet)	450/220 mm

Şekil 3. Projede Kullanılacak Herrenknecht Marka S-794 Model TBM

4 KARŞILAŞILABİLECEK PROBLEMLER

Tünel boyunca kazı yönüne göre sırasıyla; Şelmo (1050 m), Silvan (805 m), Midyat (2175 m), Gercüş (4200 m), Midyat (875 m), Germik (210 m), Silvan (895 m) formasyonlarının geçilmesi beklenmektedir. Formasyonların; faylanma, dokanak noktaları, ayna duraylılığı, nakliye, karstik boşluk, geçirgenlik, su boşalımı ve tıkanma parametrelerine bağlı risk analizi yapılmıştır (Şekil 4). Bu tabloya göre karşılaşılabilecek problemler şu şekilde özetlenebilir;

Şelmo formasyonu sınırı içinde Silvan fayı görülmektedir. Ayna duraylılığı, formasyonların dokanak noktaları ve Silvan fayı dışında risk oluşturmamaktadır.

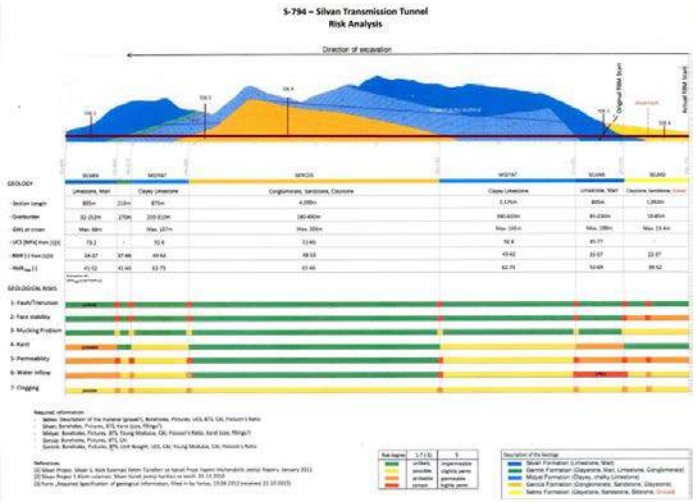
Aynadan kazılan malzemenin nakliyesi sorunu kil içerikli Şelmo formayonunda ve dokanak noktalarında düşük ihtimalle beklenmekte, diğer formasyonlarda ise beklenmemektedir.

Karstik boşluklar Midyat formasyonunda düşük, Silvan formasyonunda ise yüksek ihtimalle beklenmektedir. Germik, Gercüş ve Şelmo formasyonunda ise karstik boşluk beklenmemektedir.

Dokanak noktaları yüksek geçirgen, Silvan ve Şelmo formasyonları geçirgen, Germik ve Midyat formasyonları düşük geçirgen ve Gercüş formasyonu geçirimsizdir.

Km: 21+275-22+070 arasındaki Silvan formasyonunda büyük su boşalımları beklenmektedir. Bu kesimin sonuna doğru, tünel taban kotu, yakın çevredeki Silvan Büyük kaynak ile Orta kaynağın ve Yüksek köyündeki Kulfa kaynağının boşalım kotlarının altında bulunmaktadır. Tünel açımı esnasında bu kaynakların etkilenme olasılığı bulunmaktadır. Ayrıca Gercüş ve Midyat formasyonlarının dokanak noktalarında da su gelişi beklenmektedir.

Formasyonların dokanak noktalarında yüksek, formasyon boyunca ise düşük ihtimalle tıkanma sorununun gözlenmesi mümkündür.



Şekil 4. Silvan Tüneli Risk Analizi

5 SONUÇLAR

Silvan Tüneli Projesi ile Dicle Nehri Sol Sahil ovalarında toplam 245.372 ha tarım arazisinin sulanması için gerekli olan su ihtiyacını karşılayan iletim sistemi inşa edilmiş olacaktır.

Toplam kapasitesi Q=212,20 m^3/sn olan birbirine paralel iki adet tünel açılacaktır. Tünellerin eksenleri arasındaki mesafe 45 m'dir. Bunların iç çapları 7.00 m, dış çapları 7,60 m ve kazı çapı 7,90 m, uzunlukları ise 10.210 m uzunluğunda olup serbest akımlı çalışacaklardır.

Tünel boyunca geçilecek formasyonlar ve formasyonların özellikleri tayin edilmeye çalışılmıştır.

Proje alanında önemli su kaynakları olduğu ve bunların kazıdan etkilenebilecekleri anlaşılmıştır.

DSİ'nin ve yüklenici firmanın yapmış olduğu jeoteknik çalışmalar ve makine üreticisi firmanın tecrübeleri neticesinde projede çift kalkanlı sert kayaç TBM'i kullanılması uygun görülmüştür.

Kil içerikli formasyonlarda, kazı esnasında kullanılan suyun kille teması sebebiyle şişme ve sonucunda da kesici kafayı tıkama problemleri yaşanabileceği ihtimal dahilindedir. Bu durum kesici kafadaki disklerde hasara sebep olabilmektedir. Bu sebeple makine kazı parametreleri değerlerinin iyi seçilmesi gerekmektedir.

Kazı esnasında yaşanabilecek en önemli problemin belirli bölgelerde tünele boşalacak su problemi olduğu anlaşılmıştır. Su sorunu koşulların stabilitesini bozarak hem kazı verimini düşürecek hem de olumsuz çalışma ortamı yaratacaktır. Bu sebeplerden ötürü mümkün mertebede suyun tünel içine gelişi engellenmeli, engellenemediği takdirde tahliyesinin yapılması ve gerekirse mevcut desteklemeye ek tahkimat yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Barton, N., 2000, *TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock*, A.A.Balkema, Rotterdam, 173.

Dayanç, C., 2011. Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB) Risk Analizi ile Performans Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.

GAP Batman-Silvan Projesi Master Plan Raporu, Ocak 2000, Bölüm 5.

Öz, A., 2012, İstanbul-Kadıköy Kartal Metro Tünelinde Kullanılan Tünel Açma Makimesinde (TBM) Kazı Performans Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.

Poşluk, E, 2012. Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi 26 Nolu Tünelin TBM Kazı Performansının Q_{TBM} Metodu ile Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde.

Silvan Projesi Silvan 1. Kısım Sulaması İletim Tünelleri ve Kanalı Proje Yapımı Mühendislik Jeolojisi Raporu, Ocak 2011.

Silvan Projesi Silvan 2. Kısım İletim Tünelleri (Silvan Tüneli) Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Haziran 2013.

Technical Specification of Basic Equipment and Basic Services for S-794, Herrenknecht, 2012.

Şev Duraylılığı Açısından Kontrollü Patlatma Teknikleri: Bursa Orhaneli Linyit Sahası-Gümüşpınar Sektörü Çalışması

Controlled Blasting Techniques in View of Slope Stability: A case study in Bursa Orhaneli Lignite Region-Gümüşpınar Sector

G. G. Uyar
Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

B. Kaypak
Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara

C. O. Aksoy
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Bildiri, Bursa Orhaneli Linyit Sahası Gümüşpınar Sektöründe yapılan patlatmaların şev duraylılığı üzerindeki etkilerinin araştırılması ve duraylılık problemi yaratmayacak kontrollü patlatma modellerinin oluşturularak patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesi çalışmasını konu almaktadır. Bu sektörde, patlatma faaliyetlerinin başlamadığı dönemde, jeolojik ortamın patlatmalara olan tepkisini ve patlatma titreşimlerinin yayılma özelliklerini anlayabilmek için tek delik patlatmaları yapılmıştır. Patlatma faaliyetleri başladıktan sonra da Müteahhit Firmanın yaptığı patlatmalarla ilgili gözlem, ölçüm, analiz, değerlendirmeler yapılarak, önerilerde bulunulmuştur. Mevcut patlatma düzenlerinin, inklinometre değerlerinden de gözlendiği üzere, şevlerde duraylılığı olumsuz yönde etkileyebilecek ve en önemlisi güvenlik zaafiyetine neden olabilecek şekilde olduğu; ayrıca yemleme yetersizliğinden dolayı patlatma deliklerindeki infilak devamlılığında sıkıntılar olduğu gözlenmiştir. Bu konu ayrıntıları ile incelenmiş, tek delik patlatmaları yaptırılarak, şevlerde duraylılığı tehdit etmeyecek şekilde titreşimlerin kontrol altına alınabileceği patlatma düzenleri değişik model çalışmaları ile denenmiş, en uygun modeller elde edilmiş ve gerçek grup patlatmaları ile uyumlu modeller seçilerek önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrollü patlatma, patlatma titreşimleri, şev stabilitesi, tek delik patlatması, patlatma modellemesi

ABSTRACT In this paper, investigations of the effects of blasting on the slope stability of Bursa Orhaneli Lignite Area-Gümüşpınar Sector and forming controlled blasting models not to create slope stability problem by minimizing blasting induced vibrations are concerned. In this sector, prior to blasting activities, single-hole blastings were performed in order to understand the wave propagation mechanism and responses of the geological environment to blasting. After start of the activities, measurement, analysis and assessments about the blastings of the Contractors were made and some recommendations were given. As observed from the values of inclinometer on the slopes, blastings of contractor could adversely affect the slope stability and most importantly, they could result in security flaws; also due to insufficient primers, detonation problems in the blast holes were observed. These issues were examined in detail. Single hole blastings were done and most appropriate blasting models that control the vibrations affecting the slope stability were prepared and the models compatible with real group blasts were suggested.

Keywords: Controlled blasting, blast vibrations, slope stability, signature blast, blast modelling

1 GİRİŞ

Çalışmanın amacı, Bursa Orhaneli Linyit Sahası, Gümüşpınar Sektöründeki patlatmaların şev stabilitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması ve duraylılık problemi yaratmayacak kontrollü patlatma modellerinin oluşturularak patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesidir.

Bu sektörde, müteahhit firmanın patlatma faaliyetlerine henüz başlamadığı dönemde, jeolojik ortamın patlatmalara olan tepkisini ve patlatma titreşimlerinin yayılma özelliklerini anlayabilmek adına tek delik patlatmaları yapılmış; Mayıs - Haziran 2013 tarihlerinde de Müteahhit Firmanın yaptığı patlatmalarla ilgili gözlem, ölçüm, analiz, değerlendirmeler yapılarak, mevcut patlatma düzeni değiştirilmiş, şev güvenliğini göz önünde bulunduracak patlatma tasarımları önerilmiştir. Ayrıca patlatma titreşimlerinin patlatmalara yakın lokasyonda bulunan köy evlerinde nasıl etkiler yarattığını anlama ve bilimsel etik gereği bu olası etkileri de en aza indirebilme sorumluluğu yüzünden, titreşimlerin şevlere etkilerinin yanında, köy yönünde de ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler neticesinde geliştirilen modeller ile, şevlerle birlikte köy evlerinin de patlatma titreşimlerinden en az etkilenebilmesi adına çözümler önerilmiştir.

2 ÖN İZLEME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

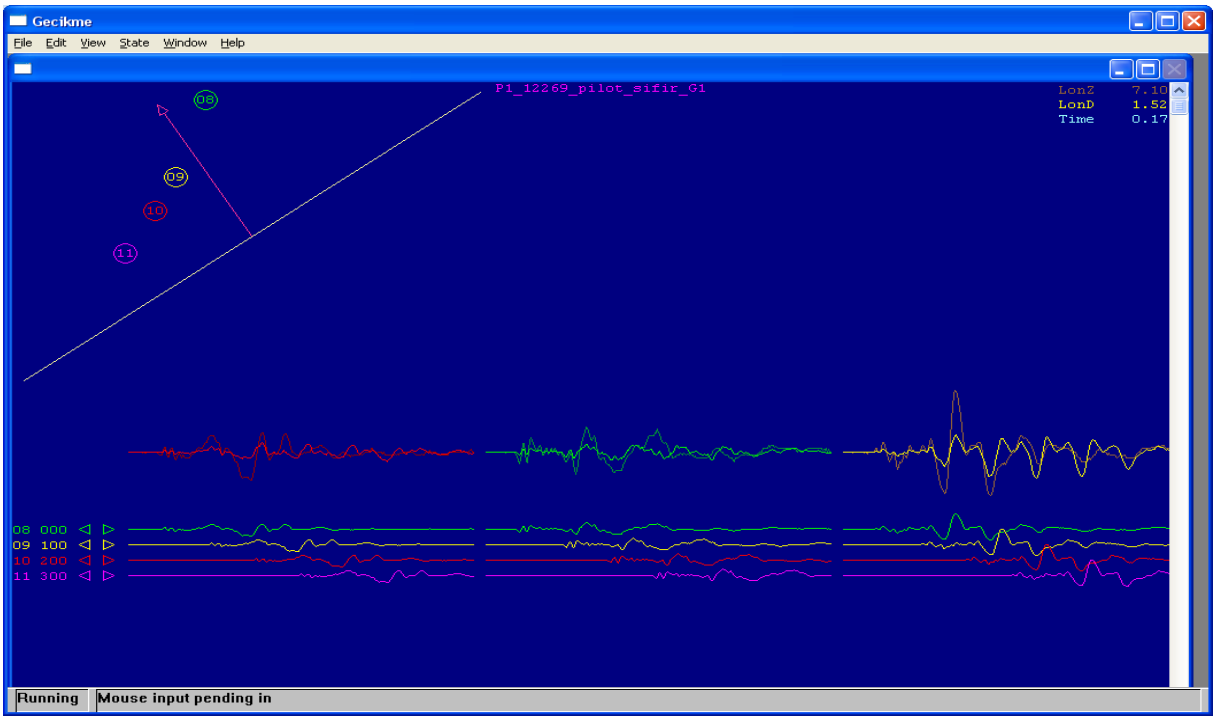
Patlatma kaynaklı titreşimlerin şevler üzerindeki etkilerini araştırmak ve bu etkileri en aza indirebilmek adına başladığımız çalışmada ilk adım, şimdiye kadar yapılan patlatmaların hangi düzende olduğunu ve bu düzendeki patlatmaların yarattığı olumsuzlukların şevlerde nasıl etkiler yarattığını anlamaya çalışmak olmuştur. Bu sebeple, Mayıs dönemdeki çalışmalarda, her iki Müteahhit Firmanın da aynı düzende yaptığı patlatmalara müdahele edilmemiş, mevcut durum gözlenmiş, bu durumda yapılan patlatmalar ocak içindeki 2 inklinometre kuyusu yanında (8 ve 9 numaralı kuyular, 12269 ve 14465 numaralı ölçüm cihazlarının yanında, Şekil 1) ve heyelan bölgesi yakınlarındaki inklinometre kuyusu yanında (4 numaralı kuyu, 12270 numaralı ölçüm cihazı yanında Şekil 1) kayıt altına alınmıştır. Şekil 1, değerlendirilen 2 patlatmanın lokasyonunu ve ölçüm noktalarını göstermektedir. Şekil 2 ise, her iki Müteahhit Firmanın Mayıs 2013 döneminde yaptığı patlatmalarda uyguladığı düzendeki bir örnek patlatma deliğini göstermektedir.

Şekil 1. Patlatma#1(kırmızı kesikli çizgi) ve Patlatma#2 (sarı) lokasyonları ile patlatma titreşimlerini kaydeden cihaz lokasyonları (mor ile gösterilenler patlatma delikleri).

Şekil 2. Örnek bir patlatma deliği

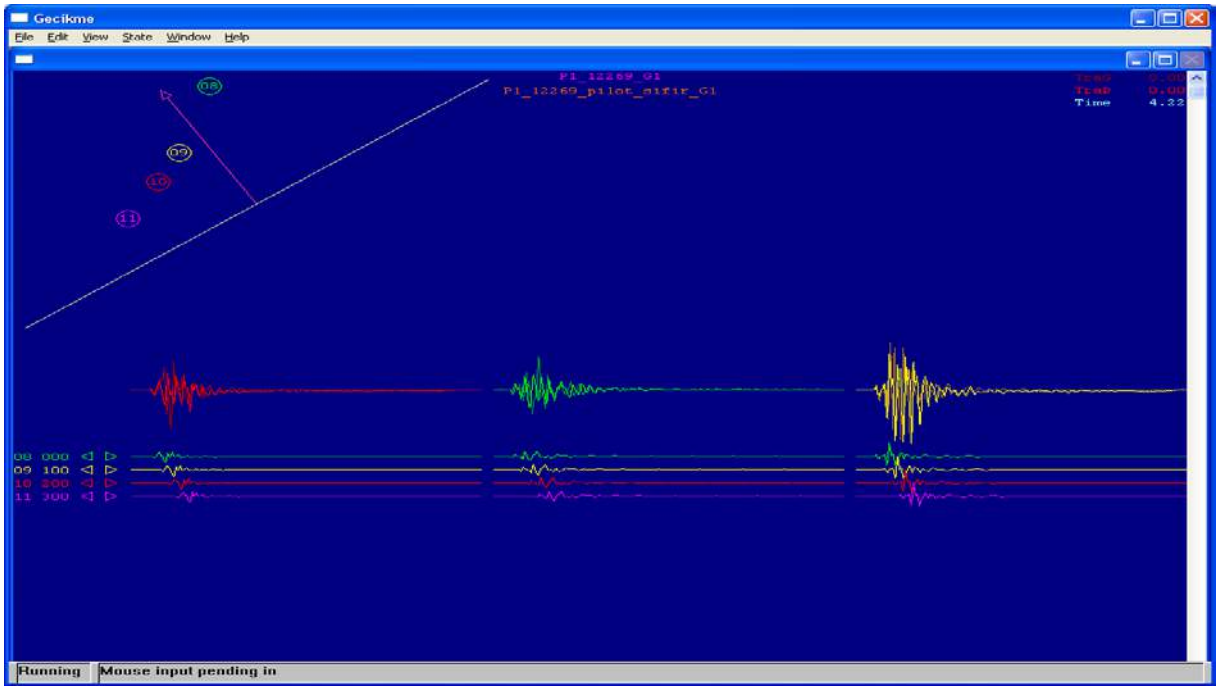
Müdahele etmeden sadece izlediğimiz müteahhit firma patlatmalarından biri, Patlatma#1 olarak isimlendirilmiştir (Şekil1). Bu ugulamada, firma, 26 delikli bir grup patlatması yapmıştır. Delikleri kendi aralarında bölerek 26'lı büyük grubu 5' e ayırmış ve her bir grubu bireysel patlatmıştır. Böylece 1. Grupta 4 delik, 2. Grupta 6 delik, 3. Grupta 8, 4. Grupta 4 ve 5. Grupta 4 olmak üzere 26 delik, 5 kerede ayrı patlatmalar şeklinde patlatılmıştır. Her grupta delikler arasına 100'er ms gecikme

verilmiştir. Patlatma titreşimleri tarafımızca 3 bileşenli (Yanal, Düşey, Boyuna), jeofon frekansı 1 Hz olan 3 ayrı titreşim ölçer cihaz ile kaydedilmiştir. Ölçüm cihazları 12269, 12270, 14465'in Patlatma#1 lokasyonuna olan uzaklıkları sırasıyla, 175m, 400m, 200m'dir. Patlatma sinyalleri Instantel Marka ölçüm cihazlarının yazılımı Blastware ve tarafımızdan geliştirilen Seisblast v1.1 ile değerlendirilmiştir. Seisblast v1.1 ile modelleme yapabilmek için gerekli olan bir tek delik, pilot patlatma olarak gruptaki her deliği simgeler şekilde hazırlatılmış ve patlatılarak kaydedilmiştir. Daha önce de söylendiği üzere, müteahhit firma, 26 delikli büyük bir grup patlatması yerine, titreşimi azaltmak adına 26 delikli grubu kendi içinde 5'e bölerek ayrı ayrı patlatmıştır. Bu ayrı patlatmalardan kaynaklanacak titreşimler ve 100ms gecikme kullanımı ile bu titreşim genliklerindeki azalmalar, önce bizim geliştirdiğimiz SeisBlast v.1.1 programı ile modellenmiş, daha sonra da gerçek patlatma ile model sonucu karşılaştırılmıştır. 5 ayrı grup için de bu çalışma yapılmış olup, yer kısıtı sebebi ile burada sadece bir grup örnek olarak verilecektir (Şekil 3, 4).



Şekil 3. Patlatma#1 Grup_1: Cihaz#12269 dan alınan pilot sinyalden elde edilen grup _1 modellemesi

Şekil 3'de yanal (kırmızı, soldaki sinyal), düşey (yeşil, ortadaki sinyal) ve boyuna (sarı, sağdaki sinyal) bileşenlerdeki sinyallerde, delikler arasına 100ms gecikme verildiğinde beklenen ve gerçekleşen genlikler görülmektedir. Sol üstte 4 adet patlatma deliği görülmektedir. Bu delikler aralarında 100 ms olacak şekilde patlatıldığında, model, 3 farklı renkte gösterilen 3 bileşendeki genliklerdeki düşmeleri göstermektedir. Örneğin boyuna bileşene bakıldığında (en sağdaki sarı renkli), modele göre 4 delik aynı anda patlatılsaydı kahverengi genlik; 100 ms gecikme verilerek birer birer atıldığında ise sarı genlikler olacaktır. Sağ üstte, modele göre, genliklerin böyle bir durumda 7.10 birimden 1.52 birime düşeceği öngörülmektedir. Şekil 4, 4 delik 100 ms aralıkla patlatıldığında ortaya çıkan gerçek genliklerle model genliklerini karşılaştırmaktadır. Dalga biçimlerinde 3 bileşende görülen benzerlikler ve genliklerin üst üste çakışması, modelin doğru çalıştığını göstermektedir.



Şekil 4. Patlatma#1 Grup_1: Cihaz#12269 dan alınan pilot sinyalden elde edilen grup _1 modellemesinin gerçek grup_1 patlatmasıyla karşılaştırılması

Diğer 2 cihazdan elde edilen verilerle yapılan benzer modelleme ve gerçek veri ile karşılaştırmalar da göstermektedir ki, hem ocak içindeki diğer cihaz (14465) hem de heyelan bölgesine yakın inklinometre#4' ün yanındaki cihaz (12270) ile elde edilen verilerde de, küçük gruplara bölerek aralara 100 ms gecikme vermenin, titreşim genliklerini 1.5-3.5mm/s dolaylarına düşürdüğü görülmektedir. Ancak bu durumun yarattığı diğer sakıncalar, değerlendirme ve öneriler kısmında anlatılmıştır.

Firma, Patlatma#2 olarak adlandırdığımız patlatma uygulamasında, 12 delikli bir grup patlatması yapmıştır. Delikleri kendi aralarında gruplandırarak 12'li grubu ikiye ayırmış ve her bir grubu bireysel patlatılmıştır. Böylece 1. Grupta 6 delik, 2. Grupta 6 delik, olmak üzere 12 delik 2 kerede ayrı patlatmalar şeklinde patlatılmıştır. Her grupta delikler arasına 100'er ms gecikme verilmiştir. Delikler yine, Şekil 2'deki gibi doldurulmuştur. Patlatma titreşimleri 3 bileşenli (Yanal, Düşey, Boyuna), jeofon frekansı 1 Hz olan 3 ayrı titreşim ölçer cihaz ile kaydedilmiştir (Şekil 3). Cihazların yeri değiştirilmemiş, Patlatma#1'in kaydedildiği yerlerde tutulmuşlardır. Her üç cihazdan alınan Pilot patlatma sinyalleri kullanılarak, firmanın yaptığı 6 delikli, delikler arasında 100ms gecikme olan patlatmalar modellenmiş ve gerçek patlatma verisi ile karşılaştırılarak modelin doğruluğu görülmüştür. Her üç cihaz verisi için yapılan bu modelleme ve karşılaştırma şekilleri, modellemelerin patlatma#1 ile benzerlik göstermesi nedeniyle yer kısıtlaması açısından bildiriye konmamıştır. Tüm modelleme ve verilere G.G.U. Aldaş ve B.Kaypak'ın hazırladığı proje raporundan (G..G.U. Aldaş ve B.Kaypak 2013) ulaşılabilinir.

2.1 Patlatma#1 ve Patlatma#2'nin Değerlendirilmesi

Patlatma#1 örneğinde olduğu gibi 26 delikli bir patlatmayı 5 ayrı gruba bölerek bireysel patlatmak, 26 delikten oluşan büyük bir grup patlatmasını tek atımda ama kendi içinde gruplayarak gecikmeler vererek patlatmaktan daha kötü sonuç doğurmaktadır. Hem zaman kaybıdır, hem de her atıştan sonra ateşçinin koşarak diğer grubu bağlaması, patlayıcı madde ve aksesuarları ile donatılmış gruplar arasında dolaşması tehlikelidir.

100 ms delikler arası gecikme, titreşimi azaltmada o ortam için iyi iş yapmaktadır. Ancak küçük gruplarla bireysel patlatmalar

yapmak, şevi agresif bir duruma sokmakta, her patlatmadan sonra deplasmana uğrayan şev, 1-2 dakika aralıkla yapılan grup atışları ile üst üste uyarılarak büyük deplasmanlar vermektedir. Sahada aynı şevde neredeyse 5-10 dakika aralıkla her iki müteahhit patlatma yapabilmektedir. Bu da daha önce bahsedilen agresif patlatma tarifine uymakta, şevin deplasman hareketlerini süperpoze etmektedir.

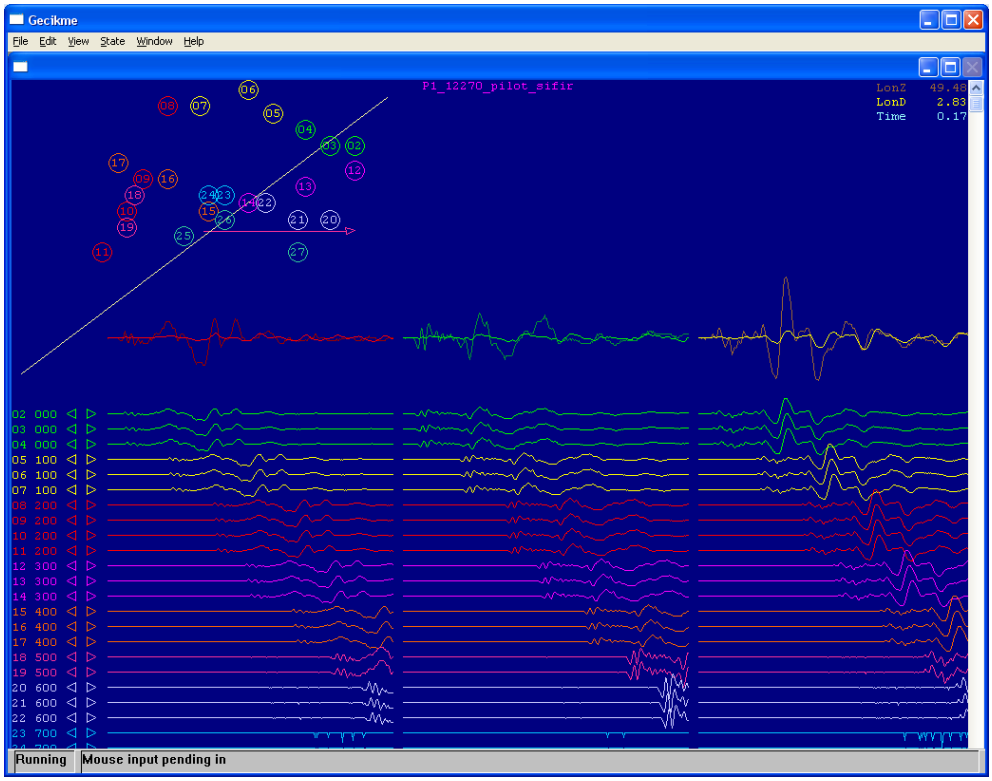
Delik içinde sıkılama başına 250gr yemleme kesinlikle yeterli değildir. Delik içinde başlayan detonasyon, yetersiz yemleme nedeniyle deliğin tamamı patlamadan sönmektedir. Bunu, ağzı neredeyse hiç bozulmamış patlatma sonrası delik görüntülerinden anlayabileceğimiz gibi (Şekil 5), patlatma esnasında çıkan yoğun turuncu renkli (Şekil 6) gazdan da anlayabilmekteyiz.

Şekil 5. Ağzı bozulmamış delik

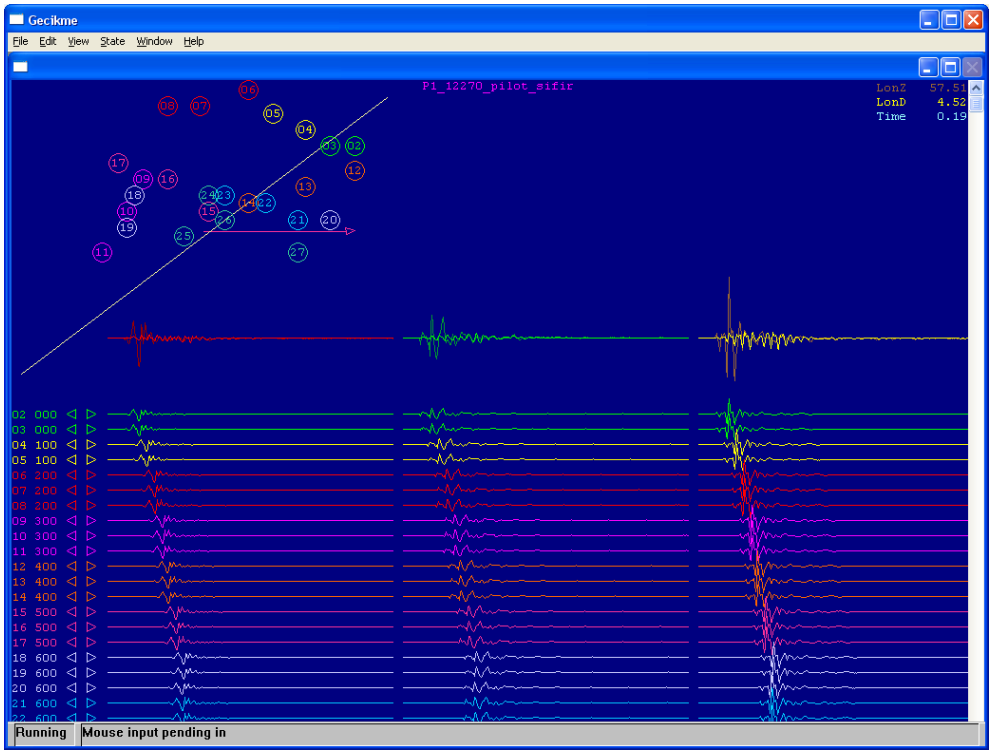
Şekil 6. Yetersiz yemleme nedeniyle infilak edemeyen ANFO'nun yanması sonucu turuncu gaz oluşumu

Patlatma#1 örneği gibi 26 delikten oluşan bir grup patlatmasının, kendi içinde 5 gruba bölünerek ayrı ayrı atılmasından ziyade, tek patlatmada, delikleri dörtlü veya üçlü veya ikili gruplayarak ve gruplar arasına 100ms gecikme vererek patlatsaydık ne olurdu sorusunun cevabı için, ocak içindeki cihaz (12269-patlatmaya 175m) ve heyelan bölgesine yakın cihaz (12270-patlatmaya 400m)dan alınan veriye göre modellemeler yapılmıştır. Yine yer kısıtı sebebi ile heyelan bölgesine yakın cihazdan alınan kayıtlarla yapılan modellemelere burada yer verilmiştir.

Bu modeller incelenirse (Şekil7-8), delikleri üçlü ve ikili gruplayarak patlatma yapılırsa, en iyi sonucu delikleri üçlü gruplayarak ve delikler arasına 100ms gecikme vererek yapılan model olduğu görülür.

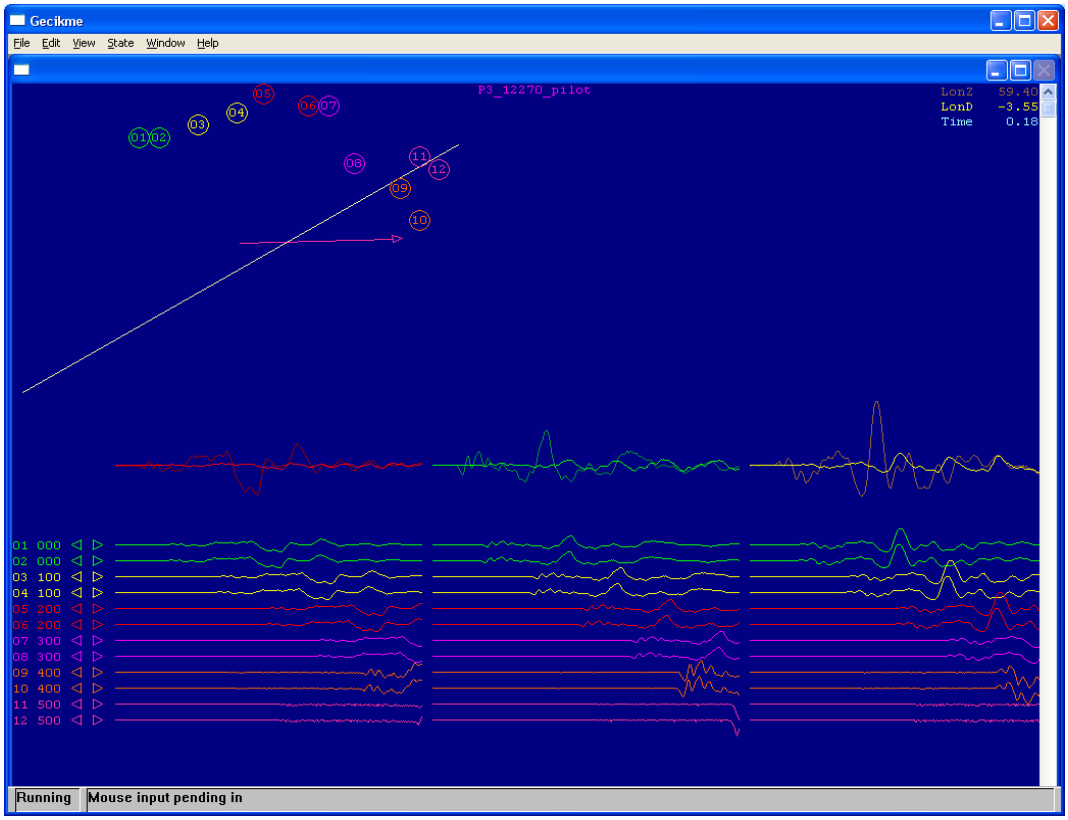


Şekil 7. Patlatma_1 : Cihaz#12270(patlatmaya 400m mesafede)'den alınan pilot sinyalden elde edilen öneri grubu modellemesi, delikler üçlü gruplanmıştır. Modele göre, bu şekilde yapılan bir patlatmanın, titreşim genliklerini 49.48 birimden(tüm delikler aynı anda atılırsa) 2.83 birime(delikler üçer gruplanıp aralarına 100 ms gecikme verilirse) düşüreceği gösterilmektedir (bkz. Sağ üst LonZ, LonD değerleri).



Şekil 8. Patlatma_1 : Cihaz#12270 (patlatmaya 400m mesafede)den alınan pilot sinyalden elde edilen öneri grubu modellemesi, delikler ikili gruplanmıştır. Modele göre, bu şekilde yapılan bir patlatmanın, titreşim genliklerini 57.51 birimden(tüm delikler aynı anda atılırsa) 4.52 birime(delikler ikişer gruplanıp aralarına 100 ms gecikme verilirse) düşüreceği gösterilmektedir.

Patlatma#2 değerlendirildiğinde, yine Patlatma#1'de olduğu gibi, 12'li grubu 2'ye ayırmak ve ayrı 2 patlatma şeklinde, her delik arasına 100ms gecikme vererek patlatmanın titreşim genliklerini düşürdüğü görülmektedir. Ancak bu hem zaman kaybıdır, hem ilk grup patladıktan sonra ikinci grubu bağlamaya giden elemanı tehlikeye sokmaktadır, hem de 12 deliği birlikte kendi içinde geciktirerek patlatma ve birbirleriyle iç öğütmeye maruz kalma avantajından da vazgeçmek, vasat parçalanmaya razı olmak demektir. Bu sebeple, her ölçüm cihazından alınan veriye göre öneri modellemeleri yapılmış ve özellikle şevlerdeki hareketlenmeyi tetiklememek adına 12li grubu ikişer deliği birarada ve ikili gruplar arasında 100ms olacak şekilde patlatmanın iyi olacağı sonucuna varılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Cihaz#12270 verisine göre modelleme. 12 adet deliği 2'li gruplayarak, delikler arasına 100ms gecikme vererek patlatma öneri grubu modellemesi. Modele göre, bu şekilde yapılan bir patlatmanın, titreşim genliklerini 59.40 birimden(tüm delikler aynı anda atılırsa) - 3.55 birime(delikler ikişer gruplanıp aralarına 100 ms gecikme verilirse) düşüreceği gösterilmektedir.

3 YENİ PATLATMA DÜZENİ ÖNERİLMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bu dönemdeki çalışmalarda, Müteahhit Firma, gözlem, değerlendirme ve önerilerimiz doğrultusunda, patlatmaları iyileştirmek adına, önerdiğimiz düzenlere yakın patlatmalar yapmıştır. Ayrıca, Müteahhit Firmanın, Mayıs ayında uygulanan patlatma deliklerinde farkettiğimiz yetersiz yemlemeyi (250gr) arttırdığı ve önerimiz üzerine 625gr yemleme kullanmaya başladığı görülmüştür. Şekil 10, bu dönemde yeni patlatma düzeni önerilmesine yönelik yaptırılan 4 patlatmanın lokasyonunu ve ölçüm noktalarını göstermektedir. 12269 ve 12270 no'lu cihazlar, patlatmalardan şikayetçi olan bir köy sakinlerinin evlerinin bahçesine, 14465 ise daha önce heyelan olmuş şeve yerleştirilmiştir.

Şekil 10. Patlatma#1, 2, 3 ve 4 lokasyonları ile patlatma titreşimlerini kaydeden cihaz lokasyonları.

Bu dönemde yapılan Patlatma#1 uygulamasında 1 pilot patlatma, 11 delikli grup patlatması yaptırılmıştır. Pilot ve grup patlatmalarda müteahhit firmanın önceden beri uyguladığı delik çapı, delik boyu, patlayıcı miktarı aynı tutulmuş, sadece yemleme miktarı sıkılama başına 625gr uygulanmıştır. Pilot patlatma, grup patlatmayı yapmadan önce patlatmayı modellemede kullanmak içindir. Diğer 3 patlatma uygulamasında da birer adet pilot sinyal elde edilmiş ve grup patlatmaları yapılmadan modeller oluşturulmuştur. Gerçek grup patlatmalarıyla uyumlu olan modellemeler, daha önceki bölümde de benzerleri verildiği için burada yer kısıtlaması sebebiyle verilmeyecektir. Patlatma#1 de, 11 delik, tek sıra helinde aralarına 100ms gecikme verilerek patlatılmıştır. Aslında modellere göre deliklerin ikili gruplanması daha iyi sonuç verse de, uygun bağlantı elemanı olmaması nedeniyle, tek sıra patlatma yapılmıştır. Ölçüm cihazlarında kaydedilen titreşim genlikleri incelendiğinde (Tablo 1), heyelanlı bölgedeki (1465, patlatmaya 253m), köy sakininin evindeki (12269, patlatmaya 400m) ve köy yönündeki bina bahçesindeki (12270, patlatmaya 236m) ölçülen titreşim genlikleri Türk Standartlarına, USBM standardına ve çok hassas olan Alman DIN4150 standartına göre izin verilen kritik değerlerin çok altındadır.

Tablo 1. Patlatma#1'den kaynaklanan titreşim değerleri

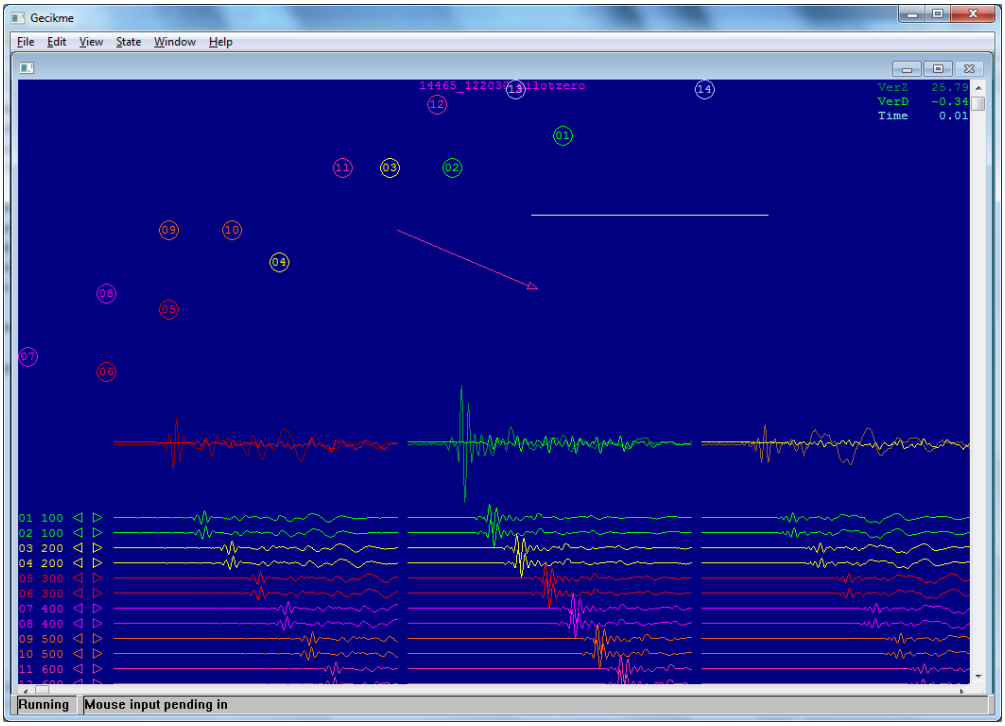
Type	Serial No.	Date/Time	No. Chan	Trigger	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (pa./dB)	PVS1 (mm/s)
W	BE12269	Jun 20 /13 11:48:00	4	Tran	0.508	0.381	0.254	<0.500L	0.568
W	BE12269	Jun 20 /13 11:54:40	4	Tran	0.635	0.381	0.381	<0.500L	0.783
W	BE14465	Jun 20 /13 14:08:43	4	Vert	1.524	3.556	2.286	<0.500L	3.601
W	BE12269	Jun 20 /13 14:08:47	4	Vert	1.016	1.397	0.508	<0.500L	1.497
W	BE14465	Jun 20 /13 14:09:00	4	Vert	2.286	3.175	2.286	<0.500L	3.198
W	BE12269	Jun 20 /13 14:09:04	4	Vert	1.651	1.397	0.635	<0.500L	1.690
W	BE14465	Jun 20 /13 14:11:13	4	Vert	1.778	2.413	1.397	0.500L	2.575
W	BE12269	Jun 20 /13 14:11:17	4	Vert	0.762	0.889	0.508	<0.500L	0.950
W	BE12270	Jun 20 /13 14:12:43	4	Vert	1.270	1.143	2.032	<0.500L	2.225
W	BE12270	Jun 20 /13 14:13:01	4	Vert	1.270	1.524	2.286	<0.500L	2.386
W	BE12270	Jun 20 /13 14:15:13	4	Vert	1.016	1.270	1.778	<0.500L	1.854

Patlatma#2 uygulamasında delikler yine, Patlatma#1'deki gibi doldurulmuşlardır. 1 pilot patlatma, 24 delikli grup patlatması yaptırılmıştır. Patlatma#2 de, 24 delik, yine uygun bağlantı elemanı bulunmaması nedeniyle tek sıra halinde, aralarına 100ms gecikme verilerek patlatılmıştır. Cihazlar yine aynı yerlerinde tutulmuşlardır. Ölçüm cihazlarında kaydedilen titreşim genlikleri incelendiğinde (Tablo 2), heyelanlı bölgedeki (1465, patlatmaya 253m), köy sakininin evindeki (12269, patlatmaya 400m) ve köy yönündeki bina bahçesindeki (12270, patlatmaya 236m) ölçülen titreşim genlikleri Türk Standartlarına, USBM standardına ve çok hassas olan Alman DIN4150 standartına göre izin verilen kritik değerlerin çok altındadır.

Tablo 2. Patlatma#2'den kaynaklanan titreşim değerleri

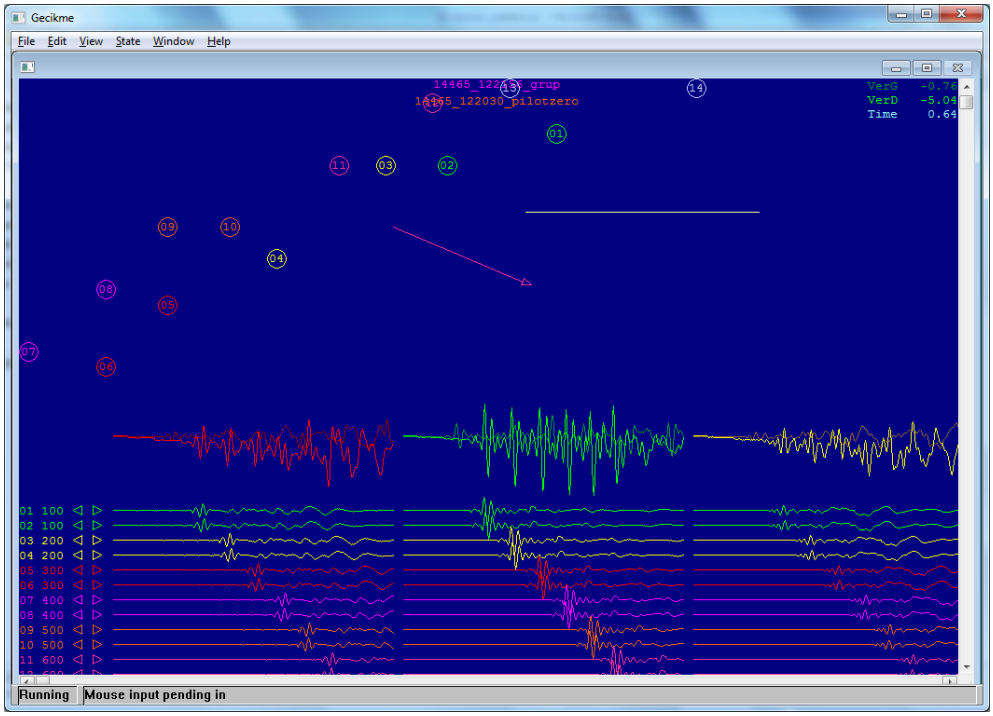
Type	Serial No.	Date/Time	No. Chan	Trigger	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (pa./dB)	PVS1 (mm/s)
W	BE14465	Jun 21 /13 09:39:46	4	Vert	2.540	4.318	1.651	4.000L	4.625
W	BE12269	Jun 21 /13 09:39:51	4	Vert	1.524	2.667	1.778	<0.500L	2.768
W	BE12270	Jun 21 /13 09:43:46	4	Vert	1.905	3.556	3.302	<0.500L	4.985
W	BE12270	Jun 21 /13 09:43:56	4	Vert	3.175	5.588	4.953	<0.500L	7.595
W	BE14465	Jun 21 /13 09:47:51	4	Vert	3.937	4.953	3.048	8.500L	4.969
W	BE12269	Jun 21 /13 09:47:56	4	Vert	3.048	4.445	3.556	<0.500L	4.497
W	BE12270	Jun 21 /13 09:51:51	4	Vert	3.683	3.810	5.080	<0.500L	5.611
W	BE14465	Jun 21 /13 10:09:45	4	Vert	2.540	3.937	2.667	12.50L	3.957
W	BE12269	Jun 21 /13 10:09:51	4	Vert	2.794	5.715	4.318	0.500L	5.771

21 Haziran 2013 tarihinde, 1 pilot ve 14 delikli grup patlatması, Patlatma#3 olarak önerildi ve gerçekleştirildi. 14 delikli grup patlatması, tek atımla yapıldı, delikler önerimiz üzerine ikişer gruplandırılarak ve her bir delik arasına 100ms gecikme verilerek patlatıldı. Ölçüm cihazlarının yerleri değiştirilmedi. Şekil 11, pilot patlatma sinyalinden elde edilen veriyi kullanarak yapılan modellemeyi göstermektedir. Modele göre bu düzende yapılan patlatmada her üç bileşende de ciddi azalmalar olmuştur (özellikle yeşil renkli düşey bileşende 23 kat azalma).



Şekil 11. 14 delikli patlatma modellemesi. 14465 numaralı cihaz verisine göre yapılmıştır.

Şekil 12, bu önerilen düzende yapılan patlatma sonucu elde edilen grup verisi ile model veriyi karşılaştırmaktadır. Modelleme, en yüksek genliğe sahip olmasından dolayı düşey bileşen verisine göre yapıldığı için, düşey bileşen incelendiğinde, model ve gerçek verinin uyumu görülmektedir.



Şekil 12. 14 delikli patlatma modellemesi ile gerçek patlatma verisi karşılaştırması. 14465 numaralı cihaz verisine göre yapılmıştır.

Tablo 3, pilot patlatmadan ve 14 delikli grup patlatmasından ortaya çıkan titreşimlerin heyelan bölgesine yakın cihazdaki kayıtlarını göstermektedir. Tabloda üç bileşende genliklere bakıldığında, 14 delikli grubu ikişer ikişer kendi içinde gruplayarak ve 100ms gecikmelerle patlatarak yapılan patlatmada ortaya çıkan genliklerin (PVS: 2.73mm/s, vektörel toplam), neredeyse, tek delik patlatması olan pilot patlatma genlikleri (PVS:2.43mm/s) kadar olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Pilot patlatma ve 14 delikli grup patlatmanın heyelan bölgesinde ölçülen titreşim değerleri

Type	Serial No.	Date/Time	No. Chan	Trigger	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (pa./dB)	PVS1 (mm/s)
W	BE12269	Jun 21 /13 11:05:54	4	Vert	1.905	1.778	1.270	0.500L	1.988
W	BE14465	Jun 21 /13 11:07:20	4	Vert	1.016	0.889	1.016	4.000L	1.492
W	BE12269	Jun 21 /13 11:07:25	4	Vert	1.524	1.270	1.016	0.500L	2.008
W	BE14465	Jun 21 /13 12:20:30	4	Vert	1.143	2.413	0.889	6.750L	2.430
W	BE12269	Jun 21 /13 12:20:35	4	Vert	1.397	1.905	0.635	0.500L	1.913
W	BE14465	Jun 21 /13 12:21:56	4	Vert	1.651	2.413	2.286	7.250L	2.727
W	BE12269	Jun 21 /13 12:22:01	4	Vert	1.778	2.032	1.016	0.500L	2.163
W	BE14465	Jun 21 /13 12:24:11	4	Vert	1.524	3.302	1.397	4.250L	3.324

Bu düzende patlatma yapıldığında köyde nasıl bir etki oluyor sorusunun cevabı için, köydeki bahçeye koyduğumuz cihazdaki pilot patlatma ve grup patlatmalarından elde edilen titreşim kayıtları incelendiğinde (Tablo 4), burada da grup patlatmasındaki genliklerin pilot patlatmaya çok yakın olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, böyle bir düzende yapılacak patlatmaların, tek delik patlatmasından ortaya çıkacak titreşim etkisi kadar köye etki edebileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4. Pilot patlatma ve 14 delikli grup patlatmanın köyde ölçülen titreşim değerleri

Type	Serial No.	Date/Time	No. Chan	Trigger	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (pa./dB)	PVS1 (mm/s)
W	BE12269	Jun 21 /13 11:07:25	4	Vert	1.524	1.270	1.016	0.500L	2.008
W	BE14465	Jun 21 /13 12:20:30	4	Vert	1.143	2.413	0.889	6.750L	2.430
W	BE12269	Jun 21 /13 12:20:35	4	Vert	1.397	1.905	0.635	0.500L	1.913
W	BE14465	Jun 21 /13 12:21:56	4	Vert	1.651	2.413	2.286	7.250L	2.727
W	BE12269	Jun 21 /13 12:22:01	4	Vert	1.778	2.032	1.016	0.500L	2.163
W	BE14465	Jun 21 /13 12:24:11	4	Vert	1.524	3.302	1.397	4.250L	3.324

21 Haziran 2013 tarihinde, ara sıkılamalı ve tek şarj patlatmaların karşılaştırması da yapılmıştır. Patlatma#4 olarak adlandırılan bu uygulamada, 1 pilot ve 5 delikli grup patlatması ara sıkılama yapmadan, tek şarj düzeninde hazırlanmıştır. Önce pilot patlatma yapılmış, daha sonra 5 delikten oluşan ve tek şarj doldurulan grup, 100 er ms gecikme ile patlatılmıştır. Ölçüm cihazlarının yerleri değiştirilmemiştir. Bu uygulama, tamamen müteahhit firma isteği üzerine yapılmış olup, bu uygulama sonucundaki önerilerimiz sonuçlar kısmında verilmiştir.

4 ÖNERİ VE SONUÇLAR

Mayıs 2013 tarihinde yapılan teknik ziyarette, Müteahhit Firmanın yaptığı patlatmalara müdahele yapılmadan, mevcut durumu anlayabilmek için patlatmalar gözlenmiş, 3 adet titreşim ölçer cihazla ocak içinde ve heyelanlı bölgeye yakın lokasyonda kaydedilmiş ve veriler değerlendirilmiştir. Her iki firmanın da aynı düzende deldiği çok sayıda deliği, tek atımda değil, kendi içlerinde 3,4,5 gruba ayırarak ayrı ayrı patlattığı gözlenmiştir. Bu düzende yapılan patlatmalar hem zaman kaybına neden olmakta, hem büyük bir grup patlatmasının yarattığı deliklerin birbirleriyle iç öğütme avantajından yoksun olmaktan kaynaklı kötü parçalanmaya sebep olmakta, hem de büyük bir güvenlik zaafiyetine neden olmaktadır. Çünkü her atıştan sonra ateşçinin koşarak diğer grubu bağlaması, patlayıcı madde ve aksesuarları ile donatılmış gruplar arasında dolaşması çok tehlikelidir.

100 ms delikler arası gecikme, titreşimi azaltmada uygundur. Ancak küçük gruplarla bireysel patlatmalar yapmak, şevi agresif bir duruma sokmakta, her patlatmadan sonra deplasmana uğrayan şev, 1-2 dakika aralıkla yapılan grup atışları ile üst üste uyarılarak büyük deplasmanlar vermektedir.

Sahada aynı şevde neredeyse 5-10 dakika aralıkla her iki müteahhit patlatma yapabilmektedir. Bu da daha önce bahsedilen agresif patlatma tarifine uymakta, şevin deplasman hareketlerini süperpoze etmektedir.

Delik içinde sıkılama başına 250gr yemleme kesinlikle yeterli değildir. Delik içinde başlayan detonasyon, yetersiz yemleme nedeniyle deliğin tamamı patlamadan sönmektedir. Bunu, ağzı neredeyse hiç bozulmamış patlatma sonrası delik görüntülerinden anlayabileceğimiz gibi, patlatma esnasında çıkan yoğun turuncu renkli gazdan da anlayabilmekteyiz.

Mayıs döneminde yapılan patlatmaların, kendi içinde gruplara bölünerek ayrı ayrı atılmasından ziyade, tek patlatmada, delikleri dörtlü veya üçlü veya ikili gruplayarak ve gruplar arasına 100ms gecikme vererek patlatsaydık ne olurdu sorusunun cevabı için modellemeler yapılmıştır. En iyi sonucu delikleri ikili gruplayarak ve delikler arasına 100ms gecikme vererek yapılan model olduğu görülmüştür.

Haziran 2013 tarihindeki teknik ziyarette, Müteahhit Firmanın, önerilerimiz doğrultusunda yemleme miktarını sıkılama başına 250gr'dan 625gr'a çıkardığı gözlenmiştir.

Bu dönemde, Müteahhit Firmanın yaptığı 24 delikli, tek atımda, delikler arasına 100ms gecikme verilerek yapılan patlatmanın etkileri hem heyelan bölgesine yakın lokasyonda, hem de köyde, titreşimlerden şikayetçi olan köy sakininin evinde kaydedilen veriler ile incelenmiştir. Bağlantı elemanı olmaması nedeniyle delikleri, Mayıs ayındaki çalışma baz alınarak yaptığımız öneride olduğu gibi ikili gruplamak yerine birer birer patlatınca, dalga katarı etkisi görülmüştür. Bu durum, uzun süren ve genliklerin yüksek olduğu patlatmayı tariflemektedir ki, hem köy evleri hem de şevler açısından sakıncalıdır. Bu sebeple, kesinlikle toplamda 20 den fazla deliğin delikler arasına 100ms gecikme verilse bile patlatılması uygun değildir. İkili ya da üçlü gruplandırılarak ve aralarına 100ms gecikme verilerek patlatılmaları önerilmektedir.

Yine aynı dönemde 14 delikli bir grup hazırlatılmış ve delikler ikili gruplandırılarak ve aralarına 100ms gecikme verilerek patlatılmıştır. Bu patlatmanın hem köyde hem de heyelan bölgesine yakın lokasyondaki titreşim genlikleri (vektörel toplamda 2.73mm/s, heyelan bölgesinde) neredeyse tek delik patlatmasından (pilot) elde edilen genlikler (vektörel toplamda 2.43mm/s, heyelan bölgesinde)kadardır. Bu sebeple, hem şevlerdeki hareketi patlatma etkisiyle tetiklememek ve aynı zamanda köy sakinlerinin şikayetlerini en aza indirebilmek adına, 14-15 adet delik sayısını geçmeyecek şekilde patlatma

grubu oluşturmak ve kendi aralarında ikili gruplayarak, tek atımda patlatma gerçekleştirmek önerilmektedir.

Delik boylarının nispeten kısa olmasından dolayı (8-9m), Müteahhit Firmanın deneme amaçlı istediği ara sıkılamalı ve tek şarjda yapılan patlatmalar karşılaştırılmış, tek şarj patlatmalarının ara sıkılamalıya göre hem köyde hem de şevlerde daha yüksek titreşimlere neden olduğu görülmüştür. Bu sebeple, şimdiye kadar yapılan şekliyle, ara sıkılamalı olarak patlatmalara devam edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Uyar, G.G., Kaypak, B., 2013. TKİ Bursa Linyitleri Gümüpınar Sektöründeki Patlatmaların Şevlere Etkilerinin İzlenmesi. Gümüşpınar, Sağırlar ve Çivili sektörlerindeki kömür sahalarının optimum değerlendirilme koşullarının belirlenmesi, Sağırlar ve Çivili sektörlerindeki yer altı rezervlerinin işletilmesine yönelik projelerin hazırlanması", Türkiye Kömür İşletmeleri Bursa Linyitleri İşletmesi (BLİ) AR-GE projesi, 2012-2013.

TBM Kullanılarak Tünel Açmada Karşılaşılan Zorluklar: Silvan Tüneli Örneği

Difficulties Encountered in Tunneling Using TBM: The Example of Silvan Tunnel

M. E. İnal, N. İnal
Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü 103. Şube Müdürlüğü, Batman

ÖZET: Bilindiği gibi dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak ülkemizde de tünel açmak için klasik yöntemden vazgeçilerek TBM = TAM = TDM (Tunnel Boring Machine = Tünel Açma Makinesi = Tünel Delme Makinesi) kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. TBM'ler klasik yöntemlere göre daha pahalı olmalarına rağmen daha hızlı ve güvenilir oluşları sebebiyle tercih edilmektedir. TBM'lerin olumlu yönleri olduğu gibi olumsuz yönleri de mevcuttur. Örneğin TBM çalışma mantığı olarak yeraltında tünel açma amaçlı yapılmaktadır. Dolayısıyla yer üstünde yürütülmesi büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada TBM'lerin seçilme yöntemi ile olumlu ve olumsuz yönlerinden kısaca bahsedildikten sonra kamulaştırma sorunları sebebiyle tünel girişinden 125 m geride kurulmak zorunda kalınan bir TBM'in (Şek. 1 ve Şek. 2) tünel girişine yürütülmesi sırasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm yöntemi anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: TBM, yeraltı, tünel

ABSTRACT: As it is known, classical methods in tunnel boring system has been replaced to use of Tunnel Boring Machine (TBM) in our country as parallel to technological developments in the world. Although TBMs are more expensive than classical methods, they are preferred due to their speed and reliability. TBMs have advantages as well as disadvantages. For instance, since TBMs can be run only in underground conditions, transporting this machine on the ground constitutes very big problems. In this study, after mentioning the chosen criteria of TBMs together with their pros and cons, problems encountered during the driving of a TBM which is set 125 m back from the tunnel entrance (Figures 1 and 2) due to expropriation issues and their solution methods are presented.

Keywords: TBM, underground, tunnel

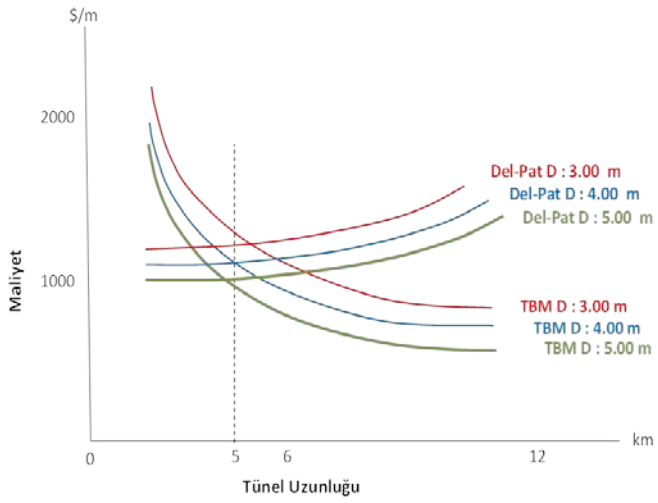
Şekil 1. TBM'in kurulduğu yer

Şekil 2. Tünel giriş portalı

1 GİRİŞ

Ülkemizde gerek karayollarında gerek içme ve sulama amaçlı açılan tünellerde son zamanlara kadar klasik delme patlatma yöntemi kullanılmaktaydı. Bu yöntem ile tünel açmaktaki en büyük handikap işin uzun sürmesidir. Gelişen teknolojiyle birlikte tünel açmada maliyetin yanında işin hızlı ve zamanında bitirilmesi isteği klasik tünel açma yöntemi olan del - pat yerine daha modern ve gelişmiş bir teknoloji olan TBM kullanımını neredeyse zorunlu hale getirmiştir. TBM kullanımını arttıran nedenler sadece bunlarla sınırlı değildir elbette. İşin hızlı olmasının yanında en az miktarda sarsıntı meydana getirerek hem zeminin stabilizesi bozulmadan kazı yapılması olanağı tanımaktadır ve hem de yer üstünde bulunan yapıların bu tünel kazılarından en az miktarda etkilenmesi sağlanmış olmaktadır. Ayrıca tünelde çalışan elemanların sağlığı açısından da (daha az toz ve duman oluşturduğundan) TBM diğer yöntemlere tercih edilmektedir. Peki, buraya kadar olumlu yönleri anlatılan TBM'lerin olumsuz yönleri de yok mudur? Elbette ki TBM'lerin en olumsuz yönü ilk yatırım maliyetinin çok yüksek oluşudur. Yapılan değerlendirmede kazı çapına bağlı olmakla birlikte maliyetler 2 000 000 $ - 10 000 000$ arasında değişmektedir. Ayrıca işe başlamadan bir segment üretim fabrikası, beton santrali ve konkasör şantiyesinin de kurulumuyla birlikte ilk yatırım maliyeti çok yüksek meblağlara ulaşabilmektedir. Bu olumsuz durumlara rağmen ilerleme hızının göz önünde bulundurulması durumunda ise zaten TBM açık ara daha fazla tercih edilecektir.

Yapılan bir çalışmada (*Çınar ve Feridunoğlu, 1994*) Şekil 3'ten de anlaşılabileceği üzere örneğin 3 metre kazı çapındaki bir tünel için 5 km'den sonra TBM ile tünel kazısının daha ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. İncelediğimiz örnekte kazı çapı 7,80 m olduğundan TBM ile tünel kazısı elbette daha ekonomik olacaktır.



Şekil 3. Del-Pat ile TBM'in maliyet önünden kıyaslanması (Çınar ve Feridunoğlu, 1994)

İncelediğimiz Silvan Tünelinde işin idari şartnamesinde tünel açma yöntemi olarak TBM kullanımı zorunlu olarak belirlendiği için hangi yöntemle tünel açmanın daha uygun ve maliyetinin daha az olduğu konularında yüklenici firmanın herhangi bir çalışma yapmasına gerek kalmamıştır. Bunun yerine sadece mühendislik jeolojisi raporundaki zemin kesitlerinden faydalanılarak hangi tip TBM kullanılacağına karar verilmeye çalışılmış ve tüm veriler bir araya getirildiğinde bu proje için en uygun tipin Çift Kalkanlı TBM olacağına karar verilmiştir.

2 PROJENİN YERİ

Diyarbakır ili Silvan İlçesi sınırları içerisinde yer almakta olup, Dicle Nehri Sol sahil ovaları içinde bulunmaktadır.

3 PROJENİN AMACI

Dicle Nehri Sol Sahil ovalarında toplam 245372 ha tarım arazisinin sulanması için gerekli olan sulama suyun ihtiyacını karşılayan iletim sisteminin yapılması işidir. Projenin su kaynağı Batman Çayı'nın Kulp Kolu üzerinde inşa edilecek olan Silvan Barajı'dır. Yapımına başlanan Silvan Tünelleri (T1-T2) 10 210 m uzunluğunda 7 metre iç çapında ve iki adet birbirine paralel dairesel kesitli sulama amaçlı yapılacak tünellerdir.

4 KULLANILAN TBM'İN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Kazı Çapı: 7,85 m
Bitmiş Tünel Çapı: 7,00
Açılacak Tünel Boyu: 2 * 10 210 = 20 420 m
Kurulu Güç:8*350=2800 Kw
Kesici Kafa Tork:5384/7807/8346 kNm
Pistonların İtme kuvveti: 35 600 kN (320-550 Bar arasında)
Kesici kafa dönme hızı: 8 devir/dak
Gripper Çapı: 7 750 mm
Segment Genişliği: 1,50 m
Segment Kalınlığı: 0,30 m
Segment Tip Sayısı: 5 + 1 (Kilit Segmenti)
Ring Ağırlığı: 25,8 ton
Segment Betonu: C 45, DIN 1045
Segment Demiri: St 420, DIN 488
Contalar: 10 Bar basınca dayanıklı
Segment Çimentosu: Katkılı portland çimentosu (PÇ 42,5), Cem II
TBM İlerleme Yönü: TBM tünelin mansabından menbasına doğru ilerleyecektir.

5 TÜNEL AÇMA MAKİNALARININ SEÇİMİ

TBM kullanılarak açılacak bir tünelde en önemli nokta uygun bir model seçmektir. Bunun için kesin olarak belirlenmiş bir yöntem olmamakla birlikte TBM'ler tünel güzergâhlarında geçilen jeolojik formasyonların özelliklerine göre seçilirler. Tünel Açma Makinaları büyük şehirlerde elektrik, su, kanalizasyon, doğalgaz, metro tünelleri gibi yapıların açılmasında çevreye ve yerüstündeki yapılara zarar verilmemesi, istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, sessiz, titreşimsiz ve hızlı ilerlemeden dolayı tercih edilmektedirler. TBM'ler tünel güzergâhındaki formasyonların kaya kalite dayanımları, sert, orta sert, yumuşak ve akıcı özelliklerine göre kafa dizaynları, kesici tipleri, makinayı dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri bakımından farklılıklar göstermektedirler.

Farklı jeolojik birimlerde kullanılmak üzere farklı özelliklere sahip olan tünel açma makineleri geliştirilmiştir. TBM'leri kalkanlı ve kalkansız (açık, pabuçlu) olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Pabuçlu, tek kalkanlı ve çift kalkanlı TBM'ler kaya formasyonlarında kullanılırken çamur basınçlı ve pasa basınçlı TBM'ler zeminlerde ve su gelirinin fazla olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

6 TBM ÇEŞİTLERİ

6.1 Kalkansız (Açık, Pabuçlu) TBM'ler

Kalkansız TBM'ler formasyonun kendini kazıdan sonra belirli bir süre tutabildiği sağlam kaya ortamlarında kullanılmaktadır. Açık (Pabuçlu) TBM'ler en eski tür olup pabuçların tünel duvarlarına bastırması ve TBM'i ileri doğru itmesi sayesinde ilerlemektedir. Açık TBM kullanılan tünellerde kaya cıvatası, çelik hasır ve püskürtme beton gibi çeşitli tahkimat tipleri kullanılarak yapılmaktadır. Çok sağlam, masif yapıya sahip olan formasyonlarda ise hiç tahkimat yapılmadan ilerlemek mümkün olmaktadır. Tahkimat ile zaman kaybedilmediğinden bu tip makinalar çok yüksek günlük ilerleme hızlarına erişebilmektedir.

6.2 Kalkanlı TBM'ler

Kalkanlı TBM'lerde kesici kafanın arkasında ekipman ile personeli tünel cidarından kopan parçalardan koruma amaçlı bir kalkan bulunmaktadır. Kalkanlı TBM'lerde tahkimat segment halkaları aracılığıyla yapılmaktadır. TBM ilerlemesi ise segment halkalarına basan itme silindirleri ile gerçekleşmektedir.

6.3 Tek Kalkanlı TBM'ler

Tek kalkanlı TBM'ler formasyondaki kırık çatlak miktarının yüksek olduğu ve formasyonun kendini tutamadığı yerlerde kullanılmaktadır. TBM segment halkalarına basarak ilerlediğinden tahkimat ve kazı aynı anda yapılamamakta, TBM her ilerleme sonrasında segmentlerin montajı için duraklamaktadır.

6.4 Çift Kalkanlı TBM'ler

Çift kalkanlı TBM'lerde adından da anlaşılacağı üzere iki adet kalkan bulunmaktadır. Bu tip TBM'lerde kazı için

gerekli olan itme kuvveti iki şekilde sağlanmaktadır. Bunlardan ilki kalkansız TBM'lerde olduğu gibi pabuçların kullanılmasıdır. Formasyonun sağlam olduğu ve kendini tutabildiği yerlerde çift kalkanlı TBM'ler pabuçlu TBM gibi ilerlemektedir. Formasyonun kırık çatlaklı olduğu ve kendini tutamadığı yerlerde ise arka ve ön kalkanlar birbirine kenetlenmekte ve TBM kazıya tek kalkanlı TBM gibi devam edebilmektedir.

6.5 Çamur Basınçlı TBM'ler

Çamur basınçlı TBM'ler çakıl ve kum içeren zeminlerde kullanılmakta ve ayna basıncını dengelemek için hazırlanmış çamur karışımı kullanmaktadırlar. Bu tür TBM'lerin en büyük dezavantajı kazı sırasında kullanılacak çamurun hazırlanması amacıyla bir çamur hazırlama tesisi kurulumunu gerektirmesidir. Pasa nakli zeminin bulamaç haline getirilerek kesici kafadan alınması ve yüzeye borular kullanılarak gönderilmesi şeklinde yapılmaktadır.

Bu tip TBM'lerin pasa basınçlı TBM'lere göre en büyük avantajı daha yüksek ayna basıncı olan zeminlerde kullanılabilmeleridir. En büyük dezavantajları ise çamur hazırlamak için tesis kurulması gerektiğinden ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşudur.

6.6 Pasa Basınçlı (EPB) TBM'ler

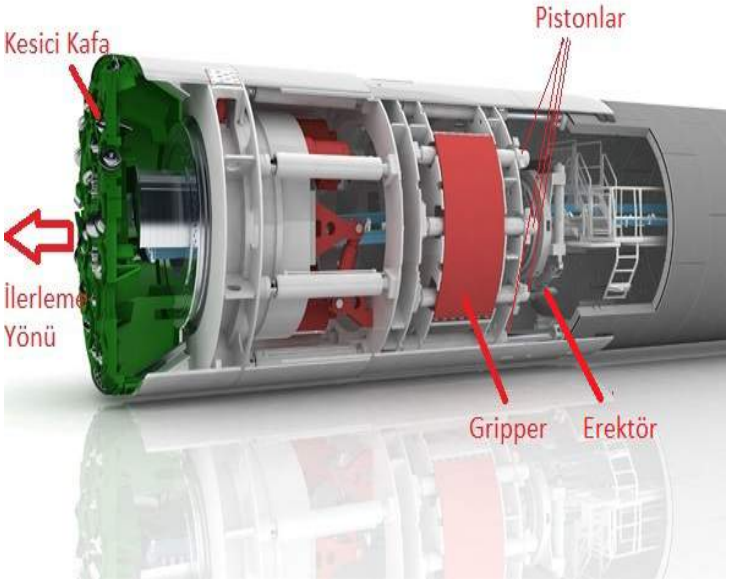
Bu tip TBM'ler ayna basıncını dengelemek için kazılan malzemeyi kullanmaktadırlar. Pasa, basınç odasında aynayı dengeleyecek basınçta tutulmakta, TBM'in ilerleme hızına paralel olarak helezon konveyör vasıtası ile buradan alınmaktadır. TBM'deki helezon konveyör sayısı üreticiye, TBM'in boyutlarına ve ortamdaki ayna basıncına göre değişmektedir.

Çamur ve Pasa Basınçlı TBM'lerin kullanıldığı EPB TBM'ler genellikle silt ve kil bulunan formasyonlarda kullanılmaktadır. (Bappler, 2006). Malzemenin kesici kafa içine girişini, helezon konveyörden geçişini kolaylaştırıp, tıkanmaları önlemek amacıyla formasyonun özelliklerine bağlı olarak bir takım kimyasallar kullanılmaktadır.

7 ÇİFT KALKANLI TBM'LER

Çift kalkanlı TBM'ler genellikle sağlam ve zayıf formasyonların bir arada bulunduğu bölgelerde tercih edilmektedir. Sağlam zeminlerde kazı ile tahkimatın birbirinden bağımsız olarak yapılması ilerleme hızını arttırmaktadır. (Ateş, 2014)

Çift kalkanlı bir TBM kendi arasında kafa kısmı ve Back-up olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.



Şekil 4. Klasik bir çift kalkanlı (double-sheet) TBM model kesiti

TBM'lerin kafa olarak adlandırılan kısmında (Şek. 4);

- Kesici kafa,
- İtme Pistonları,
- Yönlendirme silindirleri,
- Kilitleme pabuçları (gripper),
- Kesici kafayı döndüren motorlar,
- Beton tahkimat elemanlarını yerleştiren erektörler sayılabilir.

Şekil 5. TBM Back- up kısımları

TBM arka kısmında bulunan, back-up sistemler olarak adlandırılan bölümde ise (Şekil 5);

- Hidrolik güç üniteleri,
- Elektrik trafoları,
- Tavan civataları için delici,
- Havalandırma fanları,
- Pasa nakliyatı için konveyör bantlar,

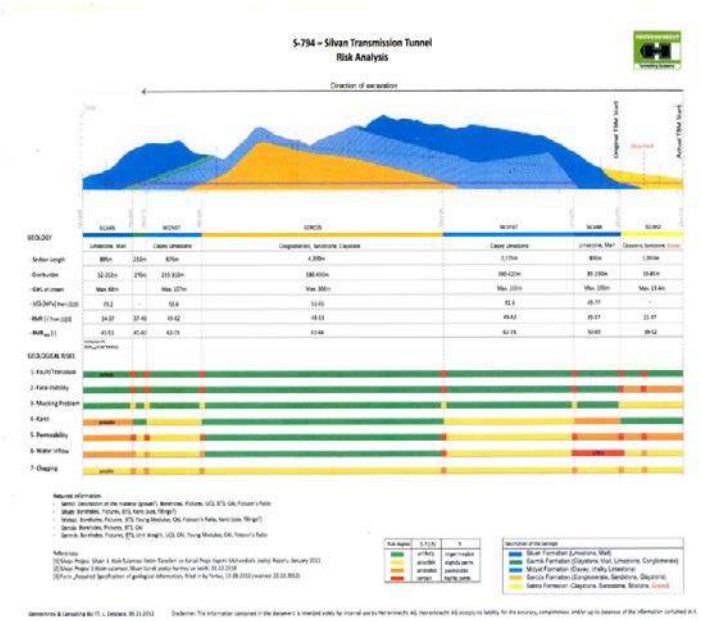
Vagonlar bulunmaktadır.

7.1 Tünel Boyunca Zemin

Silvan Projesi Silvan 1.Kısım Sulaması İletim Tünelleri ve Kanalı Proje Yapımı Mühendislik Jeolojisi Raporuna göre zemin kesiti aşağıda verilmiştir.

İncelediğimiz Silvan tünellerinin geçtiği jeolojik formasyonlar; Silvan Projesi Silvan 1. Kısım Sulaması İletim Tünelleri ve Kanalı Proje Yapımı Mühendislik Jeolojisi Raporuna göre (Sayfa 7-11)

Tablo 1. Tünel Boyunca Zemin Kesiti (Silvan Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu)



- **Şelmo Formasyonu;** Bu formasyon Kiltaşı, Kumtaşı ve Çakıltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Bu bölgedeki tünel güzergâhındaki tünel üst kotundan itibaren zemin kalınlığı 10 – 85 m olarak değişmektedir. Max yeraltı su seviyesi 15,10 m dir. Belirtilen bu zemin cinsi RMR kaya kütlesi sınıflaması sistemine göre IV no'lu sınıfa karşılık gelen zayıf kaya sınıfına girmektedir. İnceleme alanındaki kalınlığı 1 - 300 m arasındadır.
- **Silvan Formasyonu;** Kireçtaşı, Marnlı birimlerden oluşup kaya kalite indeksi orta, yüksek dayanımlıdır. Kalınlığı 300 m kadardır. Bir miktar su ihtiva etmektedir.
- **Midyat Formasyonu**; Killi Kireç taşı kaya kalite indeksi iyi, yüksek dayanımlıdır. Yaklaşık 150 m kalınlığındadır. Aşırı miktarda Yeraltı suyu ihtiva etmektedir.
- **Gercüş Formasyonu:** konglomera, kumtaşı ve kil taşından oluşmakta, kaya kalite indeksi iyi, orta dayanımlı özelliktedir. Orta - kalın tabakalı, sıkı çimentolu olan Gercüş formasyonu, gölsel - lagüner bir ortamda çökelmiştir. İnceleme alanındaki kalınlığı 400 m'nin üzerindedir.

- **Germik Formasyonu:** Kırmızı, boz, yeşil renkli marn, kireçtaşı, kiltaşı ve konglomera birimlerinin ardalanması şeklindedir. Kalınlığı 150 m kadardır.

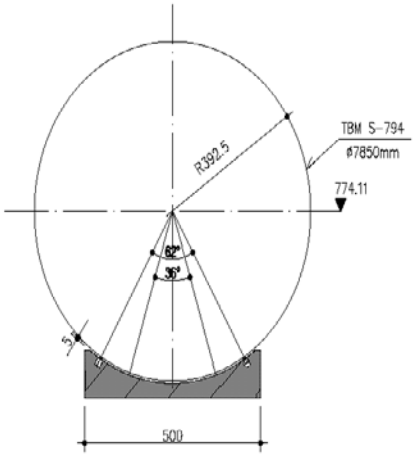
Uzunluğu 10 210 m olan tünelimizin ilk 1050 m'si zayıf bir zemin olan Şelmo Formasyonundan geçmekte ve ardından da sırasıyla 805 m Silvan Formasyonu, 2 175 m Midyat Formasyonu, 4 200 m Gercüş Formasyonu, 875 m Midyat Formasyonu, 210 m Germik Formasyonu ve 895 m Silvan Formasyonundan geçmektedir. Tünel güzergâhındaki formasyonların kaya kalite indeksleri ve kaya dayanımları incelendiğinde görülmektedir ki çift kalkanlı TBM en uygun seçim olacaktır. Dolayısıyla bu projemizde çift kalkanlı TBM kullanılmıştır.

8 SİLVAN İLETİM TÜNELLERİNDE KULLANILAN TBM'İN HARİCİ GÜÇ ÜNİTESİ İLE YÜRÜTÜLMESİ

Tünellerin kazı ve tahkimat işleri için Herrenknecht Firmasından alınan 7 850 mm kazı çapında 127 metre uzunluğunda 1 400 ton ağırlığında zayıf zeminde ve kaya birimlerinde kullanılabilecek çift kalkanlı TBM tercih edilmiştir. Makinanın montajı Şekil 1 ve Şekil 2' de görülebileceği üzere kamulaştırma problemleri sebebiyle Tünel Giriş portaline 125 metre mesafede yapılmış ve bunun üzerine TBM'in tünel girişine yürütülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu çok büyük bir problem teşkil etmiştir. Çünkü TBM yapım ve çalışma mantığı olarak yerin altında, Gripperler tarafından kafa kısmının ilerlemesi ve geri kalanların ise pistonlarla segmentlere basarak ilerlemesi prensibi üzerine kurulmuştur. Bu konuda daha önce benzer bir durum oluşmadığından dünyada en fazla TBM üretmiş olan Herrenknecht Firmasının yetkilileri tarafından bir çözüm üretilememiştir.

Şekil 6. TBM yürütme için konulan ek elemanlar



Şekil 6.1. Dökülen invert betonunun yerleşim açıları

Şekil 6.2. Kullanılan harici güç ünitesi

Şekil 6.3. Kullanılan destek profilleri

Bu çözümsüzlük sürecinde kaybedilen zaman sebebiyle işin istenen vakitte tamamlanamama ihtimali oluşmuştur. TBM'in ilk 300 m kadarki ilerlemesi garanti kapsamında olduğundan firma tarafından hiçbir risk almadan bu yürütme işleminin yapılması istenmiştir.

Üstelik tek problem bu değildi. TBM için gerekli olan enerji daha önce hesaplanmış ve 7250 kW kesintisiz enerjiye ihtiyaç duyulacağı hesaplanmıştı. Bunun için gerekli anlaşmalar sağlandığı halde günde birkaç saate varan elektrik kesintileri sebebiyle TBM'e elektrik bağlantısı yapılamamış ve bu sebepten makinenin ilerlemesi sırasında elektrik kullanımı da mümkün olmamıştır. Bütün bu olumsuz durumlar bir araya getirilmiş ve yapılan değerlendirmede; TBM'in montajının yapıldığı yere invert betonu dökülmesine ve elektrik bağlantısı da sağlanamadığından makinanın harici bir güç ünitesiyle yürütülmesine karar verilmiştir.

Bunun üzerine ilk olarak Şekil 6.1' de görülen beş metre genişliğinde 62 derece açıyla konumlandırılan 200'lük NPI profillerine sakal şeklinde çift taraflı demir donatı kaynatıldıktan sonra invert betonu dökülmüştür. NPI 200'luk profillerinin üzerine makinanın 14 metre uzunluğundaki kafa kısmının ilerletilmesi için 80*60 mm ebadında 12 metre uzunluğu profiller kaynatılmıştır.

Güç ünitesi (Şek. 6.2) 5,5 kW 380 volt elektrik motoru ile çalışan çift valfli 24 lt/dk debili 200 lt hidrolik yağ tankı bulunan ve 300 bar basınca kadar çıkabilen bir üniteden oluşmaktadır. Güç ünitesinden makinanın invert segmentlerine basan ve bu vesileyle makinanın ilerlemesini sağlayan 2,80 metre uzunluğunda 20 santimetre çapında dört pistona bağlantı yapılmıştır. Tünel açma makinasını daha fazla yürütmek için 2,20 metre uzunluğunda 30*30 santimetre ebadında 25 mm kalınlığında kafa kısımlarına plaka montajlı beş adet 300 luk HBP profili kullanılmıştır. Her defasında makine 2,20 metre ilerlendikten sonra diğer dayama profili eklenmiştir. Yürütme esnasında dayamaların sabit kalması için aralara (Şek. 6.1) de görüldüğü gibi NPU 100 luk profiller takviye amaçlı kullanılmıştır.

Tünel açma makinasının ilk yürütülmesi sırasında invert betonunda çatlamalar olduğu ve kesici kafanın aşağı düştüğü tespit edilmiştir. Bunun üzerine ilerleme durdurulmuştur. Yapılan incelemede makinanın invert betonuna iki noktada noktasal basmasından dolayı invert betonunda çatlamalar olduğu düşünülmüş, betona gelen yüklerin dağıtılması ve makinanın 13 metrelik kafa ve kalkanının istenilen pozisyonda yürütülmesi için iki metre uzunluğunda 30 santimetre genişliğinde 50 mm kalınlığında (Şek. 6.3) 36 derecelik açıyla invert betonuna sabitlenecek çelik plakalar tasarlanmıştır.

Şekil 6.3'te görüldüğü gibi çelik plakalara 1 metre arayla 15*15 santimetre ebadında 25 mm kalınlığında plakalar kaynatılmıştır. Bu plakalara 25 mm delik delinip 24 mm çapında 200 mm boyunda epoksi yardımıyla invert betonuna monte edilmiştir.

Çelik plakalar 12 metre boyunda montaj yapılıp üst yüzeyleri gres yağı ile yağlandıktan sonra makina yürütülmeye başlanmıştır.

İlk zamanlarda günde 1 piston mesafesi olan 1,5 m yürütülmüş, ardından C20/25 betonu dökülüp 48 saat priz süresinden sonra TBM tekrar piston mesafesi kadar yürütülebilmiştir. Tünel girişine olan mesafe 125 m olduğundan ve bu şekilde her 3 günde 1,5 m yürütülmesi durumunda günlük ortalama 0,5 m ilerleme sağlanabildiğinden

ve tünel portaline yaklaşık 250 günde ulaşacağı anlaşıldığından ve işe en kısa sürede başlanması gerektiğinden başka bir yöntem bulunmaya çalışılmıştır. Çünkü bu zaman kaybı çok ciddi iş kaybına, masrafa ve projenin zamanında yetiştirilememesine sebebiyet verebilecekti.

Yapılan değerlendirme sonucunda günlük yürüme mesafesinin piston boyuyla sınırlı kalmaması için toplam 12 m olacak şekilde 4 adet çelik kriş hazırlanmıştır. Pistonlar bu krişlere civatalarla bağlanmış ve 2,5 m yürütüldükten sonra diğer 2,5 m'lik kriş bağlantısı yapılmış ve bu şekilde günde 12 m civarında (TBM' in devamlı gres yağlı plakalar üzerinde yürüme zorunluluğu sebebiyle maksimum ilerleme 12 metre yapılmıştır) ilerleme sağlanabilmiş ve ardından C20/25 betonu dökülüp 48 saat priz süresinden sonra makine tekrar yürütülmüştür. Dolayısıyla günlük ortalama ilerleme 4 m'ye çıkarılmıştır.

Bu şekilde sadece dış güç ünitesinin yardımıyla segment taşı ve şebeke elektriği olmadan yaklaşık 1 400 ton ağırlığında ve 127 metre uzunluğundaki dev makine yaklaşık 75 gün içerisinde toplam 125 metre yürütülebilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. TBM ile tünel açma dünyada kabul gören ve son derece hızlı tünel yapımına olanak sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle tünel açma sayesinde hem daha hızlı hem de ilk yatırımı diğer yöntemlere göre daha pahalı olsa da toplamda daha ucuza mal edilebilmektedir.
2. TBM yer altında tam kesit kazı yapılmak üzere kurulduğu ve yer üstünde yürütülmesi büyük problem olduğundan ne olursa olsun mutlaka tünel girişine en yakın noktada montajı yapılmalıdır Çünkü TBM'in kafa kısmı yaklaşık 740 ton ağırlığındadır ve bu ağırlıktaki bir makineyi yürütmek son derece zahmetli ve pahalıdır.
3. Silvan Tüneli örneğinde olduğu gibi zorunlu olarak tünel kazısının yapılacağı noktadan çok geride kurulması durumunda öncelikle Segment üretilmesi ve pistonlara dışarıdan verilecek basınçla bu segmentlere basılmak suretiyle ilerlemesi sağlanmalıdır.
4. En olumsuz durumda yukarıda bahsettiğimiz gibi bir durumla karşılaşılması (TBM'in çok geride kurulması, elektrik bağlantısının sağlanamaması hem de Segment üretiminin önceden yapılamaması) durumunda öncelikle TBM'in kafa kısmı bir piston yardımıyla kaldırılmalı, altına bir destekleme elemanı yerleştirilmeli, zeminle bağlantısı kesilmeli ve ardından da gres yağıyla yağlanmış olan demir profiller üzerinde yürütülmelidir.
5. Çift Kalkanlı TBM'de kafa kısmının ön kısmı ile arka kısmı ayrı ayrı çalıştığından harici bir güç ünitesi ile yürütmek zorunda kalınması durumunda kafanın ön kısmında burulma meydana gelmektedir. Yürütme sırasında ön kafa kısmı için ek tedbirlerin alınması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu makalemin hazırlanmasında yardımlarını gördüğüm Jeoloji Mühendisi Şerafettin BOZKURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Ateş, U, 2014. *Çift Kalkanlı TBM Kullanımında Karşılaşılan Sorunlar ve Uygulanan Çözümler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü.

Bappler, K, 2006. Full Face Tunnel Boring Machines, Herrenknecht AG. ITA/AITES – Training Course Tunnel Engineering, Seoul.

Bar-Su, 2011. Silvan Projesi Silvan 1.Kısım *Sulaması İletim Tünelleri ve Kanalı Proje Yapımı Mühendislik Jeolojisi Raporu* Syf:7-11.

Çınar, M, Feridunoğlu, C, 1994. Tünel Açma Makineleri (TBM), *Ulaşımda Yeraltı Kazıları I. Sempozyumu* Syf:343-367.

http://www.herrenknecht.com/en/products/core-products/tunnelling-pipelines/double-shield-tbm.html

Ulusoy, R, Aydan, Ö, 1997. Tünel Açma Makinalarıyla Yapılan Kazı İşlemlerinin Olumlu ve Olumsuz Yönlerinin Değerlendirilmesi: Takisato Tüneli (Japonya) Örneği, *Jeoloji Mühendisliği*, Sayı:51, Syf:51-61.

Trabzon Akyazı Tünelindeki Kazı ve Tahkimat Uygulamaları

Excavation and Reinforcement Applications in Trabzon Akyazı Tunnel

G. Külekçi
Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

A.O. Yılmaz, T. Yılmaz
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

B. Özyazıcı
MAPA inşaat

ÖZET: Karadeniz sahil yolunun önemli bir parçası olan Kanuni Bulvarı Projesi yaklaşık 23km uzunluğundadır. Projede yer alan Akyazı tüneli, yaklaşık 2476m uzunluğunda 3 şeritli ve çift tüplü olarak Beşirli-Yıldızlı arasında açılmaktadır. Akyazı tüneli, 2013'de başlatılan Akyazı Spor Kompleksi Projesi'nin en önemli altyapı projelerinden birisidir. Tünel güzergâhı boyunca Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) yöntemi uygulanmakta ve kazı işlemi delme-patlatma yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada tüneldeki farklı kaya kütle sınıflarına göre uygulanan delme-patlatma tasarımı, kazı ve tahkimat çalışmaları incelenmiştir. Tünelde kazı işlemi, alt yarı ve üst yarı şeklinde yapılmakta ve V-Cut delik düzeni uygulanmaktadır. Bir atımda 2,5m ilerleme yapılan tünelde şimdiye kadar sağ tüpte 1050m, sol tüpte 1150m ilerleme sağlanmıştır. Tahkimat işlemlerinde çelik iksa ve hasır ve püskürtme beton uygulanmaktadır. Tünelde ilk önce, üst ve alt yarı kazısı sonrası BS20 beton sınıfında %5 priz hızlandırıcı katkılı 5cm kalınlıkta ön püskürtme betonu uygulanmakta, sonra farklı kaya sınıflarına göre 25cm veya 30cm kalınlıkta %5 priz hızlandırıcı katkılı BS20 sınıfı püskürtme beton kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tahkimat, delme patlatma, tünel, kazı

ABSTRACT: Kanuni Avenue Project, the most significant part of Black Sea Costal Highway is about 23km. Akyazı Tunnel in project has excavated at 2476m length as 3 strips and 2 tubes located between Beşirli and Yıldızlı district. It is one of the most important substructure projects of Akyazı sport complex project started in 2013. The New Austrian Tunnelling Method (NATM) is used through Tunnel route and the excavating operation is practiced with drilling and blasting. In this study, drilling and blasting designs applied based on the different rock mass classification and excavating and support workings were investigated. In tunnel, excavating operation is used as downward and upward and V-Cut pattern is used. The excavating having 2.5m length is provided for a shot and by this time, 1050m in right tube and 1150m in left tube were excavated in tunnel. Steel timbering, steel mesh and shotcrete are used in reinforcement operations. In tunnel, first, pre-shotcrete having 5.0 wt.% set accelerating admixture and 5cm thickness at BS20 concrete classification is carried out after downward and upward excavating and then shotcrete having 5.0 wt.% set accelerating admixture and 25cm or 30cm thickness at BS20 concrete classification is used based on the different rock mass classification.

Keywords: Reinforcement, drilling blasting, tunnel, excavation

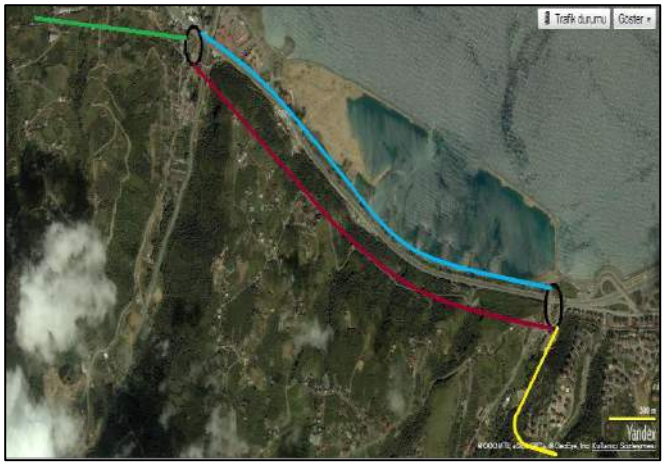
1. GİRİŞ

Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı Projesi; yaklaşık 23km uzunluğunda olup Akyazı beldesinden başlayıp; Beşirli, Aydınlıkevler, Soğuksu, Erdoğdu, Bahçecik, Yenicuma, Boztepe, Değirmendere ve Kaymaklı mahallerinden geçerek, Akoluk beldesine ulaşacak olan 3 şerit gidiş 3 şerit geliş yol olarak tasarlanan, Trabzon şehir içi karayoludur (JTAP,2013). Proje güzergâhı üzerinde çeşitli sanat yapıları bulunmaktadır. Bu sanat yapıları kapsamında 4 adet tünel açılacaktır. Açılacak olan tünellerden ilki olan yaklaşık 2476m uzunluğunda, 3şeritli ve çift tüplü Akyazı tüneli bu araştırma kapsamında incelenecektir. Ayrıca proje sahasında Akyazı tünelinin yaklaşık 2540 m'sinde ayrılıp anayola bağlanan 2 şeritli, yaklaşık 616 m uzunluğunda bağlantı tüneli yer almaktadır (Şek. 1).

Şekil 1. Akyazı ilçesi sahil yolu proje alanı.

Proje güzergâhında açılması planlanan Akyazı tüneli çift tüplü olup sol tüpü 0+760.00km ile 3+180.00km arasında; sağ tüpü ise 0+760.00km ile 3+242.00km arasında yer almaktadır. Proje güzergâhında 760m'da yaklaşık 9,07 kotu ile tünele girilip %0,64 eğimle 3242m'de yaklaşık 9,80 kotlarında tünelden çıkmaktadır (Şek. 2).

Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı Projesi kapsamında açılacak olan Akyazı Tüneli ve Bağlantı Tüneli Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü (Trabzon) sınırları içindedir. Arazi çalışmalarında 1/25000 ve 1/1000 ölçekli topoğrafik harita kullanılmıştır. Haziran 2013 ayı içerisinde arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sahanın jeolojik modeli oluşturulmuş olup birimlerin litolojik dokanakları, fay, ezilme zonu vb. ayrıntılı olarak jeolojik plan üzerine işlenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında tünel güzergâhı boyunca, tünelin jeoteknik parametrelerine temel olmak üzere süreksizlik ölçümleri alınmış ve jeolojik verilerle karşılaşılan birimin Jeolojik mukavemet İndeksi belirlenmiştir.



Şekil 2. Akyazı tünel projesi genel güzergâhı.

Bu proje kapsamında yapılacak olan tünellerin NATM sistemine göre yapılması planlanmaktadır.

Tünel güzergahı boyunca her bir yapısal bölge için kazı yönteminin belirlenmesi, tünel kazısının yapılacağı güzergahta kaya kütlesinin çeşitli mühendislik özelliklerini göz önüne alarak tek tek sınıflandırılması ile mümkündür (Yılmaz vd.,2002).

NATM yaklaşımı, tüneli çevreleyen kayacın mevcut direncinin harekete geçirilmesi veya korunması ile yan kayacın büyük ölçüde kendi kendine destekler duruma getirilmesidir. NATM ince bir püskürtme beton tabakası, uygun bir şekilde kaya saplamaları ile sağlamlaştırma ve kazı arınına mümkün olduğunca yakın bir şekilde yerleştirilen ters kemer betonun kullanılması yöntemidir (Yılmaz vd.,2002).

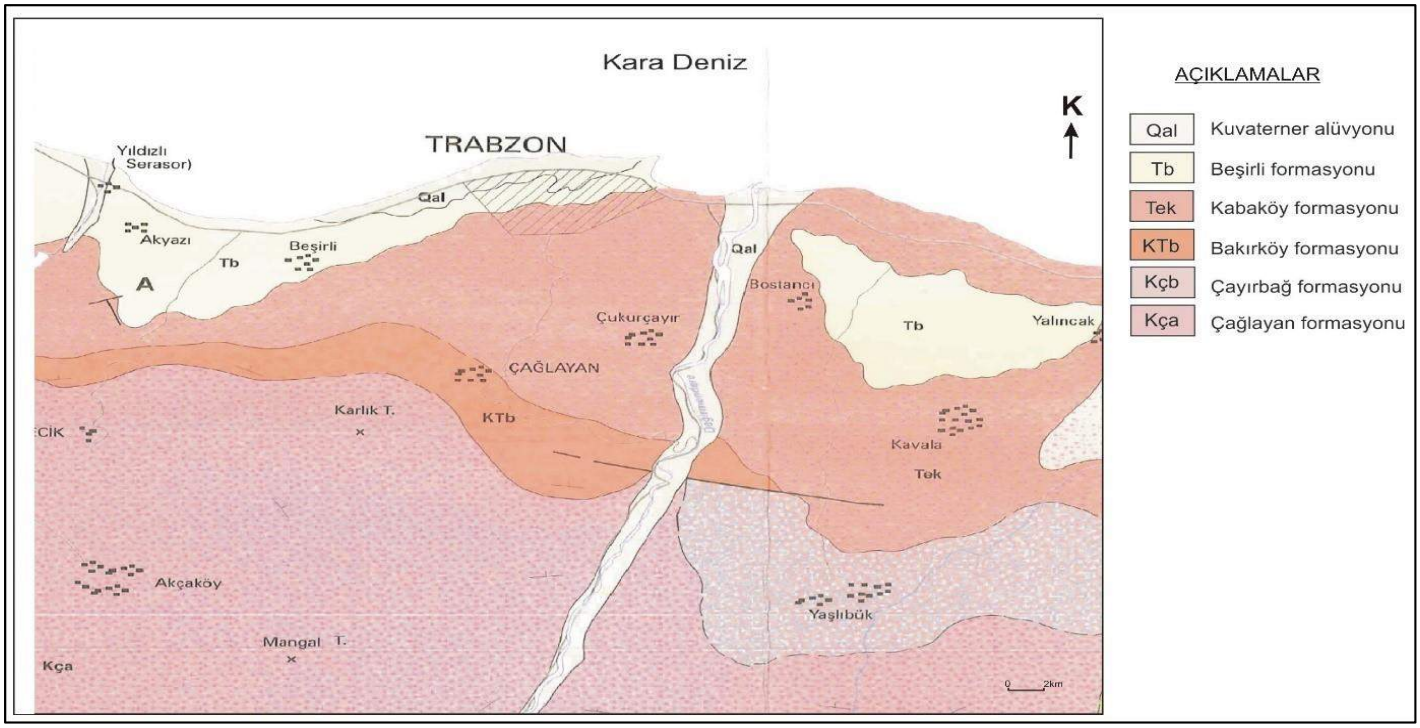
2 GENEL ve MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

2.1 Genel Jeoloji

Trabzon, Doğu Pontid Tektonik Ünitesinin kuzeydoğusunda yer alır. Bu tektonik ünite; batıda Kızılırmak vadisinden, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 500 km uzunluğunda ve kuzeyde Karadeniz kıyısından, güneyde Kuzey Anadolu fayına kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metallojenik bir kuşak oluşturur. Geniş anlamda ise, Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş ada yayı dizisinin bir parçasıdır. Trabzon İlinin de içinde yer aldığı "Pontidler" erken Alpin dönemine ait Austrik, orta Alpin dönemine ait Anadolu ve geç Alpin dönemine ait Attik tektonik fazlarının etkisinde kalmıştır. Özellikle yöreyi etkileyen Attik fazından sonra birimler kıvrımlanarak su yüzeyine çıkmış ve aşınmaya uğramışlardır. Bu dönem sonucunda Kumtaşı - Kiltaşı - Konglomera, bazaltik aglomera çakıllı tortul seviyeler özellikle sahil kesimlerde (Akçaabat-Yomra) oluşmuştur. Bu dönem ve sonrasında yine karadaki yükselme hareketleri devam etmiş ve denizel taraçalar oluşmuştur (Şek. 3).

Bugün Trabzon güneyinde, Soğuksu Mevkiinde en yüksek kotta (250m) I. seki seviyesi gelişmiştir. Bundan kuzeye doğru beş ayrı seki seviyesi daha tespit edilmiştir. Trabzon şehri genelde sekiler üzerine kurulmuştur (JTAP,2013).

Trabzon ili ve yakın çevresinde Mesozoik ve Senozoik dönemine ait toleyitik ve kalk-alkalen kayaçlar izlenir. Mesozoik dönemi Liyas yaşlı volkanitler ile başlar ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatlarıyla devam eder. Üst Kretase dönemi yoğun bir volkanik aktivitenin görüldüğü dönemdir. Bu aktivite asit ve bazik nitelikli periyotlarla gelişimini sürdürmüştür. Üst Kretase sonlarına doğru volkanik aktivite genellikle sona erer. Bu safha da genellikle Paleosen sonlarına kadar kesintisiz devam eden türbiditik çökeller devam eder (JTAP,2013).



Şekil 3. Trabzon ili ve civarının 1/100.000 ölçekli C29 ve d29 paftalarına ait genelleştirilmiş jeolojik haritası (MTA,2013).

Liyas'ta başlayarak Üst Kretase sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren volkanik faaliyet deniz altı volkanizması şeklinde olup, çökel ara katkılarla birlikte istiflenme gösterirler. Lavlarda genellikle yastık lav yapıları oluşmuştur.

Paleosen sonlarında orojenik faaliyetlerle birlikte büyük ölçüde granitoyid yerleşimi gelişmiştir (Kaçkar Granitoyidi -I). Eosen döneminde ise yeniden hareketlenen volkanizma etkin bir şekilde devam eder. Deniz altı ortamında yayılma nedeniyle Volkano-Tortul yapıda bir istif gelişmiştir. Granitoyid yerleşimleri Eosen döneminde de devam etmiştir (Kaçkar Granitoyidi-II).

2.2 Stratigrafi

Trabzon ili ve yakın çevresinde Mesozoik ve Senozoik dönemine ait toleyitik ve kalk-alkalen kayaçlar izlenir. Çalışma alanı içerisinde yer alan kaya birimleri aşağıda tanıtılmıştır (Şek. 4).

Yaş		Formasyon	Litoloji	Açıklamalar
Kuvaterner		Alüvyon	Qal	Çakıl, kum, kilden oluşan dere çökeli, taraça ve yamaç molozu
Pliyosen		Beşirli formasyonu	Tb	Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, bazalt ve aglomera
Eosen		Kabaköy formasyonu	Tek	Andezit, bazalt ve piroklastikleri, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüf
				Uyumsuzluk
Paleosen		Bakırköy formasyonu	KTb	Kumtaşı, marn, şeyl, killi kireçtaşı, tüf
Üst Kretase	Kampaniyen Maastrihtiyen	Çayırbağ formasyonu	Kçb	Riyolit, riyodasit ve piroklastikleri
		Çağlayan formasyonu	Kça	Bazalt, andezit ve piroklastikleri
				Ölçeksizdir

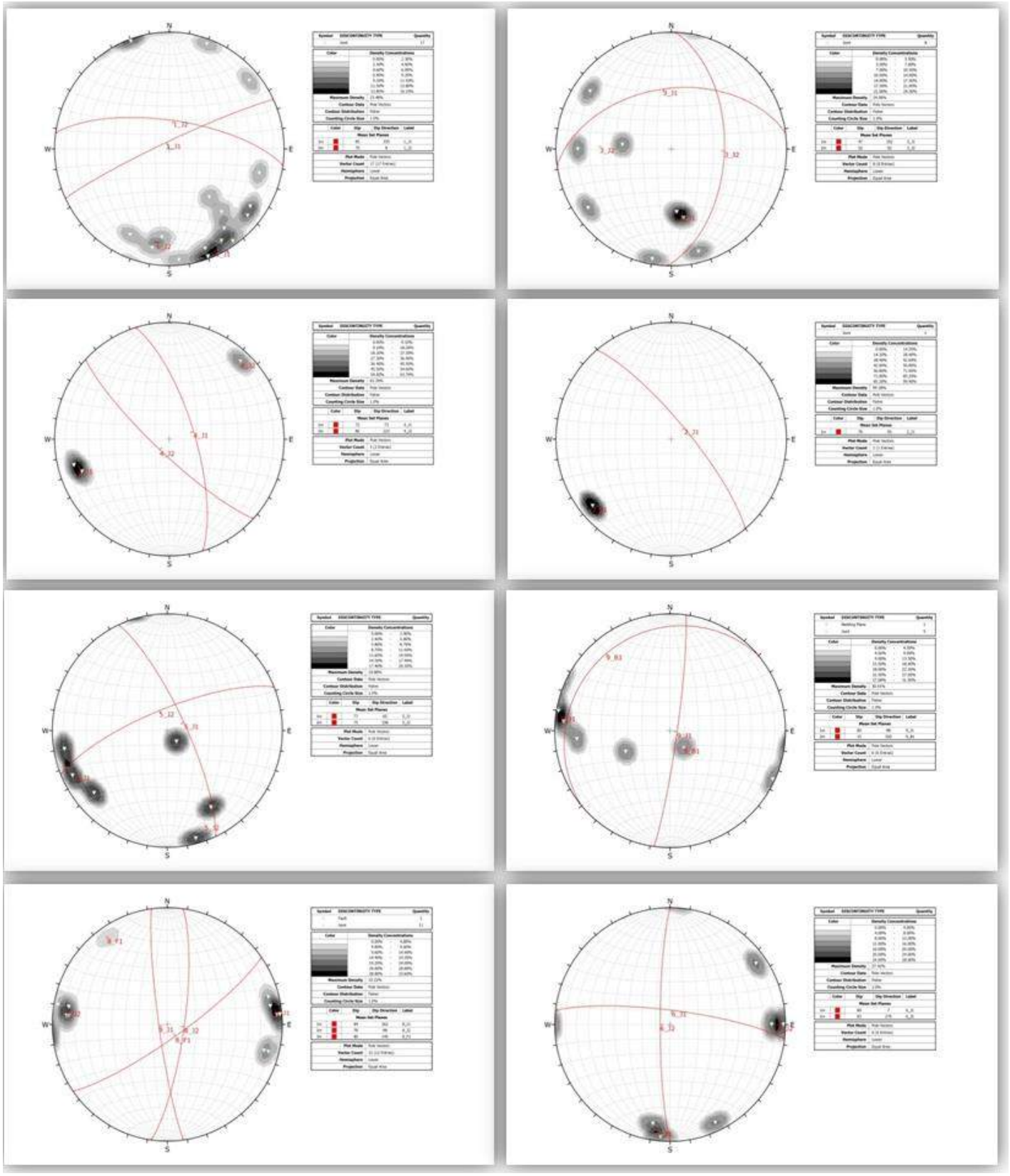
Şekil 4. Trabzon ili ve çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit (JTAP,2013).

2.3 Mühendislik Jeolojisi

Tünel kazısı yapılan kaya kütlesinin karakterinin belirlenmesi; projeye esas teşkil eden jeolojik, hidrolojik ve jeoteknik bilgiler tünelin kazısı sırasında yapılan jeolojik haritalamadan elde edilen bilgilerle karşılaştırılmalıdır. Esas olarak projede öngörülen kaya formasyonu, litolojisi ve kaya birimleri ile karşılaşıp karşılaşılmadığı kontrol edilmelidir.

Kazı sırasında kaya kütlesi tipinin belirlenmesi; jeolojik haritalama sırasında elde edilen süreksizlik, süreksizliklerin arasındaki dolgunun niteliği, su sızıntıları, bozuşma dereceleri, kayanın mukavemeti, aşırı sökülme, fayların tünel kesitine göre konumları ve etkileme alanı gibi bilgiler kullanılarak kazısı yapılan kaya kütlesinin davranışının yorumlanması ve buna göre kaya tipinin üç ana gruptan A (duraylı), B (gevrek), C (baskılı) hangisine girdiği belirlenmelidir.

Proje kapsamında açılacak olan çift tüplü Akyazı tüneli ile bu tünelden ayrılıp anayolla birleşen bağlantı tüneli güzergâhları boyunca hâkim olan birim Beşirli formasyonuna ait aglomeradır (JTAP,2013).



Şekil 5. Proje güzergâhı üzerinde 1-9. lokasyonlarında aglomera birimi içerisinde ölçülen süreksizliklerin ana eklem takımları (JTAP,2013).

Sahada yapılan mostra çalışmaları sonucunda bu birimin az – orta derecede ayrışmış, çok zayıf – orta sağlam kaya olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Akyazı tünel güzergâhında km:1+000'da yaklaşık 1m ve km:1+700'de yaklaşık 3m kalınlığında tüf ara seviyeleri görülmüştür. Bu iki birime ek olarak proje sahasında yer yer yamaç molozuyla da karşılaşılmıştır.

Tablo 1. Yüzey özellikleri ve pürüzlülükleri.

Lokasyon No	Süreksizlik Tipi	Aralık (m)	Devamlılık (m)	Süreksizlik yüzeyi ayrışması ve dolgu tipi	Pürüzlülük	Eğim / Eğim Yönü
1	Eklem 1	0,6 – 2	10 – 20	Çok ayrışmış, dolgulu (sert dolgu>5mm)	Az pürüzlü	85 / 355
1	Eklem 2	0,6 – 2				70 / 008
2	Eklem 1	0,2 – 0,6				78 / 050
3	Eklem 1	0,6 – 2	3 - 10			47 / 352
3	Eklem 2					52 / 092
4	Eklem 1	0,2 – 0,6	3 - 10	Çok ayrışmış, dolgulu (sert dolgu<5mm) Demiroksit sıvamalı	Az pürüzlü	72/073
4	Eklem 2	0,2 – 0,6	3 - 10	Çok ayrışmış, dolgulu (sert dolgu<5mm) FeO sıvamalı	Az pürüzlü	80/223
5	Eklem 1	0,2 – 0,6	3 - 10	Çok ayrışmış, dolgulu (sert dolgu<5mm) Demiroksit sıvamalı	Az pürüzlü	77 / 065
5	Eklem 2					75 / 338
6	Eklem 1	0,2 – 0,6	10 – 20	Orta derecede ayrışmış, dolgulu (sert dolgu<5mm)	Az pürüzlü	80 / 007
6	Eklem 2					83 / 270
8	Eklem 1	0,6 – 2	10 – 20	Orta derecede ayrışmış, dolgulu (sert dolgu<5mm) Demiroksit sıvamalı	Az pürüzlü	84 / 262
8	Eklem 2	0,6 – 2	10 – 20			78 / 098
8	Fay	>6	>20			80 / 145
9	Eklem 1	0,6 – 2	3 - 10	Çok ayrışmış, dolgulu (sert dolgu>5mm) Demiroksit sıvamalı	Az pürüzlü	85 / 98
9	Eklem 2					15 / 320

Jeolojik haritalama sırasında toplam 9 farklı lokasyonda çalışma yapılmış olup 1 lokasyonda masif aglomera ile karşılaşıldığından ölçüm alınamamış olup kalan 8 lokasyonda alınan süreksizlik ölçümleri stereo-net projeksiyon üzerinde gösterilmiştir (Şek. 5). Bu birim içindeki hâkim süreksizlikler çatlak takımlarıdır.

Yukarıdaki stereo-net projeksiyonlar üzerinde her lokasyonda ölçülen ana eklem takımları belirlenmiştir. Bu eklem takımlarının eğim yönü/ eğim açısı, aralıkları, devamlılıkları, yüzey özellikleri ve pürüzlülükleri aşağıdaki Tablo 1'de özetlenmiştir.

2.4 Jeoteknik Tasarım Parametresi

Tünel, proje sahasında aglomera biriminin hâkim olduğu Beşirli formasyonu içerisinde açılacaktır. Jeolojik haritalama sırasında proje sahasında 9 farklı lokasyonda mostra çalışmaları yapılmıştır ve karşılaşılan birim için Jeolojik mukavemet indeksi (GSI) bu mostra çalışmaları dikkate alınarak Sönmez ve Ulusoy (1999) tarafından önerilmiş modifiye GSI sistemine göre tespit edilmiştir (Şek. 5,6). Bu yaklaşıma göre GSI parametresi kaya kütlesinin yapısal özellikleri ve süreksizlik yüzey özelliklerinin bir fonksiyonudur.

Jeoteknik tasarım parametreleri Hoek & Brown kırılma kriteri ile tespit edilmiş olup bu amaçla kullanılan değerler, GSI (Jeolojik dayanım indeksi), UCS (Kayaç malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı) ve Mi sabitidir (Kayaç malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti).

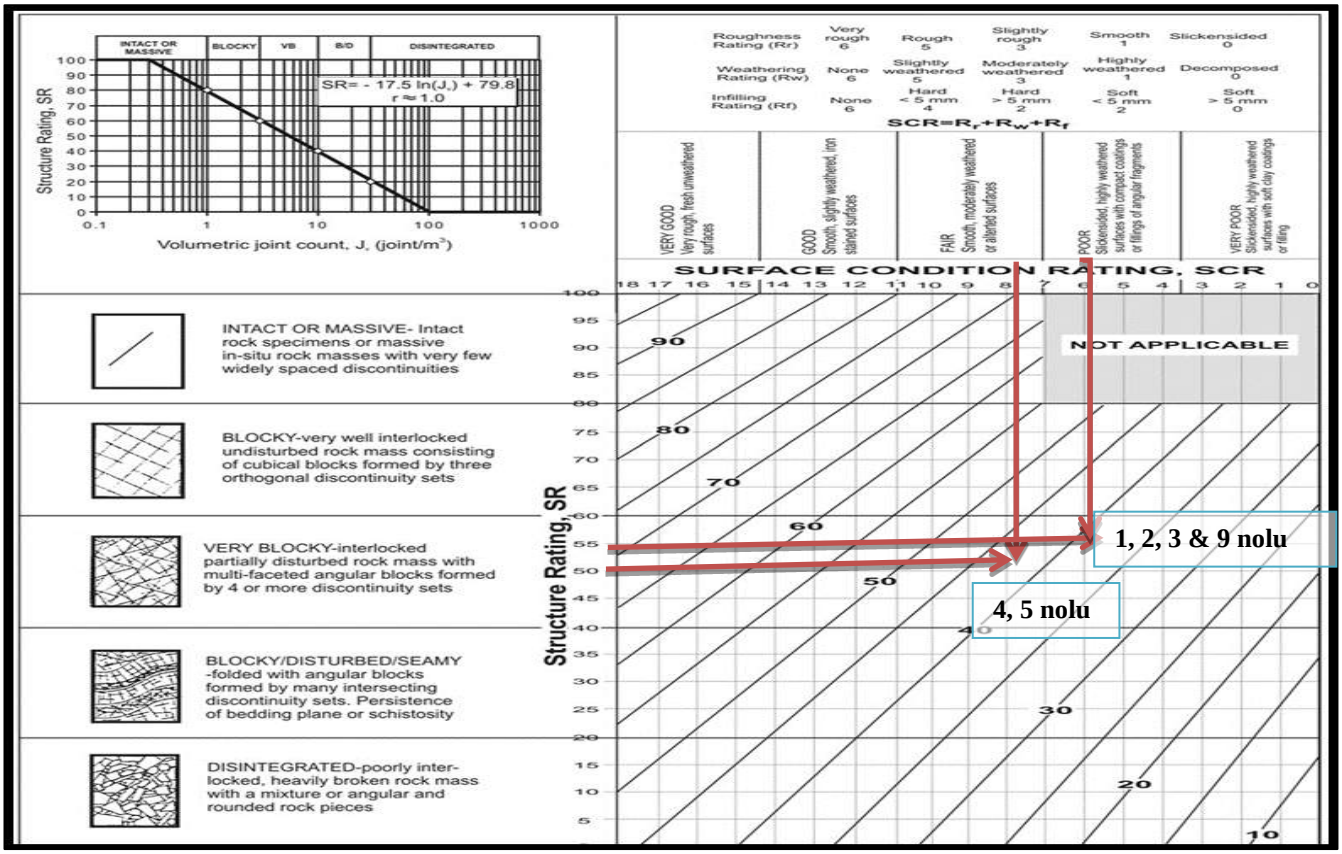
Tünel boyunca karşılaşılan birim için GSI parametreleri tespit edilmiş olup aşağıdaki Tablo 2'de özetlenmiştir. Jeolojik harita çalışmaları sırasında karşılaşılan birim için GSI değerleri 9 farklı lokasyon için atanmıştır. Buna göre proje sahasında karşılaşılan birim için GSI değerleri yaklaşık 40 – 60 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

NATM sınıflamasına bağlı olarak Akyazı Tüneli güzergâhı boyunca 2 farklı kaya sınıfına rastlanmaktadır. B3 ve C2 kaya sınıfları, kazı sırasının başlamasından önce

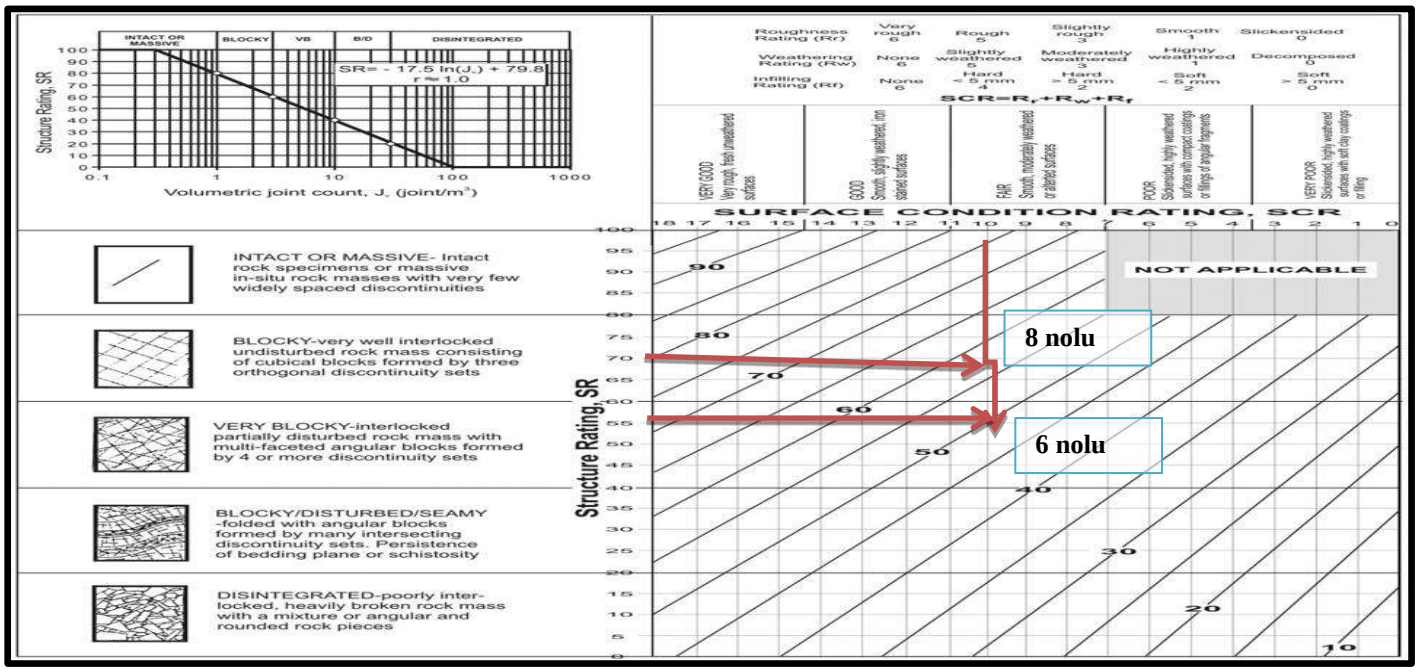
tünel kazı aynasında ortaya çıkan kaya görünüşü, tecrübe ve gözlemler, benzer kaya şartlarındaki jeoteknik ölçüm sonuçları ve deformasyonlara bağlı olarak yapılmıştır.

Tablo 2. Proje sahasında 9 farklı lokasyonda karşılaşılan Beşirli formasyonuna ait GSI değeri (JTAP,2013).

Lokasyon No	Hacimsel eklem sayısı (Jv) *(1/x+1/y+1/z)*	Yapısal özellik puanlaması (SR) *(-17,5xlnJv+79,8)*	Yüzey özellikleri (SCR) *(Rr+Rw+Rf)*	GSI
1	1/0,6+1/1=**3**	**61**	(Rr=3+Rw=1+Rf=2) = **6**	**43** (Güvenli tarafta kalınarak 40 önerilmiştir.)
2	1/0,3=**3**	**61**	(Rr=3+Rw=1+Rf=2) = **6**	**43** (Güvenli tarafta kalınarak 40 önerilmiştir.)
3	1/0,6+1/1=**3**	**61**	(Rr=3+Rw=1+Rf=2) = **6**	**43** (Güvenli tarafta kalınarak 40 önerilmiştir.)
4	1/0,5+1/0,5=**4**	**56**	(Rr=3+Rw=1+Rf=4) = **8**	**45**
5	1/0,5+1/0,5=**4**	**56**	(Rr=3+Rw=1+Rf=4) = **8**	**45**
6	1/0,5+1/0,5=**4**	**56**	(Rr=3+Rw=3+Rf=4)= **10**	**52** (Güvenli tarafta kalınarak 50 önerilmiştir.)
7	-	**-**	-	Masif birimin GSI değerinin yaklaşık **40** civarında olduğu öngörülmüştür.
8	1/1+1/2+1/10=**1,6**	**72**	(Rr=3+Rw=3+Rf=4)= **10**	**60**
9	1/0,6+1/1=**3**	**61**	(Rr=3+Rw=1+Rf=2) = **6**	**43** (Güvenli tarafta kalınarak 40 önerilmiştir.)



Şekil 5. Tünel güzergâhı boyunca 1,2,3,4,5 ve 9 nolu lokasyonlarda karşılaşılan birim için Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) tayini (Sönmez ve Ulusay. 2002).



Şekil.6: Tünel güzergâhı boyunca 6 ve 8 nolu lokasyonlarda karşılaşılan birim için Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) tayini (Sönmez ve Ulusay. 2002).

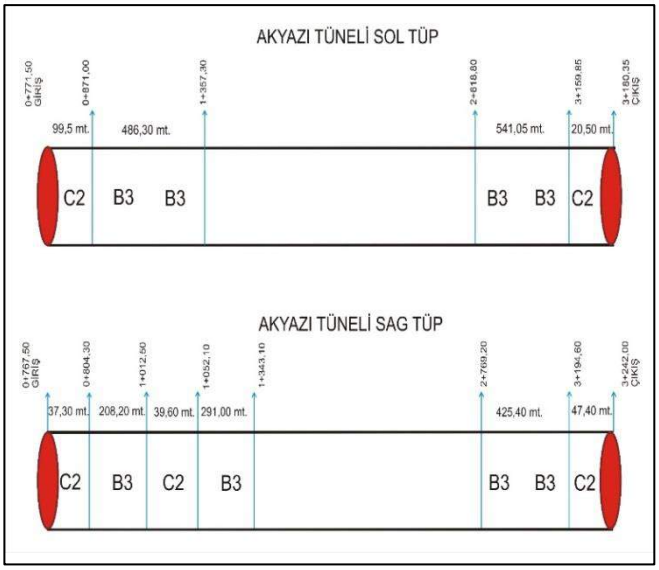
Jeolojik harita çalışmaları sırasında karşılaşılan birim için GSI değerleri 9 farklı lokasyon için atanmıştır. Buna göre proje sahasında karşılaşılan birim için GSI değerleri yaklaşık 40 – 60 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

NATM sınıflamasına bağlı olarak Akyazı Tüneli güzergâhı boyunca 2 farklı kaya sınıfına rastlanmaktadır. B3 ve C2 kaya sınıfları, kazı sırasının başlamasından önce tünel kazı aynasında ortaya çıkan kaya görünüşü, tecrübe ve gözlemler, benzer kaya şartlarındaki jeoteknik ölçüm sonuçları ve deformasyonlara bağlı olarak yapılmıştır.

Tablo 3. Akyazı tüneli kaya sınıfı ve uzunlukları

Kaya sınıfı	Bulunduğu aralık (m)		Toplam uzunluk (m)
	Sağ tüp	Sol tüp	
B3	924,6	1027,35	1951,95
C2	124,3	120	244,3

Portal sınıfı kaya kütlesi, esas olarak kaya kütlesinin jeoteknik özelliklerinden kısmen bağımsız olup tünelin giriş ve çıkış kısımlarında düşey basınçların yanı sıra yatay basınçların da karşılanmasına yönelik olarak yapılması gereken çalışmaları içerir. Akyazı tünelindeki farklı tipteki kaya sınıflarının miktarları Tablo 3 ve Şekil 7'de verilmiştir.

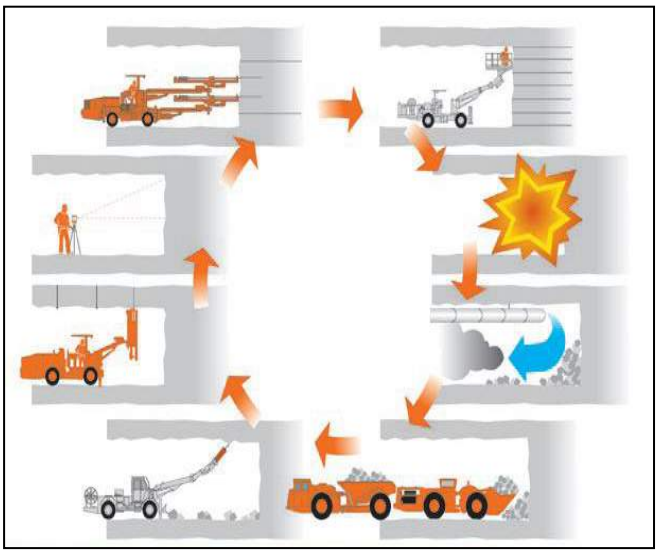


Şekil 7. Akyazı tünelinde yer alan kaya sınıfı ve uzunluklarının şematik gösterimi.

3 KAZI ve TAHKİMAT İŞLEMLERİ

3.1 Kazı İşlemi

Akyazı tünelinde yapılan işlemler, delme, patlatma, havalandırma, pasa nakli, tahkimat ve ölçüm işlemleri şeklinde bir döngü halinde yapılmakta ve bu döngü toplamda 9 saatte tamamlanmaktadır (Şek. 8). Yapılan işlemler ve süreleri Tablo 4'de özetlenmiştir.



Şekil 8. Tünellerindeki genel uygulamalar döngüsü (Durmuş,2005).

Tablo 4. Akyazı tünelinde yapılan işlemler ve süreleri

Yapılan İşlem	Süre (Saat)
Delgi	2
Dolum	1,5
Havalandırma	0,5
Pasa Boşaltım	2
Tavan Tarama Metraj Okuma Hasır Bağlama	2
Süren Çakılması Püskürtme Beton	1
Toplam Süre	9

Tüneldeki kazı işlemi delme patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Aşırı sökülmelerin, tünel çevresinde kırılma ve çatlamaların önlenmesi, tünel kazı arınına yakın olarak yerleştirilen saplama ve püskürtme betonun patlatma sonucu oluşan titreşimlerden zarar görmemesi için her bir kaya sınıfında farklı patlatma paterni ve delik şarjları kullanılmaktadır (Kılıç ve Anıl, 2000).

Daha önce belirlenen kaya sınıfındaki delikler; üst yarıda çift kollu jumbolarla, alt yarıda ise Mine Master ve Face Master 2.3 makinalarıyla delinmekte ve patlatma yapılmaktadır (Şek. 9). Çıkan pasa CAT 950 yükleyicilerle alınarak 15m^3'lük kaya kamyonlarına yüklenmekte ve tünel dışındaki Akyazı stadyumu dolgusu ve aynı firmanın üstlendiği yol yapımının dolgusu için taşınmaktadır.

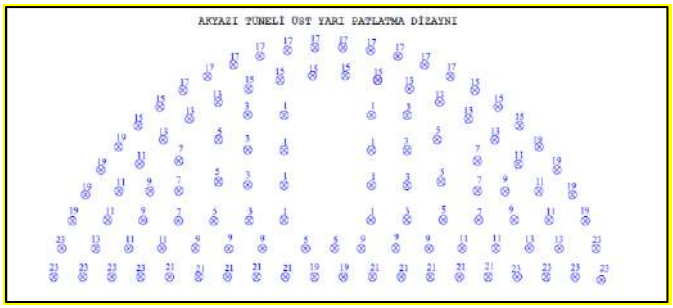
Şekil 9. Akyazı tüneli patlatma işlemi (üst) ve ortaya çıkan pasa (alt).

Kazı çalışması esnasında hem alt yarı hem de üst yarıda tünelin yönlendirilmesi için iki adet lazer ünitesi kullanılmaktadır. Çelik iksalar, düşey ve yatay mesafelerin lazer ışınları ile ölçümlerine göre yerleştirilirler (Şek. 10). Püskürtme beton ile tamamlanmış kesitler jeodezik yöntemlerle tekrar ölçülerek kesitin teorik profile uygunluğu kontrol edilmektedir.

Şekil 10. Tünel içerisinde XA kaldırma ve bağlama işlemi.

Tünelde kullanılan patlayıcı madde olarak sadece kapsüle duyarlı patlayıcı, elektriksiz gecikmeli sistem, elektrikli kapsül ve infilaklı fitilden oluşturduğumuz kombine bir dizayn ile çalışılmaktadır. Ayna yüzeyine V-CUT düzeninde delikler delinmekte, delik içerisine elektriksiz ve gecikmeli delik içi kapsülleri, kapsüle duyarlı patlayıcılar ile beraber yerleştirilmektedir. Ayna yüzeyinde kalan kapsül uçları fitil ile birbirlerine bağlanmakta, gecikmeli kapsül uçlarının bağlandığı infilaklı fitil elektrikli kapsüle bağlanmakta ve zil teli ile elektrikli kapsül bağlanarak ayna ateşlemeye hazır hale getirilmektedir.

Patlayıcı olarak; Superpower 90 kapsüle duyarlı (emülsiyon-kartuş) patlayıcılar, Supremedet elektriksiz (gecikmeli) kapsüller, Supreme elektrikli kapsüller ve Solarcord infilaklı fitil malzemeleri kullanılmaktadır. Şekil 11 ve Tablo 5'de her bir kaya sınıfında gerçekleştirilen ilerleme miktarları, delik boyları, delik sayıları ve özgül şarj miktarları verilmiştir.



Şekil 11. Akyazı tünelinde kullanılan patlatma tasarımı.

Tablo 5. Akyazı tünelinde kullanılan patlayıcı miktarları

Kapsül No	Kapsül Sayısı	Lokum Miktarı	Toplam Dinamit (kg)
1	8	5	20
3	8	5	20
5	8	5	20
7	6	5	15
9	10	5	25
11	10	5	25
13	10	5	25
15	10	5	25
17	10	2	10
19	10	5	25
21	10	5	25
23	10	5	25
Toplam	110	57	260

3.2 Tahkimat İşlemi

Tünelde farklı kaya sınıfları ve deformasyon özelliklerine bağlı olarak kullanılan tahkimat elemanlarının cinsi, miktarı ve yerleştirilme zamanları da farklılık göstermektedir (Kılıç ve Anıl 2000). Her bir kaya sınıfında patlatma ve pasa kaldırma işleminin ardından ilave işlemler (tarama, kavlak Alma, drenaj, havalandırma vb.) yapılmaktadır (Şek. 12).

Şekil 12. Kavlak alma ve tarama işlemleri.

Akyazı tünelinde püskürtme beton, BS20 (C/20-30) beton sınıfında tasarlanmakta olup yaş karışım olarak uygulanmaktadır. Tünel dışında hazırlanan yaş püskürtme beton, transmikserler tarafından tünelin içerisine getirilerek Tünelmak Adroit 430 ve Adroit 230 yardımıyla uygulanmaktadır (Şek. 13). Püskürtme beton, yüzeye dik ve yaklaşık olarak 70cm uzaklıktan uygulanmalıdır. Püskürtme betonun erken taşıyıcılık işlevini sağlaması amacıyla karışıma çimento ağırlığının %5'i kadar priz hızlandırıcı katkı malzemesi ilave edilmektedir.

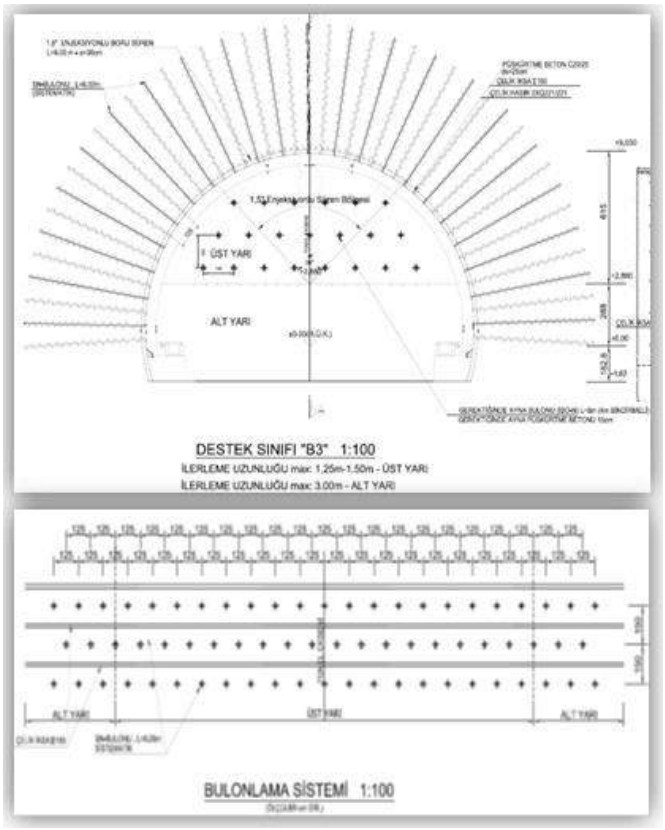
Şekil 13. Püskürtme beton uygulaması.

Kaya bulonu için genellikle jumbolar tarafından 40-44mm çapında delikler delinmekte, enjeksiyon işlemi Mai enjeksiyon pompasıyla gerçekleştirilmektedir .Enjeksiyon işleminden sonra 4 ve 6m uzunluğundaki nervürlü φ28'lik bulon demirlerinin yerleştirilmesinin akabinde, somunlar el ile "ön germe" işlemi olarak sıkılmaktadır. 12 saatlik priz süresi sonunda normal anahtar ile bir kademe daha gerilmekte ve son olarak yaklaşık 4-6 gün sonunda tork anahtarı (250 kN) ile "son germe" işlemi yapılmaktadır. (Şek. 14,15).

Şekil 14. Kaya bulonu uygulaması.

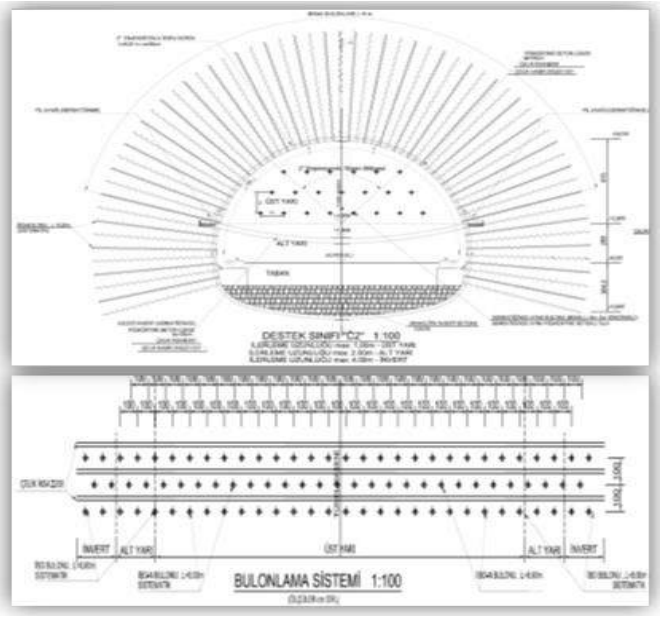
Şekil 15. Kaya bulonu uygulaması sonrası tünel yüzeyinin görünümü.

B3 sınıfı kaya kütlesinde tahkimat alt yarı ve üst yarı şeklinde yapılmaktadır. Üst yarıda yüzey 4cm püskürtme betonla kaplanmaktadır. Her 3 iksada bir enjeksiyonlu süren boruları çakılarak bir kat çelik hasır (φ221/221) yerleştirilmektedir. Bu işlemden sonra çelik iksa (I160) yerleştirilerek püskürtme beton 20cm'ye tamamlanmaktadır. Sonra 2. Sıra çelik hasır yerleştirilmektedir. Son kat çelik hasır yerleştirildikten sonra püskürtme beton kalınlığı 25cm'ye tamamlanır ve φ28'lık SN-bulonları yerleştirilerek üst yarı tahkimatı bitirilir (Şek. 16, Tablo 6). Alt yarı tahkimatında ise üst yarıdan farklı olarak sadece enjeksiyonlu süren boru uygulaması yapılmaz.



Şekil 16. B3 kaya sınıfında kullanılan tahkimat elemanları ve ölçüleri.

C2 sınıfı kaya kütlesinde tahkimat alt yarı ve üst yarı şeklinde yapılmaktadır. Üst yarıda yüzey 4cm püskürtme betonla kaplanmaktadır. Her 3 iksada bir enjeksiyonlu süren boruları çakılarak bir kat çelik hasır (φ221/221) yerleştirilmektedir. Bu işlemden sonra çelik iksa (I200) yerleştirilerek püskürtme beton 25cm'ye tamamlanmaktadır. Sonra 2. sıra çelik hasır yerleştirilmektedir. Son kat çelik hasır yerleştirildikten sonra püskürtme beton kalınlığı 30cm'ye tamamlanır ve φ32'lık IBO-N bulonları yerleştirilerek üst yarı tahkimatı bitirilir (Şek. 17, Tablo 6). Alt yarı tahkimatında ise üst yarıdan farklı olarak sadece enjeksiyonlu süren boru uygulaması yapılmaz.



Şekil 17. C2 kaya sınıfında kullanılan tahkimat elemanları ve ölçüleri.

Tablo 6. Akyazı tüneli tahkimat işlemleri ve aşamaları.

Uygulama aşamaları	İşlem Türü	Geometrik Boyutları ve Miktarı
Üst yarı	Önsüren (Gerektiğinde)	L=6m, Φ=28 mm inşaat demiri, 24-25 adet (Her iki iksada bir)
	Kazı Ön Püskürtme Betonu	2,5m ilerleme 5cm kalınlığında BS20, Priz hızlandırıcı katkılı
	Çelik hasır yerleştirme	221/221 Tip, W=3.47 kg/m^2, 30 cm bindirme (B ve C tipi destekleme sisteminde çift kat)
	İksa yerleştirme	Üst yarı için üç parçalı
	Püskürtme Beton	BS20 beton sınıfında, Priz hızlandırıcı katkılı, (B tipi destekleme sisteminde 25cm, C tipi destekleme sisteminde 30cm kalınlıkta)
Alt yarı	Kazı	2,5m ilerleme
	Ön Püskürtme Betonu	5cm kalınlığında BS20, Priz hızlandırıcı katkılı
	Çelik hasır yerleştirme	Q221/221 Tip, W=3.47 kg/m^2, 30 cm bindirme
	İksa yerleştirme	Alt Yarı için iki parçalı (Sağ ve Sol Ayaklar)
	Püskürtme Beton	BS20 Beton sınıfında, Priz hızlandırıcı katkılı (B tipi destekleme sisteminde 25cm, C tipi destekleme sisteminde 30cm kalınlıkta)

4. SONUÇLAR

Akyazı tüneli yaklaşık 2476m uzunluğunda olup sağ tüpte 1050m, sol tüpte 1150m ilerleme sağlanmıştır. Tünel güzergâhı boyunca Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) yöntemine bağlı olarak kazı yapılması amacıyla 2 farklı kaya sınıfı belirlenmiştir. Bu kaya sınıfları; B3 (244,3m), C2 (1951,9m)'dir. Tünelde kazı işlemleri üst yarı ve alt yarı şeklinde delme patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aşırı sökülmelerin, tünel çevresinde kırılma ve çatlamaların önlenmesi, tünel kazı arınına yakın olarak yerleştirilen saplama ve püskürtme betonun patlatma sonucu oluşan titreşimlerden zarar görmemesi için her bir kaya sınıfında farklı delik şarjları kullanılmıştır.

Tünelde farklı kaya sınıfları ve deformasyon özelliklerine bağlı olarak kullanılan tahkimat elemanlarının cinsi, miktarı ve yerleştirilme zamanları da farklılık göstermektedir Tahkimat elemanları olarak püskürtme beton, kaya bulonu, çelik hasır, önsüren ve çelik iksa kullanılmıştır. Projenin tamamlanmasıyla, trafikte bir rahatlama sağlanacağı, önemli bir zaman kazanımı elde edileceği ve kaza riskinin azalacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Durmuş, O., 2005. Yoroz Tüneli Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçümü ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

JTAP, 2013. Akyazı Tüneli Jeolojik – Jeoteknik Araştırma Programı Ve Uygulaması, *Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı ile Akyazı ve Sahil Bağlantı Yolları Yapımı İşi Raporu.*

Kılıç, A. ve Anıl, M., 2000. Tarsus Ayrımı-Adana-Gaziantep Otoyolu T2 (Ayran) Tünelinde Kaya Sınıflarına Bağlı Kazı ve Tahkimat Uygulamaları. *Madencilik Dergisi*. Cilt. 39, Sayı. 2, s. 3-10.

MTA, *Maden Teknik ve Arama Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/25.000 Ölçekli Jeoloji haritası*.

Sönmez, H. ve Ulusay, R., 2002. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 35 (2), 219-233.*

Yılmaz, E., Erçıkdı, B.,Kesimal, A.,Yılmaz, A. O., 2002, *Tünellerdeki Kazı ve Tahkimat İşlemleri: Uluburun Tüneli'nde Örnek bir Çalışma*, KAYAMEK,Giresun.

Dizel-Elektrik Güç Aktarımı ve Yükleyicilerde Uygulaması

Diesel Electric Drive-Train (Power-train) and Its Application to Loaders

M. Özdoğan, H. Özdoğan
İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara

Ö. Güngör
TAEK Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara

ÖZET Bu bildiride Dizel-elektrik (DE) güç-aktarım dizgesinin, gelişimi ve yükleyicilerde uygulaması incelenmiştir. Ayrıca, dizel-elektrik yükleyicilerin kullanıldığı madenler, kullanım yerleri, kaya-taşıtı yükleme aralıkları, kepçe irilikleri gibi bilgiler verilmiştir.
Dizel-elektrik güç aktarım dizgesinin gelişimi doğru-akım (DC) motorlu tekerler, dalgalı-akım (AC) motorlu tekerler ve sıralı uyartımlı manyetik direnişli (SUMD) (SR) motorlu tekerler biçiminde olmuştur. Dizel-elektrik güç aktarım dizgesinin açık ocak araçlarında bir dizi uygulaması vardır; DE yükleyiciler, DE kaya-taşıtları, DE yer-küreyiciler. Dizel-elektrik güç aktarım dizgeli yükleyiciler, geleneksel dizel-mekanik (DM) güç aktarım dizgeli yükleyiciler ve hidrolik yer kazıcılar (HYK) ile karşılaştırılmış, birbirlerine göre üstün ve eksik yanları tartışılmıştır.
Yeni kuşak DE yükleyicilerinde bulunan ileri teknoloji ürünü üretim ve araç sağlığını izleme düzeneklerine de değinilmiştir. Süreli izleme verilerine dayanarak başarım ve üretim verilerinden örnekler verilmiştir. Ülkemizde, açık işletmelerde kaya kazısında çalışan, iki adet 23 m^3 kepçeli DE kaya yükleyicisi ve yirmi adet 150 tonluk DE, dokuz adet 220 tonluk DE kaya-taşıtı bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Dizel-elektrik güç iletimi, Elektrikli yükleyici, DC devindirme dizgesi, AC devindirme dizgesi, SR devindirme dizgesi, Elektrik motorlu teker

ABSTRACT In this paper, Diesel-electric (DE) drive train system's evolution and it's application to mining loaders is investigated. Furthermore, the mines where DE mining loaders are being used, the application type, the range of bucket capacities and the range of truck capacities that they can load are cited.
The evolution of DE power-train has been in the sequence of DC motorized wheels, AC motorized wheels and SR (Switched Reluctance) motorized wheels. Diesel-electric drive has a number of applications in other surface mining equipment in addition to DE loaders, such as DE trucks, DE bulldozers. The DE mining loaders are compared to DM mechanical loaders and hydraulic excavators (HE) in terms of advantages and disadvantages.
The high-tech production and maintenance monitoring sytems that DE mining loaders are equipped with are also mentioned. Based on the data gathered from the monitor outputs, performance and production facts and figures are given for a specific period of operation to give an idea. There exist two units of 23 m^3 bucket DE rock loaders and twenty units of 150 tonnes capacity DE rock trucks, and nine units of 220 tonnes capacity rock trucks operating at open pit mines in the country.

Keywords: Diesel-electric (DE) drive train, mining loader, DC motorized wheels, AC motorized wheels and SR (Switched Reluctance) motorized wheels

1 GİRİŞ

1950'li yılların teknolojisi ile belli bir büyüklüğün üstünde kaya-taşıtı ve yükleyici için güvenilir dişli-kutusu ve aktarma organı üretilemiyor olması, bir bakıma, elektrikli güç aktarım sisteminin geliştirilmesinde itici güç olmuştur. Bir diğer neden de dişli-kutusu, yön-değiştirici dişliler ve diğer aktarma bileşenlerinden kurtularak, işletme giderlerinin azaltılmasının düşünülmüş olmasıdır. Amaç, dizel motorun yalnızca elektrik üretecini devindirerek elektrik enerjisi üretmesi; bu biçimde aktarma organları ve dişli kutularına gerek kalmadan kablo ile enerjiyi elektrik devindirmeli teker motoru ve güneş dişli sistemine ileterek çalıştırmasıydı.

Dizel-elektrik güç-aktarımı düzeneği 1953-1970 yılları arasında ABD'li R.G. LeTourneau tarafından geliştirilip kaya-taşıtı, yükleyici, buldozer ve öteki maden makinelerine uygulanmış, böylece, dizel-elektrik devindiriş düzeneği maden makinelerinde yaygınlık kazanmıştır (Orlemann 2009, LeTourneau 1972).

Bir dizel motorun özgül yakıt tüketimi, yapımcı tarafından fabrikada belirli bir anma gücü için motorun hız ve tork yeteneğine göre en iyi hale getirilir (Fleet 2012). Araç yüke girdiğinde, motoru ayarlanan en iyi çalışma aralığından sapar, bu da yakıt tüketimini arttırır. Dizel-elektrik güç-aktarımlı maden makinelerinde ise dizel motor nominal (anma) aralıklarında çalıştığından motor yenileme aralıkları uzar ve yakıt tüketimi görece az olur.

2 DİZEL-ELEKTRİK GÜÇ-AKTARIM DİZGESİNİN GELİŞİMİ

2.1 Doğru-Akım (DC) Devindirme Dizgesi

Kaya-taşıtı ve maden yükleyicisi üreticileri arasında, mekanik ve elektrik devindirme dizisi kavramı arasındaki yarış uzun süredir sürmektedir. Dizel-elektrik kaya-taşıtları yapımı yıllar öncesine dayanmaktadır. Elektrikli devindirme dizgesi, erken dönem mekanik devindirme dizelerinin eksiklikleri ve güvenilmez olmalarından ötürü geliştirilmiştir (Lovejoy 2013).

İlk dönemlerde karayolu taşıtlarında bile dişli kutuları, yön-değiştirici dişliler, şaftlar yeterince güvenli değildi. Bu yüzden yapı, taşocağı ve maden uygulamaları gibi çetin koşullarda çalışan kaya-taşıtları için arka tekerlerin elektrik itişli olması iyi düşünülmüş bir uygulamaydı. Dart firması 1939 yılında ilk dizel-elektrik itişli kömür-taşıtını yaptı. RG LeTourneau ise 1950'li yılların sonunda, ilk ön-ürün olarak TR60 elektrik itişli kamyonu üretti. Tasarım belki de pazarın hemen kabul edemeyeceği kadar çok devrimci idi (Lovejoy 2013). Kısa bir süre sonra, Unit Rig firması M-64 Lectra-Haul ön-ürününü yaptı ve Ralph Kress 1960'lı yılların başlarında bir dizi kaya-taşıtı tasarlayınca, dizel-elektrik kavramı yeniden canlılık kazandı. RG LeTourneau daha çok sayıda geleneksel elektrik devindirmeli kaya-taşıtı, yükleyici ve buldozer gibi iş makinesi yaparak birçok firmanın ilgisini çekti. LeTourneau madencilik uygulaması için, özellikle DC motor itişli iri yükleyiciler üretmeyi sürdürdü (Lovejoy 2013). DC devindiriş düzeneği 50 yılı aşkın bir süredir iri kaya-taşıtları ve yükleyicilerde uygulanmaktadır. Elektrik güç-aktarım (devinim-iletim) dizisi düşük-hızda olağanüstü bir burku (tork) ile yere daha çok güç aktarmaktadır.

Dizel-elektrik güç aktarımı ile hem ana dizel motor tekdüze dengeli bir yük altında çalışır, bu yüzden ömrü görece uzun olur, hem de yükleyici ya da kaya-taşıtında bileşen (parça) sayısı % 60 yöresinde azalır. Geleneksel olarak elektrikli tekerlerde DC doğru akım motorları kullanılır. Ancak, son dönemlerde teknolojik gelişmelere bağlı olarak DC motorların yanı sıra AC dalgalı akım motorları, rotoru sargısız SR motorlarının kullanımı da yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunların elektrik kömürü değiştirme, kolektör (toplaç) yüzeyi bakım-onarımı gibi giderleri yoktur. Yazılı kaynaklara göre, dizel-elektrik SR devindirişli maden yükleyicilerinde yakıt tasarrufu % 60; dizel-elektrik AC devindirişli

kaya-taşıtlarında ise % 20 yöresindedir (Wood 2013).

2.2 Dalgalı-Akım (AC) Devindirme Dizgesi

Motor ve jeneratörleri denetleyen yarı-iletken teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak hızı denetlenebilen (değişken hızlı) AC motor teknolojisi ilerlemeleri gerçekleşmiştir. Girişte belirtildiği gibi elektrik güç-aktarım dizisi olağanüstü düşük hızda olağanüstü yüksek burku üretir; tekerden yere geleneksel güç-aktarım dizgesine göre çok daha fazla güç aktarır.

Ana motor (dizel motor) en uygun aralıkta çalışır; bu da, daha iyi bir başarım ve yakıt verimliliği sonucunu getirir. AC motorlar, eşdeğer DC motorlara göre gerek boyut, gerekse ağırlık olarak daha küçük ve hafiftir. AC sürüş sistemi, gerek dizel-elektrik kaya-taşıtlarında ve gerekse elektrikli maden yer-kazarlarında yaygınlaşmaya başlamıştır.

Yeni kuşak DE güç aktarım sistemleri olan AC ve SR motorlu devindirme dizgeleri, DC motorlu tekerlerde olduğu gibi sürekli bakım gerektirmez. Oysa, DC motorlu tekerlerde kolektör (toplaç) yüzeyinin, elektrik kömürlerinin belirli aralıklarda bakımı ve değişimi gerekir.

2.3 Sıralı Uyartımlı Manyetik Direnişli (SR) Devindirme Dizgesi

Düzenek, fırçasız SR "Switched Reluctance" (Sıralı Uyartımlı Manyetik Direnişli) (SUMD) motor birleşik yüksek-güçlü yarı iletken anahtarlar ve sayısal denetçilerden oluşur. SR motor basit sargılı stator ve basit yapılı sargısız lamine (yapraksı) demir demetinden oluşan bir statordan ibarettir. SR motorun statoru DC motor statoruna benzer. SR motorunda DC motorlarda olduğu gibi kolektör (toplaç) bakımı yoktur. Çünkü, SR motorlarda DC motorlarda olduğu gibi fırça (elektrik kömürü) ve fırça tutucuları bulunmaz (Fleet 2012).

SR motor sistemi manyetik çekim ilkesine dayanır. Motorun rotoru manyetik çekim ile kutuptan kutba devinir ve böylece bir devinim yaratılarak dönmesi sağlanır (Fleet 2012). SR motorun dönüşü, stator kutup sargılarına sıralı bir biçimde enerji verilerek sağlanır. Stator kutup sargısına enerji verildiğinde, en yakın rotor kutbu, stator kutbu ile aynı çizgiye gelmek için çekilir. Rotor bu sırayı izler, enerjili stator kutupları ile aynı çizgiye gelmeye çalışır. Ancak, rotor ve stator kutupları aynı çizgiye gelirken, stator kutupları anahtarı kapatılır ve bir sonraki gruptaki stator kutuplarının anahtarı açılır, böylece rotorun dönüşünün sürmesi sağlanır (Fleet 2012).

SR devindiriş teknolojisinin artıları dizelenecek olursa: Her fren yapışta sisteme enerji beslenmesi, azaltılmış enerji tüketim miktarı (yakıt), azaltılmış yağ tüketim ve atık miktarı (hidrolik, dişli yağı vb), azaltılmış mekanik bileşen tüketimi olarak sayılabilir (Fleet 2012). Yukarıda, daha önce vurgulandığı gibi, SR motorlar eşdeğer DC motorlara göre gerek boyut, gerekse ağırlık olarak daha küçük ve yeğnidir.

3 DİZEL-ELEKTRİK GÜÇ-AKTARIMININ MADEN YÜKLEYİCİLERİNDE UYGULAMASI

3.1 Giriş

Yükleyiciler genellikle, maden ocaklarında, yığın yükleme gibi ikincil işlerde kullanılır. Ancak, dizel-elektrik maden yükleyicileri daha çok ana kazı ve yükleme aracı olarak kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Kullanıldıkları madenler arasında; altın, kömür, elmas, demir, bakır, çinko, bor madenlerinde cevher ve kaya kazısı bulunmaktadır. Kullanıldıkları kıta ve ülkeler ise Avustralya, Kuzey Amerika'da, A.B.D. ve Kanada; Güney Amerika'da, Brezilya, Şili, Peru, Venezuella, Kolombiya gibi ülkeler olup bor, demir, kömür ve bakır madenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Asya'da ise Rusya, Moğolistan, Çin, Hindistan gibi ülkelerde bulunan çeşitli madenlerde çalışmaktadır (Anon. a 2011).

Ülkemizde ise, bir açık altın maden işletmesinde iki adet 23 m^3 kepçeli elektrikli yükleyici 2013 yılında devreye girmiş olup

kaya ve cevher kazısında çalışmakta ve 150 tonluk kaya taşıtlarını beş kepçede, 220 tonlukları ise yedi kepçede doldurmaktadır. Ortalama kepçe yükü 30 tondur. Ortalama döngü süresi ise 47 s yöresindedir. Kazılıp yüklenen kaya volkanik kayaçlar olup gevşek yoğunluğu yaklaşık 1,30 ton/m^3 tür, yoğunluğu yüksek olup aşındırgandır.

Dizel-elektrik maden yükleyicileri, cevher, örtü ve yan kayaç gevşetilmek koşuluyla, başarılı bir biçimde kazıcı-yükleyici olarak çalışabilmektedir. Doğal olarak, yapıları gereği döngü süreleri gövde-dönüşlü hidrolik yer-kazıcılara göre daha yüksektir. Yazılı kaynaklara göre, bu eksiği dengelemek için eşdeğer hidrolik yer-kazıcıdan 5 m^3 daha büyük kepçe seçilerek, aynı üretim başarısını elde etmek olasıdır (Wood 2013). Sözgelimi, bir ocakta gereken gövde-dönüşlü yer-kazı makinesi kapasitesi 20 m^3 ise, aynı işi görmek için seçilecek dizel-elektrik maden yükleyicisi kepçe iriliği 25 m^3 olmalıdır. Bu yükleyiciler, kepçe kollarının tasarımı ve yapısı gereği çeşitli irilikteki bir dizi kaya-taşıtı teknesine yükleyebilir; kullanılacak kaya-taşıtına göre, yüksek ve alçak yükleme kolu seçenekleri vardır.

Seçmeli kazı gerektiren işletmeler için çabuk yer değiştirebilen gezingen yer-kazı araçları yeğlenir; elektrikli yükleyiciler bu tür ocaklar için çok uygundur. Elektrikli olanların yeğlenişinin en önemli nedeni ise, eşdeğer mekanik güç aktarımlı olanlara göre % 60 daha az yakıt tüketmeleridir (Norris 2013). Geleneksel aktarma organları, dişli kutuları vb içermediği için madeni yağ tüketim miktarı da daha azdır. Bileşen sayısının azlığı yedek parça tüketimini de düşürür. Basit yapısı gereği bakım-onarım giderleri daha düşüktür. İlk yatırım miktarları eşdeğer mekanik yükleyicilere göre biraz daha yüksek olmakla birlikte, kısa sürede bu fark işletme giderleri düşüklüğü ile karşılanır (Anon b. 2012).

3.2 Dizel-Elektrik Maden Yükleyicisi

Elektrikli maden yükleyicileri dizel-elektrik güç-aktarım ilkesi ile çalışır. Her tekerinde elektrik motoru ve güneş dişli sistemi bulunan bu yükleyiciler, yalnız yükleme işinde değil istenirse kaya kazısı işinde de çalıştırılabilir. Bunların tekerlek motorlarında çağdaş, verimli, az bakım gerektiren SR motorlar kullanılır. Kurulumu, maden işletmesinde 10-15 gün içinde yapılabilir, (Şekil 1).

Şekil 1. 23 m^3 kepçeli bir dizel-elektrik yükleyicinin kurulumu (Özdoğan 2013)

Dizel-elektrik yükleyiciler özellikle açık ocak işletmeciliği uygulamaları için tasarlanıp üretilmiştir. Kepçe irilikleri 14 m^3 ile 56 m^3, yararlı yükleri ise 25 ton ile 72 ton

arasındadır. Kepçeleri ile uyuşan kaya taşıtları 68-120 ton ile 290-363 ton arasında değişmektedir. Çalışma ağırlıkları ise 107 ton ile 267 ton arasındadır (Anon b. 2012). Halatlı yer-kazıcılara göre daha az ilk yatırım gerektirir, fiyatları geleneksel mekanik yükleyicilere göre biraz yüksek olmakla birlikte gerek başarımı ve gerekse işletme, bakım-onarım, yedek parça, yakıt ve yağ giderlerinin görece düşüklüğü bunu dengelemektedir.

Dizel-elektrik sisteminde, AC üreteci tarafından üretilen elektrik, güç elektroniği ile DC akıma çevrilerek, kablo ile tekerlerde bulunan DC motorlara (SR motor) aktarılır. Her teker, elektrik motoru ve güneş dişli düzeneği ile donatılmıştır. Aktarma organları ve dişli kutusu olmadığı için hareketli parça sayısı % 60 kadar daha azdır (Wood 2013). Ayrıca, dizel motora doğrudan yük gelmediği için daha uzun ömürlü olmaktadır. Tasarımı ve teknolojisi gereği, hareketini yavaşlatma sırasında elektro-manyetik frenleme kullandığından tekerlerdeki motorlar jeneratör olarak çalışır ve ürettiği elektrik enerjisini güç kontrol sistemine geri verir. Bu nedenle yakıt tüketimi geleneksel mekanik yükleyicilere ve gövde-dönüşlü hidrolik yerkazı makinelerine göre % 60 kadar daha düşüktür (Wood 2013). Yapımcı, belirtilen bu yakıt tüketim miktarlarını garanti etmektedir.

Yükleyicilerin iş döngüsü dört evreden oluşur: Kazıya gidiş (KG), Kazı (K), Boşaltmaya Gidiş (BG) ve Boşaltma (B), (Çizelge 1). Verilen uygulamada toplam iş döngüsü bileşen yüzdeleri, kazıya gidiş % 15, kazı % 11, boşaltmaya gidiş % 49, boşaltma % 25 olarak gerçekleşmiştir. İş döngüsünü oluşturan öğeler içinde en yüksek süre boşaltmaya gidişte, ikinci yüksek süre boşaltmada geçmektedir. Kanımızca bunun nedeni, boşaltmaya gidiş evresinin dolu kepçe ile yapılıyor olmasıdır.

Boşaltma evresindeki geçen sürenin uzun olması ise, gene dolu kepçenin kaya-taşıtının teknesine boşaltılmak üzere yerçekimine karşı yukarı kaldırılmak durumunda kalınmasıdır. Boşaltmaya gidiş süresinin uzunluğunda kaya-taşıtının yanaşma konumunun etkisi de olabilmektedir. Boşaltma süresinde ise, kaya-taşıtı yüklenme yüksekliği ile yükleyici erişim kolunun uyumsuz olduğu durumlarda da ikinci derecede etkili olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 1. Çalışan bir DE yükleyicide (23 m^3) iş döngüsü bileşen izlemeleri

Gün	Kazıya Gidiş (KG), s	Kazı (K), s	Boşaltmaya Gidiş (BG), s	Boşaltma (B), s	Toplam İş Döngüsü (TD), s
1	7.61	5.14	24.62	12.95	50.51
2	8.13	5.31	25.10	12.29	50.86
3	7.29	5.49	24.95	12.58	50.34
4	7.46	5.45	23.36	12.27	48.29
5	7.33	5.70	25.38	11.38	49.76
Ortalama	**7.56±0.34**	**5.42±0.21**	**24.68±0.79**	**12.29±0.58**	**49.95±1.01**

(Çizelge 2.) de, ise çalışan bir yükleyicinin yükleme ayrıntıları verilmiştir. Bu örnekte, yükleyicinin yararlı yükü ortalama 30 tondur. Beş günlük bir çalışma süresinde ulaşılan ortalama kepçe yararlı yük değişimi çizelgede görülmektedir. Yararlı yükün değişiminde kaya patlatmasının başarısı, parça büyüklüğü, parça dağılımı, malzemenin yoğunluğu, aşındırıcılığı, yapışkanlığı, akıcılığı, kabarma çarpanı, kepçe dolum çarpanı, operatörün beceri ve deneyimi gibi değişkenler etkili olmaktadır.

Çizelge 2. Çalışan bir DE yükleyicide (23 m^3) yükleme ayrıntısı izlemeleri

Gün	Kazı Süresi, s	Kepçe Yükü, ton	Kepçe Sayısı	Kaya-Taşıtı Dolduruş, dk.	Yükleyici İş Döngüsü, s
1	5.14	28	5	4.72	50.51
2	5.31	29	5	4.28	50.86
3	5.49	31	5	4.57	50.34
4	5.45	32	6	5.2	48.29
5	5.70	29	6	5.65	49.76
Ortalama	**5.42±0.21**	**29.80±1.64**	**5.4±0.55**	**4.88±0.54**	**49.95±1.01**

3.3 Dizel-Elektrik Maden Yükleyicisi ve Dizel-Mekanik Yükleyiciler

Elektrik güç aktarımlı maden yükleyicilerinin mekanik olanlara göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir: İşletme giderleri daha düşüktür. Yakıt tüketimi daha düşük olup dizel motorun ömrü daha uzundur; daha az yakıt tükettiği için atık-gaz salımı daha düşüktür. Daha uygun beygir gücü / makine ağırlık oranı; yükleyici ve lastik ömrü daha uzundur. Daha az bakım gerektirir, daha az fren aşınması ve bakımı söz konusudur. Kullanımı operatör için daha kolaydır. Transmisyon, tork çevirici, hidrolik frenler ve buna bağlı soğutma sistemleri yoktur. Ağırlık merkezi yere yakın olduğu için dengesi daha yüksektir (Norris 2013).

(Şekil 2.) de kaya kazan ve 220 ton kaya taşıtı yükleyen bir elektrikli yükleyici görülmektedir.

Şekil 2. Bir DE yükleyici ve AC devindirişli kaya-taşıtı (Özdoğan 2013)

Mekanik yükleyiciler ile elektrikli yükleyicilerin system verimlilikleri karşılaştırıldığında şunlar belirtilebilir: Mekanik güç-aktarım düzeneğinde tork çevirici ve dişli kutusu bulunur. Kazı sırasında Dizel motorun bayılma durumlarında önemli kayıpları vardır. Kazı torkunu korumak için yüksek beygir güçlü dizel motor gerektirir (Fleet 2012).

Elektrikli Yükleyicide Üretkenlik (P) : Operatör için kullanım kolaylığı; operatörün karar vermesi gereken durumlar azaltılmıştır. Üstün denge; düşük (alçak) ağırlık merkezi. Değişmez dizel motor devri. Hidrolik her zaman % 100 devrededir. Bu yüzden üretkenlik yüksektir.

Elektrikli Yükleyicide Güvenilirlik (R) : Transmisyon, tork çevirici, aktarma kutusu, hidrolik frenler ve ilgili soğutma sistemleri yoktur. Yön-değiştirici dişliler, akis şaftları, üniversal eklem yerleri bulunmaz. Mekanik sürüş sistemine göre hareket eden parça

sayısı % 60 daha azdır. Bu nedenle, bozukluklar arası geçen süre uzundur.

Elektrikli Yükleyicide Bakım Kolaylığı (M) : Düşük işletme gideri, en düşük yakıt tüketimi - Uzun dizel motor ömrü ve düşük atık-gaz salımı, söz konusudur. Düşük sıvı kullanımı (hidrolik ve makine yağı), düşük fren aşınımı ve bakımı (Fleet 2012) olarak belirtilebilir. Bu yüzden bozuklukları onarım süresi kısadır.

3.4 Dizel-Elektrik Maden Yükleyicisi ve Hidrolik Yer-Kazıcılar

Hidrolik yer-kazıcılar ile lastik tekerli maden yükleyicileri gezingenlik, yakıt tüketimi, yürüyüş takımı aşınması, bakım-onarım, destek araç-gereci, yenileme bakımı giderleri, ekonomik çalışma ömrü ve maden planlamaya etkisi gibi başlıklarda karşılaştırılabilir.

Hidrolik yer-kazıcının tekerlekli maden yükleyicilerine göre eksik yanları aşağıdaki gibi dizelenebilir (Fleet 2012):

Gezingenlik – Hidrolik yer-kazarlar saatte 2 km kadar yürüyebilirler. Aşırı yürütme, yürüyüş takımlarının bozulmasına ve hızlı aşınmasına neden olur. Uzun taşımalarda treyler gerekir. **Yakıt** – Hidrolik yer-kazarlar yaygın olarak daha çok dizel motorludur. Tipik olarak yük faktörü (load factor) % 70 yöresinde olan iki motoru bulunur. **Yürüyüş Takımı** - Değiştirilmesi gerektiğinde, yüksek maliyete hazır olmak gerekir. Kazı basamaklarının birinden ötekine tırmanması durumunda, yürüyüş düzeneğinde aşırı aşınma oluşabilir. **Bakım-onarım** – Ana yenileme bakımları dışında her türlü bakım ve onarım ocakta yapılmak durumundadır. **Destek Araç-Gereçleri** – Hidrolik yer-kazarların çevresini temizlemek için buldozer/greyder gibi destek araçlarına gerek vardır. **Büyük Bakım Giderleri** (Revizyon) – 2 Dizel motor, 2 pompa motoru, 16 pompa, 6 dönüş dişli-kutusu, 8 silindir, 2 yürüyüş tahrik dişli-kutusu ve 8 adet hidrolik tahrik motoru. **Ekonomik Çalışma Ömrü** – Hidrolik yer-kazarın ekonomik ömrü 40-50,000 saattir. İlk yatırım maliyeti orta düzeydedir. **Ocak'ta Bakım-Onarım Planlaması** – Palet ve dişli aşınmasından ötürü orta/kısa dönem planlama gerektirir. Bu büyük bakım-onarım sürelerinde üretimin aksamaması için gereklidir.

3.5 Dizel-Elektrik Yükleyicide Kaya-Taşıtı Eşleşmesi

3.5.1 Giriş

Örnek olarak verilen yükleyici L-1350 model olup, motor gücü 1800 devir/dakika' da 1600 BG (1193kW)'dir. Standard kepçe kolu (SL) için yararlı yük 41 ton, yüksek kaldırmalı kepçe kolu (HL) için 38 tondur. Bu model 181-236 tonluk kaya taşıtlarına yükleme yapabilir. Çalışma ağırlığı ise SL için 184 ton, HL için 186 tondur. Koparma kuvveti SL için 961 kN ve HL için 987 kN'dir. Kepçe kapasitesi malzeme yoğunluğuna göre boyutlandırılır. Standard kaya kepçesi 1,78 ton/m3 yoğunluğunda kayaç için boyutlandırılmıştır. SL modelde kepçe 23 m3 ve HL modelde ise kepçe 21 m3 hacmindedir (Anon. c 2011).

Günümüz dizel-elektrik yükleyicileri ve kaya taşıtlarının çoğu, araç sağlığı ve üretim izleme düzenekleri ile donatılmıştır. Araç kullanıcısı etkileşimli olarak bu izleme dizgelerini izleyebilir, bakım-onarım ekipleri, yöneticiler, yapımcı uydu ve internet kanalıyla durumu uzaktan izleyebilir, anlık ve günlük bilgi kayıtlarına ulaşabilir.

Dizel-elektrikli maden yükleyicisinde bulunan izleme dizgesi, gerçek zamanlı dokunmalı ekranı ile operatörün etkileşimli olarak izlediği, duruma göre aracın başarımını ayarlayıp düzeltebildiği bir düzenektir. Kepçe yüksekliği ve açısı, her kepçenin içindeki yük, katlamalı kaya taşıtı tekne yükleri, her yükleme döngüsü için geçen süre, taşınan toplam kaya ağırlığı, kalan yakıt, araç hızı ve soğutucu sıvı ısısı vb gibi çok önemli bilgi kayıtları sağlar. Yorumlanışı kolay grafik biçimler ise işletmenin isteklerine göre değiştirilebilir, yeniden düzenlenebilir (Anon b. 2012).

3.5.2 Dizel-elektrik yükleyici (23m^3) ve 150 tonluk kaya-taşıtı eşleşmesi

Çizelge 3. de görüldüğü gibi, izlenen sürede 23 m^3 dizel-elektrik yükleyici 150 metrik tonluk kaya-taşıtını ortalama 4,5 dakikada beş kepçede doldurmaktadır.

(Çizelge 4)'de görüldüğü gibi, izlenen sürede, dizel-elektrik yükleyici kaya-taşıtını ortalama olarak altı dakikada, yedi kepçe ile doldurmakta olup kepçedeki ortalama yararlı yük 29.43 tondur. Kaya-taşıtının ortalama tekne-yükü 203±17 ton olup günde ortalama olarak yapılan ortalama kaya-taşıtı sefer sayısı 131±8 adet/gündür.

Çizelge 3. 150 ton kaya-taşıtı teknesi doldurma verisi izleme örnekleri

Gün	Kepçe Yükü, ton	Kepçe Sayısı	Tekne Doluş Süresi, dk.	Tekne Yükü, ton	Üretim, ton
1	30	6	5.25	157	23.336
2	31	5	4.57	160	24.250
3	30	5	4.02	136	18.450
4	31	5	4.28	158	19.579
5	29	5	4.40	143	26.387
6	31	5	4.57	141	26.137
Ortalama	**30.33±0.82**	**5.17±0.41**	**4.52±0.42**	**149±10**	**23,023±3328**

Bir kepçe kaya ağırlığı ortalama olarak 30 tondur. Kaya gevşek yoğunluğu 1.30 t/m^3 olup kepçe-kamyon uyumu iyidir. Ortalama kaya-taşıtı tekne yükü 149±10 tondur.

3.5.3 Dizel-Elektrik Yükleyici (23m^3) ve 220 Tonluk Kaya-Taşıtı Eşleşmesi

Çizelge 4. 220 tonluk kaya-taşıtı teknesi yüklenme ayrıntısı örnekleri

Gün	Kepçe Yükü, ton	Kepçe Sayısı	Tekne Doluş Süresi, dk.	Tekne Yükü, ton	Kaya-Taşıtı Sefer Sayısı, Adet	Üretim, ton
1	31	7	6.1	222	136	30.152
2	29	6	5.65	183	142	26.051
3	32	5	5.20	193	133	25.684
4	27	7	6.72	185	119	22.029
5	30	7	5.93	213	128	27.220
6	28	7	6.22	201	134	26.988
7	29	8	6.30	225	127	28.635
Ort.	**29.43±1.72**	**6.71±0.95**	**6.02±0.49**	**203±17**	**131±8**	**26,680±2559**

23 m^3 'lük yükleyiciye 220 tonluk kamyonlar büyük gelmektedir. Yükleyici bu kamyonları ortalama yedi kepçede doldurmaktadır. Madencilik yazınına göre yükleme aracı, taşıma aracını 3-4 kepçede doldurmalıdır.

4 SONUÇLAR

Yükleyiciler, geleneksel olarak, madenlerde ikincil işlerde kullanılır. Bunlar kömür, cevher vb gibi hazırlanmış yığın malzemelerin ağır taşıtlara yüklenmesi ya da bunların bunkerlere, kırıcılara, kömür ve cevher hazırlama tesislerine, kısa uzaklıkta, yükleyicinin kendisince taşınıp boşaltılması gibi işlerdir. Ancak, teknolojik ilerlemeler sonucu dizel-elektrik yükleyicilerde başarılan yenilikler, basitlik, yakıt ekonomisi gibi üstün özellikler, elektrikli yükleyicilerin ana kazı makinesi olarak da uygulamasını getirmiştir.

Yapıları gereği yükleyicilerin iş döngü süreleri, gövde-dönüşlü hidrolik yer-kazıcılara göre % 22-25 daha yüksektir. Yükleyicinin gövde-dönüşlü makine ile üretim yönünden yarışabilmesi için, kepçe iriliğinin % 25 daha büyük olması gerekmektedir.

Verilen uygulamadaki gözlem aralığında, dizel-elektrik yükleyicinin iş döngüsü, kazıya gidiş (%16±1), kazı (%11±1), boşaltmaya gidiş (%50±1) ve boşaltma (%23±1) evrelerinden oluşmaktadır. Yükleyicinin toplam iş döngüsü ise 50±2 saniyedir. Boşaltmaya gidiş evresinin toplam iş döngüsü süresinin yarısına yakın bir süresini alması, yükleyicinin kepçe dolu olarak daha düşük hızla kaya-taşıtına doğru yol almasından kaynaklanmaktadır. Toplam döngü süresinin neredeyse dörtte biri ise kepçenin kaya-taşıtı teknesine boşaltılmasında harcanmaktadır. Bunun nedeni de, makinenin dolu kepçeyi yerçekimine karşı tekneye boşaltmak üzere yükseğe kaldırması ve tekneyi ortalayarak dengeli yüklemeye çalışmasıdır.

Elektrikli yükleyicinin mekanik yükleyiciye göre ilk yatırımı biraz daha yüksektir. Ancak, bu eksiklik yakıtta tutumlu olması, daha az bakım, yedek parça, yağ gerektirmesi, dizel motor yenileme aralıklarının uzun olması gibi özellikleri ile kapatılmaktadır.

Dizel-elektrik kaya-taşıtlarında yalnızca iki arka tekerde elektrikli devindirme sistemi varken, dizel-elektrik maden yükleyicilerinde ise dört tekerde de elektrikli devindirme düzeneği bulunur. Dizel-elektrik yükleyicide her teker bağımsız olarak tahrik edilir ve birbirinden bağımsız olarak hareket edebilir. Teker motorlarından birisi bozulsa bile yükleyici çalışmayı sürdürebilir. Dönüşlerde teker sürtmesi olmaz. Her bir teker yük ve yer koşullarına uyumlu torka sahiptir. Bu özellik hem tekerleri korur, hem de daha az yakıt yakılmasını sağlar (Buck 2013).

Sıralı Uyartımlı Manyetik Direnişli (SR) motorun özellikleri ise şöyle dizilebilir: SR güç-aktarım sistemi bakım gerektirmez, SR ve AC motorlar aynı beygir gücündeki DC motorlara göre boyutca daha küçüktür.

Dizel yakıtın olağanüstü pahalı olduğu ülkemizde dizel-elektrik güç iletim dizgeli, tekeri elektrik motorlu maden makineleri daha da çok önem kazanmaktadır. Yakıt ekonomisi, göz önünde tutulması gereken çok önemli özelliklerden biridir. Bu hem giderlerin denetim altına alınması, hem de çevre kirliliği ve küresel ısınmaya karşı duyarlı olmak bakımından önemlidir.

Elektrik güç-iletimli lastik tekerli maden yükleyicisinde dizel yakıt tüketimi, yeniden üretilmiş enerjinin verimli kullanılışı yüzünden en-aza indirilmiştir. Mekanik güç-aktarım sistemlerinde ise yararlanılması gereken bu potansiyel enerji ısı biçiminde boşa gitmektedir (Wood 2013).

KAYNAKLAR

Anon. a, 2011; Reference list LeTourneau, *Longview, Texas, USA.*

Anon. b, 2012**;** JoyGlobal P&H, Generation 2 Wheel Loader Product Overview, *P&H Mining Equipment Inc., Milwaukee, USA.*

Anon. c, 2011**;** L-1350 Generation 2 specifications, LeTourneau Mining Products, *Longview, Texas, USA.*

Buck, J., 2013 : Kişisel görüşme, *Joy Global (UK) Surface Limited, Wigan, England*

Fleet, M., 2012; Kişisel görüşme "Hybrid Drive Electric Mining Loaders", *Longview, Texas, USA*

LeTourneau, R.G., 1972; Mover of Men and Mountains, *The Autobiography of R.G. LeTourneau, Moody Publishers, Chicago, USA*

Lovejoy, C., 2013; Providing power to people, Mining Magazine, July 2013, London, U.K.

Norris, J., 2013 : Kişisel görüşme, *P&H LeTourneau Factory., Texas, U.S.A.*

Orlemann, E.C., 2009; R.G. LeTourneau Heavy Equipment, *The Electric Drive Era 1953-1970, Iconografix, Wisconsin, USA*

Özdoğan, M., 2013 : Yayımlanmamış fotograf, *İdeal Makina Danışmanlık Ltd., Ankara*

Wood, A., 2013; Electric drive mining class wheel loaders as primary production tools, *IMCET 2013, Antalya, Turkey.*

Delik Dibi Tabancaların Dizayn Farklılıklarının Delme Maliyetlerine Etkisi

Effect of Design Differenciations of Down the Hole Hammers on Drilling Costs

E.A.Kantarcı
Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş. , Yerüstü Deliciler ve Arama Sondajı Ekipmanları Bölümü, İstanbul

B.Ergener
Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş. , Kaya Delici Sarf Malzemeler Bölümü, İstanbul

ÖZET Delik dibi delme metodunda delme maliyetini etkileyen faktörler vardır. Bu faktörler, gelişen üretim teknolojileri ve malzeme bilimi yardımıyla, delik dibi tabancaların dizaynını değiştirilebilmektedir. Tabancaların tükettiği hava miktarı, darbe frekansı değiştirilerek, birim delme maliyetinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Tabancaların tükettiği hava miktarı, kullanıldıkları makinenin bu havayı üretebilmek için sarf edeceği yakıt miktarını etkilerken, darbe frekansı ise penetrasyon hızını değiştirecektir. Darbe frekansı ve tükettikleri hava miktarı, maliyeti en fazla etkileyen iki kilit parametredir. Bu çalışmada, farklı delik dibi tabancaların metre başına delme maliyetlerini nasıl etkilediği incelenmektedir.

Bu çalışmada, farklı delik dibi tabancaların metre başına delme maliyetlerini nasıl etkilediği incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Delik dibi tabancaları, dizayn farklılıkları, delme maliyeti

ABSTRACT There are some factors that effects the cost of drilling for down the hole drilling method. These factors may change design of the hammer due to developing production technologies and material science. By changing air consumption and stroke frequency of down the hole hammers, decreasing the cost per meter of drilling has been aimed.

Since air consumption of the hammer effects the fuel consumption of the machine and stroke frequency affects the penetration rate, these are the key parameters that affect the cost of drilling.

In this study, how the air consumption and stroke frequency hammer effects the cost per meter drilled will be examined.

Keywords: Down the hole hammers, design differenciations, drilling costs

1 GİRİŞ

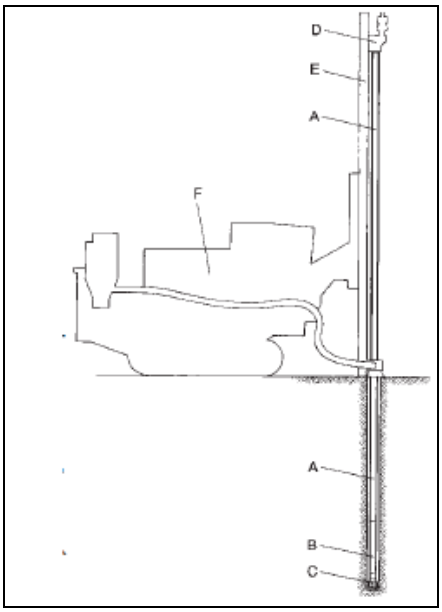
Delme metotlarının birbirine göre kullanıldıkları şartlar içerisinde farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Patlatma delikleri söz konusu olduğunda, yerüstü kaya kazısı operasyonlarında 9 farklı delme metodundan (Resim-1), özellikle 2 tanesi, daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar üstten darbeli (Tophammer)ve delik dibi (Down the Hole-DTH) delme metodudur.

Resim 1. Delme Metotları

Her iki metodun, kullanıldıkları zemin, delgi çapı ve delik uzunluklarına bağlı olarak tercih edilmektedir. Üstten darbeli delme metodu ile gelişen kontrol sistemleri sayesinde 23-152 mm arasındaki çaplarda delikler delinebilirken, delik dibi delme metodu ile bu çap 100-254 mm'ye kadar çıkmaktadır. Yüksek hacimlerde kaya kazısı yapılan işletmelerde, geniş çapta delikler delik dibi delme metodu kullanılarak delinmektedir. Delik dibi delme metodu kullanan makinelerde, bu metotta darbe kuvvetinin, hava ile yaratılması sebebiyle, daha yüksek basınç ve debi üreten kompresörler gerekecektir. Dolayısıyla, bu kompresör için büyük motora ihtiyaç duyulacaktır. Bu da yakıt sarfiyatını arttırmaktadır. Tablo-1'de aynı seriye sahip fakat iki farklı delme metodunu kullanan en büyük kapasitelerdeki makinelerin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Üstten Darbeli ve Delik Dibi Makinelerin Özelliklerinin Karşılaştırması

Delme Metotu	Tophammer	DTH
Delik Çapı (mm)	89-140	110-203
Maksimum Delik Boyu (m)	29	45 m Kısa Kızak /54 m Uzun Kızak
Motor Gücü	242 kW (325 HP)	402 kW (547 HP)
Kompresör Kapasitesi	223 l/s (472 cfm) @ 12 bar (174 psi)	470 l/s (995 cfm) @ 30 bar (435 psi)



Resim 2. DTH Metodu Kullanan Delici Makine Konfigürasyonu

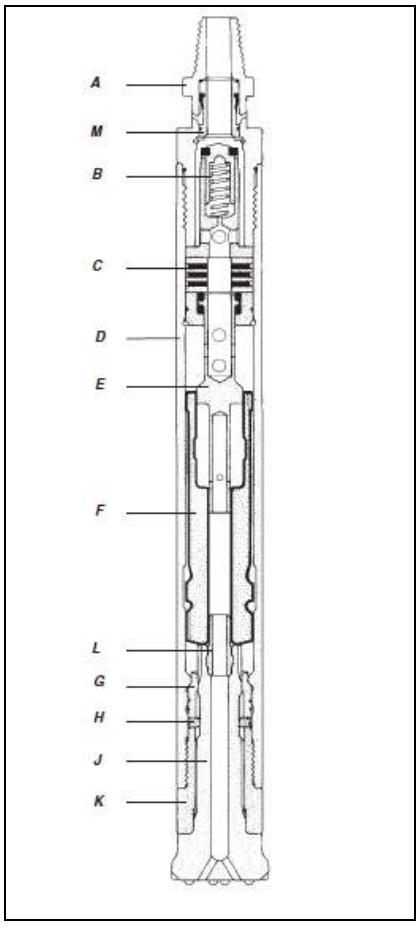
A: Rod-Boru
B: DTH Tabanca
C: Bit-Matkap
D:Rotasyon Ünitesi
E: Baskı Kızağı
F: Delici Makine

Delik dibi (DTH) delme metodunda, darbe etkisi, delici bitin hemen arkasında yer alan delik dibi tabanca mekanizmasıyla yaratılır.

Darbe gücü ve darbe frekansı delik dibi tabancanın dizaynı ile doğrudan ilişkilidir. Gelişen malzeme bilimi ve üretim teknikleri sayesinde, dayanıklı aynı oranda güçlü tabancalar tasarlanmaktadır. Daha güçlü ve uzun ömürlü delik dibi tabancalar yapılmasının temel amacı, birim zamanda yapılan iş miktarının arttırılması ve daha uzun süre iş yapabilir halde kalmalarını sağlamaktır.

2 DELİK DİBİ TABANCALARIN ÇALIŞMA PRENSİPİ

DTH tabancalarda, kontrol valfini (B) muhafaza eden uzun bir silindir (D), baskı halkası (C) veya disk yay ünitesi, darbe pistonu (F), kontrol tüpü (E), bit yatağı (G), durdurma halkası (H), ve delici bitin şankı (J) bulunur. Tabancanın en üst bölümünde, rodların bağlanabilmesi için dişli bir kapak (A) bulunmaktadır.



Resim 3. DTH Tabanca Bölümleri

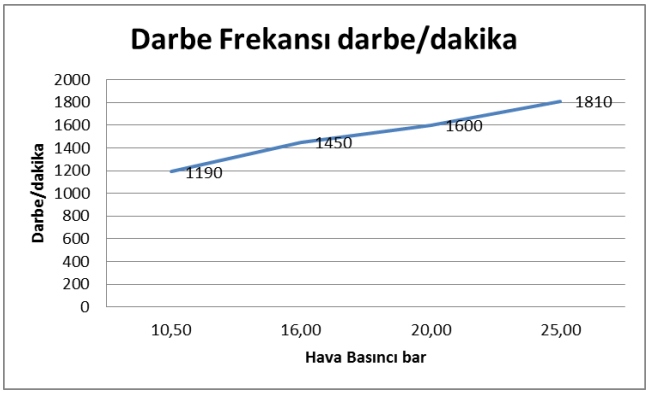
Bir kılavuz freze (K) silindirin ön ucuna dişlerle girer. Kılavuz freze (K) ve bit şankının (J) arasındaki kanallı boru bileziği, bite dönüş hareketini iletir. İki ayrı parçadan oluşan durdurma halkası (H), bitin eksensel hareketini sınırlamak için bulunur. Kontrol valfi (B), basınçlı hava kesildiğinde kılavuz frezeden tabancaya ortamda varsa su girişini engeller. Baskı kuvveti uygulandığında, delici bit tabancanın içine itilirken, kılavuz frezeye doğru bastırılır. Bu sayede, darbe pistonu bite doğrudan vurur. Basınçlı hava piston ve kontrol tüpü içindeki kanallardan geçer. Sönümleme odası yastıklamasıyla, piston darbe için geri döner ve bu darbe frekansını arttırır. Basınçlı havanın enerjisinin büyük bir kısmını darbe pistonuna aktarılırken, taban valfi (L) kalan havayı bitin merkez kanalına iletir. Buradaki kalan hava bitin kanallarından geçerek, delik içinin temizlenmesini sağlar. Bu sayede delik içinde kırılmış kaya parçaları en efektif şekilde dışarıya taşınır.

Tabanca delik tabanından ayrıldığında bitin kılavuz kovan içerisinde olmaması sebebiyle, tabanca içerisinde hava sıkışmayacağından, hava bit içindeki kanal ile sistemi terk edecektir. Benzer şekilde delme esnasında, eğer bit deliğin tabanıyla kontağı kaybederse, tabanca sadece hava üflemeye başlar. Fakat baskı artırılıp, bit kılavuz kovanın içine girer girmez, tabanca tekrar çalışmaya başlar. Bu hava üfleme eğer güçlü bir delik temizleme gerekiyorsa veya çok zor zemin koşullarında da ayrıca kullanılabilmektedir.

3 DELİK DİBİ TABANCALARDA HAVA BASINCININ DARBE FREKANSINA VE PENETRASYON HIZINA ETKİSİ

Delik dibi tabancalar daha önce de bahsedildiği gibi darbe yüksek basınçlı hava ile oluşmaktadır. Buna bağlı olarak da, tabancaya iletilen havanın basıncının artmasıyla, darbe oluşum çevrimini daha çabuk tamamlayarak, dakikada yaratılan darbe sayısı artmaktadır. Grafik-1, 6 inch çapındaki tabancanın 10,5 ve 25 bar hava basınç değerleri arasında 6 inch bir

tabancanın dakikada yaptığı darbe sayısını göstermektedir. Fakat unutulmamalıdır ki, hava basıncı artarken, bitin delik tabanıyla kontağının sürekli sağlanabilmesi için baskı kuvvetinin de artması gerekmektedir. Örneğin, 16 bar hava basıncında 6 inch bir tabanca için 14 kN gibi bir baskı kuvveti gerekmektedir. Aksi halde, baskı kuvveti hava basınç kuvvetini yenemeyeceğinden delici biti tabancanın kılavuz kovanına itelemeyecektir. Bu durumda delme işlemi gerçekleşmeyecektir.



Grafik 1. Hava basıncı ve Darbe Sayısı arasındaki İlişki

Delme hızı, delik dibi delme metodunda hava basıncı ile doğru orantılıdır. Eğer doğru baskı kuvveti sağlanabilirse, hava basıncının artışıyla penetrasyon hızı artacaktır. Grafik-2 'de 6 inch bir tabancanın, hava basıncının artışıyla İsveç granitindeki penetrasyon hızı gösterilmiştir.

Grafik 2. Hava basıncı ve Penetrasyon Hızı arasındaki ilişki

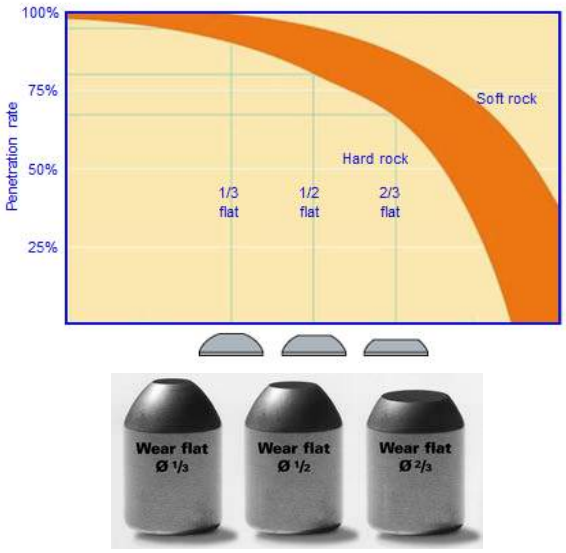
Buradan anlaşıldığı üzere, darbe frekansı ile penetrasyon hızı arasında birbiriyle orantılıdır. Bu sebeple, geliştirilen delik dibi tabancalarda, bu prensip özellikle dikkate alınmaktadır.

4 DTH DELME METODU KULLANILDIĞINDA KARŞILAŞILAN MALİYETLER

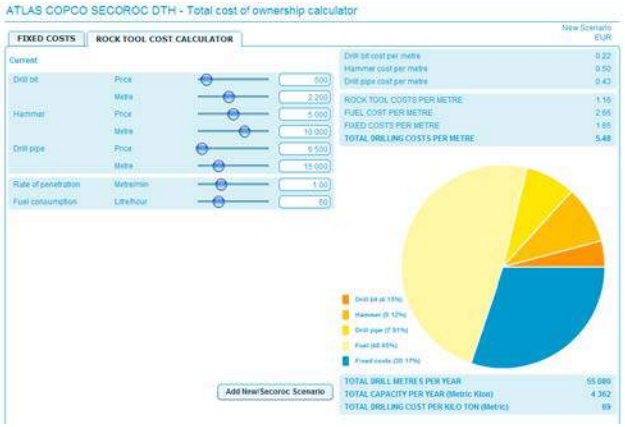
Delme ile ilgili maliyetlere göz attığımızda, en büyük maliyetin yakıt sarfiyatından kaynaklandığı (%49) görülmektedir. (Resim-5) Ayrıca değiştirilmesi zor olan Sabit maliyetler(Fixed costs) %30'sini oluşturmaktadır. Sabit giderlerin içerisinde, delici makine yatırım maliyeti, operatör ücreti, sigorta ve kredilerin faiz maliyetleri yer alır. Bunun yanı sıra ekipmanın bakım maliyetleri de değişken sayılsa da, kaçınılamayacak maliyetler arasında yer almaktadır.

Maliyetler içerisinde delici takıma harcanan ücretler delme maliyetine yansımaktadır. Delici takımı oluşturan boru, delik dibi tabanca ve bitin metre olarak kullanım ömürleri vardır. Delici bitin ömrü, üzerinde bulunan butonların aşınma durumu ile ilişkilidir. Delici bitin butonlarının körelmesi ile her darbede kaya içerisine giriş mesafeleri azalacak, buna bağlı olarak, delme hızı yavaşlayacaktır. Bu da tüm maliyetleri olumsuz yönde etkileyecektir.

Delici bitin kaya kırma ve kesme özelliğinin azaldığı durumlarda, butonun durumu ölçülerek, buton bileme işlemi uygulanabilir. Butonların 1/3'ünün aşınmasından sonra uygulanacak bileme işlemi hem bitin ömrünü arttıracaktır hem de penetrasyon hızında ani düşüşlere engel olacaktır. (Resim-4)Ayrıca tabanca tarafından üretilen darbe gücünün, kayaya iletilmesi önemlidir. Çünkü butonların aldıkları darbeyi kayaya iletemedikleri durumda, bu darbe gücü geri dönerek, önce bit sonra da piston üzerinde sönümlenecektir. Bu durum delik dibi tabancanın ve bitin ömrünü ömrünü azaltan bir unsurdur. Üzerinde çok fazla geri darbe gücü sönümlenen bit, butonlarını düşürmeye ve aşınmaya başlayacaktır. Butonu olmayan bit ile delme yapılamayacağından doğrudan hurdaya ayrılması gerekecektir.



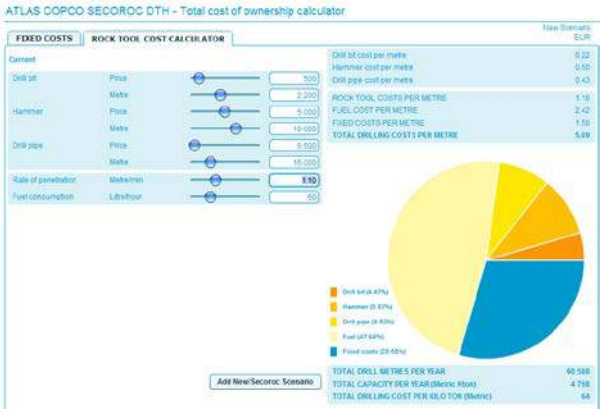
Resim 4. Buton Aşınması ve Penetrasyon Hızı arasındaki ilişki



Resim 5. TCO Sonuç Ekranı, Penetrasyon Hızı 1.00 m/dakika iken.

"Atlas Copco Secoroc DTH- Total Cost of Ownership Calculator TCO" isimli maliyet simülasyon programı sayesinde, parametreler rahatlıkla değiştirilerek, değişimin etkileri gözlemlenebilmektedir. Burada konu delik dibi tabanca olduğu için, makinenin yakıt sarfiyatının düşürülmesi adına makinelerde geliştirilen özelliklerden bahsedilmeden, yakıt sarfiyatı hesaplama esnasında her iki durum için de sabit tutulmaktadır.

İncelendiği takdirde ton başına maliyeti en fazla etkileyen parametre penetrasyon hızı olduğu anlaşılmaktadır. Penetrasyon hızını %10 oranında arttıracak olursak, ton başına maliyet %6 oranında azalırken, delik paterni aynı kalmak koşuluyla, yıllık üretim miktarı %10 oranında artmaktadır. Bu, daha fazla üretim anlamına gelmektedir. (Resim-6)

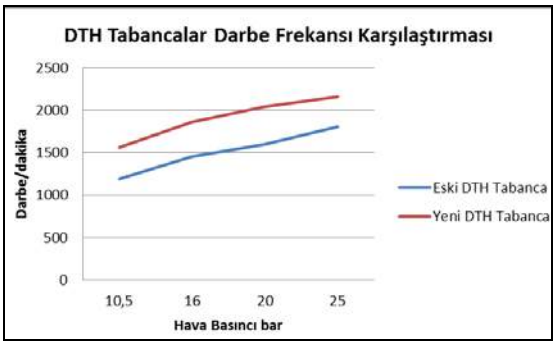


Resim 6. TCO Sonuç Ekranı- Penetrasyon hızı 1.10 m/dakika iken

5 FARKLI DELİK DİBİ TABANCALARIN MALİYETLERE ETKİLERİ

Yeni tabancalar tasarlanırken daha hızlı delik delmesinin yanı sıra, daha az enerji (basınçlı hava) sarf etmeleri de göz önüne alınmaktadır. Çünkü bu aynı zamanda delici makine seçiminde de önemli rol oynayan bir faktördür

Delme hızını en fazla etkileyen faktörlerin, darbe frekansı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, yeni tasarlanan delik dibi tabancalarda daha kısa bir piston, hareket ettiği mesafe kısaltılarak, aynı darbe gücünü daha sık aralıklarla vermesi sağlanmıştır. Darbe frekansının arttırılmasıyla, yeni tabancalarda %15 daha fazla delme hızı yakalanmıştır. Piston hareket mesafesinin kısaltılmasıyla, tabanca boyu kısaltılmış ve tabancanın toplam ağırlığının azaldığı görülmüştür. Bir önceki versiyonuna göre tabancalar %30 daha hafif ve kısa hale gelmiştir. Tabanca boylarının kısalması ve ağırlığının azalmış olması, tabanca değişim ve bakım süreçlerinde daha da kolaylaştırmaktadır. İş güvenliği ağırlık normlarına uygun hale getirilmesi dede bir diğer göz önünde bulundurulan kavram olmuştur.



Grafik 3. DTH Tabancaların Darbe Frekansı Karşılaştırması

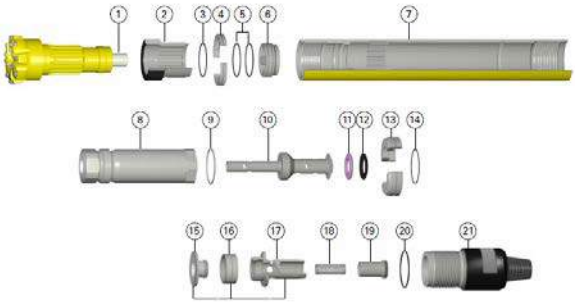
Boyu kısalan fakat gücü azalmayan delik dibi tabancanın, iç hacmindeki değişim sebebiyle, tükettiği hava hacmi de azalmıştır. Bu da tabancanın, aynı yüksek basınca sahip, daha düşük debili bir kompresör ile verimli olarak çalıştırılabilmesini anlamına gelmektedir. Ayrıca, yüksek rakımdaki işletmelerde, kompresör hava üretiminin yüksekliğe bağlı olarak azalması sebebiyle, makinelerde daha büyük kompresörler tercih edilmektedir. Yeni tabancaların daha az hava tüketmesinden dolayı, rakım yüksekliğine bağlı büyük kompresör seçimine gerek kalmayacaktır (Resim-7). Daha az hava tüketen delik dibi tabancaların yardımıyla, makine özellikleri belirlenirken kompresörün daha küçük seçilebilmesiyle, hem ilk yatırım maliyetini hem de saatlik yakıt sarfiyatını düşürücü etkide bulunacaktır.

Resim 7. İki Farklı tabancanın Parametrelerinin Kıyaslanması

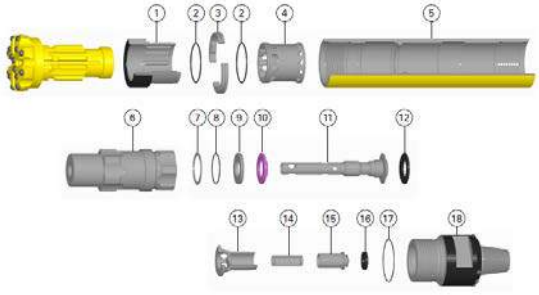
Tabanca ve bit kullanım metre olarak ömürlerinin de, maliyetlere etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Delgi esnasında oluşan ısının tabanca ve bitin ömrünü etkileyen aşınmalara sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, hava ile çalışan bu mekanizmalarda, havanın dolaştığı kanallar tekrar tasarlanmıştır (Resim-8). Bu sayede ısınmanın fazla olduğu bitin tabancaya giriş noktasındaki bölgenin daha iyi soğutulması amaçlanmıştır. Aynı zamanda bit gövdesinin boşluksuz, daha tok bir yapıya kavuşması sağlanmıştır. Hem bit gövdesinin hem de tabancanın daha az ısınması sayesinde, oluşan aşınmalar azaltılmıştır.

Resim 8. Patentli Dizayn Bitlerin Görünüşü

Resim-9 ve Resim-10'dan da anlaşıldığı üzere, parça sayısı 21 adetten 18 adete düşürülerek, bakım esnasında değişmesi gereken parça miktarı azaltılmıştır. Hem değiştirilmesi gereken parça sayısı hem de bakım için harcanacak sürenin kısaltılmıştır. Bu aynı zamanda işletmelerde, yedek parça stok maliyetlerini azaltmaktadır.



Resim 9. Klasikleşmiş DTH Tabanca Yedek Parça Posteri



Resim 10. Yeni Geliştirilmiş DTH Tabancanın Yedek Parça Posteri

6 SONUÇ

Daha kısa ve daha hafif bir tabanca tasarlanırken, darbe pistonunun (ağırlığı sabit tutulmak kaydıyla) ve pistonun hareket ettiği mesafe kısaltılarak, darbe gücü düşürülmeden frekansı arttırılmış, penetrasyon hızı %15 kadar arttırılmıştır. Delme hızının artması, maliyetlerde düşüşe ve üretim miktarında ciddi artışlara sebep olmaktadır.

Tabanca içinden geçen havanın dolaşım kanallarının da revize edilmesiyle, tabancanın çalışmasıyla ısınan ve aşınmaya uğrayan bölgelerinin daha iyi soğutulması sağlanmıştır. Dolayısıyla, tabancaların kullanım ömürleri artmaktadır.

Daha düşük hava tüketimine sahip delik dibi tabancalar, kullanılacakları makineler için belirlenecek kompresör ihtiyacını da değiştirecektir. Bu da işletmelerin yatırım maliyetlerine olumlu olarak yansıyacağı gibi, makinelerin yakıt sarfiyatlarının da düşmesine yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak, DTH delme metodunda, tabancaların tasarım değişikliklerinin birim maliyetleri doğrudan etkilendiği gözlemlenmektedir.

KAYNAKLAR

Atlas Copco Rock Drilling Tools, 2002, SECOROC Down-The-Hole Equipment, COP Hammers Instructions and Parts, Atlas Copco Secoroc AB, Fagersta, Sweden (Sayfa 4)

Atlas Copco Rock Drilling Tools, 2014, Atlas Copco Secoroc AB, Fagersta, Sweden, COP 66 Sales Guide

Planlanan Delgi Paterninin Sahaya Uygulanması ve Operasyon Maliyetlerine Yansıması

By Applying The Prepared Drilling Pattern On Site and Reflection To The Cost of Operation

E.A. Kantarcı ve G.B. Buyurgan
Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş. , Yerüstü Deliciler ve Arama Sondajı Ekipmanları Bölümü, İstanbul

ÖZET Taş Ocaklarında yapılan delme ve patlatma işlemlerinde belirlenen delme paterninin sahaya aynen uygulanması büyük önem taşımaktadır. Teorilere bağlı kalınarak belirlenecek paternin sahaya yansıtılması, istenilen parça boyutunu göz önünde bulundurma kaydıyla, delgi miktarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Diğer taraftan bu durum yükleme-nakliye işlemleri sırasında yaşanan olumsuzlukları azaltmaktadır. En uçta ise, iyi bir parça boyut dağılımı, genel olarak maliyetlerin %50'sini oluşturan kırma eleme tesislerinde önemli oranda enerji ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Bu çalışmada, planlanan delgi düzeninin sahaya planladığı gibi uygulanmasının işletmelere kazandıracağı faydalardan bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delgi paterni, operasyon maliyeti

ABSTRACT In an open pit quarry for the drilling and blasting operations, it is very important to apply defined drilling pattern on site. Applying drilling pattern which designed according to theories of drilling&blasting and also desired particle size distribution, achieves optimization of drilling amount in meters. On the other hands, optimization would recover the negative effects on loading and transport operations. At the end of the operation, it will decrease the cost of crushing and screening which takes more than 50% of the overall cost by decreasing energy consumption and time spent in the circuit.

In this study, benefits of applying the planned drilled plan into the field for an operation have been studied.

Keywords: Drilling pattern, cost of operation

1. GİRİŞ

Açık ocak işletmelerinde maliyeti oluşturan birçok kalem bulunmaktadır. Bazı maliyet kalemlerinden kaçınılamazken, diğer maliyet kalemlerinden tasarruf etmenin yolları aranmaktadır. Diğer bilim dallarında sağlanan teknolojik gelişmelerin uygulanabilirliklerinin artmasıyla ve kombine edilebilmeleri sayesinde madencilikte de maliyetlerden tasarruf sağlayabilmek amacıyla kullanımları yaygınlaşmaktadır. Açık ocak işletmelerinde kazının ilk aşamasında uygulanan delme ve patlatma genel olarak kazı işini hızlandırmak ve sonraki aşamaların (kırma ve eleme) kolaylaşmasını sağlamak amacını taşımaktadır. İyi bir delme patlatma gerçekleştirilebilirse, ocakta yükleme-nakliyeden, tane boyutlandırması yapılan kırma ve eleme işlemlerine kadar tüm aşamalarda tasarruflar sağlanabilecektir.

Patlatmadan elde edilecek malzemenin parça boyut dağılım derecesi, hem mevcut yükleme-taşıma ekipmanlarına hem de elde edilmek istenen son ürüne bağlı olarak ayarlanmaktadır. Patlatma sonucunu belirleyecek ve etkileyecek faktörlerden birisi de delme düzenidir. Bunlardan bazıları delik çapı, varsa eğimi, delik düzeni (dilim kalınlığı, delikler arası mesafe) ve dip delgi boyudur. Delik çapı belirlendikten sonra planlanan delik düzeni ve bu düzenin ocak basamaklarına uygulanabilmesi ayrı bir zorluğa sahiptir. Hesaplanarak veya daha önceki saha deneyimlerine bağlı olarak belirlenen delik paternlerinin uygulanabilmesi hem istenilen tane boyuna ulaşılmasında hem de güvenli bir patlatma yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Saha üzerinde işaretleme yapılmadan delici makine kullanıcısı tarafından adımlanarak belirlenen delik yerleri ile çoğunlukla olması gerekenden dar veya geniş delik ve yük mesafelerinin yanı sıra, düzgün olmayan bir delik geometrisi ortaya çıkmaktadır. Planlanandan veya bilinen teorik verilere göre delikler arası yük ve mesafesinin dar olması, küçük belki de satılamaz ürünlerin miktarının artmasına yol açarken, daha geniş aralıklı bir delik düzeni uygulanması da, patlatma sonrası tekrar boyutlandırılması gereken malzeme miktarının artmasına sebep olabilir. Bir diğer konu ise, basamak boyuna bağlı olarak belirlenen delik boylarının etkisidir. Delinecek saha için eğer önceden bir işlem yapılmamış ise, belirlenen sabit delgi metrajı olumsuz sonuçlara da sebebiyetler verebilir. Bilinen basamak boyuna göre verilen delik boyu, basamak üzerindeki tümsek veya çukurları dikkate almamış olacaktır. Bu yüzden de basamak üzerindeki çukur noktalarda delik boyu, basamak boyuna göre daha fazla olarak ayna tabanının altında kalacak, tümsek noktalarda ise basamak tabanına ulaşamadığı için topuk-tırnak oluşumuna sebebiyet verecektir. Ayrıca her iki durumda da yine kontrolsüz patlatmalara sebebiyet vermesi sebebiyle iş güvenliği konusunda ekstra tehdit oluşturacaktır.

Ocaklarda teorik olarak belirlenen delik yük ve delikler arası mesafelerin çoğunlukla sahaya eksik uygulandığı görülmektedir. Uygulamadaki farklılık sebebiyle basamakta olması gerekenden fazla sayıda delik delinmesine sebep olmaktadır. Ayrıca delikler arası mesafenin olması gerekenden geniş olması durumunda, patlayıcı yoğunluğunun hesaplanan değerin altında kalmasıyla, parça boyut dağılım kontrolü zorlaşmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ve yaygınlaşması, global pozisyonlanma sistemleri ile yapabileceklerin de farkına varmamıza yardımcı olmuştur. Günümüzde ise GPS (Global Positioning Systems) sistemlerinin yerüstü delici makinelere entegre edilmesiyle, delik düzeninin koordinat sistemi aracılığıyla sahaya tam ve hassas olarak uygulanması sağlanmaktadır. Bu sayede aynı delik metrajı ile daha fazla hacimde kaya patlatılabilir veya bir başka değişle, alınmak istenen hacim/tonaj daha az delgi ile yapılabilmektedir.

GPS alıcıları ve ROC Manager yazılımı yardımıyla, delik düzeni planlanıp, yine operatörün de rahatlıkla anlayacağı formatta yerüstü delici makineye yüklenen plan hassas bir şekilde sahaya uygulanabilmektedir. GPS alıcıları ve ROC Manager yazılımından oluşan sistem kısaca Hole Navigation System-Delik Kılavuz Sistemi (HNS) olarak isimlendirilmektedir.

2. DELİK KILAVUZ SİSTEMİNİN TANITIMI

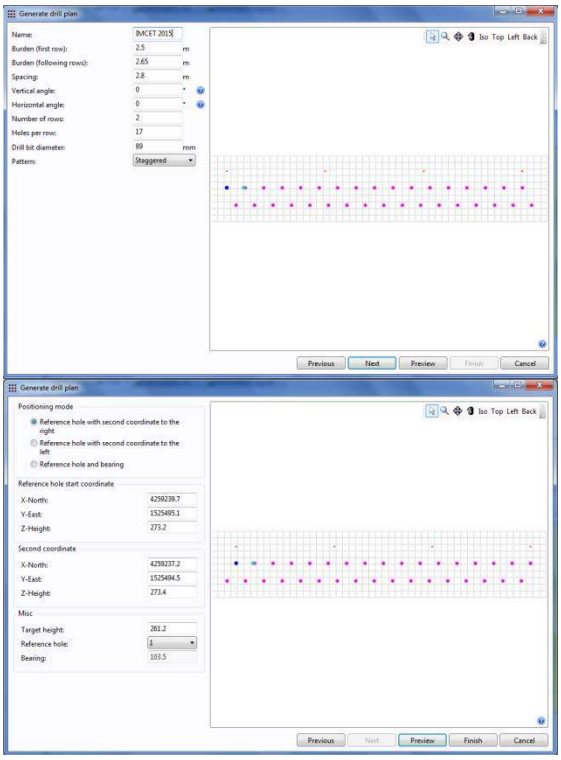
"Delik Kılavuz Sistemi" (Hole Navigation System), delici makineye monte edilen GPS alıcıları, radyo antenleri, bu koordinatları algılayıp dönüştüren sistem ve sahaya yerleştirilen bir referans GPS istasyonu aracılığıyla çalışmaktadır. Delik düzeni kişisel bilgisayara kurulan ROC Manager üzerinden kolaylıkla yaratılmaktadır.

Sahaya yerleştirilen bir adet GPS istasyonu (Resim-1), uydular ile saniyede bir kez haberleşerek sürekli yer doğrulaması yapmaktadır. Yerüstü delici makine üzerindeki sistemin de (Resim-2) ayrıca uydular ile haberleşme sistemi mevcuttur. Fakat makine üzerindeki sistemin hassasiyeti +/- 10 cm civarında iken, sahada bulunan GPS istasyonu ile iletişimi sonucunda hassasiyet +/- 1 cm hassasiyetine ulaşmaktadır. Bu da belirlenecek delik düzeninin hassas bir şekilde sahaya yansıtılması noktasında hata paylarını cm mertebelerine kadar azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Resim 1. Sahaya Yerleştirilen Referans GPS İstasyonu

Resim 2. Makine Üzerine Monte Edilen GPS Alıcıları ve Sinyal Alıcı Antenler

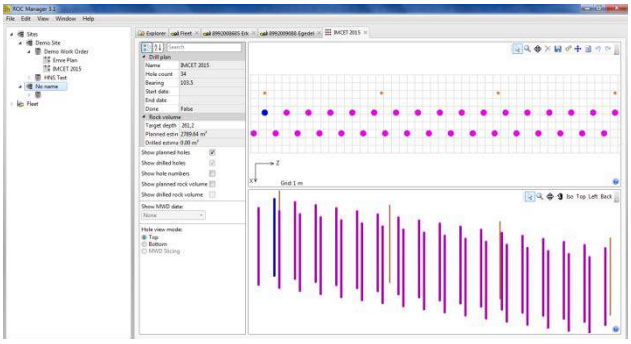
Kişisel bilgisayara kurulan ROC Manager yazılımı hem makineden alınan delme performans verilerinin değerlendirilmesinde hem de delik düzenlerinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Delik düzeni yaratılırken yazılım ilk ekranında (Resim-3), ilk delik sırasının aynaya olan uzaklığını, onu takip eden sıra veya sıraların ilk sıraya mesafesini, yanyana gelecek deliklerin arasındaki mesafenin girilmesi istenmektedir. Ayrıca yine ilk ekranda yatayda ve düşeyde verilecek delik açısını, kaç sıra delik olmasını istediğini, her sırada kaç adet delik olacağını, delik çapını (mm) ve hangi düzende (kare, şeşbeş) deliklerin dizilmesi istendiğini kullanıcıya sormaktadır. Bu bilgilere, saha mühendisi ve patlatmayı yapan mühendisin ortaklaşa karar vermesi sağlıklı olacaktır.



Resim 3. ROC Manager Yazılımı Delgi Düzeni Hazırlama 1. ve 2. Ekranları

İkinci ekranda (Resim-3) öncelikle aynaya yakın ilk sırada bulunacak ikinci deliğin (delik diziliş yönünün belirlenmesi açısından önemli) ilk deliğin sağında veya solunda olduğu işaretlenmelidir. Ayrıca üçüncü seçenek olarak hesaplanabiliyorsa, ilk delikten sonra, deliklerin sıralanma yönüne grid kuzeyden saat yönünde yaptığı açı (bearing) girilmek üzere seçim yapılabilir. Makine delmeye başlayacağı ilk noktaya getirilerek bu ilk deliğin koordinatları referans delik koordinatlar

kısmına yazılmalıdır. Daha sonra makine ikinci deliğe götürülerek yeni koordinatlar da ikinci koordinat kısmına girilecektir. Eğer bearing değeri girilecekse, ikinci delik için koordinat almaya gerek kalmamaktadır. Delgi düzeninin hazırlanmış hali (Resim-4)'te görülmektedir.



Resim 4. Delgi Düzeninin Hazırlanmış Hali

Eğer sahada veya delinecek basamakta daha önce delik düzeni koordinatları bir başka cihaz yardımıyla alındıysa, makinenin birinci ve ikinci deliğe tekrar götürülmesi gerekmeyecektir. Ofiste planlanan delme planı, taşınabilir bellek yardımıyla, doğrudan makineye yüklenerek, operatörün karşısındaki ekrandan takip etmesi sağlanabilir (Resim-5).

Resim 5. Hazırlanan Delme Düzeninin Makineye Yüklenmiş Hali ve Makine Ekran Görüntüsü

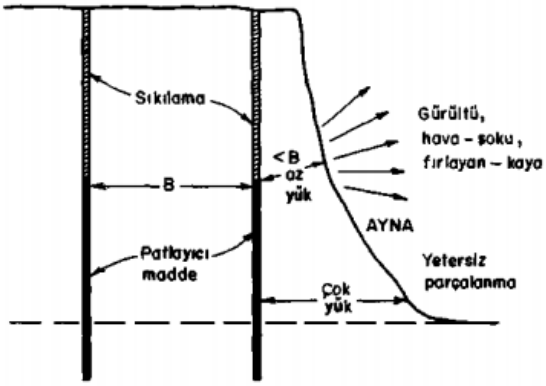
Daha sonrasında üzerinde delik delinecek basamak tabanının deniz seviyesinden yüksekliği, dip delgi boyu çıkarılarak hedef yükseklik kısmına girilmelidir. Bu sistemi kullanmanın avantajlarından biri de delik boylarının basamak yüzey topoğrafyasına bağlı olarak makine tarafından ayarlanmasıdır. Bütün deliklerin aynı seviyede bitiyor olması sonucunda aynalarda ve basamaklarda düzgün yüzeyler olacaktır. Bu sayede yükleme esnasında harcanacak zaman ve enerji azalacaktır. Aynı zamanda sistem, işaretlenen noktalardan birinin yüzeyinde problem veya engel olması sebebiyle, operatörün işaretlenen noktadan başka bir yere delik delmeyi tercih etmesi durumunda, bu amaca uygun donanımlı makine deliğin planlanan noktada bitmesi ve o noktaya ulaşması amacıyla hesaplamaları yaparak, gerekli açıyı ve uzunluğu tekrar hesaplamaktadır. Deliklerin mümkün olan en paralel şekilde ve planlandığı gibi delinmesi temel amaçtır.

3. DELİK DÜZENİNİN ETKİLERİ

3.1 Eğimli Delginin Avantajları

Açık ocak patlatmalarında deliklerin birbirine paralel olmasının yanı sıra deliklerin basamak aynasına paralel olması da önemlidir. HNS (Hole Navigation System-Delik Kılavuz Sistemi) yardımı ile sahadaki referans noktasının yardımıyla istenilen eğim açısı planlama aşamasında makineye delik düzeni ile planlama aşamasında verilerek, basamakta aynı sırada aynı açıya sahip paralel deliklerin delinmesi sağlanabilmektedir.

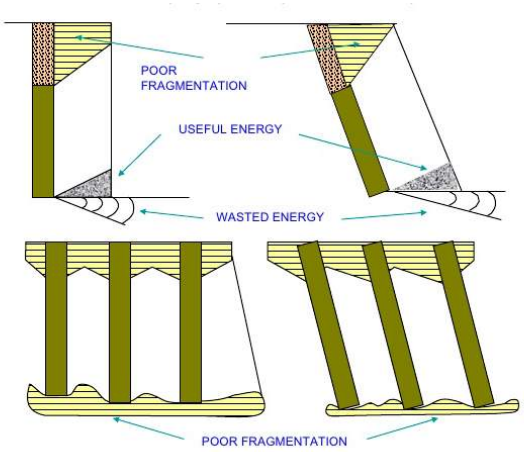
Ayrıca Delik Kılavuz Sistemini destekleyici olarak otomatik pozisyonlama sistemi de operatörün tek bir düğmeye basarak, bu açıyı ve delik yerini bulmasına yardımcı olacaktır. Bilindiği üzere, açılı delgi yapıldığında dip şarj daha fazla enerjiyi malzemeyi ötelemek üzere kullanabilmektedir (Resim-7). Bu da patlatma verimini arttırmaktadır.



Resim 6. Dik Deliklerin Eğimli Aynalara Delinmesi (Bilgin, H.Aydın)

Açık ocaklarda basamak aynaları daima eğimli bir şev oluşturur. Buna karşın, açık ocaklarda delikler genellikle dik delinmektedir. Bu durumda deliğe doldurulmuş patlayıcı maddenin önündeki, parçalaması ve ileri atması istenen yük delik dip tarafında fazla, üst tarafında az olur (Resim-6). Bu ise gürültü, hava şoku, fırlayan kaya sorunları ve yetersiz parçalanma sonucunu yaratır. Bu sorunun çözümü aynaya paralel delik delinmesidir. Eğimli delik delmek daha zordur ama aşağıda sıralanan pek çok yararı vardır:

- Patlama sonucunda daha ufak parça ve daha gevşek yığın elde edilir.
- Sabit dilim kalınlığı (B) vererek tabanda maksimum dilim kalınlığının (Bmax) aşılması riskini yok eder.
- Alt basamaktaki aşırı çatlamalar nedeniyle bu basamakta olabilecek delme zorluklarını azaltır.
- Şarjın geri tepmesini önleyerek geri-çatlatmayı azaltır, böylece düzgün ayna ve duraylı şev oluşur.
- Daha fazla sayıda delik sırası ile atımı mümkün kılar.
- Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafelerin artışına yol açarak patlatma randımanı artışına neden olur.
- Tabanda tırnak kalması ve üstte patar sorununu azaltır veya yok eder (Bilgin, H.Aydın).



Resim 7. Açılı Delik Delmenin Faydaları (Google Görseller, 02.01.2015)

3.2 Delik Düzeninin Tane Boyuna Etkileri

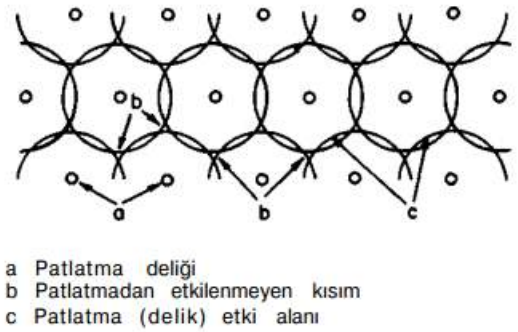
Verimli bir patlatmanın, hem kazının kolaylaşması hem de nihai ürün üretiminde harcanacak enerjiyi azaltması nedeniyle üretim maliyetlerine olumlu bir katkısı vardır. Kurallarına uygun bir patlatma yapılması durumunda harcanacak maliyet, yükleme-taşıma ve daha sonrasında uygulanacak kırma-eleme işleminde harcanacak maliyetlerin düşmesine yardımcı olacaktır.

Mühendislik yaklaşımları ile hesaplamalar yapılarak, belirlenen delik çapları ve delik düzenleri ile malzemenin tane boyu ile ilgili ayarlamalar yapılabilmektedir. Delik düzeninin sahaya uygulanamadığı durumlarda, olumsuzluklarla karşılaşılması olası hale gelmektedir.

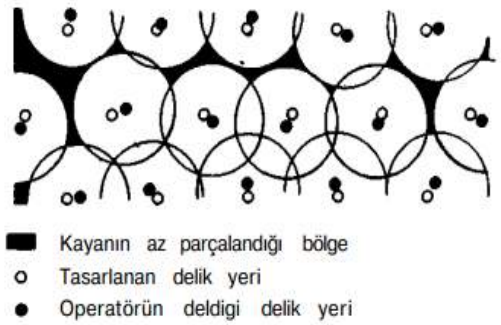
Deliklerin planlanan (kare, üçgen, dikdörtgen vb.) düzende ve mesafelerde delinmesi önemlidir. Resim-8 düzgün bir düzende ve eşit uzaklıklarda delinen deliklerde, her deliğin etki alanını gösteren dairelerin nasıl uygun bir biçimde kesiştiklerini ve en az miktarda patlatmadan etkilenmeyen (şarj kudretinin erişemediği) kısım kaldığını göstermektedir. Resim-9 ise deliklerin tasarlanan yere delinmemesi durumunda delik etki alanlarının uygunsuz şekilde kesiştiklerini göstermektedir. Bu

durumda dairelerin fazla çakıştıkları kısımlarda kayanın aşırı kırılması, dairelerin kesişmediği yerlerde ise yetersiz parçalanma meydana gelmektedir. Yetersiz parçalanma bölgeleri basamak taban kısmında tırnaklar (parçalanmamış kaya yükseltileri) basamak üst kısımlarında ise patarlar (ekskavatörün kepçesine sığmayan bloklar) oluşturmaktadır. (Bilgin, H.Aydın)

Sahaya yansıtılamayan her delik düzeni, işletmelere istenmeyen maliyet olarak geri dönecektir. Plana göre delinmeyen patlatma delikleri, işletmelere olması istenenden daha küçük boyutlanmış ürün miktarının artmasına veya büyük boyutlu kalan malzemeler için de tekrar boyutlandırma maliyetlerini getirmektedir.



Resim 8. Düzgün Delinmiş Patlatma Delikleri(Bilgin, H.Aydın)



Resim 9. Tasarlanan Plana Göre Delinmeyen Patlatma Delikleri (Bilgin, H.Aydın)

4. DELİK KILAVUZ SİSTEMİNDEN (HNS) KAZANIMLARIN TEORİK HESAPLAMALARI

Maden ocaklarında genellikle delik düzeni oluşturmaksızın adımlama veya metre ile ölçülerek delikler delinmektedir. Bu iki ölçümlemenin sonucunda, sahaya işaretler konularak ve delici operatörünün bu işaretlemeye uyması beklenmektedir. Sahaya bu işaretlemeyi yapacak kişinin de bir maliyetinin olacağı unutulmamalıdır.

Normalde saha üzerinde yapılan ölçümler kendi içinde doğruluk içerse de, herhangi bir kabul edilmiş ölçü birimine sahip değildir. Saha üzerinde yapılan adımlamalar ve metre ölçümlerinde bile kesin doğruluk bulunmamaktadır. Adım atan kişi basamak üzerinde düz bir yerde yürümüyor olmasından kaynaklanan farklılıklar doğurmaktadır. Eğimli bir arazide ilerlerken ölçülen mesafe hipotenüs olacağından, yukarıdan bakıldığında delikler arası mesafenin, planlanan mesafeden küçük olduğu görülecektir. Aynı sonuç metre ile ölçülürken de karşımıza çıkabilmektedir. Aşağıdaki hesaplamada (Tablo-1), 89 mm delik çapında teorilere göre (özgül şarj miktarı, vb.) olması gereken delik düzeni (Delik Düzeni 2) ile sahada göz kararı veya adımla ölçümlenerek belirlenen delik düzeni (Delik Düzeni 1) karşılaştırılmıştır. Zemin koşullarına bağlı olarak, delik aralıkları en azından bilinen ölçülere bile getirilecek olursa, aynı delik sayısı ile alınabilecek malzemenin hacimsel olarak miktarı artacaktır.

Tablo-1 Teorik Delik Düzeni ile Göz Kararı veya Adımla Ölçülerek Belirlenen Delik Düzeni İle İlgili Hesaplamalar

	Delik Düzeni 1	Delik Düzeni 2
Delikler arası mesafe (m)	2,75	3,025
Dilim kalınlığı (m)	2,5	2,75
Delgi Boyu (m)	1	1
Bir delikten alınacak hacim (m3)	6,875	8,319 **(%20 artış)**

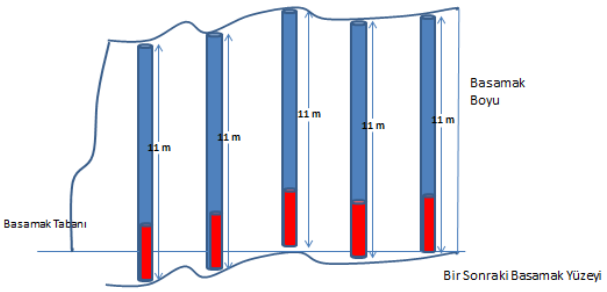
Hesaplamaları tam tersinden yapılarak, eğer sınırlı bir üretim miktarı var ise, ne kadar delikle bu malzemeyi alabileceğimizi görebiliriz (Tablo-2).

Tablo-2 Sabit Bir Miktar Malzeme İçin Delinmesi Gereken Delik Adedinin Hesaplanması

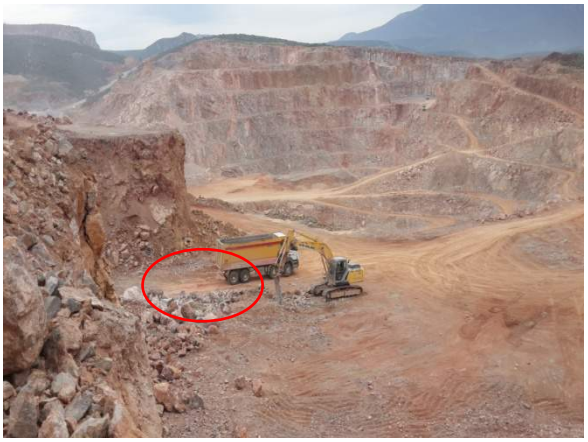
İstenilen Hacim 5,000 (m3)	Delik Düzeni 1	Delik Düzeni 2
Delinmesi gereken delik metrajı (m)	727	601
Delinmesi gereken delik adedi (12 m)	**61**	**50**

Delik düzeninin yanı sıra, delik uzunluğundan da tasarruf sağlanabilmektedir. Yine gerçek bir ölçüm cihazına bağlı olmaksızın ölçülen basamaklarda sürekli aynı metre delik delinmesi planlanmaktadır. Fakat herhangi bir çukurluk ve tümseklik dikkate alınmamaktadır. Bu sebepten her delik aynı uzunlukta delinmektedir. Fakat Resim-10'da görülebileceği gibi, delikler basamak dibine ulaşmadığı gibi, basamak tabanından fazlaca içeri girmiş de olabilir. Basamak tabanından fazlaca uzun olan delik, çok yüklü olacağından gerçek kırmayı yapamayacaktır. Çünkü patlayıcı sadece delik boyu dikkate alınarak şarj edilmektedir. Sonuç olarak topuk ve tırnak olarak adlandırılan basamak düzenini bozan ve yükleme esnasında zorluk çıkaran bir alan meydana gelecektir. Bu alanların düzeltilmesi veya patarların küçültülmesi için sonrasında Resim-11'de görüldüğü gibi hidrolik kırıcı kullanılması gerekecektir. Bu da ekstra bir maliyet olarak, birim maliyetlere eklenecektir.

İşletmede basamak boyları ölçülmediyse, belirlenen delik boyu basamak boyundan daha uzun olabilir. Bir başka deyişle, belirli bir hacimde malzemenin patlatılması için olması gerekenden daha uzun delikler deliniyor olabilir. Delikler için harcanan zaman ve sarf malzemenin boşa kullanılmasının yanı sıra şarj edilen patlayıcı malzeme miktarı da kilogram olarak artacaktır.



Resim 10. Saha Analizi Yapılmadan Aynı Boyda Delinmiş Deliklerin Basamaktaki Durumu



Resim 11. Basamak Boyu İle Örtüşmeyen Delik Boyunun Sahada Bıraktığı İzler

5. SONUÇ

Yapılan incelemede anlaşıldığı üzere verimli patlatmalar yapılabilmesi adına bunun öncesinde patlatma deliklerinin istenilen şekilde planlanması ve planın sahaya uygulanabilmesi çok önemlidir. Planlanan delik düzeninin sahaya uygulanmadığı durumları değerlendirirken, uygulandığı durumda da sağlanacak kazanımlar açıklanmaya çalışılmıştır. Açık ocak işletmelerinde vurgulanmaya çalışılan bazı maliyet kalemleri rahatlıkla hesaplanabilirken, bir takım kalemler ise

sadece kazanım olarak geri döneceği algılandığı noktalarda bırakılmıştır.

Piyasalardaki zorlu rekabet ortamı, işletmeleri maliyetlerini tek tek incelemeye sevk etmektedir. İncelemenin sonucunda daha fazla sayıda maliyet kalemi hesaplanacak hem de birim maliyet yaklaşımı önem kazanmaya başlayacaktır. Bu yaklaşımla kayıp yaratan hatalı işlemler düzeltilmeye çalışırken, hatasız görünen operasyonların da revize edilmesi yoluyla maliyetlerin düşürülmesi çalışmalarına sebep olacaktır. Gelinen noktada gelişen teknoloji ile işbirliği şart olacaktır.

Delme-patlatma operasyonunda yapılacak iyileştirmelerin tüm işletme maliyetlerine sağlayacağı avantajlar göz önüne alınmaktadır. Yazının tamamında anlatıldığı üzere Delik Kılavuz Sistemi-HNS, bilgisayar kontrollü paletli yerüstü hidrolik deliciler ile birlikte kullanılarak planlamaların kolayca yapılabilmesi ve planlanan delik düzeninin sahaya uygulanması sayesinde yüksek oranda yakıt tasarrufları sağlamanın yanı sıra, ocağın genel işletmesinde ve maliyetlerine olumlu faydalar sağlayacağı hiç şüphesizdir.

KAYNAKLAR

Bilgin, H. A., Açık Ocak Basamak Patlatmalarında Sık Görülen Hatalı Uygulamalar, Etkileri ve Giderilmesi, ODTÜ, Ankara www.maden.org.tr 02.01.2015 tarihinde alınmıştır. Makalede yayın yeri ve tarihi belirtilmemiştir.

Atlas Copco Rock Drills AB, 2014, Örebro, Sweden, Hole Quality Systems Presentations

Maden Havalandırma, Metan ve Kaya Gazı

Bir Yeraltı Kömür Ocağında 3 Boyutlu Havalandırma Analizi

3 Dimensional Ventilation Analysis for an Underground Coal Mine

S.C. Özer, A. Fişne
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

G. G. Uyar
Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendiliği Bölümü, Ankara

C. O. Aksoy
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendiliği Bölümü, İzmir

ÖZET Yeraltı kömür ocaklarında havalandırma analizi İş Sağlığı ve Güvenliği açısından oldukça önemlidir. Yeraltı ocağının hangi bölgesinden ne kadar hava geçtiğini analiz etmek, olası riskleri önceden görmek ve gerekli önlemleri alabilmek için bu tip analizlerin yapılması zorunludur. Bu bildiride, özel bir kömür ocağında yapılmış 3 boyutlu havalandırma analizi ve sonuçları tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı kömür ocağı, havalandırma, 3 boyutlu analiz

ABSTRACT Ventilation analyses is very important in terms of Ocupational Health and Safety in underground coal mines. This type of analyses have to be made to analyze how much air is passing through from a certain area of underground mine, to foresee the probable risks before and take precautions. In this paper, 3D ventilation analysis of a coal mine have been made and results are discussed.

Keywords: Underground coal mine, ventilation, 3 dimensional analysis

1 GİRİŞ

Havalandırma; yer altı madenciliğinde güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının oluşturulması amacıyla yeterli miktarda temiz havanın ocağa gönderilmesi işlemidir (Ayvazoğlu, 1986, Saltoğlu, 1983).

Bir maden ocağında havalandırma uygulaması üretim öncesi hazırlıklar sırasında başlar, ocaktaki çalışmalar sonuçlandırılana dek kesintisiz olarak sürdürülür. Havalandırma konusundaki yasal gerekleri yerine getirmek ve uygun çalışma koşullarını sağlamak için ocak planlarında değişiklik yapmak gerekebilir. Örneğin; yeterli miktarda havayı ocağa sevk edebilmek için kuyu ve galeri kesitlerinin arttırılması, diğer faaliyetler için gerekli olmadığı halde ocakta hava giriş ve dönüşünü sağlamak için ilave kuyu ve galerin açılması gündeme gelebilir. Bazı durumlarda ocak havasına karışan patlayıcı, zehirli veya boğucu gazların oranları izin verilen sınır değerlerin altına düşürülemediği için üretim çalışmaları sınırlandırılır veya tamamen durdurulabilir. Özellikle yeraltı kömür madenciliğinde büyük can ve mal kayıplarına neden olan grizu ve kömür tozu patlamalarının önlenmesi, ocak yangınlarının kontrol altına alınması ancak tekniğine uygun bir havalandırma planlaması ile mümkündür. Derin ocaklarda ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve nem sorunu da ancak ocak havalandırması ile ilgili düzenlemelerle çözülebilir (Hartman, 1982, McPherson, 1993, Skochinsky ve Komarov, 1969).

Madenciliğin dinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle çalışma koşulları ve kollardaki hava dağılımı devamlı olarak değişmektedir (Ayvazoğlu, 1986, Güyagüler, 1991). Bir maden mühendisi, yeni damarlarda üretime geçmek, var olan bir veya birkaç vantilatörü şebekeden çıkarmak, devreye yeni vantilatörler ilave etmek, yeni galerilerin sürülmesi veya bazı eski galerilerin kapatılması gibi sorunlarla karşılaşabilir. Bu durumlarda gerekli hava dağılımını sağlamak maden mühendisinin en önemli görevidir. Bu ise ancak havalandırma şebeke analiz yöntemleri uygulanarak sağlanabilmektedir (Ayvazoğlu, 1986, Saltoğlu, 1983, Hartman, 1982, McPherson, 1993, Skochinsky ve Komarov, 1969).

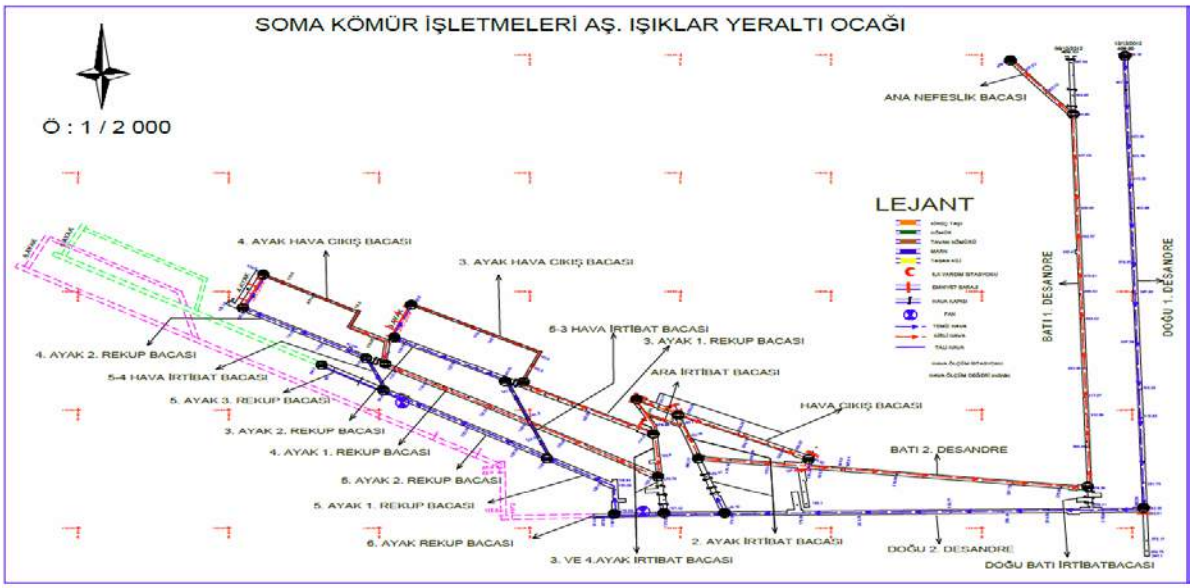
2 HAVALANDIRMA ANALİZİ

Yeraltı Kömür Ocağı havalandırma şebekesinin bilgisayar ortamında oluşturulması için Ventsim Visual havalandırma simülasyon programı kullanılmıştır.

2.1 Havalandırma Şebekesinin Bilgisayar Ortamında luşturulması

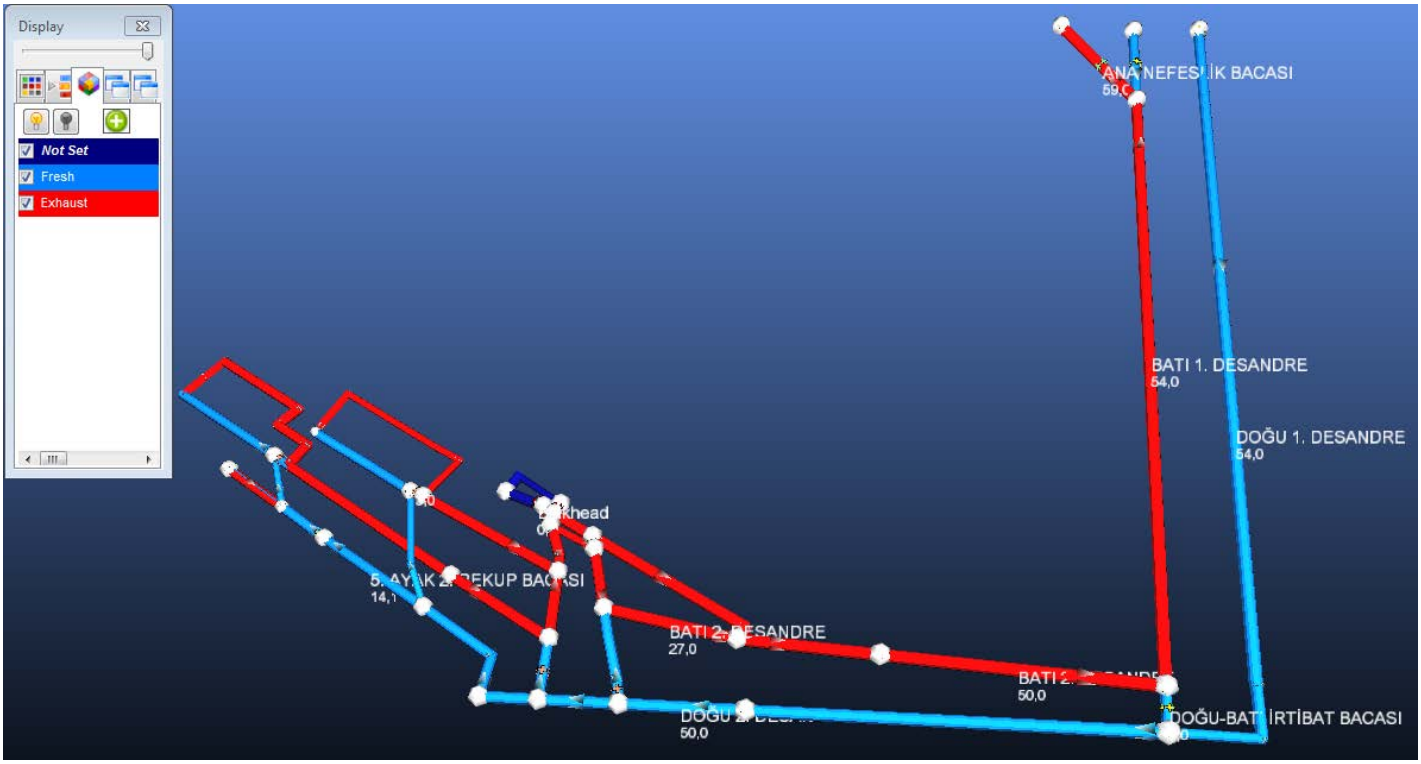
Ventsim Visual programı havalandırma şebekesinin oluşturulmasında kullanıcıya çeşitli yollar sunmaktadır. Kullanıcı ocak havalandırma şebekesini manuel olarak çizebilir. Bu yöntemde ocak şebekesini ölçekli ve üç boyutlu olarak çizmek zordur. Küçük ve karmaşık olmayan havalandırma şebekeleri bu yöntemle oluşturulabilir. İkinci yöntem ocak yollarındaki kavşak noktalarının koordinatlarını kullanarak şebekeyi ölçekli bir şekilde oluşturmaktır. Söz konusu koordinatları "text dosyası" olarak programa tanıtmak da bir diğer yoldur. Diğer bir yöntem ise madencilik yazılımlarından veya çizim programlarından üç boyutlu ocak planlarının Ventsim Visual programına aktarılması ile ocak şebekesinin oluşturulmasıdır. Bu yöntem doğal olarak söz konusu programların işletme tarafından kullanılması durumunda uygulanma şansına sahiptir. "Autocad ve Netcad" gibi çizim programlarından yararlanılması ise ocak planlarının bu programlarda üç boyutlu olarak çizilmesine bağlıdır. İki boyutlu çizimlerden faydalanma şansı yoktur (Ventsim, 2011).

Söz konusu ocağın havalandırma şebekesinin Ventsim Visual programında oluşturulmasında işletmenin hazırlamış olduğu ve Şekil 1'de verilen planıdan yararlanılmıştır.



Şekil 1. Yeraltı Ocağı İşletme Planı

Ocak havalandırma şebekesi, plandan kavşak noktaları koordinatlarının okunması ve manuel olarak programa girilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan havalandırma şebekesinin görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Yeraltı Ocağı havalandırma şebekesinin Ventsim Visual programında oluşturulması

2.1.1. Ocak yollarının dirençlerinin belirlenmesi

Havalandırma şebeke analizinin güvenirliği büyük ölçüde hava yollarının dirençlerinin hassas olarak belirlenmesine bağlıdır.

Hava yolunun direncini hesaplamada kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir (Hartman, 1982, McPherson, 1993).

$$R = k.\frac{(L + L_e).P}{A^3} \qquad (1)$$

Burada,

R : Havalandırma sürtünme direnci ($N.sn^2/m^8$, Gaul)

k : Sürtünme katsayısı (kg/m^3)

L : Galeri uzunluğu (m)

L_e : Eşdeğer uzunluk (m)

P : Galeri kesit çevresi (m)

A : Galeri kesit alanı (m^2)

Direnç hesaplamalarında koşullara uygun ve doğru sürtünme katsayısının seçilmesi havalandırma hesaplamaları açısından çok önemlidir. Bir yolun direnci, sadece havanın galeri duvarları ile sürtünmesinden dolayı oluşan sürtünme direncinden ibaret değildir. Kıvrımlar, kesit alanının daralıp genişlemesi, regülatörler, yol içinde vagon veya posta yığını bulunması, kuyu içindeki kafesler, vb. ani basınç kaybına neden olan, diğer bir deyişle hava akımına direnç gösteren ve sürtünme direncine eklenmesi gereken direnç kaynaklarıdır. Bu tür dirençlerin formüle ilave edilmesi ile gerçek direnç değerleri elde edilebilir. Eşitlikteki "Le" eşdeğer uzunluk terimi bu tür dirençleri tanımlamak için kullanılmaktadır (Hartman, 1982, McPherson, 1993).

İşletmede 22,7 m^2 ve 9 m^2 kesitte iki farklı galeri türü kullanılmaktadır. Bu galerilerden 22,7 m^2 kesitli olanı 7m taban genişliğine ve 4,1 m yüksekliğe sahip olup, tahkimat malzemesi olarak hasır tel ve bağlantı olarak NPU profil kullanılmaktadır. Kesiti 9 m^2 olan galerilerin taban genişliği 4 m, yüksekliği 3 m olup, kullanılan tahkimat malzemesi aynıdır. İşletme tarafından sağlanan bu bilgilere istinaden Havalandırma Direnci Eşitliğindeki sürtünme katsayısı 22,7 m^2 kesitli galeriler için 0,012 kg/m^3, 9 m^2 kesitli galeriler için 0,016 kg/m^3 olarak seçilmiştir (McPherson, 1993). Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hava yollarının sürtünme dirençleri.

HAVA ÖLÇÜM İSTASYONU	AÇIKLAMA	SÜRTÜNME KATSAYISI k (kg/m^3)	GALERİ UZUNLUĞU L (m)	EŞDEĞER UZUNLUK L_e (m)	GALERİ ÇEVRESİ P (m)	KESİT ALANI A (m^2)	GALERİ DİRENCİ R ($N.sn^2/m^8$)
1	DOĞU 1. DESANDRE	0,012	795,4	26	16,7	20,1	0,0203
2	ANA NEFESLİK BACASI	0,012	129,5	0	16,8	20,5	0,0030
3	BATI 1. DESANDRE	0,012	651,4	18,6	16,8	20,5	0,0157
4	BATI 1. DESANDRE GİRİŞ	0,012	101,8	0	16,6	20	0,0025
5	BATI 2. DESANDRE	0,012	393,7	21,1	17,7	22,5	0,0077
6	DOĞU 2. DESANDRE	0,012	495,7	1	17,7	22,5	0,0093
7	2. AYAK İRTİBAT BACASI (TEMİZ)	0,012	101,6	3	17,7	22,5	0,0020
8	5. AYAK 1. REKUP BACASI	0,012	217,7	25	17,7	22,5	0,0045
9	DOĞU 2. DESANDRE 2	0,012	83,9	45	17,7	22,5	0,0024
10	DOĞU BATI İRTİBAT BACASI	0,012	40	0	15,1	16,4	0,0016
11	3. VE 4. AYAK İRTİBAT BACASI	0,012	65	0	17,7	22,5	0,0012
12	5. AYAK 2. REKUP BACASI	0,012	168,2	0	17,7	22,5	0,0031
13	5-3 HAVA İRTİBAT BACASI	0,016	145,6	8	11,4	9,3	0,0348
14	4. AYAK 1. VE 2. REKUP ARASI	0,012	18,2	0	17,7	22,5	0,0003
15	4.AYAK HAVA ÇIKIŞ BACASI	0,012	263,9	100	17,7	22,5	0,0068
16	3.AYAK HAVA ÇIKIŞI	0,012	201,3	29	17,7	22,5	0,0043
17	2.AYAK İRTİBAT BACASI	0,012	67,5	18,9	17,7	22,5	0,0016
18	HAVA ÇIKIŞ BACASI	0,012	207	56,2	17,7	22,5	0,0049
19	BATI 2. DESANDRE	0,012	139,8	22,3	17,7	22,5	0,0030

2.1.2. Hava dağılımın analizi

Yeraltı Ocağı'na temiz hava Doğu 1. Desandresinden girmektedir. Kirli hava ise Batı 2. Desandresinden geçerek ana nefeslik bacasından yeryüzüne ulaşmaktadır. Söz konusu plana göre ocağa 3273 m^3/dk (54,6 m^3/sn) temiz hava Doğu 1. Desandresinden girmektedir. Ayrıca Batı 1. Desandre girişinden 277 m^3/dk temiz hava da Ana Nefeslik Bacasından kısa devre yaparak emilmektedir. Bu durumda Ana Nefeslik Bacasına yerleştirilen vantilatör toplam 3498 m^3/dk hava emmektedir.

Doğu 1. desandresinden giren 3273 m^3/dk temiz havanın 185 m^3/dk'sı doğu-batı irtibat bacası'ndan, 713 m^3/dk'sı 2. ayak irtibat bacası'ndan ve 792 m^3/dk'lık kısmı ise 3. ve 4. ayak irtibat bacası'ndan geçerek batı 2. desandresine ulaşmakta, batı 1. desandresini takip ederek ana nefeslik bacasından ocağı terk etmektedir.

3. ve 4. mekanize ayaklar ile 5. mekanize ayağın hazırlık bacasının bulunduğu ocak kesimlerine temiz hava 5. ayak 1. rekup bacasından sağlanmaktadır. Söz konusu ocak kesimlerine gönderilen temiz hava miktarı yapılan ölçümlerle ortalama 1373 m^3/dk olarak belirlenmiştir. Bu havanın yaklaşık olarak %40'ı 3. mekanize ayakta, %60'ı da 4. mekanize ayak ve 5. mekanize ayağın hazırlık bacasında kullanılmaktadır.

4. mekanize ayağa 5. ayak 2. rekup bacasından giden temiz havanın bir kısmı tali vantilatör ve vantüp vasıtası ile 5. ayak 3. rekup bacasının havalandırılmasında kullanılmaktadır. Söz konusu bacadan dönen hava, 5. ayak 2. rekup bacasından gelen temiz hava ile birleşerek 5-4. hava irtibat bacası ve 4. ayak 2. rekup bacasından 4. ayağa ulaşmaktadır. 4. ayağa ulaştırılmak üzere 5-4. irtibat bacasından gelen havanın 276 m^3/dk'lık kısmı 4. ayak 1. ve 2. rekup

arasında bulunan galeriden kaçak olarak 4 ayak 1. rekup bacasına ulaşmaktadır.

5-3 hava irtibat bacasından 3. Mekanize ayağa gönderilen 594 m^3/dk hava ayağı dolaşarak 3. Ayak 1. Rekup bacasına ulaşmaktadır. Bu havanın bir kısmı 3. ayak 1. ve 2. rekup arasında bulunan galeriden 3. ayak 1. rekup bacasına kaçırılmaktadır.

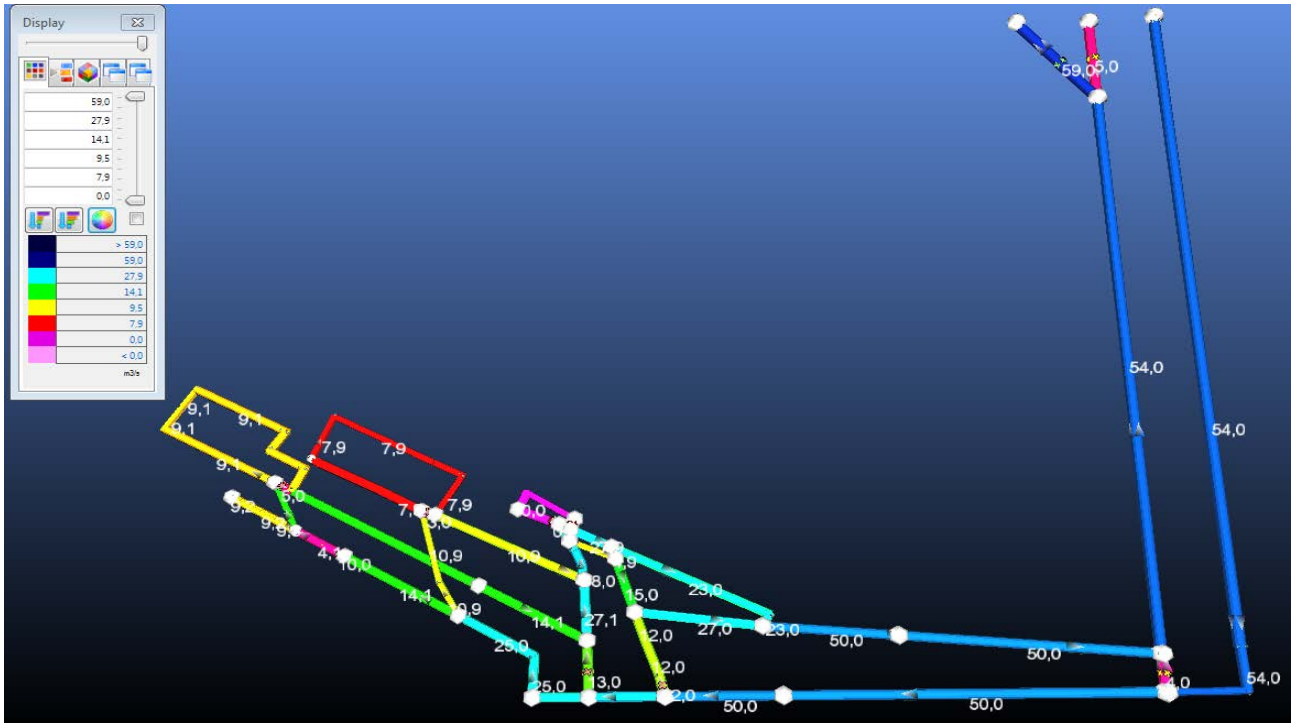
Ocak hava planındaki hava dağılımının elde edilebilmesi için ocak içerisindeki ayarlı hava kapılarının özellikleri Ventsim programında yapılan simülasyonun analizi sonucu belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Kabullere dayanarak Ventsim programında simülasyon yapılmış ve elde edilen hava dağılımı Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'te de görüldüğü gibi doğu 1. desandresinden giren 54 m3/sn havanın 4 m3/sn'si doğu-batı irtibat bacasından, 12 m3/sn'si 2. ayak irtibat bacasından ve 13 m3/sn'lik kısmı ise 3. ve 4. ayak irtibat bacasından geçerek batı 2. desandreye ulaşıp buradan ocağı terk etmektedir.

Tablo 2. Ocak havalandırma şebekesindeki ayarlı hava kapıları ve özellikleri

AÇIKLAMA	AYARLI HAVA KAPISI	
	DİRENCİ ($N.sn^2/m^8$)	KESİTİ (m^2)
BATI 1. DESANDRE GİRİŞ	7,07447	0,50
DOĞU-BATI İRTİBAT BACASI	3,90975	0,60
2. AYAK İRTİBAT BACASI (TEMİZ)	0,12929	3,40
3. ve 4. AYAK İRTİBAT BACASI	0,06004	4,90
4. AYAK 1. VE 2. REKUP ARASI	0,11901	3,60
3. AYAK 1. VE 2. REKUP ARASI	0,45213	1,90

Ocağa giren toplam hava miktarının yarısından fazlası, hazırlığı yapılan 5. ayağa veya üretimin yapıldığı 3. ve 4. ayaklara uğramadan ocağı terk etmektedir. Ocağa giren toplam 54 m^3/sn'lik havanın sadece 25 m^3/sn'lik kısmı hazırlığı yapılan 5. ayağa veya üretimin yapıldığı 3. ve 4. ayaklara ulaştırılmaktadır. Bu durumda 3 numaralı ayağa 7,9 m^3/sn, 4 numaralı ayağa 9,1 m^3/sn ve 5 numaralı ayağın hazırlık galerisine ise 9,2 m^3/sn hava ulaşmaktadır.



Şekil 3. Yeraltı Ocağı Havalandırma Simülasyon Sonuçları

3 SONUÇ

Havalandırma şebekelerinin bilgisayar programları ile analizinde bilgisayarda oluşturulan havalandırma şebekesinin ocağı yeterince temsil edip etmediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu işlem yapılmadan havalandırma şebeke analizinde kullanılan programlar ile geleceğe dönük planlama çalışmaları veya şebeke içinde yeni düzenlemelerin yapılması sırasında hatalı sonuçlar elde edilebilir. Programda oluşturulan havalandırma şebekesinin gerçeği ne oranda yansıttığı korelasyon çalışması ile belirlenmektedir. Korelasyon her bir ocak yolundan geçen ölçülmüş hava miktarı ile program tarafından tahmin edilen hava miktarlarının mutlak farkının, ölçülen toplam hava miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Daha anlaşılır olması için aşağıdaki eşitlik verilmiştir.

K= Σ(Mutlak Fark)/Σ(Ölç. Top. Hava Miktarı)*100

% 10’ dan küçük bir korelasyon kabul edilebilir. Bu, programda oluşturulan ocak şebekesinin gerçeği yeterince temsil ettiğini göstermektedir. Söz konusu program ile ocağın havalandırması planlanabilir, şebeke içinde olabilecek değişikliklerin tüm şebekeye etkisi güvenilir bir şekilde analiz edilebilir.

Soma Kömür İşletmeleri A.Ş. Işıklar Yeraltı Ocağında hava yollarında şirket personelleri tarafından yapılan havalandırma ölçümlerinin sonuçları Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 5’ te verilen Ventsim programında gerçekleştirilen simülasyondan elde edilen sonuçlar ile şirket tarafından yapılan havalandırma ölçümlerinin sonuçları korelasyon çalışması için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir. Korelasyon degeri % 5,4 olarak hesaplanmıştır. % 10’dan küçük olan bu değer, Ventsim programında oluşturulan ocak havalandırma şebekesinin gerçeği yeterince yansıttığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Ayvazoğlu, E. 1986. Madenlerde Havalandırma ve Emniyet . İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

Güyagüler, T. 1991. Ocak Havalandırması, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Hartman, H. L., Mutmansky, J. M. and Wang, Y. J. 1982. Mine ventilation and air conditioning, John Wiley & Sons, New York.

McPherson, M. J. 1993. Subsurface ventilation and environmental engineering, Chapman & Hall, Inc., London.

Saltoğlu, S., (1983), “Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri”, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.

Skochinsky, A. and Komarov, V., (1969), “Mine Ventilation”, MIR Publishers, Moscow.

Ventsim Visual User Guide, 2011, Ventsim Software, Aitkenvale Qld, Australia.

Bir Yeraltı Kömür Ocağında Ocak Havası Sıcaklığının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi

Studying of The Temperature of Mine Air in an Underground Coal Mine in terms of Occupational Health and Safety

M. Altun, A. Hadi Özdeniz
Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü , Konya

ÖZET Yeraltı maden ocaklarının havalandırılmasındaki amaç; çalışanların güvenli ve rahat bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır. Sağlıklı bir çalışma ortamı sunabilmek için, ocak atmosferi parametrelerinden olan sıcaklık, nem vs.değerlerin, belirli sınırlar içinde tutulması gerekmektedir. Bu şartların sağlanamadığı durumlarda, genellikle çalışanların rahatsızlandığı, çalışma verimlerinin düştüğü, meslek hastalıklarına yol açtığı ve ayrıca iş kazalarının arttığı da gözlenmektedir. Bu nedenlerle, ocak havasının en önemli parametresi olan hava sıcaklığının etkin bir şekilde kontrolü gerekmektedir. Bu çalışmada, Ermenek bölgesinde bulunan bir yeraltı kömür ocağında, 2013 yılı, temmuz, ağustos, eylül, ekim ayları boyunca ocak içi hava sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Çalışma süresince ocak havasının en sıcak yerlerinden biri ve çalışanların en fazla bulundukları ortam olan ayaklarda, her saatte bir sıcaklık değerleri alınmıştır. Ayrıca her vardiya başı ve sonunda ocağa giren temiz havanın ve terk eden pis havanın sıcaklık değerleri de ölçülmüştür. Ayak içinde sıcaklıkların tehlike oluşturacak seviyeye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Madenlerde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine göre bu değerlerin sağlığa zararlı seviyeye yükselmemesi için gerekli tedbirlerin alınması gerektiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ocak atmosferi, ocak içi havası sıcaklıkları, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT The purpose of ventilation of underground mines is to provide a safe and comfortable working environment for people working there. In order to sustain a healty working environment, temperature, humidity and some other conditions which are parameters of mine atmosphere must be between certain intervals. When these conditions are not fullfiled, it is observed that employees get sick, their working performance decreases, occupational health problems occur and work accidents increase. Due to these reasons, air temperature the most important factor of mine air parameters must be controlled effectively. In this study, in a longwall which is in an underground coal mine located Ermenek area, air temperature was taken for months of july-august-sebtember-november in 2013. During the study, temperature of the longwall were recorded every hour. Besides, temperature of clean air flowing into the mine and temperature of exhausted air leaving the mine were measured at the beginning and end of every shift. It is observed that temperature values in the longwall increases at a level which is dangerous. According to health and safety regulations in mines, necessary precautions must be taken not to increase these values to a dangerous level for health.

Keywords: Mine atmosphere, temperatures of mine air, occupational health and safety

1 GİRİŞ

İnsan, içinde bulunduğu ortamın koşullarından doğrudan etkilenir. Özellikle kapalı ortamlarda ve ağır işlerde etkileşim daha yoğun olacağından, normal değerlerin üstündeki hava sıcaklığı ve nem gibi parametreler, insan sağlığını ve çalışma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu ortamlar, sıcaklık ve nem açısından ele alındığında, yeraltı maden ocakları en ön sıralarda yer almaktadır. Yeraltı kömür ocaklarında, kömür oksijenle bir araya gelerek ekzotermik (ısıveren) bir reaksiyon oluşturmaktadır. Bu reaksiyon sonucu ortamda, zehirli, yanıcı ve patlayıcı gazların miktarlarında artış olmaktadır. Ayrıca dışarıya ısı vermesi sebebiyle, ortam sıcaklık seviyesinin tehlikeli boyutlara ulaşmasına yol açmaktadır.

Yeraltı maden ocaklarında uygun hava koşulları sağlanmadığında, çalışan işçilerin sık aralıklarla hastalanması kaçınılmaz bir olay olmakla birlikte, çalışma verimlerinde de önemli düşüşler görülecektir. Ayrıca yeraltı ocaklarındaki olumsuz sıcaklık değerleri iş kazalarına ve meslek hastalıklarına doğrudan veya dolaylı olarak sebep olacaktır. Dolayısıyla, yeraltı ocaklarında, işçilerin sağlıklı çalışabilmeleri ve yeraltı iklim koşullarından meydana gelecek olumsuz sonuçları engellemek için, çalışma ortamının sıcaklık değerlerinin uygun aralıklarda olması gerekmektedir.

Ocak içi sıcaklıklarını izlemek iş sağlığı ve güvenliği kurallarının temel şartlarındandır. Ülkemizde yürürlükte olan 19.09.2013 tarihli ve 28770 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği yönetmeliğinde geçen "Ocağın çeşitli kısımlarında, sıcaklık ve nem oranı düzenli olarak ölçülür. Nem oranı göz önünde bulundurularak hava sıcaklığının sağlığa zararlı düzeye yükselmemesi için gerekli tedbirler alınır." ibaresine göre, ocak içi atmosfer parametrelerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi zorunludur (İş Sağlığı Güvenliği Yönetmeliği).

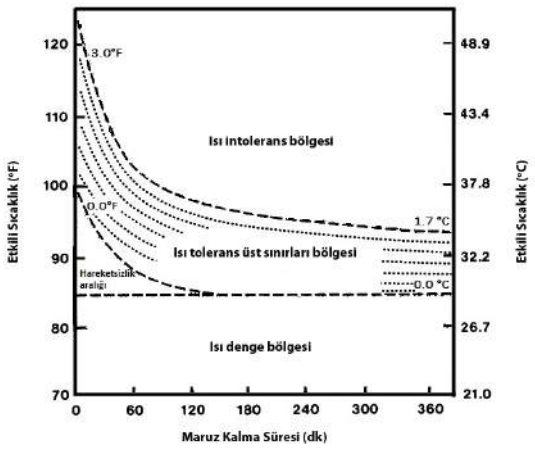
Bu çalışmada, Ermenek bölgesinde bulunan bir yeraltı kömür ocağında, ocak içi hava sıcaklıkları ölçümleri yapılmıştır. Çalışma süresince ocak havasının en sıcak yerlerinden biri olan ayaklarda, her saatte bir sıcaklık değerleri alınmıştır. Ayrıca belirli aralıklarla ocağı terk eden kirli havanın sıcaklık değerleri de her vardiyanın başında ve sonunda ölçülmüştür. Ayak içindeki sıcaklıkların tehlike oluşturacak seviyelere kadar yükseldiği görülmüştür. Elde edilen sıcaklık değerleri kullanılarak sıcaklık ve zaman grafikleri elde edilmiş ve bu grafiklerdeki değerlerin madenlerde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

2 OCAK İKLİMİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ortam sıcaklığı veya oda sıcaklığı, söz konusu edilen nesneyi çevreleyen sıcaklıktır. Bu sıcaklık, ortamı çevreleyen koşullara göre değişiklik gösterir. Örneğin ortam veya çevresinde ısı kaynakları (güneş, endüstri fırınları, kömürün kendiliğinden yanması, kalorifer vb.) varsa, bu kaynaklardan açığa çıkan ısı enerjisi, ortam sıcaklığında belirli bir miktar artış meydana getirmektedir. Eğer bu artış, yaşam koşulları için normal değerlerin üzerine çıkarsa, ortamda bulunan insanların sağlığını tehdit eden bir etken olacaktır.

Ortamdaki sıcaklık ve nem miktarı göz önüne alınıp incelendiğinde, bu faktörlerin ortamda bulunan insanların vücutlarında bazı değişikliklere sebep olduğu gözlenecektir. Çevre sıcaklığı ve insan ısı dengesi arasındaki ilişkiye göre, 35°C üzerindeki yaşam alanları veya 32°C üzerindeki çalışma alanları sıcak alan olarak ve % 60 üzerindeki bağıl neme sahip alanlar nemli alanlar olarak adlandırılırlar (Zhao, Zhu, Lu, 2009).

Şekil 1'de, ısı intolerans bölgesi, psikolojik başarısızlık yüzünden performansın tamamen durduğu bölgeyi tanımlamaktadır. Isı denge bölgesi, vücut iç ısısını etkilemeyecek ve performans verimliliğini azaltmayacak çevre koşullarının üst sınırını tanımlamaktadır. İki bölge arasında kalan bölge ise ısı tolerans üst sınırları bölgesidir ki, bu bölgede vücut iç ısısı artmaktadır (Hancock, Vercruyssen, 1988).



Şekil 1. Sıcaklık ve sıcaklığa dayanabilme süreleri (Hancock, Vercruyssen, 1988)

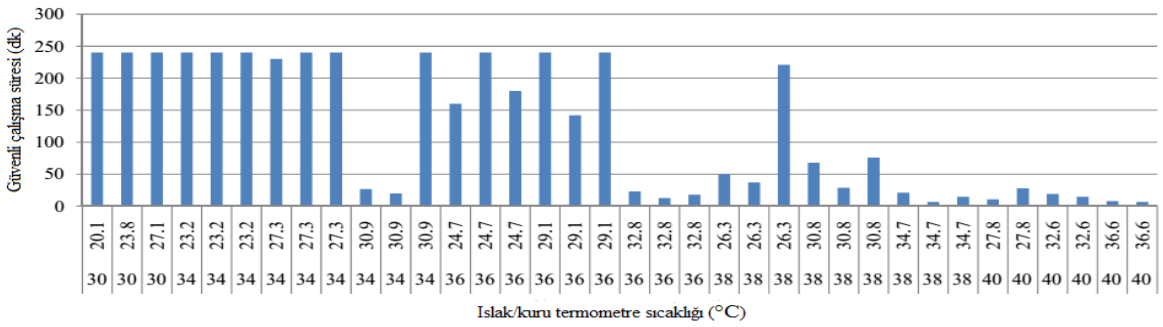
Şekil 1'den anlaşılabilceği üzere, 21°C sıcaklık ile 30 °C sıcaklık arasındaki bölgede (ısı denge bölgesi) insan vücudunda herhangi bir sıcaklık değişikliğine rastlanmazken, ısı tolerans üst sınırları bölgesinde, sıcaklığa maruz kalınan süre ile sıcaklığın şiddetine bağlı olarak, insan vücudunun iç sıcaklığında artış gözlenmektedir. Sıcaklık artış eğrileri ile belirtilen bu sıcaklık vücut iç ısısını 1,7 °C'ye kadar artırmaktadır. Isı intolerans bölgesi ise vücudun dayanamayacağı yani sağlığını devam ettiremeyeceği bölgeyi tanımlamaktadır.

Sıcak ve nemli ortamlarda çalışma, vücut sıcaklığı, kalp atışları ve terlemenin artışıyla sonuçlanır. Kalp, akciğer ve diğer hayati organlardaki ısıyı, kan aracılığı ile deriye taşımak için, kalp atışları artar (Wang, Kuklane, Gao, Holmer, 2011). Kanın ve vücudun sıcaklığını azaltmak için vucütta vücutta terleme artar. Eğer fazla ısı vücuttan uzaklaştırılamazsa, ısı vücutta birikir ve vücut ısısı gittikçe artar (Nielsen, Savard, Richter, Hargreaves, Saltin, 1990). Herhangi bir kaynaktan elde edilen ısı vücudun terleme ile başedebileceği ısıdan fazla ise, insanlar ısı ile ilişkili olarak isilik, ısı krampları, ısı çarpması ve yorgunluğu gibi çeşitli rahatsızlıklardan dolayı büyük risk altında olmaktadır (Inaba, Mirbod, 2007; Piver, Ando, Ye, Portier, 1999). İnsanın aşırı derecede ısıya maruz kalması ciddi sağlık sorunlarını meydana getirmektedir. Uzun süreli sıcak çalışma ortamlarında bulunmak yorgunluk, su kaybı, deride döküntü, kramp, şuur kaybı ve ısı inmesi gibi, ısı kaynaklı rahatsızlıklara yol açmaktadır. Ayrıca aşırı ısıya maruz kalmanın sonucu olarak, semptomatik bitkinlik, klinik hastalıklar ve özellikle böbrek taşı meydana gelmektedir (Fakheri, Goldfarb, 2011).

Yüksek sıcaklık ve nem insanı olumsuz yönde etkilendiğinden, bu durum insanın performansına yansıyacak ve özellikle insan odaklı işlerde performans verimliliğinin düşmesine yol açacak ve güvenli çalışma zamanını kısıtlayacaktır. Şekil 2 sıcaklık ve nem faktörünün, güvenli çalışma süresini nasıl etkilediğini göstermektedir. Kuru termometre sıcaklığı 30°C ve yaş termometre sıcaklığı 20,1°C olduğunda, güvenli çalışma süresi 200 dakikanın üzerinde iken, kuru termometre sıcaklığı 36°C ve yaş termometre sıcaklığı 32,8°C olduğunda bu sürenin 30 dakikadan daha az olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, sıcaklık ve nemin insan çalışma performansını, önemli ölçüde düşürdüğü açıkca görülmektedir.

3 YERALTI OCAKLARINDA İKLİM KOŞULLARI

Yeraltı ocak iklim koşulları, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir yer tutmaktadır. Ocak iklim koşulları denilincede, ilk akla gelen ocak havası ve bu havanın sıcaklığı ve içerdiği nem miktarıdır.



Şekil 2. Sıcak ve nemli ortamdaki ağır işlerde güvenli çalışma süresi (Liang et al., 2011)

Çünkü sıcak ve nemli ortamlar, öncelikle insan ve dolaylı olarak iş verimliliğini büyük ölçüde etkilediğinden, bu faktörlerin belli sınırlar dâhilinde tutulması büyük önem arz etmektedir. Bunu sağlamanın yolu ise, yeraltı ocaklarında havalandırma işlemini en uygun şekilde yapmaktan geçmektedir. Havalandırma işlemi için yerüstünden belirli sıcaklık ve nem içeren hava, ocak içerisine gönderilmektedir. Ocak içerisine gönderilen hava, ocak içerisinde dolaşırken belirli değişikliklere uğramaktadır. Özellikle yeraltı kömür ocaklarında havanın geçmiş olduğu yollarda (ana galeri, damar içi yollar ve ayaklar vb.) hava ısınır ve ortamdaki gazların bir miktarını yapısına almaktadır. Bu kirli hava dönüş yollarından ocağı terk etmektedir. Böylece ocak içerisinde bulunan sıcaklık değeri yüksek hava, zararlı gaz ve tozlar, havalandırma sayesinde ocaktan uzaklaştırılmaktadır.

Ocak iklimini etkileyen faktörler çok çeşitlidir. Havalandırma amacı ile ocağa gönderilen hava, ocağın derin bölgelerine ulaştıkça sıkışma ve jeotermik gradyandan dolayı ısınır, ocağı terk ederken hava genleştiği için soğur ve ortam sıcaklığını etkiler.

Yeraltında bulunan su, buharlaşma ve yoğunlaşmadan dolayı ortamdan ısı alır ve ortama ısı verir. Bu olay ocak atmosferi üzerinde değişikliklere sebep olmaktadır.

Bunlara ek olarak, yeraltında kullanılan makinaların motorlarından kaynaklanan ısı (elektrik motorları vs.), nakledilen cevherin ısısı ve ocakta çalışanların sayısı ocak iklimini etkileyen faktörlerdendir.

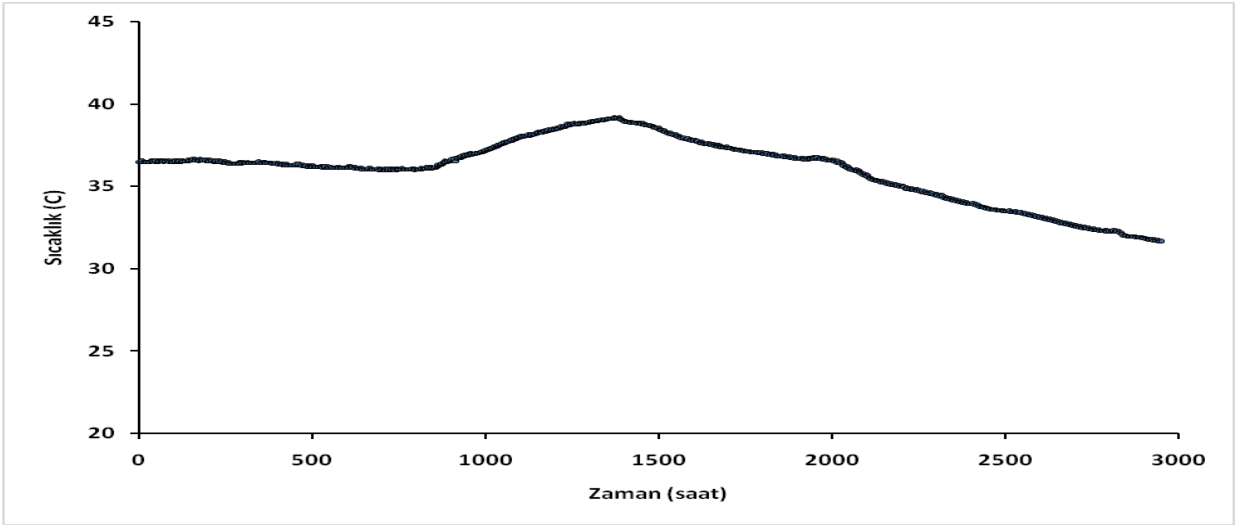
4 DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Bu çalışma, Ermenek/Tepebaşı yöresinde çalışmakta olan özel sektöre ait bir yeraltı ocağında yapılmıştır. Bu işletmede kısa ayak üretim yöntemi uygulanmaktadır (Arslansan, 1996). Damar derinliği yaklaşık 350 m olup, damar eğimleri 25-45° ve genellikle damar kalınlıkları 1,5-4 m arasında değişmektedir. Ocağın düzensiz damar kalınlıklarının yanısıra damarın çok ondülasyonlu olması, üretim sırasında yüksek oranda kömür kayıplarının göçük içerisinde kalmasına neden olmaktadır. Ayrıca üretim yapılan kömür panosunun tavanının göçmeye uygun özellikte olması ve bol miktarda kırık ve çatlaklar içermesi nedeniyle yer yüzeyiyle ilişkisi vardır. Bu durum kendiliğinden yanmaya çok uygun zemin hazırlamaktadır.

4.1 Verilerin Değerlendirilmesi

Yeraltı kömür işletmesinde çalışanların yoğun olarak bulunduğu yerlerin başında gelen üretim panosundaki bir ayakta, ocak içi sıcaklıkların tespitine yönelik olarak, uygun bir yere ortam sıcaklıkları algılayacak olan bir sıcaklık sensörü (Pt100) yerleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri her saat başında otomatik olarak ölçülmüştür. Bu ölçülen değerler, bir datalogger kullanılarak otomatik olarak kayıt altına alınmıştır. Belirli zaman aralıklarında dataloggerdaki bilgiler bilgisayara aktarılmıştır.

2013 yılı temmuz-ağustos-eylül-ekim ayları boyunca, düzenli aralıklarla ocaktaki ayak içerisinde yapılan ölçümlerden elde edilen sıcaklık değerleri kullanılarak Şekil 3.'teki grafik elde edilmiştir.



Şekil 3. Ocak içinde ölçülen sıcaklık değerleri

Aynı zamanda çalışma zamanı boyunca, ocağa giren temiz hava (T2) ve ocaktan çıkan kirli havanın (T3) sıcaklıkları da ölçülmüştür. Bu hava sıcaklık ölçümleri her gün saat 16:30 da gerçekleştirilmiştir. Bölgede en sıcak aylar olan temmuz-ağustos-eylül-ekim aylarına ait, T2 ve T3 sıcaklık değerleri grafiksel olarak Şekil 4'te sunulmuştur. Ocağa giren temiz hava, ocağı terk ederken ocakta bulunan gaz ve tozları bünyesine aldığından kirli hava olarak ocağı terk etmektedir. Bazı etkenler sebebiyle ocak havasının sıcaklığı artmaktadır. Ocaklardaki sıcaklık artışının sebeplerinden bazıları şunlardır; kuyular, kayaçlar, yeraltı suları, makinalar, insan metabolizması, patlatma ve oksidasyon. Ocaktaki ısı artışına en fazla katkı sağlayan olay ise oksidasyon olaylarıdır. Bu olaylar yaklaşık %80 oranında ocak ısısının artmasına katkı sağlamaktadır (Yalçın, 2012; Yalçın, Gürgen, 2006). Şekil 4'te görüldüğü üzere temiz hava ile kirli hava arasında ortalama olarak 3-4 °C civarı sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen sebepler bu sıcaklık farkını açıklamaktadır.

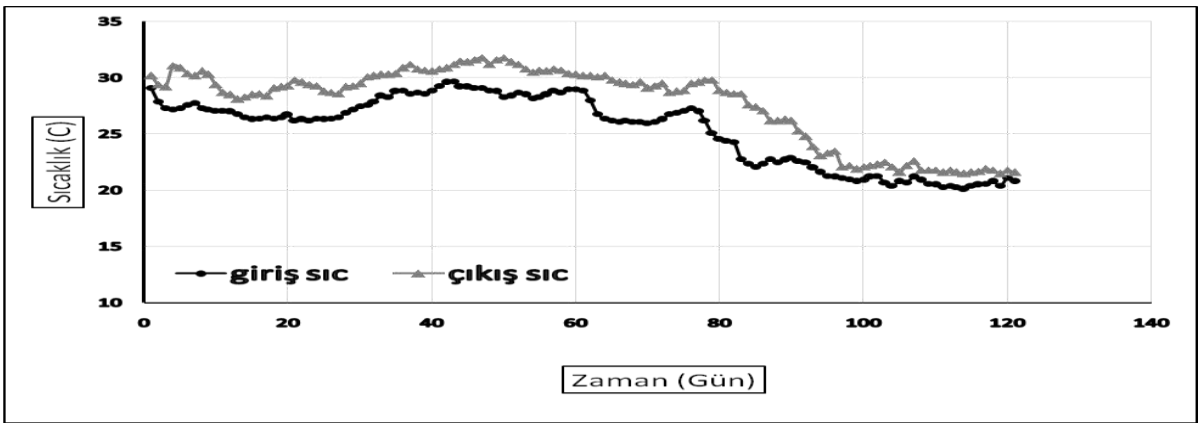
Deneysel çalışmaların yapıldığı yeraltı kömür ocağının kısa kömür analizi Çizelge 1.' de verilmektedir.

Şekil 1 ve 3 detaylı olarak incelendiğinde çalışanların yoğun olarak bulunduğu yerlerden olan üretim panolarında, ortam sıcaklıklarının yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Ölçümlerin ilk olarak alınmaya başladığı saatlerde, sıcaklık seviyeleri yaklaşık 36 °C civarında olup 120 dakikadan fazla çalışma süreleri için sıcaklık değeri ısı intolerans bölgesindedir (vücudun dayanamayacağı sıcaklıklar bölgesi). 912 saat (38 gün) boyunca çok az bir düşüş göstermiştir. Bu zamandan sonra ortam sıcaklığı yavaş yavaş artma eğilimine girmiştir. 1400'üncü saatlerde (60. gün) yaklaşık olarak 38 °C'ye çıkmıştır. Yani 90 dakikadan fazla çalışma süreleri için yine sıcaklık değerleri ısı intolerans bölgesinde yer almıştır. 1450'inci saatlerden itibaren ölçümlerin sonlandırıldığı zamana kadar yavaş yavaş düşerek 32 °C'de çalışma sonlandırılmıştır. Bu sıcaklık değerleri ise ısı tolerans üst sınırları bölgesinde yer almakla beraber, vücut iç ısısının belli oranlarda artmasına neden olacaktır.

Geçen 4 aylık zaman süresince ocaktan alınan ocak içi sıcaklık verileri incelendiğinde, ocak içi sıcaklık değerlerinin çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkileyecek aralıklarda olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Ocağa ait kömür analizi

Kalorifik değer (kcal/kg)	4.590
Kükürt (%)	2,9
Uçucu madde (%)	37,71
Kül (%)	18,26
Nem (%)	14,45



Şekil 4.Ocağa giren ve çıkan havanın sıcaklık değerleri

5 SONUÇLAR

Bir yeraltı kömür işletmesinin kömür üretim panosundaki bir ayakta ortam sıcaklığının tespitine yönelik olarak çalışmalar yapılmıştır. Üretim yapılan bir ayağa, ocak hava sıcaklıklarını saatte bir algılayacak olan bir sıcaklık sensörü ve verilerin depolandığı bir datalogger sistemi yerleştirilerek kayıt altına alınmıştır.

Ölçümlerin başlangıç sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 35 °C olmuştur. Devamlı bir şekilde sıcaklık değerleri yükselerek 39 °C'lere çıkmıştır. Çalışmanın sona erdirildiği saatlerde ayak sıcaklıkları 32 °C'lere düştüğü görülmektedir.

Ayrıca yeraltına giren temiz havanın ve ocak içerisinde kirlenerek ocağı terk eden pis havanın sıcaklık değerleri alınmıştır. Bu değerler incelendiğinde bazı etkenler nedeniyle, ocağı terk eden hava sıcaklık değerinde belirli miktarlarda artışların olduğu görülmektedir. Bu artışların 4-5 °C'ler civarında olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının 19.09.2013 tarihli ve 28770 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği yönetmeliğinde yer alan "Ocağın çeşitli kısımlarında, sıcaklık ve nem oranı düzenli olarak ölçülür. Nem oranı göz önünde bulundurularak hava sıcaklığının sağlığa zararlı düzeye yükselmemesi için gerekli tedbirler alınır(İş Sağlığı Güvenliği Yönetmeliği)." bu ibareye göre hava sıcaklığının sağlığa zararlı dereceye yükselmemesinin sağlanması gerekmektedir. Ocakta yapılan çalışmada, çalışma süresinin büyük bir bölümünü kapsayan zaman zarfında, ocak içi sıcaklıklarının sağlığa zararlı seviyelere çıktığı görülmüştür. Bu değerler Şekil 1'deki sıcaklık değerleri göz önüne alınarak incelendiğinde, vücudun ısı denge bölgesinin üzerinde yani ısı tolerans üst sınırlarında ve ısı intolerans bölgelerinde yer almaktadır. Bu bölgelerde ise ısıya maruz kalma süresine bağlı olarak çalışanların, vücut iç ısısının artışına hatta ocak sıcaklığın 39 °C'ler gibi değerlere ulaştığı zaman, ısı intolerans bölgesi, çalışanların vücudunun dayanamayacağı sıcaklık değerlerine maruz kalmaları, yani vücut sağlığının tehlikeye girmesi demektir. Yönetmelik gereği bahsedilen sıcaklığın sağlığa zararlı seviyelere yükseldiğinin ve sıcaklığı düşürmek için önlemler alınmasının gerekli olduğu açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Arslansan, E,1996 . *Ermenek Kömürlerinden Pilot Çapta Yeni Bir Teknik İle Biriket Üretimi*. (Yüksek Lisans), Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Fakheri, R. J., Goldfarb, D. S., 2011. Ambient temperature as a contributor to kidney stone formation: implications of global warming. *Kidney International, 79*(11), 1178-1185.

Hancock, P. A., Vercruyssen, M., 1988. Limits of behavioral efficiency for workers in heat stress. *International Journal of Industrial Ergonomics, 3*(2), 149-158.

Inaba, R., Mirbod, S. M., 2007. Comparison of subjective symptoms and hot prevention measures in summer between traffic control

workers and construction workers in Japan. *Industrial Health, 45*(1), 91-99.

İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Liang, C., Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Lu, S., Chen, Y., 2011. A new environmental heat stress index for indoor hot and humid environments based on Cox regression. *Building and Environment, 46*(12), 2472-2479. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.06.013

Nielsen, B., Savard, G., Richter, E. A., Hargreaves, M.,. Saltin, B., 1990. Muscle Blood-Flow and Muscle Metabolism during Exercise and Heat-Stress. *Journal of Applied Physiology, 69*(3), 1040-1046.

Piver, W. T., Ando, M., Ye, F., Portier, C. J., 1999. Temperature and air pollution as risk factors for heat stroke in Tokyo, July and August 1980-1995. *Environmental Health Perspectives, 107*(11), 911-916.

Wang, F. M., Kuklane, K., Gao, C. S., Holmer, I., 2011. Can the PHS model (ISO7933) predict reasonable thermophysiological responses while wearing protective clothing in hot environments? *Physiological Measurement, 32*(2), 239-249.

Yalçın, E., 2012. *Yeraltı Havalandırması*. İzmir, Turkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları

Yalçın, E., Gürgen, S., 2006. *Madenlerde Havalandırma* (3. ed.). İzmir, Türkiye.

Zhao, J., Zhu, N., Lu, S. L., 2009. Productivity model in hot and humid environment based on heat tolerance time analysis. *Building and Environment, 44*(11), 2202-2207.

Çayırhan Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmasının İncelenmesi
Investigation of Spontaneous Combustion of Çayırhan Coals

A. Hadi Özdeniz
S.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden mühendisliği Bölümü, 42079 Konya

E. Kuzoluk
Maden Mühendisi, Ankara

ÖZET Kendiliğinden yanma olayı, kömür madenciliğinde en önemli problemlerin başında gelmektedir. Hem yeraltı hem de açık ocaklarda üretilen kömürlerde meydana gelen oksidasyon olayıdır. Bu olay sonucunda, kömür iç sıcaklıklarının artması ve ilerleyen aşamalarda açık alevli yangınlara dönüşmesi ile birçok çevresel, ekonomik ve can kayıplarına yol açabilmektedir. Bu çalışmada, Çayırhan kömürleri ile uygun bir kömür stok sahasında hazırlanan, aynı geometrik özelliklere sahip olan 2 adet yığın üzerinde çalışılmıştır. Stoklardan biri ocaktan çıkan -100 mm ebatlarında olan tüvenan kömürdür. Diğeri ise tüvenan kömürün lavvarda yıkanmasıyla elde edilen kömürlerden yapılmış stoklardır. Her bir yığının iç bölgelerine sıcaklık sensörü yerleştirilerek datalogger ile veriler toplanmıştır. Stok iç sıcaklıklarının atmosfer parametreleri altında nasıl davranış gösterdiği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür stokları, kendiliğinden yanma

ABSTRACT spontaneous combustion is an important problem in coal mining. This occurs of coal produced in open pit and underground mining. As a result of this, increase of internal heat in coal and turns to coal burnt hence, a lot of environmental, economic and hazards occur in proceeding steps. This study was conducted on two same geometrical shaped piles of excavated coal which is -100 mm in size and in the coal storage area of Çayırhan Coals. The coal piles were prepared as tuvenan and other from lavvar. Temperature sensors were positioned in these piles to measure the inner temperature of stockpile and data was obtained with using data logger. Besides, the two stockpiles were exposed to atmospheric conditions and effect of atmospheric parameters to internal temperature behavior was investigated.

Keywords: Coal piles, spontaneous combustion

1 GİRİŞ

Kömürün atmosfer ile teması sırasında havadan oksijen absorbe etmesiyle başlayan ve oksitlenme ile devam eden, ortamda ısı birikimi ile açık alevli yangına kadar dönüşebilen olaya kendiliğinden yanma adı verilir(Saraç, 1992; Didari, 2002). Kendiliğinden yanma olayı, birçok reaksiyon sonucu üretilen ısının, çeşitli faktörlere bağlı olarak çevreye olan kayıp ısıdan fazla olması durumunda, kömür bünyesinde meydana gelen sıcaklık artışının bir sonucudur. Bu ısı ortamın sıcaklığını artırarak, oksitlenmeyi daha da hızlandırmaktadır. Diğer bir deyişle, oksijen moleküllerinin kömür yüzeyine adsorpsiyonu sonrası burada oluşan ısıl iletim, ısıl taşınım ve difüzyon mekanizmalarının etkisiyle kimyasal bir reaksiyona dönüşür (Ünver ve Özözen, 1998).

Şimdiye kadar Çayırhan kömürleri üzerinde laboratuvar ölçekli birçok çalışma yapılmasına rağmen, endüstriyel boyutlu stoklar üzerinde çalışmalar yapılmamıştır. Yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalar, gram mertebelerinde kömürler üzerinde gerçekleştirilmekte ve sınırlı sayıdaki parametrelerin olay üzerindeki etkisi, yalnızca deney şartlarında geçerli olmak üzere incelenebilmektedir. Bu nedenle elde

edilen sonuçların da pratiğe uyarlanması oldukça zor olmaktadır. Kendiliğinden yanma olayı üzerinde etkin olan parametrelerin büyük çoğunluğunu veya tümünü kapsayan, özellikle kömürün kendiliğinden yanması esnasındaki genel davranışının belirlenmesi amacına yönelik, büyük ölçekli (endüstriyel çaplı) çalışmaların önemi büyüktür (Akgün, 1994). Ancak bu tür çalışmaların çok uzun süre gerektirmesi ve pahalı bir yöntem olması nedeniyle yapılan çalışmaların sayısı oldukça kısıtlıdır (Biçer ve ark, 2012; Akgün, 1994; Özdeniz, 2009; Özdeniz, 2010). Endüstriyel boyutta yapılan çalışmalar için uzun süreler gerekmesinin yanı sıra pahalı olması çalışmaların sayısını azaltmaktadır (Sensogut ve Ozdeniz; 2005).

Bu çalışmada stok sahasındaki uzun süre bekletilen kömürlerin, atmosfer şartları altında, stok iç sıcaklıklarının davranışları incelenmiştir.

2 DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Çayırhan kömürleri ile işletmenin uygun bir alanında yapılan endüstriyel boyutlu stoklar üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu amaçla Çayırhan yeraltı kömür işletmesinin uygun bir yerine, 2 adet aynı geometrik boyutlarda kömür yığınları yapılmıştır. Kömür yığınlarından bir tanesi olan K1 stoğu, Çayırhan yeraltı işletmesinin C sektöründen gelen ve lavvarda yıkanarak -100 mm tane boyutuna getirilen kömürlerle hazırlanmıştır. Diğer kömür yığını olan K3 stoğu ise yine C sektöründen gelen, fakat tüvenan haldeki kömürden oluşturulmuştur. Herhangi bir zenginleştirme yapılmamıştır. Oluşturulan her iki kömür yığınının uzunluğu 10 m, eni 5 m, yüksekliği 3 m olup üçgen prizma şeklinde oluşturulmuştur (Şekil 1).

Şekil 1. Lastikli kepçe ile stok yapılırken.

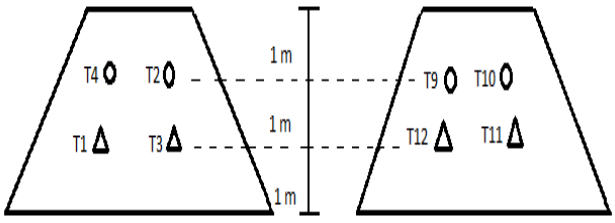
K1 ve K3 yığınların içerisinde önceden belirlenmiş noktalara, ısı değişimlerini hassas bir şekilde ölçecek olan toplam 8 adet Pt100 sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.

K1 yığını içerisine 4 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. T1. ve T3. nolu sensörler yerden 1 m yüksekliğe ve T2. ve T4. nolu sensörler ise zeminden 2 m yüksekliğe gelecek şekilde, yaklaşık olarak yığının ortasına yerleştirilmiştir.

K3 yığını içerisine 4 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. T11. ve 12. nolu sensörler yerden 1 m yüksekliğe ve T9. ve T10. nolu sensörler ise zeminden 2 m yüksekliğe gelecek şekilde, yine yaklaşık olarak yığının ortasına yerleştirilmiştir.

Yerleştirilen toplam 8 adet PT100 sıcaklık sensörleri bir datalogger bağlanmıştır. Datalogger her 10 dakikada bir periyotlar halinde, sensörün ölçtüğü sıcaklık değerlerini alacak şekilde ayarlanmıştır. Datalogger da depolanan sıcaklık verileri, belirli aralıklarla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Pt100'lerin yığın içerisine yerleştirilmesi belli bir düzen içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı sıcaklık değişimleri hakkında farklı yorumlar yapabilmek içindir. Bu yerleşim Şekil 2'de gösterilmiştir.



K1 stoğu K3 stoğu

Şekil 2. Sıcaklık sensörlerinin K1 ve K3 yığınındaki dağılımı.

Bu ölçüm sonuçlarına ilaveten, yığın üzerinde etkili olan atmosfer parametreleri, Çayırhan ilçesi meteoroloji ölçüm istasyonundan alınmıştır. Bu veriler ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ve ortalama nem değerleridir. K1 ve K3 stoklarının kömür analiz Çizelge 1 de verilmektedir.

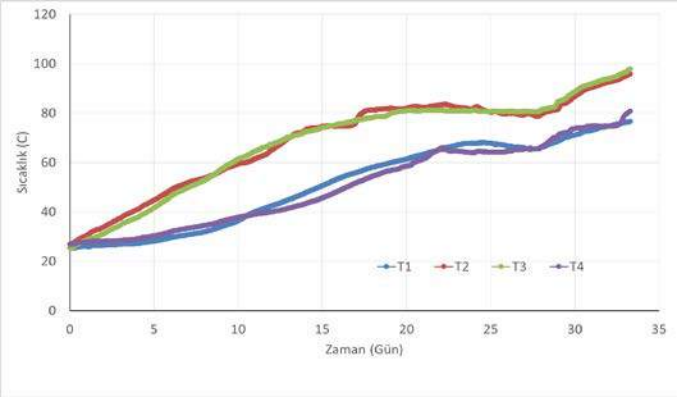
Çizelge 1. K1 ve K3 stoklarına ait deney başlangıç ve deney sonu kömür analizleri

	Nem (%)	Kül (%)	Kalori (kcal)
K1(deney başı)	25.14	38,39	2185
K1 (deney sonu)	22,47	44,53	2235
K3 (deney başı)	24,00	41,96	1925
K3 (deney sonu)	22,43	44,22	2085

3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

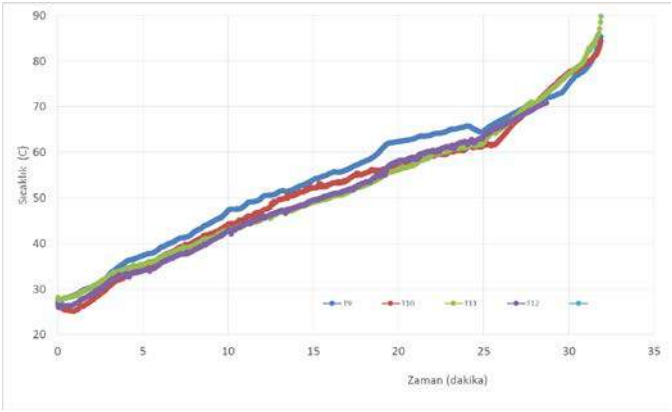
Stok sahasında stoklanan kömürlerin kendiliğinden yanmasını tespit etmek amacıyla yapılan çalışmada, oluşturulan iki adet yığının iç noktalarına yerleştirilen sıcaklık sensörlerleri ile ölçümler alınmıştır. Kömür yığınlarından alınan veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

K1 yığınında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, başlangıçtan itibaren sıcaklık değerleri artarak yükselmiştir. Yaklaşık olarak T1, 23. günde yataya dönmüş, 28. günden itibaren sıcaklıklar artmış, T2 ise 19. gün yataya dönerek, 28. günden itibaren artmıştır. Yerden 2 m de bulunan T3 ise 22. gün yataya dönerek, 27. günden itibaren artmış ve T4 ise 17 günde yataya dönerek 28. günden itibaren artmıştır(Şekil 3).



Şekil 3. K1 deki sıcaklıkları sensörleri

K3 yığınında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, başlangıçtan itibaren sıcaklık değerleri artarak yükselmiştir. Yaklaşık olarak T11, T12 nolu zeminden 1. m yüksekliğe yerleştirilen sensörler birbirine çok yakın değerlerle yükselmeye devam etmiştir. Zeminden 2. m ye yerleştirilen T9 ve T10 ise aynı sıcaklık değerlerini aldığı görülmektedir (Şekil 4). Kritik sıcaklık seviyeleri olan 70 ºC'lere ulaşıncaya kadar artış göstermiştir. Bu kritik sıcaklık seviyesinden sonra sıcaklıklar yukarıya dönmüştür (Chamberlain ve ark., 1976). Alınan verilerin yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığı görüldüğünden dolayı, veri alma işlemi işletme şartları gereği zorunlu olarak sona erdirilmiştir.



Şekil 4. K3 deki sensör sıcaklıkları

4 SONUÇLAR

Yıkanmış lavvar kömürü ile tüvenan kömürlerinden aynı geometrik boyutlarda oluşturulan iki adet yığın üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu yığınların iç kısımlarına yerleştirilen 8 adet sıcaklık sensör ile yığın içerisinde meydana gelen kendiliğinden yanma olayı nedeniyle yükselen iç sıcaklıklar incelenmiştir.

K1 stoğunda T1 ve T4 numaralı sensörlerde sıcaklık 70 ºC'ye yükseldikten sonra aniden sıcaklık yükselmesi olduğu gözlenmiştir. T2 ve T3 nolu sensörlerde ise bu değer 80 ºC'ye yükseldikten sonra ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı düşey eksende bulunan T1-T4 ve T2-T3 sensöründe aynı sayılabilecek grafikler elde edilmiştir.

K3 stoğu incelendiğinde aynı durum görülecektir. Sensörlerin hepsi 60, 65 ºC'ye

kadar artmış daha sonra 16 ve 25. günlerde çok hafif yataya dönmüştür. Daha sonra ise sıcaklık artarak, alevli yangına dönüşmüştür. Alevli yanmalar ise 90 ºC dolaylarında meydana gelmiştir. K1 stoğundan farklı olarak böyle olmasının sebebi, tane boyutu farklılığından kaynaklanmıştır. Tane boyutu azaldıkça kömür oksidasyon hızı artmakta, yanma sıcaklığı da yükselmektedir.

Kömürlerde meydana gelen kendiliğinden yanma olayı, kömürün kalorifik değerini etkilediği gibi çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla stoklama sahasında en az kayıp olacak şekilde çalışmalar yapılarak, en uygun stok geometrisi belirlenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen Park Termik Çayırhan Kömür İşletmesi yetkililerine teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Akgün, F., 1994, *Kömürlerin kendiliğinden yanmasının teorik ve deneysel incelenmesi,* İTÜ, Fen Bilimleri, Doktora Tezi, İstanbul, s 1-142

Biçer İ., Özdeniz, A.H., Kelebek S., *Tunçbilek Kömürlerinde Kendiliğinden Yanmanın Doğal Sıkışma Etkisine Bağlı Olarak İncelenmesi*, Türkiye 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 06-08 Haziran, Zonguldak, s281-288, 2012.

Chamberlain E.A., Barrass, G., and Thirlaway, J.T., *Gases evolved and possible reactions during low temperature oxidation of coal,* Fuel, July,1976, pp 217-222.

Didari, V., 2002, *Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters*, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 59-64

Ozdeniz, A.H., *Investigation of coal stockpiles of Tunçbilek Thermal Power Plant with respect to time under atmospheric conditions*, Energy Sources: Part A, 31:473–479, 2009.

Ozdeniz, A.H., *Determination of Spontaneous Combustion in Industrial-Scale Coal stockpiles*, Energy Sources: Part A, 32:7, 665-673, 2010.

Ökten G., 1990; *Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Önlenmesi İçin Alınacak Tedbirler*." İ.T.Ü.

Saraç, S., 1992, *Yeraltı Kömür Ocaklarında Kendiliğinden Yanma*, Anadolu Üniversitesi Müh Mim Fak Yayını, no: 16, s 118

Sensogut, C., and Ozdeniz, A.H, *Statistical Modeling of Stockpile Behavior under Different Atmospheric Conditions* - Western Lignite Corporation (WLC) Case, FUEL 84, 1858-1863, 2005.

Ünver B., ve Özözen, A., 1998; *"Kömür stoklarında meydana gelen kendiliğinden yanma süreci ile ilgili modeller ve alınması gereken tedbirler"*, madencilik dergisi, 37(1998), No. 3, p.29

Çayırhan' da Uzun Galerilerin Tali Havalandırması
Long Tunnel Ventilation in Çayırhan Underground Mine

E. Kahraman, C.Sığırcı
Park Termik A.Ş., Ankara

ÖZET Yeraltı madenciliğinde madenin ana hava akımıyla bağlantısı olmayan ve bir ucu kör olan galerilerin havalandırılması önemli bir hususdur. Bu galeriler için tali havalandırma tasarlama ve uygulama süreci birçok parametreye bağlıdır. Bu galerilerin hazırlanma sürecinin sağlıklı biçimde olması için bu sürecin doğru yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Çayırhan Yeraltı Linyit İşletmesinde mekanize kazı yöntemi ile oluşturulan G-109, G-110 ve G-4007 galerilerinin havalandırma tasarımları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, bu galerilerin oluşturulmasında karşılaşılan havalandırma problemleri tespit edilmiş ve bu problemlerin giderilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tali havalandırma, yer altı kömür, mekanize kazı, Çayırhan

ABSTRACT Ventilation of dead-end tunnel that is not connected in the main airflow of mine is an important issue in underground mine. Designing and practicing process of the secondary ventilation for this tunnel is based on several parameters. This process to be run efficiently by the miners to ensure that the tunnelling in good conditions..

In this study, detailed information about designing and practicing of the tunnels ventilation such as G-109, G-110 and G-4007 created by using mechanized excavation method in Çayırhan Underground Mine is explicated. However, ventilation problems encountered during the tunnelling in this field were determined and it was suggested in considering how to overcome these problems.

Keywords: Ventilation, underground coal, mechanized excavation, Çayırhan

1 GİRİŞ

Havalandırma çalışmaları, ocakların tasarlanmasından, üretim sürecinin sona ermesine kadar olan süreçte yürütülen en önemli madencilik faaliyetidir. Yeraltı ocaklarında yapılan havalandırma çalışmaları ocak ana havalandırması ve tali havalandırma olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilmektedir.

Ana hava akımının ulaşamadığı, bir hava geliş bir hava dönüş yolunun bulunmadığı, galeri sürme, kuyu açma, bazı üretim yöntemlerinde arına yeterli miktarda hava ulaştırma çalışmalarına "tali havalandırma" adı verilmektedir (Önder, 2006). Tali havalandırma tasarımına birçok parametre etki etmektedir. Galerinin uzunluğu, kesiti, arına iletilecek hava miktarı, kazıda çıkan toz miktarı, hava iletiminde yaşanılacak şok kayıpları, havalandırma iletim hattındaki sürtünme kayıpları, maksimum hava hızı, vb. tali havalandırma tasarımında göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardandır.

Galeri uzunluğunun artması ile tali havalandırmada sürtünme kayıplarının ciddi miktarlarda artırmaktadır. Bundan dolayı, uzun galerilerin havalandırılması kısa galerilerin havalandırılmasına göre daha zordur.

Galerilerin havalandırma tasarımları bilgisayar programları aracılığı ile yapılabildiği gibi, matematiksel analiz yöntemi ile de yapılabilmektedir. Havalandırma, hem ilk yatırım hem de

işletme maliyeti açısından bir yatırım süreci olduğundan dolayı, bu sürecin doğru yönetilebilmesi için matematiksel analizler yapılması faydalı olabilmektedir.

Bu çalışmada, Çayırhan Linyit İşletmesi, G Ocağında 2004 yılında açılmasına başlanılan G-109, G-110 ve G-4007 uzun galerileri için matematiksel analiz yöntemi ile yapılan havalandırma tasarımı incelenmiştir. Galerilerde bu tasarımın uygulanmasında tespit edilen ve uygulamada dikkate alınması gereken önemli hususlara değinilmiştir.

2 TALİ HAVALANDIRMA

2.1 Tali Havalandırma Türleri

Tali havalandırma işleminde uygulanan yöntemler genel olarak;

i. basit üfleyici ve emici sistemler,
ii. kombine sistemler

olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Kombine sistemler; ana üfleyici-yardımcı emici sistem ve ana emici-yardımcı üfleyici sistem olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir (Çevik, 2006).

Uzun galerilerde tali havalandırma yöntemleri ise;

i. tek bir vantilatörle havalandırma,
ii. birkaç vantilatörü galeri başlangıcında seri bağlayıp peş peşe çalıştırarak havalandırma,
iii. birkaç vantilatörü vantüp hattı boyunca belli aralıklarla yerleştirerek havalandırma

şeklindedir (Yalçın, 2012).

2.2 Tali Havalandırma Ekipman ve Malzemeleri

Tali havalandırma; vantilatörler, toz tutma sistemleri, havalandırma boruları (vantüpler) ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Vantilatörler, hava giriş ve çıkış noktaları arasında basınç farkı yaratarak yeraltı hava hareketini sağlayan makinelerdir. Yeraltı madenciliğinde tali havalandırma santrifüj ve aksiyal olmak üzere iki ana tip vantilatör ile sağlanılmaktadır (Çevik, 2006).

Vantüpler, hava akımının çalışma yerlerine kadar taşınmasını sağlayan özel borulardır. Bunların emici ve üfleyici olmak üzere iki türü mevcuttur. Emici çalışan sistemde kullanılan vantüplerin dış çevresi demir kuşaklarla desteklenmiştir. Belli uzunluktaki vantüpler, vantüp bağlantı elemanları (kelepçeler) ile birbirlerine bağlanılarak uzatılmaktadır.

2.3 Tali Havalandırma Tasarımı

Tali galerilerin havalandırma projelerinin yapılması için kompleks hesaplamalar gerekmektedir. Bu hesaplamalar, özellikleri bilinen bir hat için uygun vantilatörün seçimi, özellikleri bilinen bir vantilatörün yeterli olabileceği maksimum hat uzunlunun hesabı, bir hatta çalışan vantilatörün arına ulaştıracağı debinin hesabı ve vantilatör sayısının hesabı, vb. amaçlarla yapılmaktadır. Hesaplamalarda dikkate alınması gereken birçok faktör bulunmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. Tali havalandırma tasarımında etkili faktörler (Arıoğlu ve Yılmaz, 2001)

Havalandırma işleminde, çalışma yerlerine gönderilmesi gereken hava miktarı değişik gereksinimler için hesaplanmalıdır. Bunlar; solunum için gereken hava miktarı, kullanılan patlayıcı madde miktarına göre

gerekli hava miktarı, toza karşı gerekli hava miktarı ve zararlı gazlara karşı gerekli olan hava miktarı hesabı olmak üzere dört grupta toplanır. Oluşan tozların hava ile seyreltilebilmesi için, galeri içindeki hava hızının 0,2 m/s' den daha küçük olmamalıdır (Güyagüler, 1991). Galerilerdeki hava hızının 8 m/sn' nin altında olması gerekmektedir (Resmi Gazete, 2013). Gaz miktarına bağlı olarak da hava miktarının hesabı vardır. Zor şartlarda çalışmalar için hava miktarı işçi başına 6m^3/dak' dan fazla olmalıdır.

Boru çaplarının belirlenmesinde işletme koşulları (galeri kesiti, galeri uzunluğu, vb.) ve kayıplar etkilidir. Boru çaplarının birim uzunlukları da işletme koşulları açısından önemlidir.

Vantüp sürtünme kaybının hesabında, boru hattının sürtünme katsayısı ve kaçak yolların direnç katsayısı referans alınarak, boru hattının 100 metrelik kısmının direnci, debi artış oranı, vb. hesaplamalar yapılmalıdır.

Vantilatör gücünün hesabı ve karakteristik eğrileri dikkate alınarak vantilatör seçimi, tali havalandırma hesaplarının en önemli aşamasını oluşturmaktadır. Vantilatör seçimi yapılırken karakteristik eğrilerden yararlanılarak arında gerekli havayı minimum maliyetle sağlayabilecek vantilatör seçimi yapılmalıdır (Güyagüler, 1991).

3 ÇAYIRHAN' DA MEKANİZE KAZI İLE AÇILAN UZUN GALERİLERİN HAVALANDIRMASI

3.1 İşletme İle İlgili Genel Bilgiler

Yeraltından kömür üretiminin tam mekanize sistemle gerçekleştirildiği Çayırhan Linyit İşletmesi, Ankara İlinin 124 km batısında, Nallıhan İlçesi Çayırhan Mahallesinde bulunmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2. Yer bulduru haritası

Park Termik A.Ş. Çayırhan Linyit İşletmesi, yeraltından yıllık 5-5,5 milyon ton tüvenan linyit kömürü üreterek, Çayırhan Termik Santralinin yakıt ihtiyacını karşılamaktadır.

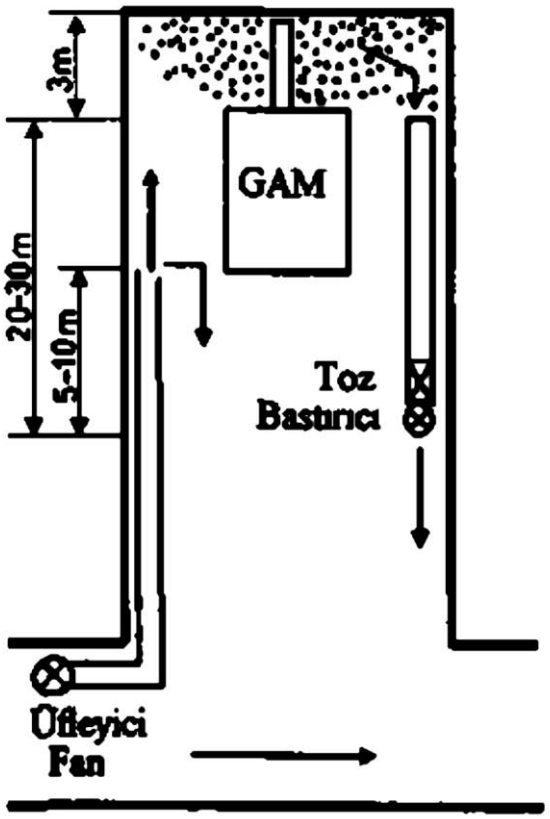
İşletmede mevcut durumda madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü 4 adet aktif saha bulunmaktadır (G, D, E ve H sahaları). Bu sahalardan G ve D sahası tek ayak yüksek arın üretim, E ve H sahaları ise dilimli kazı yapılacak şekilde planlanmıştır. G ve D sahalarında panolar 2000 m' den uzun, E ve H sahalarında ise; 1500-2000 m aralığında planlanmıştır. İşletmenin yeraltı ocaklarında geri dönümlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak ile üretim çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Üretim bölgelerinde, ayak uzunlukları 220 m civarında planlanmaktadır.

3.2 İşletmede Uygulanan Geleneksel Tali Havalandırma Yöntemi

Ocakların havalandırma hesaplamaları elle ve bilgisayar yazılımı (Ventsim Visual) ile yapılmaktadır. Ocak ana havalandırma sistemi olarak genellikle emici-mekanik (cebri) sistem kullanılmaktadır. Ocak havalandırması kontrol merkezi (yeraltı izleme sistemi) ve İSG birimi organizasyonunda portatif cihazların kullanımı ile sürekli izlenmekte/ölçülmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Ocaklara gönderilen hava miktarı çalışan başına 20-30m^3/dak arasındadır. Ocak ana havalandırma ekipmanı olarak 2000-5000 m^3/dak kapasiteli fanlar kullanılmaktadır. Hazırlık bacalarında 350-800m^3/dak kapasiteli fanlar kullanılmaktadır (Kahraman, E., vd., 2012).

Çayırhan Linyit İşletmesi G ocağının havalandırılmasında kullanılan klasik üfleyici havalandırma sistemi Şekil 3' de verilmiştir. Şekilde verilen uzaklık değerleri havalandırma ekipmanını üreten firma tarafından önerilen ve işletme tarafından uygulanan değerlerdir. Burada, temiz hava GAM operatörünün bulunduğu taraftan üflenerek operatörün temiz havada kalması sağlanırken, toz bastırıcı galerinin diğer

tarafındaki monoray raylarına makaralar vasıtasıyla asılmaktadır. Galerinin arına ilerlemesine paralel olarak ilerletilen toz bastırıcı vantüp ağzının arına mümkün olduğu kadar yakın olması kazı sırasında ortaya çıkan tozun yayılmadan toplanmasını sağlamaktadır (Eyyüboğlu, vd., 1995).



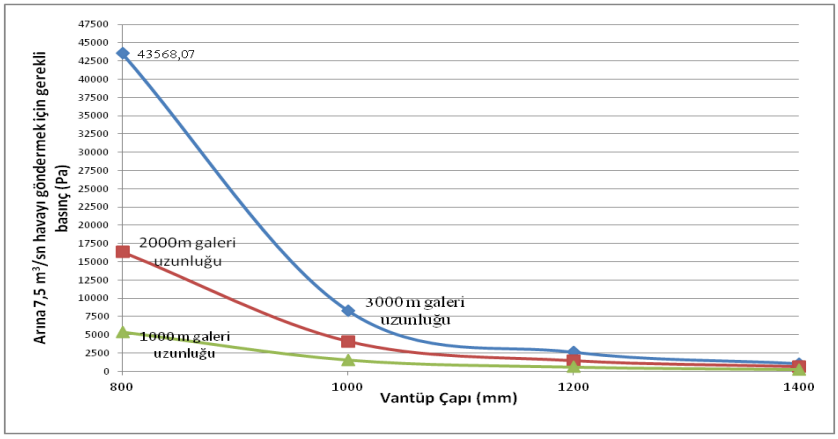
Şekil 3. Galerilerin havalandırılmasında kullanılan klasik üfleyici sistem

Tali havalandırma borusu olarak emici ve üfleyici (spiral-destekli) vantüpler kullanılmaktadır. Vantüplerin satın alınmasında, yüzey yalıtkanlık direncinin uygun olması, TS 2904 test yöntemine göre alev geciktirici özellikte olması, Grup-I (metan) gazlı yeraltı ocaklarında vantüp olarak kullanılabileceğine dair test raporu veya ATEX sertifikasına sahip olması, vb. özellikler aranmaktadır. Üfleyici vantüpler 20 metre, emici (spiral) vantüpler ise 10 metre uzunlukta satın alınmakta, galeri tavanlarına çekilen halatlara asılarak kullanılmaktadır.

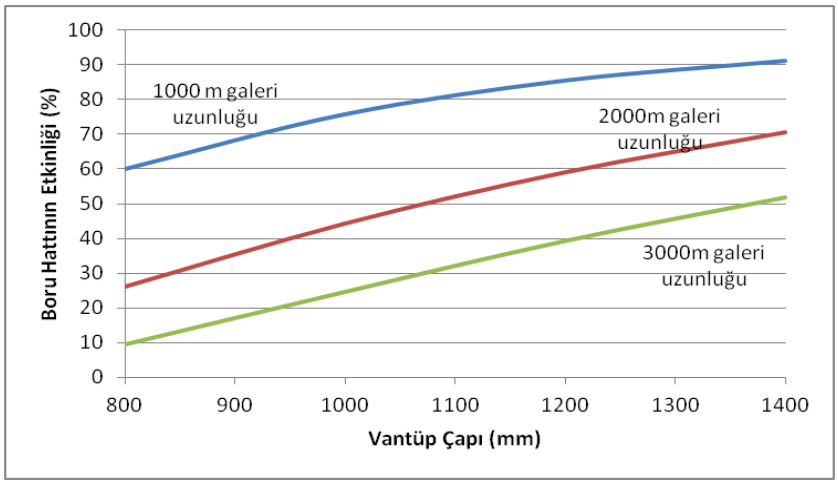
3.3 G-109, G-110 ve G-4007 Galerilerinin Havalandırma Tasarımı

G sahasında kurulacak olan ilk üretim ayağının hazırlık galerileri olan G-109, G-110 galeri (taban yolları) ve ocak anayolu (G-4007 galerisi) 2.000 m' den uzun olarak açılması planlanmıştır. Bu galerilerin açılmasında yeryüzünden havalandırma yapılacağı için; en uzun mesafe olan 3.700 m galeri uzunluğu dikkate alınarak havalandırma tasarımı yapılmıştır.

- Galeri arınına ulaştırılacak hava miktarının belirlenmesinde Şekil 1' de verilen kriterlerden özellikle tozun etkisi dikkat alınmıştır. Bunlara ilave olarak, galerilerin çoğunluğunun kömür içerisinde açılmasının sonucu olarak oksidasyonla (endotermik reaksiyon) kömür yüzeylerinde oluşabilecek ısılarında taşınabilmesi hedeflenmiştir. Bunun için hava miktarının fazla seçilmesine özen gösterilmiştir.
- Vantüp çapının seçimi için o tarihe kadar işletmenin diğer ocaklarında kullanılmakta olan 800 ve 1000mm çapındaki vantüpler ve 1200 mm çapındaki vantüplerle ilgili değerlendirme hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, boru hattının 100m' lik kısmının direnci, kaçak yolların direnç katsayısı ve vantüp çapı (800mm, 1000mm ve 1200mm) verilerinden yola çıkılarak t parametresi, debi artış oranı (VIR) ve basınç artış oranı (PIR) hesaplanmıştır. VIR ve PIR kullanılarak arına ulaştırılacak debi için gerekli basınç, boru hattının eşdeğer direnci, vantilatörün kullandığı debi ve motora verilecek güç değerleri bulunmuştur. Daha sonra boru hattının etkinliği hesaplanmıştır. Kullanılacak vantüp çapının belirlemek için; 8m^3/sn debisindeki havayı değişik galeri uzunluklarında çalışma bölgesine ulaştırmak için gerekli basınç miktarı arasındaki ilişki belirlenmiştir (Şekil 4). Boru hattının etkinliğinin değişimi ise Şekil 5' de verilmiştir. 1200 mm' lik vantüpler kullanılması kararlaştırılmıştır.



Şekil 4. Vantüp çapı ve galeri uzunluğuna bağlı olarak 7,5 m^3/sn' lik havayı arına göndermek için gerekli basınç farkı



Şekil 5. Vantüp çapı ve galeri uzunluğu ile boru hattının etkinliğinin değişimi

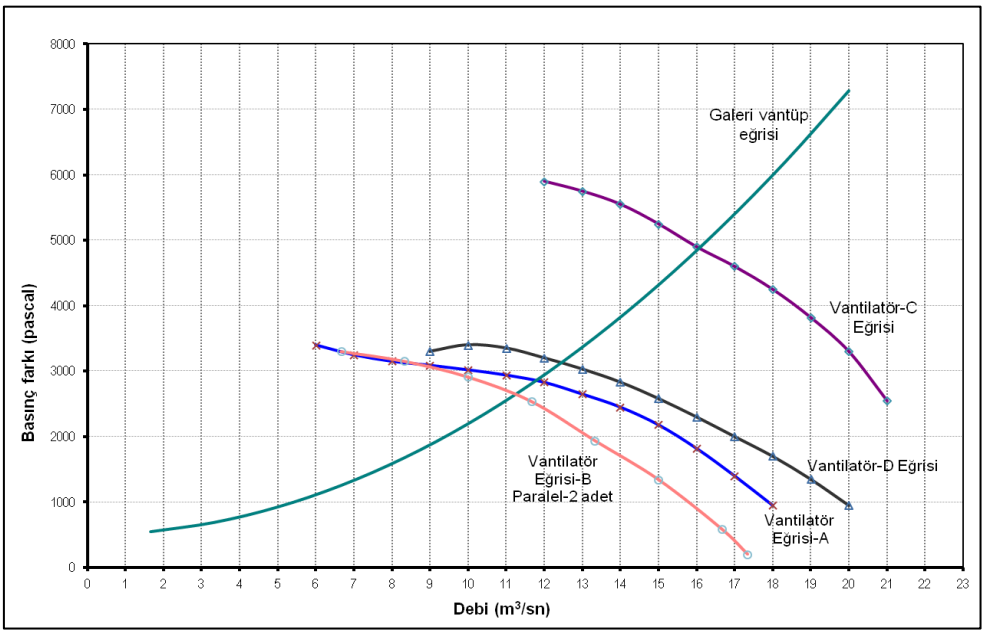
- Hattaki kaçakların tespitinde; çok uzun hatlar olduğundan dolayı şok kaybı hesaba katılmamıştır. İşletme ocaklarındaki eski uygulamalar ve havalandırma ölçümleri dikkate alındığında vantüplerdeki kaçak hava debisi % 2 kabul edilmiştir. Lokal yük kayıplarını belirlemek için vantüp direnç eğrisi oluşturulmuştur.
- Vantüp direnç eğrisi hazırlanırken basınç farkı hesabında vantüp doğru bir sistem olarak kabul edilmiştir. Çeşitli noktalarda oluşan kayıplar ve geri dönüş havasının kayıpları dikkate alınarak hesaplanan basınç değerine 1000 Pascal basınç ilave edilmiştir. Yapılan kabullerle birim havaya karşılık gelen basınç farkı hesaplanarak vantüp eğrisi çizilmiştir. Vantüp eğrisi hesabında ortalama hava debisi kullanılmıştır.
- Vantilatörlerin seçimi yapabilmek için öncelikle Çizelge 1' de verilen hesaplamalar yapılmıştır (Sığırcı, 2004). Hesaplamalarda temel referans alınan arına 3700m uzunluğa min 6 m3/sn havayı en uygun koşullarda ulaştırabilecek vantilatör bulunmaya çalışılmıştır. Bu seçimde etkili olan birçok parametre olduğundan hesaplamalar 4 farklı vantilatör üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Vantilatörler karakteristik eğrilerinin ve galeri eğrisinin aynı grafikte değerlendirilmesi ile ilgili vantilatörlerin çalışma noktaları tespit edilmiştir.
- İstenilen debiyi arına iletebilecek olan vantilatörlerin diğer özellikler bakımından da değerlendirmelerinin yapılabilmesi için vantilatör değerlendirme tabloları hazırlanmıştır. Bu değerlendirme tablolarında vantilatörlerin yeraltında kullanıma uygunlukları, hangi verimde çalışacakları, susturucu durumu, elektriksel yolverme sistemi, akım, voltaj değerleri, vantilatör çıkış çapları, vantilatörlerin teslim süreleri, garanti

süreleri, vantilatörlerin ilkyatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yönünden genel değerlendirmeler yapılmıştır. Seçilmesi planlanan vantilatörler alternatiflerinin ekonomik yönden değerlendirmesi yapılarak, vantilatör seçimine karar verilmiştir (Çizelge 2).

- Çizelge 2' de görüleceği gibi işletme maliyetleri de göz önünde bulundurularak 45kW gücünde, ön kalkınma motorlu, 2850 Pascal çalışma basıncına sahip 1 adet Vantilatör-A' nın kullanımına karar verilmiştir.

Çizelge 1. 3700m uzunluk ve 1200mm çaplı vantüplerin kullanımında tali havalandırma tasarımı ile ilgili bazı veriler

Kullanılan Vantilatör ve Bağlantı Şekli	Vantilatör Çalışma Basıncı (Pascal)	Vantilatör debisi	Hava yoğunluğu	Vantüp direnç katsayısı	Arındaki hava debisi	Hesaplanan debiye göre galerideki hava hızı	Ortalama debi	Ortalama hava hızı Vort	Basınç kaybı (ΔP)
		m^3/sn	p	k	m^3/sn	(m/sn)	m^3/sn	m/sn	Pascal
Vantilatör-A (45kW)	2850	11,8	1,2	0,025	5,6	0,22	8,1	0,32	2859
Vantilatör-B (2 adet -paralel)	2650	11,3	1,2	0,025	5,4	0,21	7,7	0,31	2663
Vantilatör-C	3200	12,4	1,2	0,025	5,9	0,23	8,5	0,34	3105
Vantilatör-D	3100	12,5	1,2	0,025	5,9	0,24	8,6	0,34	3147



Şekil 6. Vantilatör seçimi ve vantilatör çalışma noktasının belirlenmesi

Çizelge 2. Alternatif vantilatörlerin yıllık elektrik giderlerinin değerlendirilmesi

Vantilatör Adı	Uygulama	Vantilatör Basıncı (Pa)	Vantilatör Debisi (m^3/sn)	Hava Gücü (kW)	Motor Gücü (kW)	Harcanan Güç (kW)	Vantilatör Verimi (%)	Elektrik Gideri ($/yıl)
Vantilatör-A	1 adet	2.850	11,80	34	45	45	74,73	27.594
Vantilatör-B	2 adet paralel	2.650	11,30	30	60	43	69,64	26.368
Vantilatör-C	1 adet	3.200	12,4	40	75	52	76,31	31.886
Vantilatör-D	1 adet	3.100	12,5	39	55	52	74,52	31.886

3.4 G-109, G-110 ve G-4007 Galerilerinde Tali Havalandırma Uygulamaları

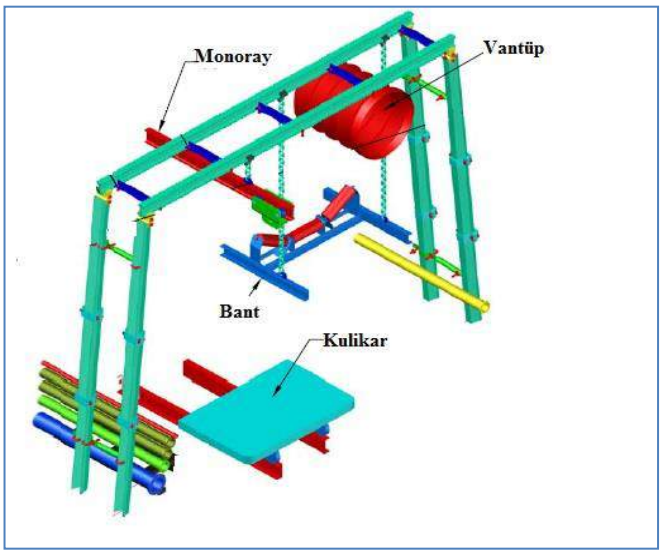
G Sahasında hazırlık çalışmalarına 2004 yılında başlanılmıştır. Sahada tam mekanize üretim panolarının boyları 3000-3400 m ve ayak boyları 220-240 m olacak şekilde planlama yapılmıştır.

G Sahasında kurulacak olan ilk ayağın hazırlık galerileri olan G-109 ve G-110 galerilerinin ve açılması hem uzun galeriler olması hem de bir kısım galeri açma çalışmasının anayol açılması çalışması ile aynı zaman diliminde gerçekleştirilmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır.

Sahada ilk olarak G-4007 anayolun açılması işlemine başlanılmıştır. G 4007 anayol galeri açma makinesinin kullanımı taş içerisinde açılmıştır. 25 m^2 kesitte açılan bu galerinin havalandırılmasında 45 kW gücünde üfleyici vantilatör, çapı 1200 mm olan ve 20' şer metre uzunluktaki vantüpler kullanılmıştır. Galeri açılmasında toz bastırma sistemi kullanılmıştır.

Anayolun uzunluğu 250 m' yi geçtiğinde aynı zaman diliminde G-109 galerisinin açılmasına başlanılmıştır. G-01 panosun üst taban yolu olarak açılan G-109 baca kömür ve taş içerisinde açılmıştır. Galeride TH profiller ve I profillerin kullanımı ile trapez tahkimat uygulaması yapılmıştır. Galerinin havalandırmasında 45 kW gücünde üfleyici vantilatör ve 1200 mm çapında vantüpler kullanılmıştır.

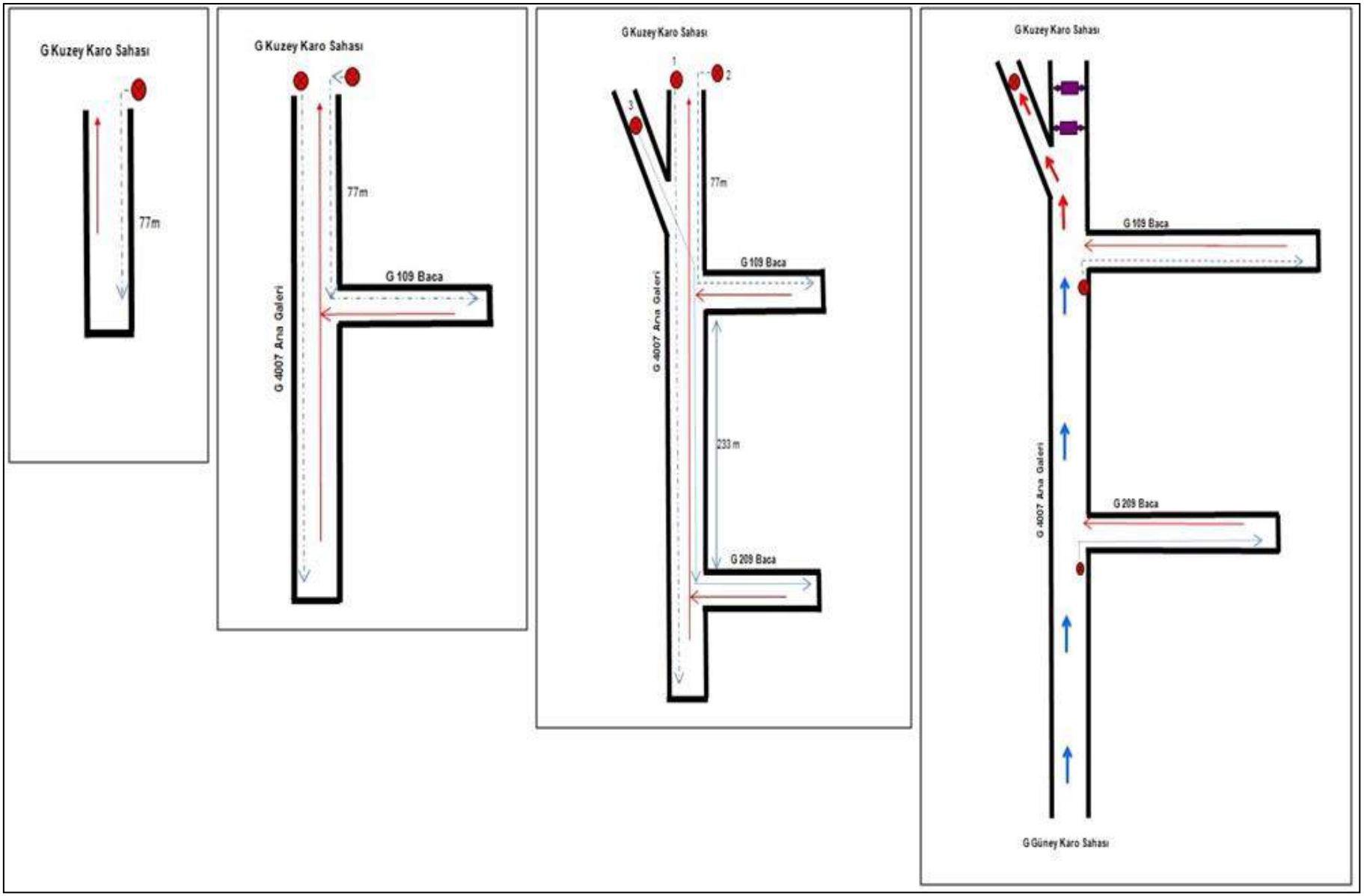
Anayolun uzunluğu 400 m' yi geçtiğinde aynı zaman diliminde G-110 galerisinin açılması çalışmaları da başlatılmış olup, çalışmalar eş zamanlı yürütülmüştür. G-01 panosunun alt taban yolu olarak açılan G-110 alt taban yolunda da 45 kW gücünde vantilatör ve 1200 mm çapında vantüpler kullanılmıştır. Galeride vantüp hattının tipik yerleşimi Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Galeride vantüp hattının tipik yerleşimi

Bu galerilerde havalandırma çalışmaları, yolların açılması ile ilişkili olarak iki şekilde sağlanmıştır. İlk olarak; G-4007 anayolun güney bağlantısı yapılıncaya kadar galeriler kuzey karodan ve bağımsız bir şekilde havalandırılmıştır. Anayol delinmeden gerekli çalışmalar yapılmış ve G-4007 anayolun yeryüzü ile diğer bağlantısının yapıldıktan sonra bacalar tali vantilatörlerle güney yönünden havalandırılmıştır. Bu durumda, G-4007 ana galeri ocak ana havalandırma sistemi olarak, emici vantilatör kullanımı ile havalandırılmıştır. G 4007 anayol üzerine iki adet pnömatik hava kapısı monte edilmiştir. G-4007 anayola yerleştirilen, G-109 ve G-110 baca vantilatörleri baca girişinden 40m uzaklığa yerleştirilmiştir. Vantilatörlerin gürültülerinin bu bölgede çalışanlara zarar vermemesi için, vantilatörler susturucu ilaveli monte edilmiştir.

Galeri açılması çalışmalarında hava miktarının belirlenmesi için, pervaneli anemometrelerle belli zamanlarda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, yeraltı izleme sistemine bağlı sensörler ile de galerilerin havalandırılması süreci sürekli izlenmiştir. G-109 ve G-110 galerilerinde tali havalandırma işleminde ön kalkınmalı motorlu vantilatörler kullanılmıştır.



Şekil 7. G Sahasında anayol, G-109 baca ve G-209 baca açılmasında havalandırma aşamaları

4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İşletmede galeriler yeraltında kullanıma uygun üfleyici tali vantilatörlerle havalandırılmaktadır.
- Hesaplamalarda, arına yeterli debiyi sağlayabilmek için tek bir vantilatör kullanımın yeterli olabileceği görüldüğünden, 3400m uzunluk ve 25 m^2 kesitteki galerilerin havalandırılması, tek bir vantilatör kullanımı ile verimli şekilde gerçekleştirilmiştir. Tek vantilatör kullanımının uygulamada ciddi avantajlar yarattığı sonucuna varılmıştır. Birkaç vantilatörü vantüp hattı boyunca aralıklarla yerleştirerek havalandırma yapılması, zor ve arıza durumları düşünüldüğünde oldukça sıkıntılı bir uygulamadır. Bu yüzden, işletmede açılan diğer uzun galerilerin havalandırılması işleminde de 45 kW gücündeki tek vantilatörler kullanılmıştır. Yine, hava iletim hattı olarak 1200 mm çaplı üfleyici vantüpler kullanılmıştır.
- Tali havalandırma hesaplarının bilgisayar aracılığı ile yapılması mümkündür. Ancak, yatırıma karar verilmesinde ve yatırım sonrası işletme sürecinin daha doğru yürütülebilmesi için matematiksel analiz yöntemlerinin ve karakteristik eğrilerin kullanılması daha faydalı olacaktır.
- İşletme ocaklarında yapılmış olan eski uygulamalar ve hava ölçümleri de dikkate alındığında, vantüp bağlantıları için kaçak hava debisi hesaplamalarda % 2 olarak kabul edilmektedir.
- Matematiksel analiz yöntemi ile yapılan havalandırma tasarımında elde edilen değerler ile uygulamada elde edilen değerlerin birbirine çok yakın seçildiği tespit edilmiştir.
- Uzun galerilerin tali havalandırma hesaplamalarında ve uygulamadan elde edilen sonuçlara göre vantüp çapının artırılması ile daha az bir depresyonla arına ulaştırılan debi artmaktadır. Tali galerilerde kazı arınına ulaştırılan debiyi etkileyen en önemli hususlardan birisi de vantüp hattının kalitesidir. Vantüp hattı bağlantılarının uygun yapılması, yırtıkların hemen tamir edilmesi, vantüp hattının tahkimat elemanları ile sıkıştırılmaması, vb. önlemlerle hatlardaki kayıplar minimize edilebilmektedir.
- Taşıma kolaylığı, vantüp kayıplarının azaltılması, bağlantı kolaylığı, vb. nedenlerle tali havalandırmada kullanılan üfleyici vantüplerin uzunlukları 20 metre, toz bastırma sisteminde kullanılan emici (spiral) vantüplerin uzunlukları 10 metre olarak seçilmiştir. Bu seçimin, uygulamada avantajlı olduğu görülmüştür.
- Vantüplerin satın alınmasında, vantüp tekstil özelliklerinin (kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, vb.) iyi belirlenmesi ve vantüplerin işletme koşullarına uygun seçilmesinin (çalışma basıncı, askı şekli, vb.) uygulamadaki sorunları ciddi düzeyde azalttığı görülmüştür. Yeraltında kömür madenciliğinde kullanılan vantüpler; antistatik ve alev yürütmez özellikte olmalıdır.
- Vantüplerin galerilerde kullanımı işleminde, vantüplerin halatlarla sabitlenerek asılması ile vantüp hasarlarının ciddi düzeyde azaltıldığı ve kullanımdaki yük kayıplarının engellediği gözlemlenmiştir.
- Galeri açma makinesi ile kazıda çıkan tozu bastırmak için 200-300 m^3/dak kapasitesine sahip sulu tip toz bastırma sistemleri kullanımı, galeri açma makinesi ile kazı sırasında arına su püskürtülmesi, bant konveyörlerin ıslatılması, vb. uygulamalar yapılmaktadır.
- Vantilatörlerin herhangi bir nedenle durması ve tekrar çalıştırılması durumunda, vantilatöre bağlı olan vantüp hattında vantüplerin ayrılması, vb. birtakım sorunlar meydana gelmektedir. Bu sorunların önlenebilmesi için; vantilatörlerde ön kalkınmalı motor kullanımı veya yıldız-üçgen yol vermeyi güvenli sağlayacak yumuşak yol verici sistem tasarlanmalıdır.
- Havalandırma tasarımı yapılmasında, sistemin ocakta uygulanmasındaki kriterler de dikkate alınmalıdır. Arazi uygulamalarında, bir tali vantilatörün kullanılacağı yere, vantilatör sehpası üzerine yerleştirilmesi ve devreye

alınabilmesi işleminin 2-3 personelle yaklaşık olarak 1 saatte gerçekleştirildiği görülmüştür. 1200mm çaplı ve 20 metre uzunluğundaki vantüplerin galerilerde montaj çalışmasında (tavana ya da yan duvarlara asılması), 4 personel ile 1 vardiyada ortalama 8-10 boy vantüp monte edildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Arıoğlu, E. ve Yılmaz, A.O., 2001. Pratik Madencilik Problemleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları.

Çevik, E., 2006. Tali Havalandırma Tasarımında Etkili Olan Faktörlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, s.7-8.

Eyyüboğlu, E.M., Çetin, O. ve Saraç, S., 1995. Üfleyici Tali Havalandırma Uygulanan Mekanize Galerilerde Toz Kontrolü, Türkiye 14.Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak.

Güyagüler, T., 1991. Ocak Havalandırması, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları.

Kahraman, E., Küçükali, E., Erdem, H.H. ve Sığırcı, C., 2012. Park Termik A.Ş. Çayırhan Linyit İşletmesi Yeraltı Çalışanları İçin İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Kitabı, Teknik Not, Ankara, s.35-36.

Önder, M., 1996. Bilgisayar Destekli Tali Havalandırma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, s.3.

Resmi Gazete, 2013. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, Sayı: 28770, Ankara, http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130919-3.htm (erişim tarihi 01.10.2013).

Sığırcı, C., 2004. G Sahası Havalandırma Çalışmaları, Teknik Not (Yayımlanmamış), Park Teknik, Ankara, s.9.

Yalçın, E., 2012. Yeraltı Havalandırması, DEÜ Yayınları, Yayın No:336, İzmir, s.213.

Farklı Geometrik Boyutlardaki Kömür Yığınlarının Kendliğinden Yanmasının İncelenmesi

Investigation of Spontaneous combustion of coal stock of different Geometric Size

C. Kamacı
Çanakkale 18 Mart Üniv., Çan Meslek Yüksekokulu, Çan, Çanakkale

A. Hadi Özdeniz
S.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden mühendisliği Bölümü, 42079 Konya

ÖZET Kömür enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan bir fosil yakıttır. Kömür üretimi özellikle açık işletmecilikte mevsimsel farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklardan dolayı enerji üretiminin kesintiye uğramaması için, işletmeler üretilen kömürü stoklamak zorundadır. Üretim planlamasına bağlı olarak yakın gelecekte kullanacağı bu kömürleri, stok sahalarında bekletmek zorunda kalmaktadır. Stok sahalarında bekletilen kömürler oksidasyona maruz kalmakta ve şartlar olgunlaştığında kendiliğinden yanma gerçekleşmektedir. Kendiliğinden yanan kömürler, ekonomik ve çevresel problemler meydana getirmektedir. Bu çalışma, Çanakkale Çan Onsekizmart termik santrali için üretim yapan Çan Linyit İşletmeleri kömür stok sahasında, 0-1000 mm tane boyutundaki tüvenan kömürlerden oluşturulan 2 adet farklı geometrik boyutlardaki yığınlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kömür yığınının bir tanesi 5 m eninde, 8 m boyunda, 3 m yüksekliğinde ve diğer yığın ise 5 m eninde, 8 m boyunda ve 5 m yüksekliğindedir. Bu yığınların içerisine, iç sıcaklık değerlerini ölçmek üzere sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. İki farklı geometrik boyuta sahip bu yığınlar, atmosfer parametrelerine maruz bırakılmıştır. Buna bağlı olarak, yığınlarda meydana gelen kendiliğinden yanma olayı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür stokları, kendiliğinden yanma

ABSTRACT Coal is commonly used fossil fuel to produce energy. Production of coal displays seasonal changes especially in open plant management. Because of these changes, in order to maintain the production of energy, plant ought to store the coal. Depending on the planning of production, it ought to keep the coal, which will be used in short period of time, in storage areas. The coal stored in the areas oxidizes and when the conditions are appropriate it starts to burn by itself. The coal burnt by itself causes economic and environmental problems. This study was conducted on two different geometrical shaped piles of excavated coal which is 0-1000 mm in size and in the coal storage area of Çan Lignite Plant which produces for Çanakkale Onsekiz Mart Thermal Power Station. One of the coal piles was 5 m in width, 8 m in length and 3 m in height and the other pile was 5 m in width, 8 m in length and 5 m in height. Temperature sensors were positioned in these piles to measure the inner temperature. The two different geometrical shaped piles were exposed to atmospheric conditions. Accordingly, spontaneous ignition in the piles was investigated.

Keywords: Coal piles, spontaneous combustion

1 GİRİŞ

Kendiliğinden yanma, kömürün hava ile teması sonucunda, havadan oksijen absorbe etmesiyle başlayan ve artarak devam eden bir reaksiyondur. Ortamda oluşan ısının artmasıyla açık alevli yangına kadar dönüşebilen reaksiyona kendiliğinden yanma denir(Saraç, 1992).

Kömür yüzeyinin oksidasyonu sonucunda yüzeyde oluşan sıcaklığın artmasını, hava akımı ve dış etkenlerle azaltmak mümkündür. Artan sıcaklığın ortamdan uzaklaştırılamaması sonucunda ortamın sıcaklığı daha da artarak, oksitlenmeyi hızlandıracaktır. Oksijen moleküllerinin kömür yüzeyine adsorbsiyonu sonucu oluşan ısıl iletim, ısıl taşınım ve difüzyon etkisiyle kimyasal bir reaksiyona dönüşür(Ünver ve Özözen, 1998). Birçok kömür işletmesinde bekleyen kömür stoklarında kendiliğinden yanma sonucu yangınlar oluşarak üretimde aksamalar, ekonomik ve çevresel kayıplara neden olmaktadır (Biçer ve ark, 2012). Kömürün kendiliğinden yanması ve buna bağlı sorunların çok önceden biliniyor olması, olayın oluşumunun önceden tespit edilmesine ve önlem alınmasına olanak sağlamaktadır. Gerek yeraltı işletmeciliğinde gerekse kömürün stoklanması esnasında kendiliğinden yanma sonucu çıkan yangınlar, yeraltında insan kayıplarına ve yerüstünde de büyük boyutta maddi kayıplara yol açmaktadır. Erken tespit ve önlemle, insan kayıplarının ve maddi kayıpların önüne geçilebilmektedir.

Günümüze kadar birçok bölge ve Çan kömürleri üzerinde laboratuvar ölçekli kendiliğinden yanma deney çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, büyük ölçekli (endüstriyel boyutlu) stoklar üzerinde çalışmalar yapılamamıştır. Laboratuvar çalışmaları gram miktarında kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Çok farklı parametrelerin etkin rol oynadığı kendiliğinden yanma çalışmalarında laboratuvar ölçeğinde sınırlı parametreler ele alınmıştır. Sınırlı boyutta yapılan çalışmalar ile kömürün kendiliğinden yanmasını bir bütün olarak değerlendirmek zordur. Daha fazla parametrenin birlikte değerlendirileceği ve kömürün kendiliğinden yanma esnasındaki davranışının belirleneceği amaca yönelik büyük çapta (endüstriyel boyutta) çalışmalar yapılması önem kazanmaktadır(Akgün, 1994; Özdeniz, 2009; Özdeniz, 2010). Endüstriyel boyutta yapılan çalışmalar için uzun süreler gerekmesinin yanı sıra pahalı olması çalışmaların sayısını azaltmaktadır (Sensogut ve Ozdeniz; 2005).

Stok sahalarında stoklanan kömürün kendiliğinden yanmasına etki eden parametrelerin; kömürün rankı, petrografik bileşenleri, uçucu madde miktarı, kömürün tane boyutu, kül içeriği ve nem miktarı olduğu bilinmektedir. Rankı düşük olan kömürler kendiliğinden yanmaya daha yatkındırlar. İçerisinde uçucu madde içeriği yüksek olan kömürlerin kolay yanabildikleri uygulamalardan bilinmektedir(Didari, 1986; Didari, 2002). Stok sahasında depolanacak kömürlerin, tane boyutu kendiliğinden yanmaya en önemli etkenlerden biridir. Tane boyutunun küçülmesi yüzey alanını arttıracağından kendiliğinden yanmayı hızlandıracaktır. Havanın nemli olması veya kömürün nem içeriği de kendiliğinden yanmayı hızlandıran faktörlerdir.

Bu çalışmada stok sahasındaki kömürün doğal atmosfer şartlarında, kendiliğinden yanma sonucu oluşan davranışları incelenmiştir.

2 DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Çan linyit işletmelerinde üretilen kömürün büyük çoğunluğu termik santral bünyesinde tüketilmektedir. Santral üretiminin aksamaması için belli bir miktar kömürün stokta bulundurulması gerekmektedir. Bu amaçla termik santral stok sahasında, tüvenan (0-1000 mm) kömür stoklanmaktadır. İşletme tarafından stoklanan kömürün kendiliğinden yanmasının önüne geçilmesi veya azaltılması amacıyla, stok sahasındaki kömürler belli periyodlarla iş makineleri tarafından sıkıştırılmaktadır.

Çalışmanın yapıldığı kömür yığını, Çan Linyit İşletmeleri'nin (ÇLİ) Onsekizmart

termik santrali için ürettiği kömürlerden oluşturulan yığınlardır. İşletme stok sahasının farklı bir yerinde oluşturulan kömürlere herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmamıştır. Oluşturulan kömür yığınlarının geometrik özellikleri farklı seçilmiştir (Şekil 1).

Şekil 1. Stok sahasında oluşturulan yığınlar.

Üçgen prizmaya yakın bir stoklama şekliyle oluşturulan A ve B yığınların içerisinde önceden belirlenmiş noktalara ısı değişimlerini hassas bir şekilde ölçecek Pt100 sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.

A yığını 5 m eninde 8 m boyunda ve 5 m yüksekliğinde oluşturulmuştur. Yığın içerisine 5 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. T1. ve T2. nolu sensörler yerden 1,5 m yüksekliğe, T3. ve T4. nolu sensörler yerden 2,5 m ye ve T5.sensör nolu sensör ise zeminden 3,5 m yüksekliğe gelecek şekilde, yaklaşık olarak yığının ortasına yerleştirilmiştir (Şekil 2.).

B yığını ise 5 m eninde 8 m boyunda ve 3 m yüksekliğinde oluşturulmuştur. Bu yığın içerisine 3 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Yerleştirilen sensörlerden T6 ve T7 sensör zeminden 1 m yüksekliğe, T8 sensör ise yerden 2 m yüksekliğe gelecek şekilde yığının ortasına yerleştirilmiştir. İki yığın arasında en önemli fark, A yığınının yüksekliğidir.

Yerleştirilen toplam 8 adet sıcaklık sensörü bir datalogger bağlanmıştır. Datalogger her saatte bir periyotlar halinde, sensörün ölçtüğü sıcaklık değerlerini alacak şekilde programlanmıştır. Yığın içerisine sıcaklık sensörleri yerleştirilirken, iletim kablolarının zarar görmemesi için 4 m uzunluğunda pvc boru içerisinden geçirilerek yığın içerisine yerleştirilmişlerdir. Pvc borunun ucuna sıcaklık sensörleri silikonla sabitlenmişlerdir. Borunun diğer tarafından da kablonun çıkışı sağlanarak, boru içerisine hava girmemesi için ağzı silikonlanmıştır.

Pt100'lerin yığın içerisine yerleştirilmesi belli bir düzen içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı sıcaklık değişimleri hakkında farklı yorumlar yapabilmek içindir. Bu yerleşim Şekil 2'de gösterilmiştir. Yerleştirilen sıcaklık sensörleri bir dataloggera bağlanmıştır. Datalogger da depolanan sıcaklık verileri, belirli aralıklarla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen sıcaklık değerlerini gösteren veriler Tablo 1. de verilmektedir.

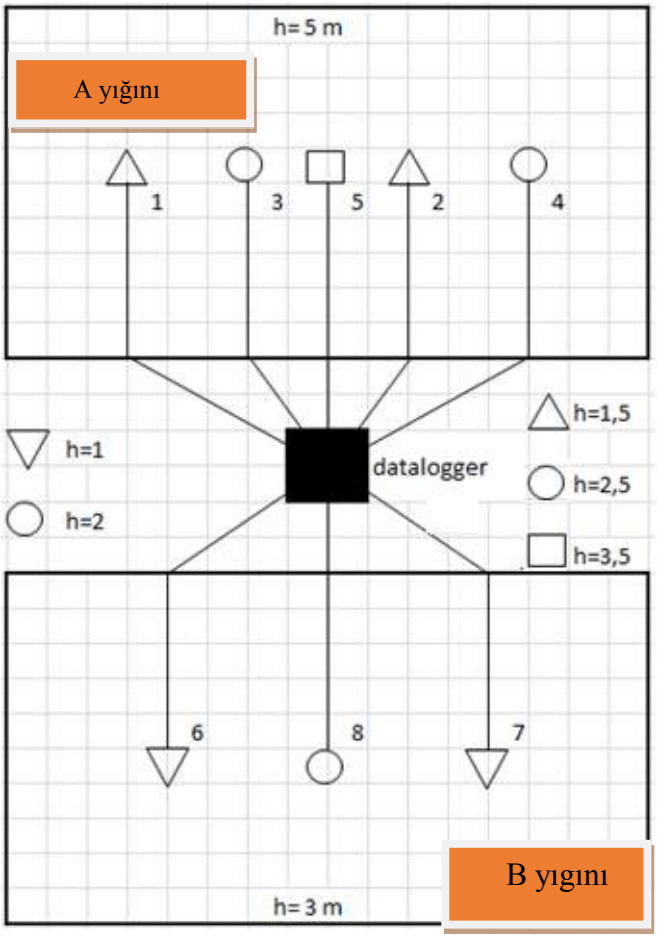
Çalışmanın yapıldığı zaman aralığı, 20/08/2014 ile 10/09/2014 tarihleri arasındadır. Geçen bu zaman içerisinde toplam 508 adet ölçüm elde edilmiştir. Toplan 8 adet sensör için 4056 ölçüm sonucu bulunmaktadır. Bu ölçüm sonuçlarına ilaveten Çan ilçesi meteoroloji ölçüm istasyonunda yaklaşık aynı saatlere denk gelecek şekilde ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve ortalama nem değerleri de alınmıştır. Alınan bu değerler yaklaşık 2000 adettir. Toplamda çalışma müddetince 6056 ölçüm sonucu mevcuttur.

3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çan Onsekizmart termik santrali stok sahasında stoklanan kömürlerin kendiliğinden yanmasını tespit etmek amacıyla yapılan çalışmada oluşturulan iki farklı yığının iç noktalarına yerleştirilen sıcaklık sensörlerleri ile ölçümler alınmıştır. Kömür yığınlarından alınan veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yüksekliği 5 m olan A yığınında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, kendiliğinden yanmanın en iyi izlendiği sensörün, T3 nolu sensör olduğu gözlenmiştir (Şekil 3). T3 nolu sensördeki sıcaklık artışı 18 gün boyunca lineer bir şekilde yavaş yavaş bir artış göstererek 80ºC

ye yükselmiştir. Son 3-4 gün ise yatay bir seyir izleyerek 22. günde 85ºC'ye yükselmiştir. 22. gün kendiliğinden yanma

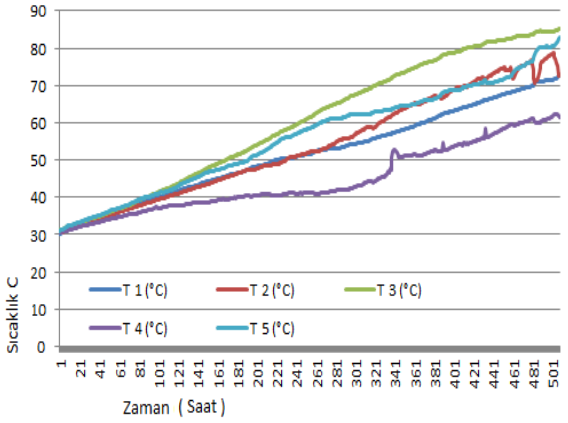


Şekil.2. Pt100 sensörlerin A ve B yığınındaki dağılımı.

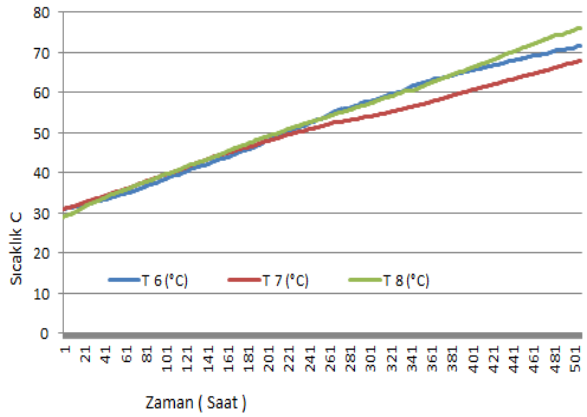
dışarıdan fark edilecek seviyeye geldiğinde (duman), işletme şartları gereği, yığına müdahale edilerek, veri alma işlemi sona erdirilmiştir.

B yığınında T8 nolu sensörde 14. günde 60ºC ve 20. günde 73ºC sıcaklık değerlerinde bir kırılma gözlemlenmektedir. Bu kırılmalar dışında yığına müdahale edileceği ana kadar lineer bir yükseliş görülmektedir (Şekil 4).

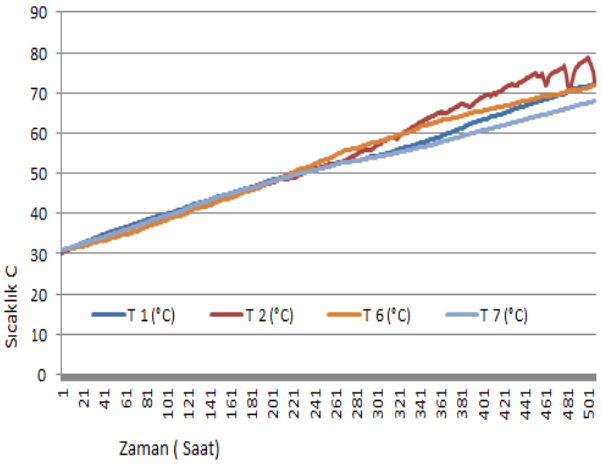
Farklı yığın yüksekliklerine sahip olarak oluşturulan, A ve B yığınları içerisine yaklaşık aynı yüksekliklerde yerleştirilen sensörler arasındaki ilişki incelendiğinde, yığın yüksekliği fazla olan A yığınında belli bir zamandan sonra kendiliğinden yanmanın hızlandığı görülmektedir. A yığınında 1,5 m yüksekliğe yerleştirilen T1 ve T2 nolu sensörler ile, B yığınında 1 m yüksekliğe yerleştirilen T6 ve T7 sensörler incelendiğinde; belli bir seviyeye kadar birlikte hareket ederek artan sıcaklık değerleri, 13.günden itibaren T1 ve T2 nolu sensörlerin kaydettiği sıcaklık değerlerinde T6 ve T7 ye göre daha fazla bir artış olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. A yığını zaman–sıcaklık grafiği.

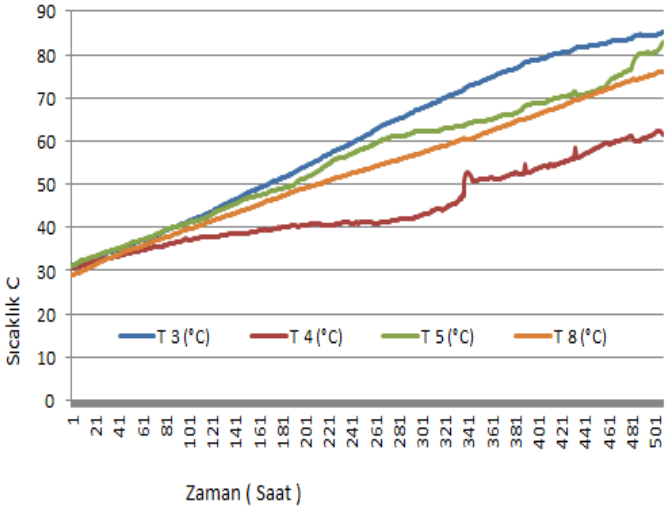


Şekil 4. B yığını zaman–sıcaklık grafiği



Şekil 5. T1, T2, T6 ve T7 arasındaki ilişki.

Aynı şekilde A yığınında 2,5 m yüksekliğe yerleştirilen T3 ve T4 nolu sensörler, B yığınında 2 m yüksekliğe yerleştirilen T8 nolu sensör ve yine A yığınında 3,5 m yüksekliğe yerleştirilen T5 nolu sensörler arasındaki ilişki incelendiğinde, 12 güne kadar birlikte hareket ederek artış gösteren sensörler, 12.günden sonra yüksekliği 5 m olan yığın içerisine yerleştirilen T3, T4 ve T5 nolu sensörlerin ölçtüğü sıcaklıklardaki artışın, B yığınındaki T8 nolu sensördeki artıştan daha fazla olmaya başladığı görülmektedir (Şekil 6).



Şekil. 6. T3, T4, T5 ve T8 arasındaki ilişki.

Lastikli yükleyici ile yığın oluşturulurken, kovanın yüksekten döktüğü kömür tanelerinin yığın içerisindeki dağılımı incelendiğinde, tane boyutu açısından yığında doğal bir ayrışma gerçekleştiği görülmektedir. Yüksekten düşen büyük taneler, yığın kenarlarına doğru akarken, küçük taneler, yığın merkezinde kaldığı gözlenmektedir. Merkezde küçük taneciklerin yer tutması nedeniyle, yığın yüksekliğine de bağlı olarak kendiliğinden yanma hızlanmaktadır. Bunun en önemli sebebi, küçük tane boyutundaki kömür tanelerinin yüzey alanı arttığından dolayı oksidasyon olayının daha fazla olduğu bilinmektedir.

Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda (Duzy ve Land 1985; Singh ve Demirbilek 1986; Ökten 1990), stok yüksekliği fazla olan yığınların, daha kısa sürede kendiliğinden yanmaya maruz kaldığı görülmüştür. Kısa vadeli (15 güne kadar) stoklamalarda; Linyit kömürü yığın yüksekliği en fazla 4 m olmalıdır (Duzy ve Land, 1985).

4 SONUÇLAR

Farklı geometrik özelliklerde oluşturulan iki adet yığın içerisine yerleştirilen 8 adet sıcaklık sensör ile yığın içerisinde meydana gelen kendiliğinden yanma olayı incelenmiştir. Yığınlar ÇLİ işletmesinde üretilen tüvenan (0-1000 mm) kömürlerden oluşturulmuştur.

Stok sahasında yüksekliği 5 m olan kömür yığınının iç sıcaklıkları (T1, T2, T3, T4 ve T5), stok yüksekliği 3 m olan kömür yığınına göre sıcaklıklar (T6, T7 ve T8) yaklaşık 13. günden itibaren olumsuz yönde ayrışarak, sıcaklık değerleri daha hızlı artmıştır. Yani yığın yüksekliği fazla olan A yığınında, daha kısa zaman aralığında kendiliğinden yanmanın meydana geldiği görülmektedir. Yaklaşık olarak 13 gün boyunca birbirine yakın sıcaklık değişim değerleri gösteren sensörlerin, 13. günden sonra sıcaklık değişimlerinde farklılıklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Stok yüksekliği 5 m olan A yığınının iç sıcaklık değerleri, B yığınından daha kısa sürede sıcaklıkların arttığı görülmüştür.

Kömürlerde meydana gelen kendiliğinden yanma olayı, kömürün kalorifik değerini etkilediği gibi çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla stoklama sahasında en az kayıp olacak şekilde çalışmalar yapılarak, en uygun stok geometrisi belirlenmelidir.

Tablo 1. Elde edilen değerleri

Reading Number	Date and Time (UTC+03:00)	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7	Channel 8				
		RTD 1 (°C)	RTD 2 (°C)	RTD 3 (°C)	RTD 4 (°C)	RTD 5 (°C)	RTD 6 (°C)	RTD 7 (°C)	RTD 8 (°C)	ortsck (°C)	maxsck (°C)	minsck (°C)	ortnem (%)
4	2014-08-20 13:13:23	30,17	30,57	31,27	30,7	31,13	30,97	30,92	28,99	29.8	30.4	29.4	51.3
16	2014-08-21 01:13:23	31,79	31,64	32,43	31,48	32,66	31,47	31,82	30,29	17.7	18.3	16.9	94.9
28	2014-08-21 13:13:23	33,1	32,88	33,45	32,37	33,72	32,27	32,93	32,02	33.6	34.7	32.6	40.8
40	2014-08-22 01:13:23	34,33	33,96	34,61	33,15	34,82	33,1	33,87	33,3	18.4	18.8	18.0	88.5
52	2014-08-22 13:13:23	35,5	35,03	35,73	34,01	35,99	33,92	34,95	34,71	34.3	34.8	33.6	39.4
64	2014-08-23 01:13:23	36,57	36,04	36,95	34,73	37,16	34,76	35,89	35,66	19.5	19.9	19.3	89.2
76	2014-08-23 13:13:23	37,57	37,04	38,12	35,54	38,32	35,68	36,99	36,94	32.8	33.1	32.5	44.0
88	2014-08-24 01:13:23	38,71	38,08	39,67	36,19	39,76	37,11	38,17	37,99	19.7	20.1	19.5	89.7
100	2014-08-24 13:13:23	39,65	39,14	40,92	37,07	40,78	38,02	39,25	39,28	34.0	34.7	33.3	35.7
112	2014-08-25 01:13:23	40,55	40,07	42,23	37,53	41,66	39,23	40,16	40,26	19.0	19.3	18.6	83.3
124	2014-08-25 13:13:23	41,67	41,05	43,66	37,82	43,14	40,24	41,35	41,51	28.8	29.2	27.9	52.7
136	2014-08-26 01:49:56	42,75	42,1	45,42	38,32	44,62	41,53	42,55	42,6	22.8	23.0	22.7	79.3
148	2014-08-26 13:49:56	43,79	43,08	46,99	38,56	45,95	42,44	43,67	43,67	29.2	30.0	28.4	50.7
160	2014-08-27 01:49:56	44,7	44,2	48,62	39,01	47,15	43,57	44,62	44,79	17.3	17.7	17.0	92.8
184	2014-08-28 01:49:56	46,55	46,39	51,4	40,05	48,95	45,81	46,34	47,19	16.2	17.3	15.2	79.2
196	2014-08-28 13:49:56	47,64	47,28	52,91	40,32	50,29	46,95	47,32	48,47	29.6	30.4	29.0	48.0
208	2014-08-29 01:49:56	48,56	48,14	54,66	40,71	51,92	48,38	48,21	49,43	23.6	23.6	23.5	71.6
220	2014-08-29 13:49:56	49,67	48,71	56,36	40,54	53,98	49,55	49,15	50,44	26.9	27.5	26.2	44.5
232	2014-08-30 01:49:56	50,27	49,74	58,01	40,82	56,02	51,17	50,03	51,51	19.6	20.1	19.3	70.8
244	2014-08-30 13:49:56	50,99	51,01	59,5	41,02	57,02	52,34	50,78	52,52	22.4	22.9	22.1	76.1
268	2014-08-31 13:49:56	52,77	52,56	63,21	41,11	59,98	55,01	52,5	54,47	24.8	25.0	24.6	61.6
280	2014-09-01 01:49:56	52,97	54,08	64,66	41,51	61,11	56,01	52,92	55,38	20.4	20.8	19.8	83.4
292	2014-09-01 13:38:29	53,55	55,6	65,97	42,11	61,42	56,85	53,46	56,33	28.2	28.9	27.5	46.9
304	2014-09-02 01:38:29	54,31	56,97	67,53	42,88	62,18	57,78	54,07	57,21	16.7	17.1	16.3	94.8
328	2014-09-03 01:38:29	56,18	59,85	70,46	45,05	63,09	59,79	55,36	59,27	17.8	18.2	17.3	92.8
340	2014-09-03 13:38:29	57,07	61,7	71,88	47,36	63,54	60,75	56,14	60,55	31.3	32.7	30.6	38.4
352	2014-09-04 01:38:29	58,11	63,71	73,42	50,98	64,47	62,12	56,81	61,12	19.5	19.6	19.5	98.0
364	2014-09-04 13:38:29	59,07	65,17	74,66	51,61	64,91	63,05	57,68	62,44	28.5	29.1	27.9	55.4
376	2014-09-05 01:38:29	60,36	66,03	76,04	51,81	66,02	63,68	58,55	63,49	20.8	21.2	20.5	92.3
388	2014-09-05 13:38:29	61,75	66,82	77,26	52,47	66,92	64,53	59,48	64,8	29.4	29.9	28.5	53.6
400	2014-09-06 01:38:29	62,93	68,19	78,61	53,25	68,68	65,27	60,32	65,78	21.3	21.6	21.1	96.0
412	2014-09-06 13:38:29	64,03	69,23	79,44	54,02	69,24	66	61,15	67,03	26.7	27.7	25.9	66.5
424	2014-09-07 01:38:29	64,9	70,97	80,4	54,95	70,12	66,63	61,91	67,98	17.9	18.0	17.8	97.0
436	2014-09-07 13:38:29	65,99	71,69	81,43	58,46	71,54	67,47	62,76	69,46	21.3	21.7	20.8	83.4
460	2014-09-08 13:38:29	68,02	74,15	82,45	59,25	72,34	69,02	64,4	71,69	26.2	27.2	25.3	56.7
472	2014-09-09 01:38:29	68,99	75,04	83,18	60	75,02	69,44	65,2	72,84	16.0	16.2	15.7	97.2
484	2014-09-09 13:38:29	70,03	74,02	83,68	61,03	76,98	70,19	66,05	74,13	27.4	27.7	26.8	40.7
508	2014-09-10 13:38:29	71,91	76,08	84,74	62,26	81,45	71,65	67,74	76	27.7	28.3	27.2	30.2

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri) ÇLİ (Çan Linyit İşletmeleri) yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akgün, F., 1994, Kömürlerin kendiliğinden yanmasının teorik ve deneysel incelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri, *Doktora Tezi*, İstanbul, s 1-142

Biçer İ., Özdeniz, A.H., Kelebek S., Tunçbilek Kömürlerinde Kendiliğinden Yanmanın Doğal Sıkışma Etkisine Bağlı Olarak İncelenmesi, *Türkiye 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 06-08 Haziran, Zonguldak, s281-288, 2012.

Didari, V., 1986, Yeraltı Ocaklarında Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk İndeksleri, *Madencilik Dergisi*, Cilt. 15, Sayı. 4, s. 29-34.

Didari, V., 2002, Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters, *Turkish J. Eng. Env. Sci*., 26, 59-64

Duzy A.F. ve Land G.W., 1985; "Hot CoalBulk Transport and Storage", *Mining Engineering*, February, 1985, s. 139-143.

Ozdeniz, A.H., Investigation of coal stockpiles of Tunçbilek Thermal Power Plant with respect to time under atmospheric conditions, *Energy Sources: Part A*, 31:473–479, 2009.

Ozdeniz, A.H., Determination of Spontaneous Combustion in Industrial-Scale Coal stockpiles, *Energy Sources: Part A*, 32:7, 665-673, 2010.

Ökten G., 1990; *" Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Önlenmesi İçin Alınacak Tedbirler*." İ.T.Ü.

Saraç, S., 1992, Yeraltı Kömür Ocaklarında Kendiliğinden Yanma, *Anadolu Üniversitesi Müh Mim Fak Yayını*, no: 16, s 118

Sensogut, C., and Ozdeniz, A.H, Statistical Modeling of Stockpile Behavior under Different Atmospheric Conditions - Western Lignite Corporation (WLC) Case, *FUEL* 84, 1858-1863, 2005.

Singh, R.N. ve Demirbilek, S., 1986; "Seams with 'Spon Com' Risk*", Colliery Guardian*, s.418-420.

Ünver B., ve Özözen, A., 1998; "Kömür stoklarında meydana gelen kendiliğinden yanma süreci ile ilgili modeller ve alınması gereken tedbirler", *Madencilik Dergisi*, 37(1998), No. 3, p.29

Kömür Yüzey Renginin Kömür Yığınlarında İçsel Isınmaya Etkisi

Effect of Surface Color of Coal on Internal Heating of Coal Stockpile

K. Doğan, A. Hadi Özdeniz
S.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Kömür stoklarındaki en önemli sorun, kendiliğinden yanma problemidir. Oluşturulan kömür stokları, kendiliğinden yanma nedeniyle, hem kalori değerinde hem de miktarında önemli kayıplarla karşı karşıyadır. Bu çalışma Konya Çimento Fabrikası stok sahalarındaki mevcut +18-50 mm tane boyutundaki kömür stoklarında yapılmıştır. İki farklı stok oluşturulmuştur. Bu stoklardan bir tanesinin yüzeyine su ile karıştırılmış kireç püskürtülmüştür. Stokların iç bölgesine oksidasyon nedeniyle meydana gelen ısı artışlarını ölçmek üzere, sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Aynı zamanda yığının batı yönünde güneş ışınlarının etkisini incelemek üzere lazer termometre ile yüzey sıcaklıkları değerleri alınmıştır. Eş zamanlı olarak yığın üzerlerinde etkili olan atmosfer parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler doğrultusunda yüzeyi kireç ile kaplanmış olan kömür yığınının, diğer kömür yığınına göre daha fazla iç sıcaklıkların arttığı gözlemlenmiş ve ayrıntılı olarak bu iki yığın arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kömürlerde kendiliğinden yanma, içsel ısınma, kömür yüzeyi rengi

ABSTRACT The most important problem in coal stocks is spontaneous combustion. Spontaneous combustion of coal stocks results in both loss of combustible matter and calorific value of coal. This study was undertaken for coal stocks including coals of +18-50mm size in Konya Cement Factory. Two different stocks to be exposed to sun were prepared. One of these stocks was coated by white liquified lime. Internal and external temperatures of these stocks were measured and recorded simultaneously. Detailed comparison was performed between them. Results showed that higher temperatures were attained at lime coated coal heap when compared to original coal heap.

Keywords: Spontaneous combustion, internal warming, color of coal surface

1 GİRİŞ

Kömürlerde kendiliğinden yanma olayı, düşük sıcaklıkta başlayıp ortamda ısı birikmesi sonucu, sıcaklığın giderek artmasıyla açık alevli bir yangına dönüşmesidir. Kömür yığınlarındaki en büyük problemlerden birisi, bu ekzotermik reaksiyon olayı nedeniyle meydana gelmektedir. Bu reaksiyon sırasında oksijen absorbsiyonu arttığı için kömür sıcaklığı 40° C' a kadar yükselmektedir. Bu ısı ortamdan uzaklaştırılmadığı takdirde, ortalama olarak 60–70°C'lerden sonra, CO, CO_2 gibi bazı gazların çıkış yoğunluğu artmakta ve 125°C' de kömür yüzeylerinde su buharı gelmektedir. Isı artışının giderek hızlanmasıyla kömür tutuşma sıcaklığına ulaşır ve alevli yanma olayı meydana gelir (Jones ve Townend, 1949; Kural, 1998; Barış**,** K. ve ark., 2011).

Kömürlerde kendiliğinden yanma olayı hem açık işletmelerde hem de yer altı madenciliğinde sıklıkla karşılaşılmaktadır.

Aynı zamanda da kömürlerin depo edildiği stok sahalarındaki yığınlarda da, çok sık rastlanan bir durumdur ve bu olay birçok çevresel ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Kaymakçı E., ve ark., 2002). Yüksek miktarlarda kömür kullanan işletmeler, üretim aksamalarına karşı stoklu çalışmak zorundadırlar.

Bu çalışma Konya Çimento Fabrikası kömür stok sahasında yapılmıştır. Çimento fabrikası yüksek oranda stok bulunduran işletmelerin başında gelmektedir. İşletmenin stok sahasına kömürler Tunçbilek bölgesindeki kömür ocaklarından gelmektedir. Tunçbilek kömürlerinin kendiliğinden yanmaya karşı yatkınlığı bilinen bir gerçektir (Şensöğüt,1999; Karpuz e ark., 2000). Ayrıca ülkemizde sınırlı sayıda endüstriyel boyutlu kömür stokları üzerinde çalışmalar vardır (Sensogut ve Ozdeniz; 2005; Ozdeniz, 2009; Ozdeniz, 2010).

Bir madde üzerine güneş ışıkları temas ettiğinde, ultraviyole radyasyonun bir kısmı geri yansır, bir kısım radyasyon maddenin üzerinde absorplanır ve diğer bir kısım radyasyon da madde içinden geçerek yoluna devam eder (Algaba ve Riva, 2002). Siyah renkli cisimler, üzerine gönderilen ışığın tamamını soğururlar. Bu yüzden başka renkteki cisimlere göre siyah renkli cisimler daha fazla ısınırlar (Parlak ve Özdeniz, 2012). Bu çalışma, doğal atmosfer şartları altında iki farklı kömür stoğu üzerinde yapılmıştır. Bu stokların iç bölgelerine meydana gelen sıcaklık artışlarını ölçmek amacıyla, sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. İç sıcaklıklar ölçülürken aynı zamanda atmosfer parametreleride izlenmiştir. Bu ölçümler alınırken eş zamanlı olarak yığınların batı yönündeki yüzeyi sıcaklıkları alınmıştır. Elde edilen veriler ile kömür yığınlarının kendiliğinden yanma arasındaki ilişki incelenmeye çalışılmıştır.

2 DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Bu çalışma, yüksek miktarlarda kömür kullanan bir işletmenin kömür stok sahasında yapılmıştır. Tane boyutu 18-50 mm kömürlerden aynı geometrik ölçülerde iki adet yığın üzerinde çalışılmalar yürütülmüştür. Oluşturulan yığınların geometrik ölçüleri; yaklaşık olarak eni 4 m, yüksekliği 3 m ve uzunluğu 6 m olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1). Güneşin kendiliğinden yanma olayı üzerinde etkili olan önemli faktörlerden birisidir. Bu nedenle kömür yığınlarından bir tanesinin yüzeyi beyaz rengin güneş ışınlarından daha az etkilendiği düşüncesiyle sönmüş kireç ile kaplanmıştır. Bu işlem için yanmış kireç ile su, bir kovada karıştırılarak, bir püskürtme makinesi yardımıyla yığının yüzeyine püskürtülmüştür. Diğer yığının yüzeyine herhangi bir işlem yapılmamıştır.

Oluşturulan her iki yığın içerisine, yığın içi sıcaklıkları ölçmek amacıyla yığının merkezlerinde ve yerden 1 metre yüksekte olacak şekilde birer adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir (PT100). Sıcaklık sensörlerinden saat başı veri alacak şekilde ayarlanan datalogger ile sıcaklık değerleri, düzenli olarak kayıt altına alınmıştır.

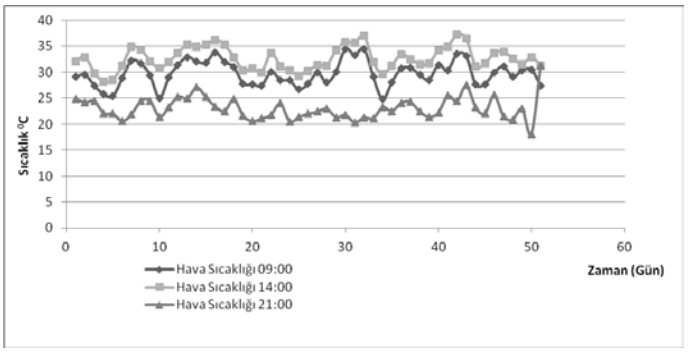
İç sıcaklık değerleri her saat başı otomatik olarak alınırken, aynı zamanda kömür yığınlarının dış yüzeylerinin sıcaklıkları da bir lazer termometre ile ölçülmüştür. Yüzey sıcaklık okumaları, yığının kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde olmak üzere yapılmıştır. Bu çalışmada örnek teşkil etmesi amacıyla doğu yönünden alınan her iki kömür yığını üzerindeki sıcaklık ölçümleri gösterilmiştir. Yığın yüzeyinin sıcaklık ölçümleri güneş ışınlarının etkisinin farklılıklarını belirlemek amacıyla gün boyunca 09:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde yapılmıştır.

Şekil 1. Yığınlara ait fotoğraf

Bu okumalara paralel olarak Konya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden ölçüm yapılan günlere ait averaj basınç değeri, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, nem ve küresel radyasyon değerleri temin edilerek bu bilgilerden faydalanılarak bazı kıyaslamalar yapılmıştır.

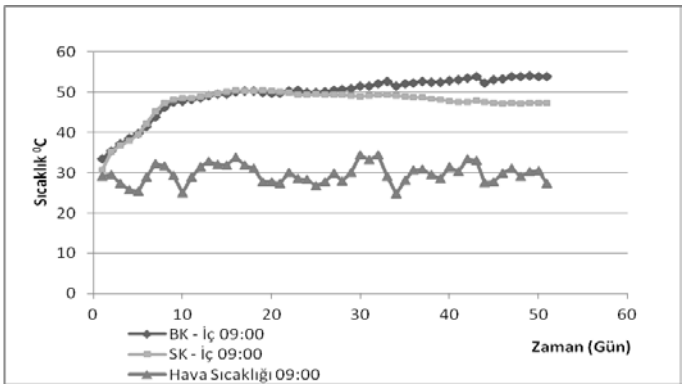
3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada yüzey renklerine göre farklılık gösteren normal yığın (SK) ve kireç ile kaplanan yığın (BK) olarak ayarlanan bu iki adet yığın üzerinde 51 gün boyunca yığın içi sıcaklıkları, doğu yönü yüzey sıcaklıkları ve meteoroloji verileri yardımıyla, her bir yığın hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir.
Çalışma boyunca her gün saat 09:00, 14:00 ve 21:00 de hava sıcaklık okumaları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Hava sıcaklık değerleri.

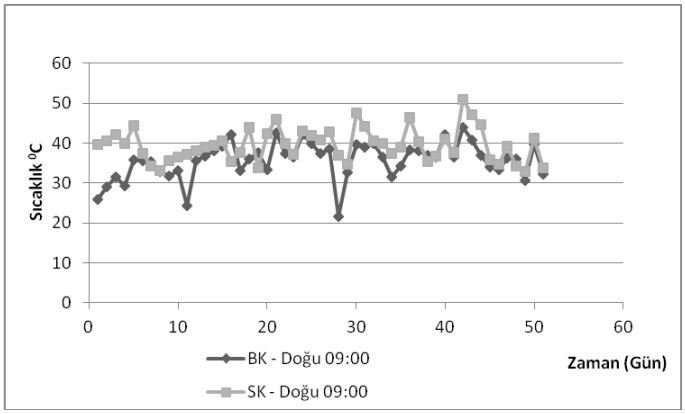
Şekil 2 incelendiğinde saat 09:00 da ki grafikte; 9. ve 34. günlerde sıcaklıklarda ani düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun sebebi o günlerdeki sabah saatlerinde meydana gelen yağışlar olmuştur. Sıcaklıklar beklenildiği gibi 09:00 da orta seviyelerde, 14:00 da maksimum, 21:00 da ise en düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Yığınların saat 09:00' da ki iç ve hava sıcaklıkları.

Şekil 3'de yığınlara ait iç sıcaklık değerleri görülmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere, iç sıcaklıklar ilk 23 gün aynı seviyelerde seyretmiştir. Hava sıcaklığı 23. günden sonra dalgalanmalar göstermesine rağmen, iç sıcaklıklar bundan fazla miktarda etkilenmemiştir. Şekil 3'te açıkça görüldüğü gibi, beklenen iç sıcaklık değişimi gerçekleşmemiştir. Herkes tarafından bilinen ve savunulan gerçek beyaz rengin ısıyı yansıttığı ve sıcak günlerde beyaz rengin daha serin tutacağı görüşü savunulmaktadır.

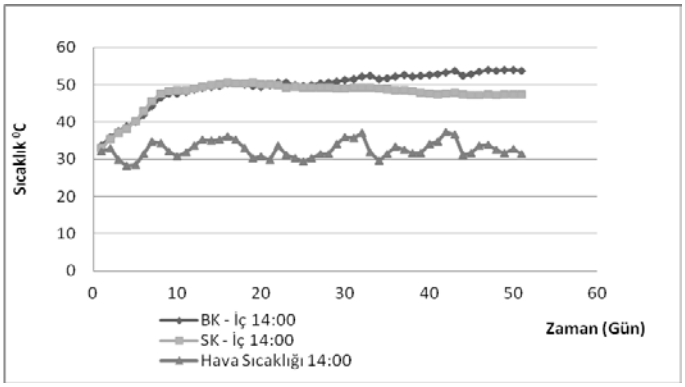
Bu çalışma kapsamında bu düşünce ile yüzeyi beyaz olan kömürün iç ısınmasının daha az olacağı ve kendiliğinden yanma olayının daha geç meydana geleceği beklenmekteydi. Fakat beklenin aksine, içsel sıcaklık artışında ilk başta birbirine paralel bir ilerleme kaydedilirken, ilerleyen zamanda BK yığınındaki içsel ısınma daha hızlı bir yükseliş göstermiştir. Deneylerin yapıldığı süre zarfında meydana gelen anlık yağışlar, kömür içyapısına girerek kademeli olarak ısı kayıplarına sebebiyet vermiştir. Oluşan buharlaşmalar ısı düşüşüne sebep olurken, BK yığınında kendiliğinden yanma sebebiyle ısı artışı devam etmiştir. Bunun sebebi beyaz yüzeyin iç yüzeydeki ısıyı tekrar içeriye yansıtarak ısınmayı daha da hızlandırıcı etki göstermiş olmasıdır.



Şekil 4. Kömür yığınları doğu yüzeylerinin saat 09:00'daki sıcaklık değişimleri.

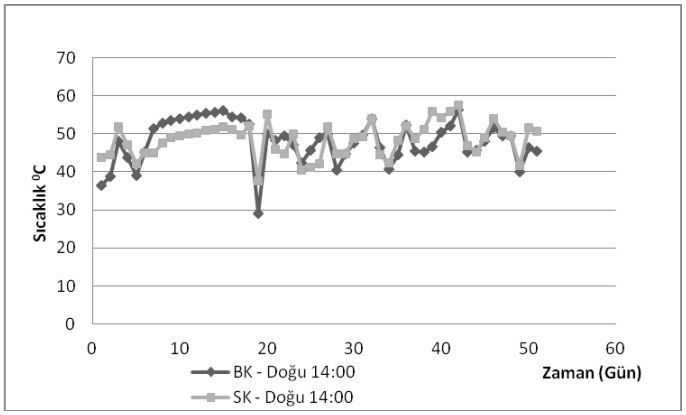
Kömür yığınlarının doğu yönünde yüzeylerinde yapılan ölçümleri Şekil 4'de verilmektedir. BK kömür yığını yüzeyinde meydana gelen yağmur nedeniyle bozulmalar olmuştur. Bu sebeple ile yığın tekrar sıvı kireçle kaplanmış ve çalışmalara devam edilmiştir.

Doğu yönünde saat 14:00 da yapılan incelemelerde de saat 09:00 da gözlemlediği gibi BK yığınındaki iç sıcaklık artışı, SK yığınına kıyasla daha fazladır. Yüzey sıcaklığı ve iç ısı sıcaklığı başlangıçta birbirine çok yakın olmasına rağmen, zaman içerisinde artarak BK yığını içerisindeki içsel yanma maksimum değerlere ulaşmıştır (Şekil 5).

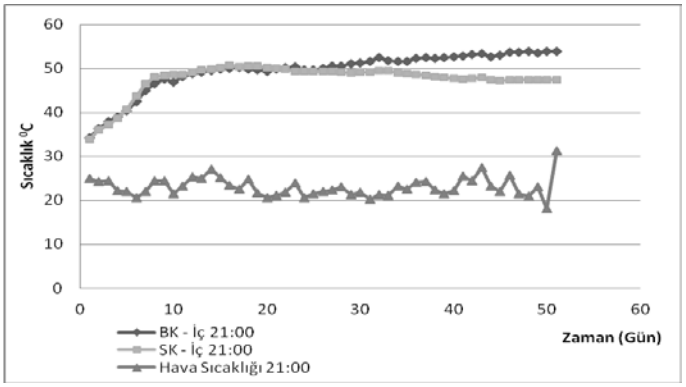


Şekil 5. Yığınların saat 14:00 daki içsel sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları.

Doğu yönünde saat 14:00 da her iki yığının da yüzey sıcaklıklarındaki değişim birbirine paralel ilerlemiştir. Başlangıçtaki farkın sebebi ise deney başlangıcındaki BK yığınının yüzeyine yapılan sıvılaştırılmış kireç uygulamasıdır. Zaman içerisinde bu etki ortadan kalkmış ve sıcaklıklardaki değişimler benzerlik göstermiştir (Şekil 6).

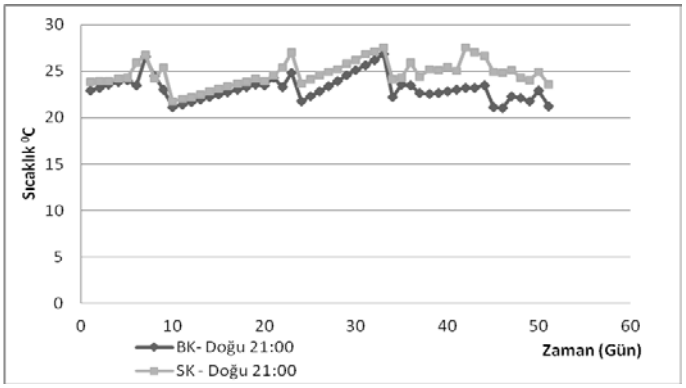


Şekil 6. Kömür yığınları doğu yüzeylerinin saat 14:00'daki sıcaklık değişimleri.



Şekil 7. Yığınların saat 21:00 daki içsel sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları.

Doğu yönünde saat 21:00 da yapılan incelemeler sonrası elde edilen grafikler Şekil 7' de verilmiştir. İçsel ısı farklılığı saat 09:00 ve 14:00'da olduğu gibi benzer bir değişim göstermiştir.



Şekil 8. Kömür yığınları doğu yüzeylerinin saat 21:00'daki sıcaklık değişimleri.

Doğu yönünde saat 21:00 da yapılan yüzeysel ölçümler her iki yığında da benzer bir şekilde değişim göstermiştir. Bu değişim BK yığınının daha çabuk soğuduğu gerçeğini yüzeysel bazda ispatlamış ve 34. günden sonra BK yığının doğu yönündeki yüzey sıcaklığı daha fazla düşüş göstermiştir (Şekil 8). Fakat bu yüzey sıcaklığındaki düşüş içsel sıcaklıkta tam tersi bir ilerleme kaydetmiştir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışma, Konya da faaliyet gösteren ve fazla miktarda kömür kullanan bir işletmenin stok sahasında gerçekleştirilmiştir. Stok sahasında oluşturulan aynı geometrik ölçülerde iki farklı yığın üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmadaki amaç, kendiliğinden yanmada etkili olan güneş ışınlarının etkisinin, yapay bir beyaz yüzey oluşturularak en az seviyeye indirilmesinin sağlanmasıdır.

Yüzey sıcaklığının saat 21:00 hariç, her iki yığında da benzer bir özellik gösterdiği gözlenmiştir. Hava sıcaklığı daha düşük olan saatlerde, BK yığını yüzeyi daha çabuk soğuma göstererek daha düşük derecelere inmektedir.

Yaz aylarında beyaz rengin insanları serin tuttuğu bilinen bir gerçektir. Bu düşünce ile yapılan beyaz yüzeyli kömür yığınında da aynı ısısal değişim beklenmiş, fakat tam tersi bir davranış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise beyaz yüzeyin içerideki mevcut ısınmanın yüzeye çıkışını engelleyerek tekrar içeri yansımasına sebep olmasıdır. Bu yüzden SK yığınının iç kesimlerinde akşam saatlerinde soğuma gerçekleşirken, BK yığınında soğuma dış yüzeyde olmuştur. İç yüzeydeki ısı beyaz yüzeye temas ederek tekrar iç kısma geri yansıma yapmıştır. Çalışmanın yaklaşık 25. gününe kadar her iki yığında da benzerlik gösteren iç sıcaklık, bu günden sonra BK yığınında daha fazla artış göstermeye devam etmiş ve BK yığınının içsel yanma olayını hızlandırıcı bir etki yapmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında, her türlü desteği bizlere veren Konya Çimento fabrikası yetkililerine teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Algaba, I. and Riva, A., (2002) *In Vitro Measurement of the Ultraviolet Protection Factor of Apparel Textiles*, Coloration Technology, 118: 52–58

Barış K., Aydın H., and Didari V., 2011, Statistical Modeling of the Effect of Rank , temperature, andparticle size on Low- Temperature Oxidation of Turkish Coals, *Combt. Sci. And Tech*., 183: 105-121

Jones, R.E., Townend, D.T.A., 1949, Oxidation of Coal, *Journal Society of Chemical Industry*, 68s.

Karpuz, C., Güyagüler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Başarır, H., Keskin, S., 2000, Linyitlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin tespiti: Bölüm 1-Risk sınıflaması derlemesi, *Madencilik*/ Eylül-Aralık, s 4–11.

Kaymakçı, E., and Didari, V., 2002, Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 59-64

Kural, O., 1998, *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, Özgün Ofset Matbaacılık A.S.,785s.

Sensogut, C., and Ozdeniz, A.H, Statistical Modeling of Stockpile Behavior under Different Atmospheric Conditions - Western Lignite Corporation (WLC) Case, FUEL 84, 1858-1863, 2005.

Şensöğüt, C., 1999, Türk kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı-Ilgın Linyitleri örneği, *Madencilik*, 38–1, s 45– 52.

Ozdeniz, A.H., Investigation of coal stockpiles of Tunçbilek Thermal Power Plant with respect to time under atmospheric conditions, Energy Sources: Part A, 31:473–479, 2009.

Ozdeniz,A.H., Determination of Spontaneous Combustion in Industrial-Scale Coal stockpiles, Energy Sources: Part A, 32:7, 665-673, 2010.

Parlak,M.G., Özdeniz, A.H., Tunçbilek Kömürlerindede Kendiliğinden Yanmanın Güneş Işınları Etkisine Bağlı Olarak İncelenmesi, Türkiye 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 06-08 Haziran 2012, Zonguldak, s 313-322.

Wang, H., Dlugogorski, B.Z., Kennedy, E.M., 2003, Coal oxidation at low temperatures: Oxygenconsumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modeling, Progress inEnergy and Combustion Science, ss. 487– 513.

Madenler İçin Tasarlanmış Yaşam Galerileri

The Mines Are Designed For The Living Galleries

M. Çelik
Demir Madencilik A.Ş., Zonguldak

ÖZET: Kömür üretimlerinin yapıldığı yeraltı işletmelerinde; Kömür, kimyasal yapısı gereği Patlayıcı, parlayıcı, yanıcı ve boğucu gazları bünyesinde barındırır, üretimi sırasında da ortaya çıkarak çalışanlar için ciddi riskler oluştururlar. Tehlikelerle mücadele etmenin en iyi yöntemi tehlikeyi kaynağında yok etmek ve önlemektir. Bütün önlemlere rağmen yine de tehlikeli ortamlar oluştuğunda ise; En ekonomik, en basit ve yüksek emniyet donanımına sahip söz konusu Yaşam Galerileri; Tamamen kapalı devre olarak tasarlanan, üretim noktalarına yakın, sağlam kayaçta sürülen, çalışan sayısı ve iş yerinin özelliklerine göre kapasitesi belirlenen en kötü koşullarda bile hayatta kalmayı sağlayan, iki yönlü havalandırma ve pis hava dönüş sistemleri olan, kendi enerjisini kendi üreten, kesintisiz haberleşme olanağı sağlayan, sığınan çalışanların en az 15 gün hayatta kalabilecekleri şekilde ihtiyaçları karşılanan, her türlü sağlık ve yaşam malzemeleri çalışanların ihtiyacına yetecek kadar hazır olan ve en ağır koşullarda bile çalışanların kolaylıkla ulaşabilecekleri bu yaşam galerilerinde; Bütün olumsuz şartlara ve risklere karşı sıfır can kaybı hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam galerisi, yeraltı maden işletmesi

ABSTRACT: In the underground coal mining firms; by its chemical structure, coal contains explosive, flammable and choking gases and also these gas evolution reactions are done during coal mining and they are risky for workers. The best way to struggle with dangers is to prevent and remove them at source. Despite all measures, dangerous situations may be created. Refuge chambers have the most economical, simple and best safety equipment. Refuge Chambers, having the most economical, simple and high safety equipment, are completely closed circuit design, close to the production site, moving in firm rock, based on the number of employees and the condition of the workplace capacity, surviving in the worst case, providing 2 way air supply and foul air sending system, producing its own energy, providing non stop communication source, surviving at least 15 days for the miners trapped in and providing their necessities, including every kind of health and basic requirements in storage compartments, easy to reach in the worst condition, it is aimed to have zero loss of life despite adverse conditions and risks.

Keywords: Living gallery, underground mining plant

1.GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında; Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda meydana gelen ölümlü iş kazaları ve kaza raporları detaylı bir şekilde incelenmiştir.(TTK:1955 Gelik, 1983 Armutçuk, 1992-2013 Kozlu,2010 Karadon'da meydana gelen birden çok ölümlü iş kazaları kaza kanaat raporları) Söz konusu kazalardan; Kozlu'da kaza sonrası fiilen görev yapmamızın ve oradaki tespitlerimizin bu çalışmaya katkısı olmuştur, aynı şekilde Karadon'da meydana gelen faciada da yerinde yaptığımız tespitler böyle bir çalımanın alt yapısını oluşturmuştur. 23 Ağustos 2010 tarihinde Şili'de meydana gelen maden kazası detaylı bir şekilde incelenmiştir. (Madencilik Dergisi Ekim-Aralık 2010) Yerltı

madencilik çalışmaları ve madenin cinsine göre ortamda oluşacak riskler ve çözüm önerilerini kapsayan bildiriler incelenmiştir.(Ayvazoğlu E. Madenlerde Havalandırma ve Emniyet. İTÜ 1986)

Son olarak Soma'da meydana gelen facia bu yöndeki çalışmalarımızın bir an önce hayata geçirilebilmesinin önemini artırmıştır. Halen piyasaya farklı firmalarca arz edilmiş Yaşam Odaları detaylı bir şekilde incelendiğinde; yaşam galerilerinin her türlü yeraltı madencilik faaliyetlerinde yaşam odalarına göre daha pratik,daha ekonomik ve kolay uygulanabilir olabileceği düşünülmüş ve bildirimizin ana temasını oluşturan, değişik senaryoları da kapsayan animasyonlarla desteklenmeye çalışılmıştır.

1.1 Yeni Kurulacak İşletmeler

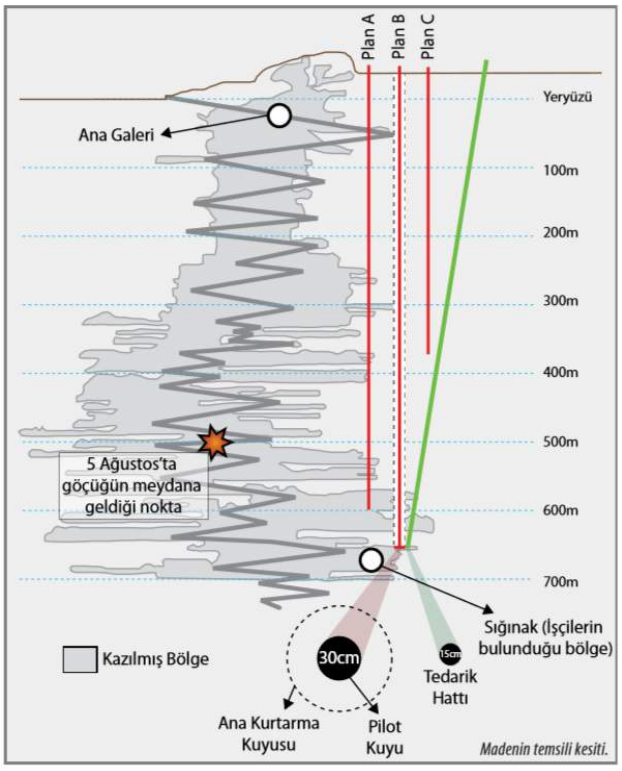
Yeni kurulacak işletmelerde Yaşam Galerilerinin yer seçimi; işin başında planlanmalı, projeye konmalı ve üretime geçmeden yeraltı işletmesinin ana yollarının imalatı aşamasında birlikte tesis edilmelidirler.

1.2 Çalışan İşletmeler

Çalışan işletmelerde mevcut ocak planları; Üretim noktaları, havalandırma sistemleri, basınçlı hava şebekeleri ve sağlayıcılarının tamamı üzerinde bir durum değerlendirmesi yapılmalı, yaşam galerilerinin kriterlerine uyan yerler belirlenmeli ve yapımına karar verilmelidir.

2.KRİTERLER

Yeraltı işletmesinin büyüklüğü ve jeolojik yapısı(dik, eğimli ve düz damarlar) da dikkate alınarak üretim noktalarına 30 dk. yürüme mesafeli ve sağlam formasyonların yeri belirlenmeli ve ona göre yapımına geçilmelidir. 30 dk. lık yürüme mesafesi çalışanların kullandıkları OFK maskelerinin kullanım süresidir. Bu tasarım her ne kadar kömür işletmeleri için düşünülmüş ise de yaptığımız araştırmalar ve yaşanan iş kazaları incelendiğinde her türlü yeraltı maden işletmelerinde de kullanımı mümkündür. Özellikle Şili'deki maden kazası incelendiğinde yapılan kurtarma işlemi ve sağ olarak kurtarılan madencilerin sevinci bazı gerçekleri de görmemizi engellemiş gibi görünüyor şöyle ki: Bir yeraltı işletmesinin olmazsa olmazı en az bir giriş, en az bir çıkış şeklindedir. Bu kural metal madenciliği içinde, kömür madenciliği içinde geçerlidir. Şekil 1. de görüldüğü gibi Şili de meydana gelen ve faciaya dönüşmeden kurtarılan işçilerin çalıştığı metal madenine ait yeraltı ocağının planlarına bakıldığında kaza oluncaya kadar ocağın tek girişi var ve ocağın derinliği yaklaşık 700 m dir, temiz hava da, pis hava dönüşü de aynı yerden yapıldığı görülmektedir, kaza olduktan sonra ikinci bir kaçış yolunu yani sondajlarla işçilere ulaşmamız gerçeğini ve kuralını bizler yaşayarak öğrenmek zorunda kaldık. Tasarımını yapmış olduğumuz Yaşam Galerileri metal madenciliğinde de uygulanması daha pratik ve daha ekonomik olabileceği düşünülmelidir.



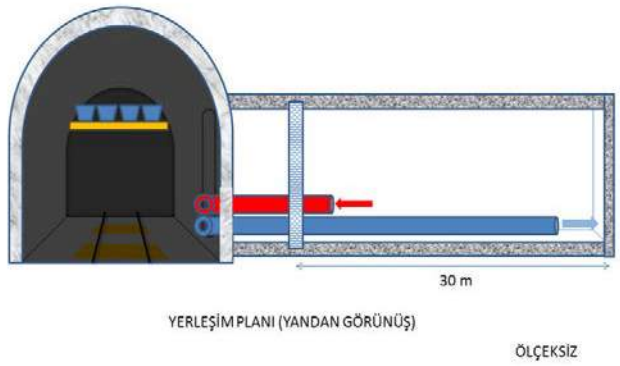
Şekil 1. Şili Maden Kazası Ocak Planı

3. BOYUTLAR

Yapımına karar verilen Yaşam Galerilerinin, hizmet vereceği üretim noktalarındaki

çalışanların tamamına yetecek kadar hacim ve donanımda olması esastır

Bir yaklaşım olarak: Anayollar en az B 10 kesitinde, Yaşam Galerileri B 8 kesitinde ve 30 m sürülmesi gibi. Her hangi bir patlama, ocak yangını, basit bir yangın veya diğer durumlarda yaşam galerilerinin daha küçük ebatta sürülmesi ortamda bulunan hafif gazların ve ağır gazların yaşam galerisinin içerisine akmasını önlemek içindir, yani tavan ve taban olarak yaşam galerisi ana yol galerisi ile aynı seviyede olmamalıdır.

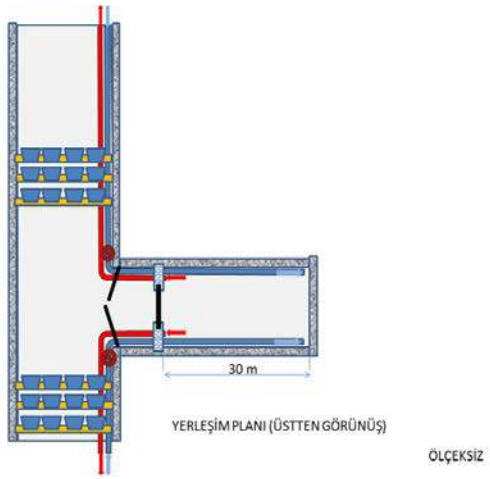


Şekil 2. Yaşam Galerisi Yandan Görünüş.

30 m uzunluk seçimi ise normal çalışma yapılırken yaşam galerisinin normal havalandırılmasının kolaylıkla yapılması içindir.

Normal koşullarda 30 x8 =240 metreküp
240/10=24 kişidir.

(a) Şekil 3 den de anlaşılacağı gibi yaşam galerisini besleyen iki yönlü temiz hava ve pis hava dönüşleri.



Şekil 3.Yaşam Galerisi Üstten Görünüş.

4. HAVA HACMİ VE MİKTARI

Yeraltı işletmelerinde kişi başına düşen hava hacmi normal koşullarda 10 metreküptür

Hava miktarı ise:

Normal koşullarda 40 metreküp/saat, 0.66 metreküp/dakikadır.

4" luk bir basınçlı hava şebekesi 7.5 bar basınçla çalışan kompresörlerden 24 metreküp/dakika hava sağlanmaktadır, veya başka değerler de düşünüldüğünde aynı oranlar geçerlidir, seçilen değerler uygulandığında her ne kadar 36 kişiye yeterli ise de en emniyetli durum bu yaşam galerilerinde 24 kişinin barınabileceği düşünülmelidir. Boyutlar ve hava miktarı arttıkça kişi sayısı da doğal olarak artacaktır.

5.YAPIMI

Yer seçimine ve yaşam galerisinin yapımına karar verildiğinde üretim noktalarına 30 dk. Yürüme mesafeli olarak tespit edilen yaşam galerilerinin yerleri her ne kadar sağlam formasyonlar olsa da; yine de yaşam galerisinin bağlı olacağı ana yollar bağlantı noktasından 30 m ileri ve 30 m geri toplamda 60 m lik kısım beton keson içine alınmalıdır ve aynı mesafeler içerisinde ana yol galerisinin tavanına çoklu su barajları yapılmalıdır, bundaki asıl amaç: her hangi bir patlama, yangın ve diğer risklerden hem yaşam galerisini korumak, hem ortamın tozunu bastırmak ve bunlardan daha önemlisi varsa açık alevi söndürerek ortamın soğumasını sağlamaktır. Yaşam galerisine temiz hava sağlayacak olan ve ocağın ana girişi ile nefeslikten yaşam galerisine çift boru şebekesi döşenmelidir, boru şebekelerinin biri temiz hava sağlarken, diğeri pis hava dönüşüne yardımcı olmalıdır. Pis hava dönüşüne yardımcı olan boru takımının içerisinden her iki yönlü haberleşme kabloları geçirilmelidir, yine bu söz konusu boru şebekeleri her iki yönlü olarak galerilerin tabanına yakın ve yan duvarda olması esastır bundaki amaç; her hangi bir infilak ve ortaya çıkan şok dalgasından daha az etkilenmesi ve hasar görmemesidir. Pis hava dönüşleri serbest hava dönüşü olacağından basılan temiz hava miktarı daha fazla olacaktır ve dönüş

boruları ile arasında bir denge sağlanmayacaktır ancak; Yaşam Galerisinin iç hava basıncı dışarı basıncına göre yüksek olması tasarımın amaçlarındandır çünkü iç hava basıncını yüksek tutarak dışardaki zehirli ortamın yaşam galerisini tercih etmemesi amaçlanmıştır, basınç dengelenmesini giriş kapısına yerleştirilen basınç dengeleyiciler sağlamalıdır.

6. HABERLEŞME

Yaşam galerilerinin haberleşmesi iki yönlü olarak pis hava dönüş borularının içerisinden geçirilen kablolar yardımıyla olmalıdır.

7.AYDINLATMA

Aydınlatma da haberleşme gibi yaşam galerilerini iki yönlü olarak besleyen basınçlı hava şebekelerinin hava çıkış kısımlarına yerleştirilen ve basınçlı hava ile mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren ve doğru akım üreten dinamolar yardımıyla olmalıdır.

8. MALZEMELER

Yaşam galerilerine sığınan çalışanların en az 15 gün yaşamlarını sürdürebilecekleri bir sistem tasarlandığından aşağıdaki malzemeler hazır ve çalışır vaziyette bekletilmelidir.

.Dört adet oksijen tüpü,
.Sığınan sayısı kadar OFK maskeleri
.Telefon
.En az üç takım tahlisiye cihazı(yedekleri ile birlikte)
.Uzun ömürlü gıdalar
.İçme suyu
. Sedye
.Sağlık ve ilk yardım malzemeleri
.Yeteri kadar battaniye ve oturma yerleri

9.NASIL ÇALIŞIR?

Yaşam Galerilerinin nasıl çalışacağı ve ne şekilde hizmet vereceği bildirimiz ekinde animasyon olarak verilmiştir.

Çalışma şekli: Yeraltı çalışmalarının olmazsa olmazı; en az bir giriş ve en az bir çıkış şeklindedir, bunun dışında bir çalışma şekli zaten yeraltı çalışması değildir. Uzun tünel kazma işlemleri de bir yeraltı çalışmasıdır ve bir girişi vardır ve buralarda da Yaşam Galerileri düşünülmelidir.

Yeraltı çalışmalarının yapıldığı iş yerlerinde zaten işin doğası gereği yeraltının her noktasına temiz hava ve basınçlı hava şebekesi götürülmüştür, bu sistemde ise aynı yöntemin ocak girişinden olduğu gibi, ocak çıkışından da işletmenin her noktasına basınçlı hava şebekesinin tesis edilmesidir ve her iki yönden de basınçlı hava ve pis hava döngüsünü sağlayıcılarının çalışır vaziyette olması esastır. Her iki yönden de usulüne uygun döşenen çift boru sistemleri yeraltı çalışmasının yapıldığı ve yaşam galerilerinin tesis edildiği yerlere ulaştırmış olmalıdır.

İki yönlü olmasının nedeni ise olası bir risk ortaya çıktığında tehlikenin ortaya çıktığı yerde tüm sistem hasar görecektir ve yaşam galerisi işlevsiz kalacaktır, ancak bu patlama ve şokun etkisiyle tasarlamış olduğumuz çarpmalı kapılar sistemin diğer alternatifini otomatik olarak devreye sokacaktır, zaten yaşam galerilerinin iki yönlü beslenmesi de bu amaçladır, aynı zamanda yaşam galerisinin bulunduğu ana yollardaki çoklu su barajları da hem ortamın tozunu bastırmak ve hem de ortamın soğumasını sağlamak içindir.

Tehlikenin ortaya çıktığı bölge yakınlarında zaten var olması gereken Erken Uyarı sistemleri olacağından tehlikeyi algılayan ve bildiren sistem gerekli eğitimi almış olan çalışanlar tarafından duyulduğunda OFK maskelerini takarak daha önce almış oldukları eğitim gereği Yaşam galerilerine sığınmalıdırlar, yaralı veya yaşam galerilerinin yerini bulmayanların varlığında, yaşam galerilerine sığınanalar daha önce almış oldukları tahlisiyeci eğitimleri gereği tahlisiye cihazlarını kuşanarak aynı zamanda kurtarma işlemini de yapabilmelidirler.

Yine bu yaşam galerilerinde devreye giren basınçlı hava sistemleri dışarıya göre bir iç basınç oluşturacağından ana yollarda bulunan zehirli ortam yaşam galerisini tercih edemeyecektir, kapı sistemleri de buna göre dizayn edileceğinden yaşam galerisinin içi

dışarısına göre her zaman güvenli olmaya devam edecektir.

10.EĞİTİM VE TATBİKAT

Yaşam galerileri yeni bir sistem olarak tasarlandığından çalışma şekli ve yöntemi konusunda çalışanların eğitilmeleri ve tatbikatlarla pratiklerinin geliştirilmesi çok önemlidir, çalışanların bu sistemi benimsemeleri ve hayatta kalabilmek için sistemin ne kadar önemli olduğunu kavramaları gerekir. Yeraltı çalışanlarına tahlisiye eğitimi verildiğinden her hangi bir olumsuz durumda yaşam galerilerine sığınanların tahlisiye cihazlarını kullanarak tehlikeli ortamlarda bulunanlar var ise onları da kurtarmaları gerekeceğinden eğitim ve tatbikatın önemi bu sistemi kurmak ve çalıştırmaktan daha önemlidir.

11. SONUÇ

Bu çalışma; bu güne kadar ülkemizde ve dünyada yaşanmış iş kazaları araştırılarak, elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve çözüme yardımcı olmak amacıyla tasarlanmıştır. Kullanılan kaynakların tamamı oluşan kazalardan çıkarılması gereken sonuçlar ve çözüm yolları üzerine yapılmış çalışmaların bir sonucu olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmaya benzer bir çalışma daha önce hiç yapılmadığından kaynaklar kısıtlı kullanılmıştır. Yaşanmış iş kazaları ve bu kazalarda : "Acaba bir yaşam galerisi olsa idi kaç kişi kurtulurdu?" sorularını kendimize sorarak böyle bir çalışma yaptık. Amacımız bu yönde bir çalışma yaparak daha parlak fikirler ve projeler üretecek olanlara bir ışık tutmaktır.

TEŞEKKÜR

Her türlü zorluklar ve kısıtlamalara rağmen bıkmadan usanmadan her yıl madencilik sektörüne çözüm üretmek için çaba harcayan, görüşlerimizi ve çözüm önerilerimizi organize ederek kamuoyu ve yetkililerle paylaşan; başta TMMOB ve yöneticilerine, bilim kurulundaki değerli hocalarımıza, bu bildiriyi hazırlamamızda her türlü desteği veren ve yaşam galerisi yapmak için destek vereceğini beyan eden Demir Madencilik A.Ş ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR:

Ayvazoğlu E. *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet*. İTÜ 1986

Madencilik Türkiye Dergisi *Şil'deki maden kazasında sona yaklaşıldı*. Aralık 2010 sayı 11

Altıntaş, F. *BEÜ Alaplı MYO Ders Notları*

Yılmaz, A.İ. Eynez *Yeraltı Ocağının Havalandırma Sistemlerinin Ocak Yangınlarına Etkisi DEÜ* 2002.

Kural, O. *Kömür Özellikleri Teknolojisi ve Çevre İlişkileri* 1998. S.785

Kaymakçı, E. Didari. V. *Kömürlerin Kendiliğinden Yatkınlıklarının Belirlenmesi ve kullanılan İndeksler* 8. Köm. Kong. S: 129-140

TTK İş Kazaları istatistikleri ve Kaza Raporları.

TTK Armutçuk Müessesesi Büyük Damar Gaz İçeriğinin Doğrudan Ölçme Yöntemiyle Belirlenmesi

Determination of the Gas Content of Buyuk Seam of TTK Armutcuk Colliery by Direct Measurement Method

V. Didari
Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

M. Oskan
TTK Armutçuk Müessesesi, Zonguldak

K. Barış
Bülent Ecevit Üniversitesi ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmanın amacı TTK Armutçuk Müessesesindeki Büyük damarda gaz içeriğinin doğrudan yöntemlerden biriyle ölçülmesidir. Kömürde gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılan doğrudan gaz ölçme yöntemleri incelenmiş ve uygun bir yöntem olarak Avustralya Standartı seçilmiştir. Özellikle, örneklerin alınması sırasında yaşanan güçlükler nedeniyle bu yöntemde bazı değişiklikler yapılmıştır. Büyük damar 4. Blok kısmında (-540 kotu) yapılan bu çalışmada 12 adet sondaj deliğinden farklı derinliklerden alınan kömür örneklerinde (sondaj kırıntıları) Avustralya Standartı yöntemi'nde tanımlanan "hızlı ve yavaş çözülme" prosedürlerine göre gaz içerikleri belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Büyük Damar'a ait bu bakir kesimden alınan örneklerin gaz içerikleri hızlı çözülmede 8,5-14,7 m^3/t, yavaş çözülmede ise 9,0-17,4 m^3/t olarak saptanmıştır. Gaz içeriklerinin aritmetik ortalama değerleri Büyük damarın bu kısmındaki çalışmalarda 10-12 m^3/t gaz içeriğinin kabul edilebileceğini göstermektedir. Keza, kayıp gaz hesaplamasında alışılagelen lineer yayılım kabulünün yanı sıra logaritmik yayılım da dikkate alınmış ve iki yaklaşımın toplam gaz içeriği üzerinde önemli bir fark yaratmadığı gözlenmiştir. Avustralya Standartının, bu çalışmada enstrümantasyonu yapılmış olan teçhizat ve düzeneğin iyileştirilmesiyle ve kırıntı örnekler kullanılarak Havza'da yaygın olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kömür damarı, gaz içeriği, doğrudan ölçme yöntemi

ABSTRACT The goal of this study is to determine the gas content of Buyuk seam at TTK's Armutcuk Colliery using a direct method. The direct gas measurement methods used to determine the gas contents of the coal seams were studied and Australian Standard was selected suitable. In this study, using the cuttings obtained from 12 core drillings done in a virgin section of Buyuk Seam (-540 level) of Armutcuk Colliery of TTK, where a panel development is readily conducted gas content of the samples were determined according to "fast and slow desorption" procedures described by Australian Standard method for gas content measurement. The results obtained from the study revealed that gas contents of coal samples are in the range of 8,5-14,7 m^3/t, and 9,0-17.4 m^3/t by fast and slow desorption method, respectively. Also, the initial desorption of a sample is accepted first as linear then as logarithmic and only slight differences have been observed between two approaches regarding the total gas contents. Australian Standard method can easily be used on borehole cuttings in TTK collieries adopting the instrumentation achieved and experience gained in this study.

Keywords: Coal seam, gas content, direct measurement method

1 GİRİŞ

Ülkemizde taşkömürünün üretildiği tek havza olan Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın tarihinde metan gazının yol açtığı çok sayıda iş kazasının yaşandığı bilinmektedir. Havza'da metan gazına bağlı sorunların çokluğu ve yaşanan ciddi iş kazalarına karşın işletilebilir damarların gaz içeriklerine dair yapılan çalışmalar sınırlı kalmış ve sistematik bir veri birikimi sağlanamamıştır.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Armutçuk Taşkömürü İşletme Müessesesinde (ARTİM) çalışılan Büyük damarın gaz içeriğinin doğrudan yöntemlerle belirlenmesidir. Böylece, gaz yayılımı sorunlarının öngörülmesini sağlayarak alınabilecek önlemlere ışık tutmak hedeflenmektedir.

2 GAZ ÖLÇME YÖNTEMİNİN SEÇİMİ

Damarların gaz içeriklerinin tespitinde en pratik ve en çok kullanılan yöntemler doğrudan yöntemlerdir. Yöntemlerin özü kömür damarından en az gaz kaybı ile örnekler alınması ve bu örneklerden çözülen gaz miktarının ölçülmesidir. Bugün pek çok ülkede gaz içeriklerinin ölçümünde birbirine benzer doğrudan yöntemler uygulanmaktadır. Dolaylı yöntemlerin özünü; kömür damarının yerinde gaz basıncının ölçülmesi, ortam sıcaklığının belirlenmesi ve laboratuvarda o damar için çıkarılmış olan eş sıcaklık eğrilerinden (izoterm) yararlanılarak yerinde basınç değeri için içerebileceği gaz miktarının saptanması oluşturmaktadır (Didari ve Ökten, 1989). Görgül yöntemler ise; gaz içeriklerinin belirlenmesi için kömür analizlerinden yararlanılarak gerekli ölçümleri en az sayıya indirmeyi amaçlamaktadır (Didari, 1988).

Bu çalışmada, literatürde yer alan aşağıdaki doğrudan yöntemler incelenmiştir: CERCHAR Yöntemi (Didari ve Ökten, 1989)). USBM Yöntemi (Kissell et al., 1973), NIOSH Değiştirilmiş USBM Yöntemi (Diamond et al., 2001), Smith ve Williams Yöntemi (Diamond and Schatzel,1998), Düşüş Eğrisi (Decline Curve) Yöntemi (Diamond and Schatzel,1998), GRI Yöntemi (Diamond and Schatzel, 1998), Avustralya Standardı Yöntemi (Australian Standard,1999), CSIRO-CET Yöntemi (Saghafi ve ark.,1998)

Yeraltında gerçekleştirilecek örnek alma işine uygun olarak USBM ve Avustralya Standartı yöntemleri üzerinde durulmuş ve ilk örneklerin alınması sırasında çalışmanın Avustralya Standartı yöntemiyle sürdürülmesinin daha pratik olacağına karar verilmiştir. Yöntemin orijinal uygulamasında 500 g lık karot örnekler üzerinde çalışılması önerilmektedir. Büyük damardaki çeşitli denemelerde kuru ve sulu sondajlardan karot örneği alınması başarılamadığından orijinal uygulamadan ayrılarak kırıntılar üzerinde çalışılmaya karar verilmiştir.

3 ARMUTÇUK MÜESSESESİ VE BÜYÜK DAMARI

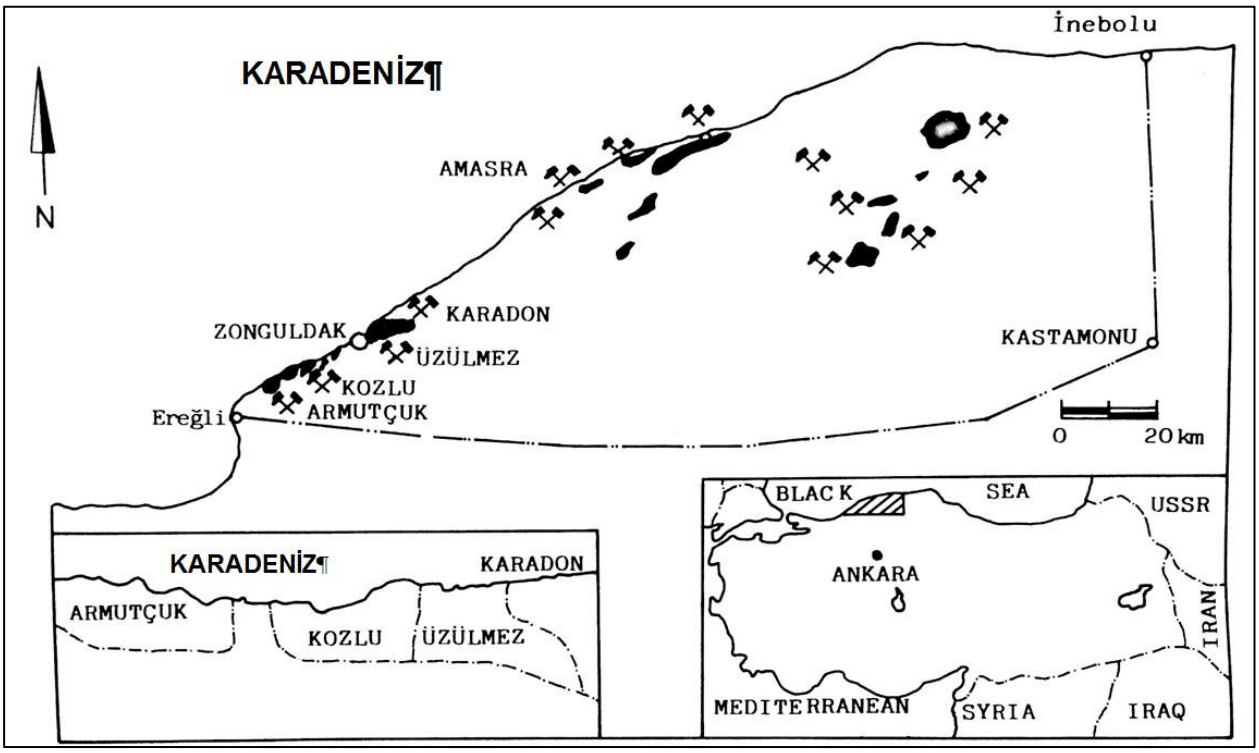
Armutçuk Müessesesi Zonguldak ilinin 35 km batısında Kandilli Beldesi'nde (Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın batı sınırı) yer almaktadır (Şekil 1). Müessese faaliyetlerini 22,2 milyon ton rezerv içeren bir sahada sürdürmektedir. Ayrıca, sahadaki 11,7 milyon ton civarında rezerv rödevansla işlettirilmektedir. Toplam rezervin ~ % 76'sını Büyük damarı oluşturmaktadır. Müessesenin üretim çalışmalarının tamamı Westfaliyen A yaşlı Kozlu formasyonu ile Namuriyen yaşlı Alacaağzı formasyonunun sınırını teşkil eden kalınlığı 3 ile 25 m arasında değişen (ortalama 6 m) Büyük damarında yer almaktadır (TTK, 2014).

Damar üretim planlaması amacıyla 5 Bloğa bölünmüştür. Hazırlanmakta olan 4. blokta 1 500 000 ton görünür rezerv bulunmaktadır. Bu çalışma, üretim çalışmalarının yakın zamanda yoğunlaşacağı bu blokta yürütülmüştür. Büyük damarın gaz içeriğini ölçüm amacıyla daha önceki sistematik olmayan çalışmalar şu şekildedir:

-1988 yılında yürütülen bir çalışmada Büyük damarın gaz içeriği görgül yöntemlerle 5 m^3/ton olarak hesaplanmıştır (Öztürk, 2014).

-1989'da yürütülen bir çalışmada gaz içerikleri USBM yöntemi ile ~ 4 m^3/ton olarak ölçülmüştür (Teknomad, 1989).

-2005 yılında TTK laboratuvarlarında yapılan çalışmada Büyük damarın -421 kotunda çalışılan bölümünden alınan örneklerin gaz içeriği USBM yöntemi ile ~7 m^3/ton olarak ölçülmüştür (Öztürk, 2014).



Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası ve Armutçuk Müessesesi.

4 ÖRNEKLERİN ALINMASI VE ÖLÇÜMLER

Bu çalışmada; Avustralya Standartı yönteminde tanımlanan yavaş ve hızlı çözülme prosedürleri kullanılarak Armutçuk müessesesi Büyük Damar'ından alınan örneklerin (sondaj kırıntıları) metan gazı içerikleri saptanmıştır.

Örnekler Büyük damarda 2 no'lu ve 3 no'lu faylar arasında kalan 4. blokta 105 no.lu panoda sürülen hazırlık bacasından taşınabilir bir sondaj makinası ile deliğin 7. ve 20. metreleri arasından alınmıştır. Toplam örnek sayısı 2x12'dir (hızlı ve yavaş çözülmeye 1'er olmak üzere her noktadan 2 örnekte ölçüm yapılmıştır).

Her bir sondaj deliğinden kırıntı halinde gelen kömür örnekleri eş zamanlı olarak aynı koşullarda 2 ayrı sızdırmaz kaba konularak kayıp gaz belirlenmesi için ters çevrilmiş ölçekli silindirik bir mezür (su ölçeği) yardımıyla kaplardan çıkan gaz zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Örneğin alındığı noktada sürdürülen ilk ölçümler, gaz çıkışına bağlı olarak, 1-10 dak. aralıklarla, 20 - 60 dakika kadar bir sürede yapılmaktadır. Böylece, zamanın karekköküne bağlı olarak yayılan gaz grafiği çizilerek kayıp gaz miktarı saptanabilmektedir. Hızlı çözülme yöntemine tabi tutulacak örneklerin konulacağı sızdırmaz kaplar içerisine önceden HERBİRİ 33,5 cm^3 hacminde 16 adet bilya yerleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sızdırmaz kap ve örnek bir bilya Şekil 2' de gösterilmektedir. Ayrıca örneğin alındığı anda ortamın basıncı, ortamdaki metan yüzdesi, ortamın sıcaklığı, kabın hacmi ve sondaj derinliği gibi değerler ölçülerek kaydedilmiştir (Çizelge 1). Basınç ve sıcaklık ölçümünde barometre ve psikrometre kullanılmıştır. İlk ölçümlerden sonra örnek kapları yerüstüne çıkarılmaktadır.

Hızlı çözülmeye tabi tutulan örnekler yerüstüne çıkarıldıktan hemen sonra yine bir su ölçeği yardımıyla ilk gaz ölçümleri yapılmakta (Şekil 3) ve bu ilk ölçümün ardından Şekil 4'de gösterildiği üzere 67 devir/dk hızla döndürülen kap içerisindeki bilyalar vasıtasıyla (en az % 95'i -150 mikron boyutuna inecek şekilde) öğütülmektedir. 45–60 dak. aralıklarla kaplar

ölçüm düzeneğine bağlanıp gaz geliri sonlanana kadar ölçümler yapılmaktadır.
Yavaş çözülmeye tabi tutulan örneklerde yerüstüne çıkarılmış olan kaplardan yapılan ölçüm gaz geliri sonlanana kadar devam etmektedir (bu çalışmada 3-13 gün sürmüştür). Gaz geliri bittikten sonra kaplar öğütmeye alınmaktadır. Hızlı çözülmedeki gibi sürdürülen ölçümler gaz gelirinin sonlandığı ana kadar devam etmektedir. Gaz ölçümleri yapıldıktan sonra kaplar içerisindeki örneklerin kül ve nem içerikleri saptanmaktadır (Çizelge 2).Her bir aşamada ölçülen gaz miktarları Çizelge 3 'te topluca verilmiştir.

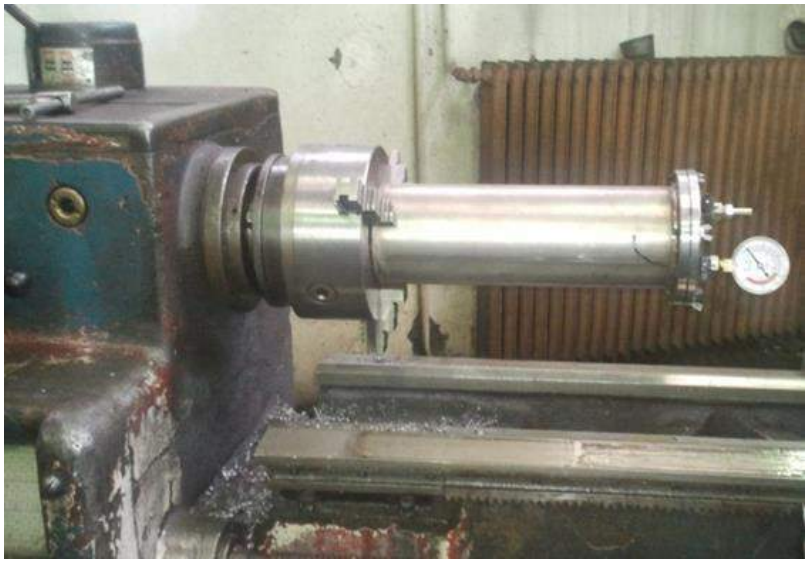
Çizelge 1. Ortam ve örnek ile ilgili ölçümler.

Örnek No	m_H (g)	m_Y (g)	V_H (cm^3)	V_{HLog} (cm^3)	V_Y (cm^3)	V_{YLog} (cm^3)	X_o (%)	P_f (kPa)	T_f (°C)	Sondaj Derinliği (m)
1	101	83	1256	1367	1125	1236	0,49	108,7	25	10
2	91	114	841	974	833	966	0,49	108,7	25	8
3	110	104	1218	1333	1184	1279	0,5	108,7	24	10
4	106	113	1115	1177	1400	1550	0,5	108,7	24	10
5	101	116	1154	1246	1137	1224	0,5	108,7	25	14
6	122	105	1160	1238	1324	1402	0,4	109,5	24,5	14
7	116	121	1457	1558	1844	1955	0,4	109,5	24,5	15
8	258	304	2279	2390	2482	2580	0,48	108,7	25	7
9	93	148	877	954	1347	1460	0,54	108,4	25	17
10	108	116	986	1076	1317	1366	0,54	108,4	25	20
11	210	87	1793	2005	1236	1329	0,54	108,4	25	17
12	220	204	1540	1760	2016	2160	1,1	108,4	24,5	20

m_H : Hızlı çöz.örnek ağ., m_Y:Yavaş çöz.örnek ağ.,V_H : Hızlı çöz. toplam hacım, V_Y: Yavaş çöz. toplam hacım
X_o : Örnek alma sırasında metan, P_f : örnek alma sırasında basınç, T_f : örnek alma sırasında sıcaklık

Şekil 2. Sızdırmaz kap ve kap içindeki bilyalar.

Şekil 3. Su ölçeği



Şekil 4. Öğütme düzeneği

Çizelge 2. Örneklerin Kül ve Nem İçerikleri

Örnek No	K (Kül) (%)	N (Nem) (%)
1	6,80	1
2	5,14	1
3	9,88	1,5
4	6,07	1
5	8,80	1
6	4,98	1,5
7	5,72	1,5
8	5,71	1
9	4,83	1
10	5,55	1
11	5,63	1
12	4,94	1

Çizelge 3'te verilen değerlerde gaz hacimlerinin 20 °C'de ve 1 atmosfer (101,3 kPa) basıncı koşullarında açıklanması amacıyla düzeltmeler yapılmalıdır. Eğer sızdırmaz kaptan çıkan esnek hortum mezüre alttan beslenerek gaz hacmi ölçümü yapılıyorsa aşağıdaki eşitlik geçerlidir (Australian Standard, 1999):

$$(1)\ V_{20°C,101,3\ kPa} = \frac{(V_{bomb} + V_{tube}) \times P_A \times (T_{20\,°C} + 273,1)}{(T_t + 273,1) \times P_{101,3}}$$

Alttan besleme işlemi sadece 8 nolu örnek için söz konusu olmuştur. Diğer örneklerin hepsinde gaz hacimleri mezüre üstten besleme yapılarak ölçülmüştür. Bu durumda aşağıdaki eşitlik geçerlidir (Australian Standard, 1999).

$$(2)\ V_{20°C,101,3kPa} = \frac{(V_{bomb} + V_{tube} + V_t) \times P_t \times (T_{20\,°C} + 273,1)}{(T_t + 273,1) \times P_{101,3}}$$

Diğer eşitlikler aşağıdaki gibidir:

$$(3)\quad P_t = P_A - \frac{(V_{CT} - V_t)}{V_{CT}}\ (h)\ (9,79\ kPa)$$

V_t : t okuma zamanında mezürdeki hacim (ml)

V_{CT} : Mezürün kaptaki su seviyesine kadar olan toplam hacmi (ml)

h : Mezürün sıfır ölçüsünün kaptaki su seviyesinden yüksekliği (m)

T_t : t anında sıcaklık

$T_{20°C}$: 20 °C

$P_{101,3}$: 101,3 kPa

V_{bomb} : Sızdırmaz kabın hacmi

V_{tube} : Bağlantı hortumu iç hacmi

P_A : Okuma anındaki ortamdaki basınç

$V_{20°C,101,3\ kPa}$: Ölçüm sistemindeki gaz ve havanın hacmi

P_t : t zamanındaki düzeltilmiş basınç

Ölçümden önce mezürde okunan ilk hacim kaydedilir (t-1 zamanda). Ardından sızdırmaz kaptaki vana açılır ve ölçülen gaz hacmi kaydedilir (t zamanda). Yukarıda belirtilen eşitlikler kullanılarak her iki

mezürdeki okuma için düzeltmeler yapılır ve aşağıdaki eşitlikten artan gaz hacmi (kap içinden yayılan /çözülen gaz hacmi) bulunmuş olur.

(5) $V_{artan}=V_{20°C,101,3kPa\ t'de} - V_{20°C,101,3kPa\ t\text{-}1'de}$

5 GAZ İÇERİKLERİNİN HESAPLANMASI

Ek 1 ve 2'de 6 no.lu örnek üzerinde iki prosedüre uygun olarak yapılan ölçüm ve hesaplamalar Çizelge ve grafikler halinde verilmiştir. Burada, ölçüm ve hesaplamalar 6 no.lu örnek üzerinden kısaca anlatılmaktadır.

5.1 Hızlı Çözülmede Gaz İçerikleri

Bu hesaplama, kayıp gaz (Q_1) ve çözülen gaz (Q_2+Q_3) ölçümlerine dayanır. Bu çalışmada kayıp gazın belirlenmesinde hem doğrusal hem de logaritmik çözülme kabullerine göre grafik oluşturulmuştur.

Ek 1'deki şekil üzerinde görüldüğü üzere lineer ve logaritmik kabulüyle sırasıyla 68 cm³ ve 146 cm³ olan çözülen kayıp gaz miktarları Çizelge 1' deki örnek miktarına (m_H = 122 g) bölündüğünde kayıp gaz içerikleri sırasıyla 0,6 cm³ /g ve 1,2 cm³ /g olmaktadır. Bu fark toplam gaz içeriğine daha az olarak yansıyacaktır.

Çözülen gaz miktarının hesaplanması için Ek 1'deki Çizelgedeki değer (1092 cm³) ve m_H (122 g) kullanılarak çözülen gaz ($Q_2 + Q_3$) = 9 cm^3/g olarak hesaplanır.

Kayıp gaz miktarı iki şekilde hesaplandığından dolayı 2 farklı toplam gaz miktarı söz konusu olmaktadır.

$Q_y = Q_1+(Q_2+Q_3)= 0,6+ 9 = 9,6\ cm^3/g$

$Q_{yLog} = Q_{1Log}+(Q_2+Q_3) = 1,2+9= 10,2\ cm^3/g$

Bu veriler kömürün yerinde gaz içeriğini ifade etmektedir. Temiz (kuru-külsüz) kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi için nem ve kül düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir.

5.2 Yavaş Çözülmede Gaz İçerikleri

Bu hesaplama kayıp gaz (Q_1), çözülen gaz (Q_2) ve kalıntı gaz (Q_3) ölçümlerine dayanır.

Düzeltme işleminde; sızdırmaz kap içerisinde hızlı çözülmede olduğu gibi kömür numunesi bilyalarla birlikte bulunmadığından dolayı; Eşitlik (3)'de V_{bomb} yerine $V_{Q1Q2bomb}$ kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Ek 2'deki Şekil üzerinde görüldüğü üzere lineer ve logaritmik kabulüyle sırasıyla 63 cm³ ve 141 cm³ olan çözülen kayıp gaz miktarları Çizelge 1 deki örnek miktarına **(**m_Y =105 g**)** bölündüğünde kayıp gaz içerikleri sırasıyla 0,6 cm³ /g ve 1,3 cm³ /g olmaktadır.

Çözülen gaz miktarının (Q_2) hesaplanmasına yönelik olarak yerüstüne çıkarılan örnekteki yayılım gaz geliri sonlanana kadar her gün periyodik olarak ölçülmüştür. Ölçülen gaz hacmi 973 cm^3'tür. Çizelge 1'den örnek ağırlığı (m_Y =105 g) alınarak gaz miktarı;

Q_2 = 973/105 =9,3 cm^3 /g olarak bulunur.

Çözülen gazın ölçümünün bitimini takiben sızdırmaz kabın içerisine bilyalar yerleştirilerek örneğin öğütme işlemine geçilir. Kalıntı gaz ölçümlerinin düzeltme işleminde sızdırmaz kap içerisine bilyalar yerleştirildiğinden dolayı Eşitlik (2)'de V_{bomb} yerine V_{Q3bomb} kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre kalıntı gaz (Q_3);

288/105 = 2,7 cm³/g olmaktadır.

Kayıp gaz miktarı iki farklı şekilde hesaplandığından bu durumda 2 farklı toplam gaz miktarı söz konusu olacaktır:

$Q_y = Q_1+Q_2+Q_3 = 0,6+9,3+2,7= 12,6\ cm^3/g$

$Q_{yLog}= Q_{1Log}+(Q_2+Q_3)=1,3+9,3+2,7= 13,3\ cm^3/g$

Bu veriler kömürün yerinde gaz içeriğini ifade etmektedir. Temiz (kuru-külsüz) kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi için nem ve kül düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir.

Çizelge 3. Ölçülen gaz değerlerinin topluca gösterimi.

Örnek No	Hızlı Çözülme					Yavaş Çözülme					
	Kayıp Gaz Yayılımı (cm^3)		Çözülen Gaz Yayılımı (cm^3)	Toplam Gaz Yayılımı (cm^3)		Kayıp Gaz Yayılımı (cm^3)		Çözülen Gaz Yayılımı (cm^3)	Kalıntı Gaz Yayılımı (cm^3)	Toplam Gaz Yayılımı (cm^3)	
	V_1	V_{1Log}		V_H	V_{HLog}	V_1	V_{1Log}			V_Y	V_{YLog}
1	109	220	1147	1256	1367	112	223	867	146	1125	1236
2	128	261	713	841	974	128	261	575	130	833	966
3	156	271	1062	1218	1333	134	229	896	154	1184	1279
4	83	145	1032	1115	1177	199	349	940	261	1400	1550
5	85	177	1069	1154	1246	88	175	650	399	1137	1224
6	68	146	1092	1160	1238	63	141	973	288	1324	1402
7	111	212	1346	1457	1558	119	230	1297	428	1844	1955
8	234	345	2045	2279	2390	270	368	1773	439	2482	2580
9	64	141	813	877	954	98	211	933	316	1347	1460
10	142	232	844	986	1076	75	124	902	340	1317	1366
11	253	465	1540	1793	2005	98	191	917	221	1236	1329
12	230	450	1310	1540	1760	150	294	1564	302	2016	2160

Çizelge 4.Toplu sonuçlar.

Örnek No	Hızlı Çözülme				Yavaş Çözülme			
	Q_y (cm^3/g)	Q_{yLog} (cm^3/g)	Q_T (cm^3/g)	Q_{TLog} (cm^3/g)	Q_y (cm^3/g)	Q_{yLog} (cm^3/g)	Q_T (cm^3/g)	Q_{TLog} (cm^3/g)
1	12,5	13,6	13,5	14,7	13,5	14,9	14,7	16,2
2	9,2	10,7	9,8	11,4	7,2	8,4	7,8	9
3	11,1	12,2	12,5	13,7	11,4	12,3	12,8	13,9
4	10,5	11,1	11,3	11,9	12,4	13,7	13,3	14,8
5	11,4	12,4	12,7	13,7	9,8	10,5	10,9	11,7
6	9,6	10,2	10,2	10,9	12,6	13,3	13,5	14,3
7	12,6	13,4	13,5	14,5	15,2	16,1	16,4	17,4
8	8,8	9,2	9,5	9,9	8,1	8,4	8,8	9,1
9	9,4	10,2	10	10,9	9,1	9,8	9,7	10,5
10	9,1	9,9	9,8	10,7	11,3	11,8	12,1	12,6
11	8,5	9,5	9,1	10,2	14,1	15,2	15,2	16,4
12	7	8	7,4	8,5	9,9	10,6	10,5	11,3

Q_y : toplam çözülen gaz (kayıp gaz lineer) Q_{yLog} : toplam çözülen gaz (kayıp gaz logaritmik)

Q_T: kuru-külsüz bazda gaz içeriği (kayıp gaz lineer) Q_{Tlog} : kuru-külsüz bazda gaz içeriği (kayıp gaz llogaritmik

6 SONUÇLAR

Çalışmada saptanan gaz içerikleri Çizelge 4'de topluca gösterilmektedir. Hızlı çözülmede 8,5-14,7 m^3/t, yavaş çözülmede ise 9,0-17,4 m^3/t gaz içerikleri söz konusudur. Gaz içeriklerinin aritmetik ortalama değerleri Büyük damarın bu kısmındaki çalışmalarda 10-12 m^3/t gaz içeriğinin kabul edilebileceğini göstermektedir.

Kayıp gaz miktarının farklı olarak (lineer ve logaritmik dağılım kabulleriyle) tespit edilmesinden dolayı çözülen gaz miktarlarında oluşan farklar ~ 1 cm^3/g civarında kalmaktadır. Yavaş ve hızlı çözülme ile hesaplanmış olan temiz kömürün gaz içerikleri arasındaki farklar 11 nolu örnek hariç 0,1-3,1 cm^3/g'dır. 11 nolu örnek için bu fark 6,1 cm^3/g olmaktadır. Bu örneği dışta tutarak; yavaş çözülmede ölçülen gaz içeriklerinin genelde daha

yüksek olduğu ve yavaş çözülme ile hızlı çözülmede elde edilen sonuçlar arasındaki farkların çok yüksek olmadığı söylenebilir.

Avustralya Standartı Yöntemi, bu çalışmada sondaj kırıntılarına uygulanacak şekilde değiştirilmiş hâliyle ve bu çalışma amacıyla enstrümantasyonu yapılmış olan teçhizat ve düzeneğin iyileştirilmesiyle Havza'da yaygın olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Australian Standard (1999), *Guide to the determination of gas content of coal – Direct desorption method.* AS 3980-1999, Standards Association of Australia.

Diamond, W. P., Schatzel, S. J., Garcia F., and Ulery J. P., (2001) The Modified Direct Method - A Solution for Obtaining Accurate Coal Desorption Measurements, *Proceedings of International Coalbed Methane Symposium*, Tuscaloosa, Alabama, May 14–18, 2001: University of Alabama, Paper 0128, p. 331–342.

Diamond, W.P. and Schatzel, S.J. (1998) Measuring the Gas Content of Coal: A Review, *International Journal of Coal Geology*, R.M. Flores, ed., V. 35, Nos. 1-4, p. 311-331.

Didari, V. (1988) *Metan Denetimi Gereksinimlerinin Ampirik Tekniklerle Belirlenmesi*, TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, 6.Kömür Kongresi Kitabı, Zonguldak, s.115-133.

Didari, V., Ökten, G. (1989) *Taşkömürün İçerdiği Gaz Miktarının Ölçülmesinde Uygulanan Yöntemler*, Madencilik Cilt XXVII, Sayı 1, Zonguldak, s.17-23.

Kissell, F.N., C.M. McCulloch, and C.H. Elder, (1973) *The Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design*, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 7767, 17 p.

Öztürk, M. (2014) *Taşkömürü Havzası Damar Gaz İçerikleri Tespit Çalışmaları*, TTK. İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Yayın no:71, Zonguldak, 75 s.

Saghafi A, Williams D.J. and Battino S. (1998) Accuracy of measurement of gas content of coal using rapid crushing techniques, In: *Proceedings of the 1st Australian Coal Operators Conference COAL'98*, Wollongong, 18-20 February 1998, Australia, pp. 551- 559.

TEKNOMAD, CDFI., (1989) TTK. Kandilli İşletmesi Rehabilitasyonu Projesi (Nihai Rapor), Zonguldak, s. 87-88

TTK Resmi Sitesi, www.taskomuru.gov.tr, Nisan, Zonguldak

EK 1

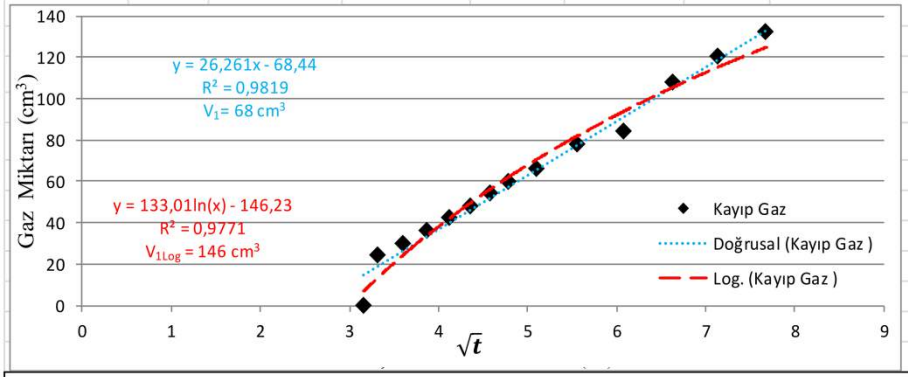
ÖRNEK 6 (HIZLI ÇÖZÜLME YÖNTEMİ)

Test Günü	26.02.2014
Yerüstünden Derinlik (m)	- 539 m
Örnek Alma Başlangıç Saati	10:29
Örneğin Kaba Alınış Saati	10:31
Ortam Basıncı(P_A) (kPa)	109,5
Ortam Sıcaklığı (°C)	24,5
Kayıp Gaz Test Başlngç Saati	10:39
Ortam Metanı (%)	0.4
Örnek Miktarı (g)	122
Sondaj Derinliği (m)	14

V_{bomb} (cm^3)	2530,58
V_{tube} (cm^3)	19,00
V_{CT} (cm^3)	500,00
h (m)	0,30
Yoğ(gr/cm^3)	1,32
$V_{Toplambilya}$(cm^3)	536,00

Kayıp Gaz Belirleme Tablosu (Q_1)

Saat	*Zaman dk*	*Süre (t)*	$\sqrt{t}$	*Sıcaklık °C*	*Çözülen Gaz Okumaları cm^3*	*İlk Okuma cm^3*	*20 °C ve 101.3 kPa da Çözülen Gaz Miktarı*	*Formül Sonucu Elde Edilen*
10:39	0	10	3,16	24,5	110	110	0	2772
10:40	1	11	3,32	24,5	130	110	24	2796
10:42	3	13	3,61	24,5	135	110	30	2802
10:44	5	15	3,87	24,5	140	110	36	2808
10:46	7	17	4,12	24,5	145	110	42	2814
10:48	9	19	4,36	24,5	150	110	48	2820
10:50	11	21	4,58	24,5	155	110	54	2826
10:52	13	23	4,80	24,5	160	110	60	2832
10:55	16	26	5,10	24,5	165	110	66	2838
11:00	21	31	5,57	24,5	175	110	78	2850
11:06	27	37	6,08	24,5	180	110	84	2856
11:13	34	44	6,63	24,5	200	110	108	2880
11:20	41	51	7,14	24,5	210	110	120	2892
11:28	49	59	7,68	24,5	220	110	132	2904



Q_1 (cm^3/g)	0,6
Q_{1Log}(cm^3/g)	1,2

Çözülen Gaz ($Q_2 + Q_3$)

Tarih	*Saat*	*Sıcaklık °C*	*Basınç kPa*	*Çözülen Gaz cm^3*	*İlk Okuma cm^3*	*20 °C ve 101.3 kPa da Çözülen Gaz Miktarı*	*20 °C ve 101.3 kPa da Kümilatif Çözülen Gaz Miktarı*	*Gaz Yayılımı cm^3/g*
26.02.2014	Kayıp gaz belirlemek için ölçümler boyunca çözülen gaz						132	1,1
26.02.2014	13:30	14	100,4	220	0	252	384	3,1
26.02.2014	14:30	14	100,4	400	0	463	847	6,9
26.02.2014	15:00	14	100,4	90	0	102	949	7,8
26.02.2014	15:30	14	100,4	70	0	80	1029	8,4
27.02.2014	08:00	15	100,5	85	50	40	1069	8,8
27.02.2014	08:55	15	100,5	70	50	23	1092	8,9

EK 2

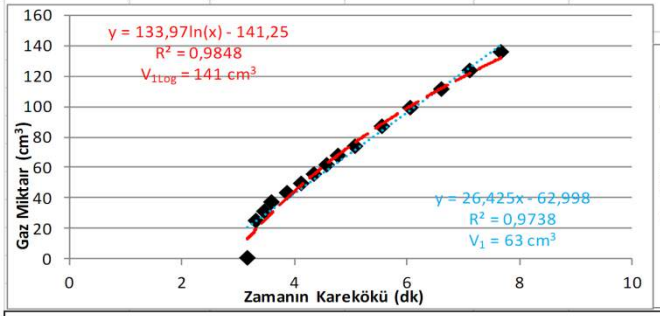
ÖRNEK 6 (YAVAŞ ÇÖZÜLME YÖNTEMİ)

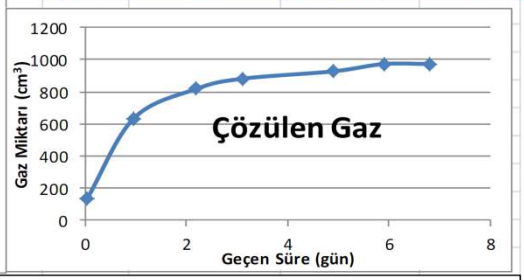
Test Günü	26.02.2014	$V_{Q1Q2bomb}$ (ml)	3079,45
Yerüstünden Derinlik (m)	- 539 m	V_{tube} (ml)	19,00
Örnek Alma Başlangıç Saati	10:29	V_{CT} (ml)	500,00
Örneğin Kaba Alınış Saati	10:31	h (m)	0,30
Ortam Basıncı(P_A) (kPa)	109,5	Yoğ(gr/cm^3)	1,32
Ortam Sıcaklığı (°C)	24,5	$V_{Toplambilya}$(ml)	536,00
Kayıp Gaz Test Başlangıç Saati	10:39	V_{Q3bomb} (ml)	2543,45
Ortam Metanı (%)	0,4		
Örnek Miktarı (g)	105		
Sondaj Derinliği (m)	14		

Kayıp Gaz Belirleme Tablosu (Q_1)

Saat	*Zaman dk*	*Geçen Süre dk*	*Zamanın "Karekök dk*	*Sıcaklık °C*	*Çözülen Gaz Okumaları cm^3*	*İlk Okuma cm^3*	*20 °C ve 101.3 kPa da Çözülen Gaz Miktarı*	*Formül Sonucu Elde Edilen*
10:39	0	10	3,16	24,5	120	120	0	3357
10:40	1	11	3,32	24,5	140	120	25	3381
10:41	2	12	3,46	24,5	145	120	31	3387
10:42	3	13	3,61	24,5	150	120	37	3393
10:44	5	15	3,87	24,5	155	120	43	3400
10:46	7	17	4,12	24,5	160	120	49	3406
10:48	9	19	4,36	24,5	165	120	55	3412
10:50	11	21	4,58	24,5	170	120	61	3418
10:52	13	23	4,80	24,5	175	120	68	3424
10:55	16	26	5,10	24,5	180	120	74	3430
11:00	21	31	5,57	24,5	190	120	86	3443
11:06	27	37	6,08	24,5	200	120	99	3455
11:13	34	44	6,63	24,5	210	120	111	3467
11:20	41	51	7,14	24,5	220	120	123	3480
11:28	49	59	7,68	24,5	230	120	136	3492

Q_1(cm^3/g)	0,6	Q_{1Log}(cm^3/g)	1,3





Ölçülen Gaz (Q_2)

Tarih	*Saat*	*Geçen Süre gün*	*Sıcaklık °C*	*Basınç kPa*	*Çözülen Gaz cm^3*	*İlk Okuma cm^3*	*20 °C ve 101.3 kPa da Çözülen Gaz Miktarı*	*20 °C ve 101.3 kPa da Kümilatif Çözülen Gaz Miktarı*	*Gaz Yayılımı cm^3/g*
26.02.2014		0,04	Kayıp gazı belirlemek için ölçümler boyunca çözülen gaz					136	1,3
27.02.2014	08:55	0,96	15	100,5	420	0	499	634	6,0
28.02.2014	13:30	2,2	20	100,1	160	0	184	818	7,8
01.03.2014	10:00	3,1	18	99,8	55	0	63	881	8,4
03.03.2014	08:30	4,9	16	98,9	90	50	46	927	8,8
04.03.2014	08:00	5,9	18	98,5	90	50	46	973	9,3
05.03.2014	08:30	6,8	17	99,3	0	0	0	973	9,3

Kalıntı Gaz (Q_3)

05.03.2014	13:00		22	99	260	50	233	233	2,2
05.03.2014	14:10		22	99	90	50	44	277	2,6
05.03.2014	14:50		22	99	60	50	11	288	2,7

TTK Ocaklarında İşletilebilir Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi

Determining the gas content of mineable coal seams at TTK Collieries

S.C. Özer, O. Esen, A. Fişne
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Ö. A. Ergenekon
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendiliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Kömür kaynaklı metan oluşumu yeraltı kömür madenleri için her zaman en büyük problemlerden biri olmuş ve madencilik tarihi boyunca birçok patlama, yangın ve boğulma gibi ölümcül kazalara sebep olmuştur. Kömür damarlarının gaz içeriğini belirleme çalışmaları, yeraltı madenlerinde iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak ve buna bağlı maden planlamasının yapılabilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmaların başlıca amacı, gaz ve kömür püskürmesi potansiyelini belirlemek ve doğru havalandırma tasarımının yapılabilmesi için yeraltında madencilik yapılan alanlara ne kadar metan emisyonu olduğunun hesaplanabilmesidir. Ancak günümüzde kömür yataklarının metan gazı içeriğine sadece yeraltı madenciliği için önlem alınması gereken bir tehlike olarak değil aynı zamanda bir alternatif enerji kaynağı ve dolayısıyla da atmosfere yayılan bir sera gazı olarak da bakılmaktadır. Bu noktada günümüzde kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Bu makalede, ülkemizde gazlı ocak sınıfına giren ve aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar anlatılmış ve bazı sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gaz içeriği, metan emisyonu, kömür, sera gazı, TTK

ABSTRACT Methane occurrence in coal mines has always been caused to fatal occupational accidents like explosions, fires and suffocations throughout the history of mining. Gas content determination plays an important role in mine safety and mine planning. The purpose of gas content determination was to assess gas outburst potentials and to quantify the magnitude of gas emissions into underground working areas so as to make an appropriate ventilation design. However, determining the gas content of coalbeds are not essential only for mine safety, are also essential for the most important parameter of an alternative energy source and a greenhouse gas. At this point determining the gas content of coalbeds has been becoming more of an issue. Some results about determining the gas content of coalbeds by using direct method in TTK (Turkish Hardcoal Enterprice) Mines where problems have been seen constantly regarding excessive methane emissions are given in this paper.

Keywords: Gas content, methane emission, coal, TTK (Turkish Hardcoal Enterprice)

1 GİRİŞ

Kömürleşme olayı, bitkisel organizmaların turba, linyit ve taşkömürü evrelerinden geçerek antrasit ve grafite dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Gürdal, 1998). Kömürleşme işlemi sırasında büyük miktarlarda gaz oluştuğu ve önemli bir kısmının kömür ve yan kayaç içerisinde depolandığı bilinmektedir. Kömür içerisinde karbondioksit, azot ve diğer hidrokarbonlar da bulunmasına karşın, depolanan gazın % 90-95'i metandan oluşmaktadır (Kim, 1973, Didari, 1988).

Kömür madenlerinde metan gazının varlığı, madencilik tarihi boyunca önemli can ve mal kaybına yol açan patlama, yangın ve boğulma gibi iş kazalarına neden olmuştur. Konu ile ilgili yeni yöntemler, ekipmanlar ve standartlar geliştirilmesine, havalandırmanın daha iyi planlanmasına ve ocak havasının daha güvenilir biçimde izlenmesine karşın, yeraltı kömür madenciliğinde, aşırı metan emisyonuna bağlı kazalar hâlâ yaşanabilmektedir. Özellikle yüzeye yakın kömür damarlarının tükenmesi nedeniyle üretimin daha derinlere inmesi ve üretimde mekanizasyonun artması metan gazı ile ilgili riskleri de artırmıştır (Ediz ve Durucan, 1998). Ülkemizde metan gazı kaynaklı sorunlar yeraltı kömür madenciliğindeki iş kazaları arasında önemli yer tutmaktadır.

Kömür damarı içindeki gazın büyük bölümü bir denge basıncında kömür damarları ile çevre tabakaları içinde serbest ve gözeneklerin yüzeyine soğurulmuş durumda tutulur. Üretim çalışmaları ile bozulan basınç dengesinden dolayı kömürün gözenek ve çatlaklarında biriken metan gazı ocak ortamına çeşitli şekillerde yayılarak patlama, yangın ve boğulma gibi birçok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Ayrıca bazı yeraltı madenlerinde, kömür damarı içinde basınç altında depolanan metan gazı aniden arının dayanımını aşarak onu parçalamakta ve büyük hacimlerde metan emisyonlarına sebep olmaktadır (Ökten, 1983). Ani gaz ve kömür püskürmesi olarak tanımlanan bu olaylar yeraltı ocaklarında işletme güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır.

Yeraltı kömür madenlerinde metan denetimi "Havalandırma ve Metan Drenajı" yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmaların etkin bir şekilde planlanıp yürütülmesi için üretim yapılacak olan panoda karşılaşılacak metan emisyonu miktarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilmiş olan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Söz konusu tekniklerin uygulanmasındaki en önemli parametre kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesidir (Kissell ve diğ., 1973, Didari, 1988).

Jeolojik ve tektonik koşulların aşırı derecede karışık bir yapıyı oluşturduğu Zonguldak Kömür Havzası'ndaki maden ocaklarında metan gazının neden olduğu sorunlar eskiden beri süre gelmektedir. Son yıllarda üretimin daha derin kotlara inmesine paralel olarak kömür damarlarının gaz içeriklerinin artması nedeniyle meydana gelen olaylarda bir artış olmuştur. Günümüze kadar havzadaki işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriğini ve gaz yayma karakteristiğini araştıran ve inceleyen sistematik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yapılan az sayıdaki çalışma ise ya görgül analizlere dayanmaktadır ya da eski tarihlerde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi hedeflenmiştir.

2 UYGULANAN YÖNTEMİN TANITILMASI

Kömür damarlarının yerinde gaz içeriğinin belirlenmesi metan drenaj sistemlerinin planlanması ve gaz emisyonunun önceden tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş yöntemler "Doğrudan (direkt) ve Dolaylı (indirekt)" olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş "Ampirik Eşitlikler"

yardımıyla da kömürün gaz içeriğini tahmin etmek mümkündür (Kim, 1977).

Kömürün gaz içeriğini belirlemek için geliştirilmiş birçok doğrudan yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğunda kömürün gaz içeriği üç ana bileşene ayrılmaktadır. Bunlar; kayıp gaz (lost gas), desorbe olan gaz (desorbed gas) ve artık gaz (residual gas)'dır. Bu bileşenlerin her biri doğrudan ölçülerek veya tahmin edilerek kömürün toplam gaz içeriği tespit edilmektedir (Diamond ve Levine, 1981, Diamond and Shatzel, 1998). Söz konusu yöntemler temelde aynı prensiplere dayansa da farklı uygulamalara sahiptirler. Bu tür yöntemlerin özünü, kömür damarlarından olası en az gaz kaybı ile örnekler alınması ve bu örneklerden salınan gaz miktarının belirlemesi oluşturmaktadır.

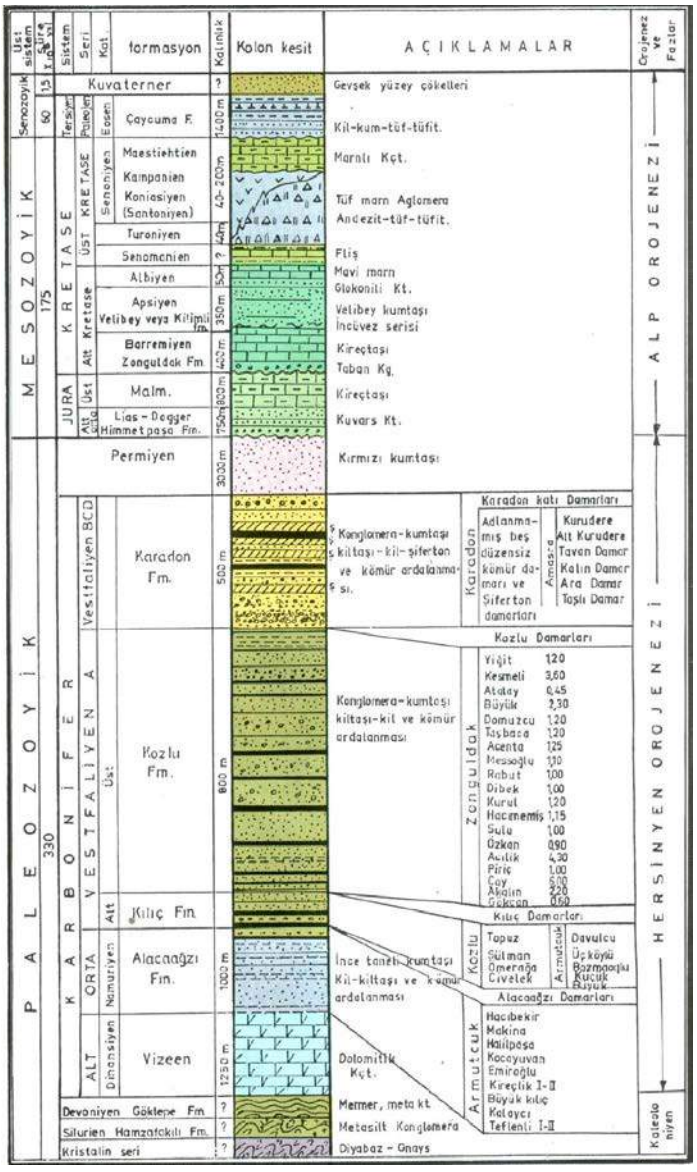
Kömür damarlarının gaz içeriğinin doğrudan yöntemle ölçümü konusunda Bertard ve arkadaşlarının (1970) Fransız Kömür Araştırma Merkezi CERCHAR'da yaptıkları çalışmalar bu konuda geliştirilen en temel yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Çakır, 1994). Söz konusu çalışmada Bertard ve arkadaşları (1970), desorpsiyon sürecinin erken aşamalarında salınan gaz (kayıp gaz) miktarının zamanın kareköküyle orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Söz konusu teknikte numunenin kömür damarından kesilmesi ve sızdırmaz bir kap içerisine alınması süresince kaybolan gaz miktarı (Q1), örneklerin kontrollü metan emisyon deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Bulunan bu değer numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan (Q2) ve laboratuvarda sızdırmaz değirmende öğütülerek belirlenen artık gaz (Q3) miktarına eklenerek kömürün toplam gaz içeriği saptanmaktadır.

3 ZONGULDAK KÖMÜR HAVZASI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Akdeniz (Antalya) ve Güneydoğu (Diyarbakır) bölgelerindeki çok az miktardaki rezervler hariç tutulursa, Zonguldak Kömür Havzası ülkemizdeki taşkömürü varlığının bulunduğu bölgedir. Havzada üretilen taşkömürü koklaşır ve koklaşamaz olmak üzere iki ayrı kalitededir. Doğrudan metalurjik kok üretimine uygun olan rezervler Kozlu, Üzülmez ve Karadon Müesseselerin çalışma alanlarında bulunmakta olup, Armutçuk işletmesinde üretilen kömür yarı koklaşabilir özelliğe, Amasra kömürleri ise kısmen koklaşabilir özelliğe sahiptir (Öztürk, 2014).

Havzada kömürlü birimler üst karboniferin Namuriyen katına ait Alacaağzı formasyonu ile başlamakta, alt Wesfalien A yaşlı Kılıç formasyonu, üst Westfalien A'ya ait Kozlu formasyonu ve Westfalien B-C-D yaşlı Karadon formasyonu ile tamamlanmaktadır. Şekil 1'de Zonguldak Kömür Havzası'nın stratgrafik kesiti verilmiştir.



Şekil 1. Zonguldak Kömür Havzası stratigrafik kesiti

Havzada bu formasyonlar içinde 46 adet değişik yapı ve özellikte kömür damarı mevcut olup, halen bunlardan ekonomik işletmeciliğie uygun olan 18 damarda üretim faaliyetleri sürdürülmektedir. Havzada üretim ağırlıklı olarak Kozlu formasyonu içerisindeki verimli damarlarda yapılmaktadır.

Havzanın -1200 m derinliğe kadar hesaplanmış jeolojik rezervi yaklaşık 1,354 milyar ton olup, bunun % 42'si görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Kömür damarlarının eğimleri 0 – 90° arasında ve damar kalınlıkları 0,8 – 3,5 m arasında değişmektedir. Armutçuk Müessesesi Büyük damarda kalınlık 12 m'ye kadar çıkmaktadır. Damar eğimlerinin dik ve dike yakın olması ocakların hızla derinleşmesine neden olmuştur. Ortalama üretim derinliği her yıl yaklaşık 12 m artmaktadır. Karadon ve Kozlu ocaklarında sırasıyla -540 ve -630 m derinlikte üretim ve hazırlık çalışmaları sürdürülmekte olup -1000 m'ye derinleştirilen kuyularla derin kömür madenciliğine hazırlık yapılmaktadır. Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler (rezerv, üretim, işçi sayısı, üretim derinliği vb.) Çizelge 1'de özet olarak verilmiştir.

Havzada 0–45° meyilli damarlarda ilerletimli-göçertmeli uzun ayak, yangına müsait damarlarda (Armutçuk ve Kozlu) geri dönümlü – göçertmeli uzun ayak üretim yöntemi uygulanmaktadır. Eğimi 45°'den büyük damarlarda pnömatik patlatmalı kazı yöntemi uygulanmakta olup, üretim ara katlı göçertme yöntemi ile yapılmaktadır. Ayrıca Kozlu Müessesesi'nde dik damarlarda oda topuk yönteminin değişik bir uygulaması olan tumba baca yöntemi de uygulanmaktadır. Havzada irili ufaklı çok sayıda fay ve sıkmalar mekanize yöntemlerin uygulanmasını engellemektedir. Üretim halen büyük oranda insan gücüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 1. Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler

Müessese	**Rezerv (10^6 ton)**	**Üretim (10^3 ton/yıl)**	**İşçi Sayısı**	**Ortalama Üretim Derinliği (m)**
Amasra	407	250	774	236
Armutçuk	33	252	1283	550
Karadon	412	806	3590	373
Kozlu	159	647	1990	488
Üzülmez	305	486	1884	200
Total	1316	2441	9521	

4 GAZ İÇERİĞİ BELİRLEME ÇALIŞMALARI

Zonguldak Taşkömürü Havzasında, kömür üretimi yapılan damarların gaz içeriklerinin bilinmesi metan emisyonuna bağlı sorunların önceden tahmin edilmesi ve önlenmesi açısından çok önemlidir. İleride çalışılacak olan daha derindeki damarlar, şu anda üretim yapılan damarlardan daha fazla metan içerecektir ve metan emisyonu havalandırma yoluyla kontrol altında tutulamayacaktır. Bu nedenle, havzada metan drenajını başlatmak gerekli olacak, üretim yapılacak kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi zorunlu hale gelecektir.

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla numune alma işleri Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yoğunlaştırılmıştır. Söz konusu işletmelerde numue alma ile ilgili bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi 8 farklı damardan toplam 94 adet geçerli numune alınmış ve gaz içeriği değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 2. Alınan numunelere ait bilgiler

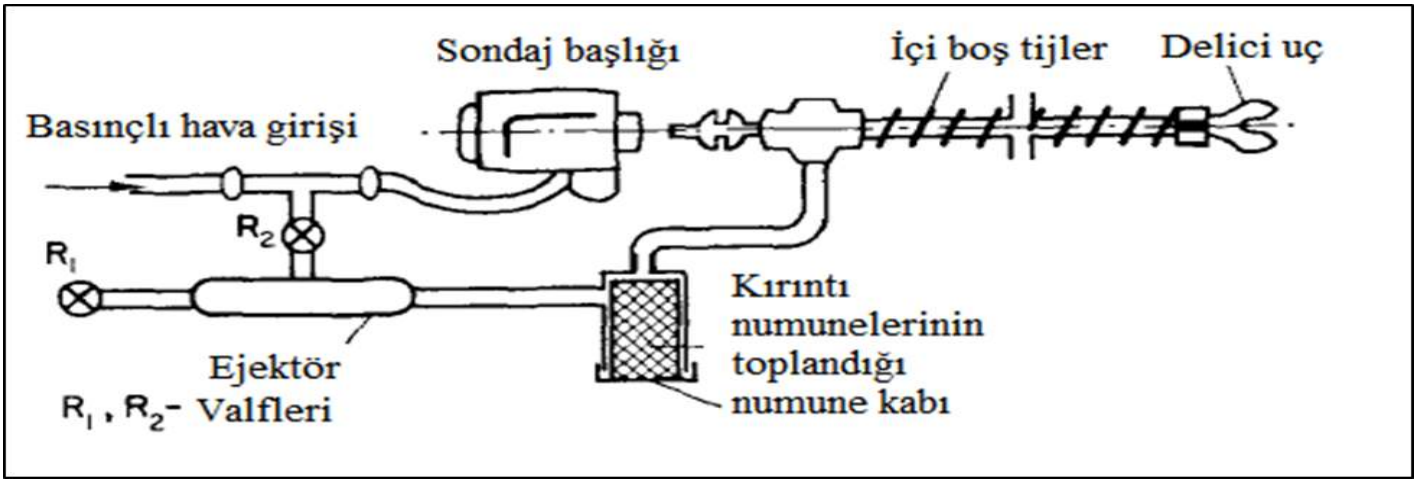
Damar Adı	**Numune Sayısı**	**Alındığı Yer**	**Alındığı Kot**
Acılık	28	Kozlu Gelik Kilimli	360 460 630
Çay	14	Kozlu Kilimli	460 560 630
Sulu	17	Kozlu	560 630
Büyük	11	Armutçuk Kozlu	500 560
Domuzcu	9	Kozlu	425 485 560
Kurul	2	Gelik	360
Hacımemiş	12	Kozlu Kilimli	460 560 630
Unudulmuş	1	Kilimli	460

Bilindiği gibi gaz içeriği belirleme çalışmaları süreklilik arz eden ve birçok jeolojik parametreye veya kömürün fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişebilen çalışmalardır. Aynı panodaki kömür damarının doğusu ile batısı arasında bile çok farklı değerler bulunabilmektedir. Kömür damarlarının homojen yapılar olmaması bu durumun başlıca sebebi olsa da, numune alınan yerin uzun süre önce açılmış olması veya yakınında yapılan madencilik çalışmaları (alt-üst kat üretim çalışmaları, rahatlatma veya keşif sondajları vb.) gibi sebeplerle kömür bünyesindeki gazın bir kısmını kaybetmektedir. Bunun dışında faylara olan yakınlık da gaz içeriğini lokal olarak etkileyebilen bir parametredir.

Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada numunelerin mümkün olduğunca kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından alınmasına dikkat edilmiştir.

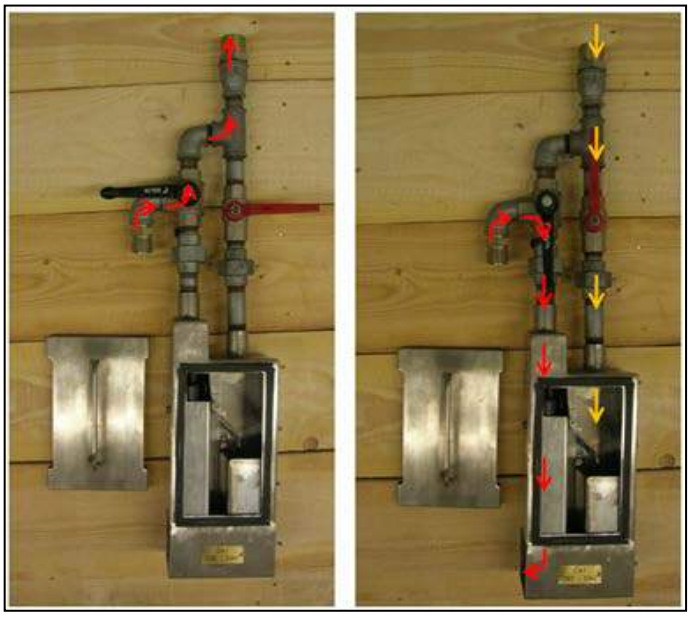
Numune alma işlemi için Şekil 2'de gösterilen, içi boş sondaj tijlerinin içerisinden vakum yapabilecek ejektöre sahip bir sondaj makinesi kullanılmıştır. Sondaj düzeneğinin çalışma prensibini şematize eden çizim ana hatlarıyla Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu ekipmanın en büyük avantajı, kesin olarak istenilen derinlikten numune alabiliyor olması ve kayıp gaz zamanını oldukça azaltmasıdır.

Şekil 2. Numune alma işleminde kullanılan sondaj ekipmanı



Şekil 3. Şematize edilmiş sondaj ekipmanı

Kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar, yeraltında yatay sondaj yapılacak noktanın belirlenmesi ile başlar. Seçilen noktada yatay olarak sondaj yapılabilmesi için ortam hazırlanır ve basınçlı hava bağlantıları yapılır. Damarın eğim ve doğrultusu belirlenerek sondaja yön verilir ve delme işlemi başlatılır. Kullanılan tijler 2 m uzunlukta olduğundan her 2 m ilerlemede yeni tij eklenir. Bu çalışmada her 2 m ilerlemenin sonunda numune alınmıştır. Numune alma işlemi gerçekleştirileceği zaman ejektör (Şekil 4) vasıtasıyla basınçlı havanın yönü değiştirilerek vakum yapması sağlanır. Böylece kesim işleminin gerçekleştiği noktadan numune alınarak içi boş tijler boyunca emilerek ejektörün içindeki hazneye toplanır. Ekipman durdurulup yeni tij takma işlemi sırasında haznedeki kömür numuneleri 2 mm'lik elekte elenir ve elek üstü numuneler sızdırmaz numune kaplarına aktarılır. Alınacak numunenin kesilmeye başladığı zaman ile sızdırmaz numune kabına kapatıldığı zamanlar not edilir. Genellikle damar yapısı sebebiyle yapılan sondaj mesafesi sınırlanmaktadır. Yapılan çalışmalar en az 10 m derinliğe ulaşmak gerektiğini göstermiştir.



Şekil 4. Vakum ile numune almayı sağlayan ejektör kutusu

Yeraltında numune alma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler yeryüzündeki laboratuvara getirilir. Burada sızdırmaz numune kapları bir analzöre bağlanarak, numunelerin sızdırmaz kap içerisine yaydıkları metan gazı konsantrasyonu belirlenir (Şekil 5). Bu işlem ertesi gün tekrar edilir ve Q3 bileşeninin belirlenmesi için sızdırmaz olacak şekilde tasarlanmış halkalı değirmende öğütülür. Gaz salınımının tespiti için hazneye bağlanan bir büret üzerindeki hacimsel farktan yararlanılır (Şekil 6). Öğütülen numunelere nem, kül ve uçucu madde tespiti için kısa (proximate) analiz yapılır.

Şekil 5. Metan gazı yayılımını tespit için kullanılan gaz analizörü

Şekil 6. Halkalı değirmen ve büret düzeneği

5 SONUÇLAR

Zonguldak Kömür Havzasında işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi amacıyla TTK'na bağlı Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yeraltından yapılan yatay sondajlardan numuneler alınmıştır. Kozlu, Gelik, Kilimli ve Armutçuk olmak üzere 4 işletmede 54 sondaj yapılmıştır. Sondaj uzunlukları maksimum 24 m'dir. Sondajlardan genellikle her 2 m'de bir numune alınmış ve gaz içeriği belirlenmiştir. Bu çalışmalarda Kozlu Müessesesinde 7 adet farklı damardan 35, Karadon Müessesesi Gelik İşletmesinde 4 farklı damardan 6 ve Kilimli İşletmesinde 4 farklı damardan 10, Armutçuk Müessesesi'nden ise tek damardan 3 kere numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir. En yoğun çalışmaların yapıldığı Kozlu İşletmesinde yaşanan en büyük sorun damarların çok dik ve ince olmasıdır ancak -630 katıyla en derin kotta çalışabildiğimiz işletme Kozlu İşletmesi olmuştur. En derin yatay sondajlar ise Armutçuk İşletmesinde gerçekleştirilmiş olup, bunun en önemli nedeni bu işletmedeki "Büyük" olarak adlandırılan kömür damarının kalınlığıdır. Bu numune alma çalışmaları kapsamında toplamda 330 adet farklı kömür numunesinin gaz içeriği belirlenmiştir. Ancak numune alma çalışmalarında çok sayıda numune alınmasına karşın, kül içeriği %20'nin altında olan ve yeterli derinlikten alınabilen numuneler geçerli sayılmıştır.

Kömür numunelerinin kimyasal özelliklerinin, kömürleşme derecesinin ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla kısa analizleri gerçekleştirişlmiştir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kısa analiz sonucu elde edilen değerlerin değişim aralığı Çizelge 3'te verilmiştir.

Kül değerleri oldukça farklılık göstermesine karşın, nem ve uçucu madde değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Örneğin farklı damar ve işletmelerden alınan kömür numunelerinin orijinal bazda nem değerleri ortalama %1,17 ±0,22 ve uçucu madde miktarları ortalama 25,87 ±3,11 civarında iken kül değerleri aynı sondaj deliği içinde bile oldukça farklı çıkmış ve %3,69 ile %26,09 arasında değişkenlik göstermiştir.

Kömürlerin sınıflandırılmasında ASTM/DIN vb. standartlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kömür numuneleri ASTM ve DIN standartları kullanılarak, kısa analiz sonuçlarının kuru külsüz bazdaki değerleri yardımıyla sınıflandırılmıştır. ASTM standardına göre kömür numuneleri yüksek uçuculu-B bitümlü kömür ile yüksek uçuculu-A bitümlü kömür aşamasındadırlar. DIN standardına göre ise numuneler "Gazlı-Alevli" ve Gazlı" sınıfına girmektedirler.

Çizelge 2. Kömür damarlarının kısa kimyasal analizleri

Damar Adı	Orijinal Baz (%)				Kuru - Külsüz Baz (%)	
	Nem	Kül	UM	SK	UM	SK
Acılık	0,61 - 1,84	4,90 - 20,81	18,86 - 27,71	51,08 - 71,23	21,42 - 34,42	65,58 - 78,58
Çay	0,87 - 1,21	8,09 - 26,09	21,32 - 25,22	49,55 - 66,34	27,05 - 32,94	67,06 - 72,95
Sulu	0,86 - 1,46	3,83 - 20,74	22,61 - 26,23	52,58 - 68,83	25,25 - 33,02	66,98 - 74,75
Büyük	1,05 - 1,61	3,69 - 19,08	24,80 - 35,59	54,01 - 64,66	31,05 - 38,53	61,47 - 68,95
Domuzcu	0,96 - 1,61	7,73 - 22,84	23,62 - 31,68	48,01 - 67,04	26,05 - 39,75	60,25 - 73,95
Kurul	1,62	5,42 - 6,25	26,56	65,57 - 66,40	28,57 - 28,83	71,17 - 71,43
Hacımemiş	0,91 - 1,43	5,22 - 22,94	21,61 - 28,97	54,25 - 67,50	27,22 - 32,86	67,14 - 72,78
Unudulmuş	1,38	6,59	26,77	65,26	29,09	70,91

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür üretimi kalınlıkları 0,7 – 30 m arasında değişen yaklaşık 20 işletilebilir kömür damarında gerçekleştirilmektedir. Bu damarlar arasında üretim ve hazırlık faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürüldüğü damarlar Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Tavan, Kalın, Milopero, Akdağ, Kurul, Hacımemiş, Nasufoğlu, Unudulmuş ve Domuzcu'dur. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen gaz içeriği ölçüm çalışmaları söz konusu damarlardan Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Domuzcu, Kurul, Hacımemiş ve Unudulmuş damarlarında yoğunlaştırılmıştır. Elde edilen değerlerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4'te özet olarak verilmiştir.

Damarların orijinal bazda ortalama gaz içerikleri 2,49 m^3/t ile 9,94 m^3/t arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Hacımemiş damarları için elde edilmiştir. Acılık, Çay ve Sulu havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardır. Bu damarların orijinal bazda ortalama gaz içeriği değerleri sırasıyla 7,14 m^3/t, 5,89 m^3/t ve 8,50 m^3/t, kuru külsüz bazda ise 8,13 m^3/t, 7,03m^3/t ve 9,63 m^3/t olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriği Sonuçları

Damar Adı	Gaz İçeriği (m^3/ton)							
	Orijinal Baz				Kuru Külsüz Baz			
	Min.	Max.	Ort.	Std.	Min.	Max.	Ort.	Std.
Acılık	5,13	11,54	7,14	1,81	5,97	13,11	8,13	2,08
Çay	3,71	8,76	5,89	1,57	4,96	9,63	7,03	1,62
Sulu	4,58	10,49	8,50	1,42	5,13	11,91	9,63	1,55
Büyük	5,01	10,86	8,17	2,72	5,34	11,75	8,89	2,76
Domuzcu	4,32	7,88	6,73	1,11	4,77	9,07	8,01	1,37
Kurul	8,58	8,62	8,60	-	9,23	9,36	9,29	-
Hacımemiş	6,19	14,66	9,94	2,31	7,80	16,98	11,44	2,59
Unudulmuş	-	-	2,49	-	-	-	2,71	-

Büyük damarının orijinal ve kuru külsüz bazda ortalama gaz içeriği 8,17 m^3/t ve 8,89 m^3/t olarak tespit edilmiştir. Büyük damarı için Kozlu ve Armutçuk Müesseselerinden numune alınmıştır. Kozlu Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği orijinal bazda 5,48 m^3/t iken, Armutçuk Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği 9,18 m^3/t olarak belirlenmiştir. Büyük damarının bu işletmede çok kalın olması ve en uzun yatay sondajın Armutçuk Müessesesi Büyük

damarında gerçekleştirilmesi damarın gaz içeriğinin yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

Kurul ve Unudulmuş damarları için birer adet numune alma işlemi gerçekleştirilebilmiştir. Buna göre Karadon Müessesesinde Kurul damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 8,60 m^3/t ve Unudulmuş damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 2,49 m^3/t olarak belirlenmiştir. Kurul damarından alınan numuneler taban yolu arınından alındığı için yüksek, Unudulmuş damarından alınan numuneler ise bacadan (ayaktan) alındığı için oldukça düşüktür ve gerçekçi değildir.

Çay ve Domuzcu damarı için ortalama gaz içeriği değerlerinin düşük çıkmasında numune alınan lokasyonların etkisi vardır. Çay damarı numuneleri çok uzun zaman önce açılmış olan 111063405 no.lu hazırlık galerisinden, Domuzcu numuneleri ise -425/-485 kotları arasında oluşturulan panodan alınmıştır.

Acılık havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardan biri olması nedeniyle farklı işletmelerden ve kotlardan numune alma imkânı bulunabilmiştir. Buna bağlı olarak Acılık damarının orijinal bazda gaz içeriği -360 kotunda ortalama 6,85 m^3/ton, -460 kotunda ortalama 6,06 m^3/ton (Karadon Müessesesinden alınan numuneler) ve -630 kotunda ise ortalama 9,26 m^3/ton (Kozlu Müessesesinden alınan numuneler) olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Sulu damarı içinde elde edilmiştir. Söz konusu damarın orijinal bazda gaz içeriği -560 kotunda ortalama 6,81 m^3/ton ve -630 kotunda ortalama 8,87 m^3/t olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere derin ve bakir sahalara ilerlendikçe damarların gaz içeriği artmaktadır. Havzada bulunan Acılık haricindeki damarlarda, kotlara göre dağılım yaparak istatistiksel inceleme yapmak mümkün olmamıştır. Her ne kadar diğer damarların da farklı kotlarından numuneler alınsa da istatistiksel analiz yapacak rakamlar oluşmamıştır. Bu damarlar için çoğunlukla Kozlu Müessesesi -630 kotundan numune alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda en düşük değerlerin ayaklardan alınan numunelerden elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi pano oluşturulurken açılan tavan-taban yolları ve ayak sayesinde birçok serbest yüzey alanının ortaya çıkması ve gazın bu serbest yüzeylerden desorbe olmasıdır. En yüksek değerler ise kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de gaz içeriği belirleme çalışması için yapılacak numune alma işleminin yeni açılmış yüzeylere uygulanmasıdır. Açılan yüzey ne kadar eskiyse o kadar düşük değer elde edilecek ve buna bağlı olarak da yanlış yorumlama yapılabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. “Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda Kömür Damarlarının Gaz İçerikleri İle Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi” adlı 113M460 No.lu projeye sağladıkları ekonomik destekten ve her konudaki yardımlarından dolayı TÜBİTAK yetkililerine ve mühendislik araştırma grubu sekreterliği elemanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Bertard, C., Bruyet, B., & Gunther, J. 1970. Determination of Desorbable Gas Concentration of Coal (Direct Method). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 7(1), 43-&. doi: Doi 10.1016/0148-9062(70)90027-6

Çakır, A. 1994. TTK Karadon İşletmesi -303/-360 Büyük Damarının Gaz İçeriğin ve Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. (MSc. Master), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Diamond, W. P., & Levine, J. R. 1981. Direct method determination of the gas content of coal: procedures and results (pp. 36): US Bureau of Mines.

Diamond, W. P., & Schatzel, S. J. 1998. Measuring the gas content of coal: a review. International Journal of Coal Geology, 35(1), 311-331.

Didari, V. 1988. Metan Denetimi Gereksinimlerinin Ampirik Tekniklerle Belirlenmesi. Paper presented at the Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Ediz, I. G., & Durucan, Ş. 1998. Kömür ocaklarında metan gazı oluşumu ve birikimi. In K. O. (Ed.), Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri (pp. 223-242). İstanbul: Özgün Ofset.

Gürdal, G. 1998. Kömürde Gaz Depolanmasını Kontrol eden Parametreler (Doktora). İstanbul Teknik Ünivesitesi, İstanbul.

Kim, A. G. 1973. The composition of coalbed gas: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.

Kim, A. G. 1977. Estimating methane content of bituminous coalbeds from adsorption data: Department of the Interior, Bureau of Mines.

Kissell, F. N., McCulloch, C. M., Elder, C. H., & Mines, U. S. B. o. 1973. The direct method of determining methane content of coalbeds for ventilation design: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.

Ökten, G. 1983. Zonguldak Taşkömür Havzasındaki Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının İncelenmesi ve Olaya Eğilimli Zonların Belirlenebilirliğinin Araştırılması. (Doktora), İstanbul Teknik Ünivesitesi, İstanbul.

Öztürk, M. 2014. Taşkömürü Havzası Damar Gaz İçeriklerini Tespit Çalışmaları. TTK İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Yayın No. 71.

Çayeli Bakır'da Yeraltı Havalandırma Sistemi ve Yenilikçi Çözümler

Underground Ventilation System at Çayeli Bakır and Innovative Solutions

Z. C. Yavaş, H. Kartoğlu, M. Güreşçi
Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.

ÖZET Havalandırma, yeraltı madenciliğinin olmazsa olmazıdır. Amaç, yeraltında çalışanlara ve ekipmanlara temiz hava sağlamak, yeraltındaki patlatmalardan ve dizel araçlardan kaynaklanan tozu ve zehirli ve boğucu gazları uzaklaştırmak, nemi engellemek ve sıcaklığı düşürmektir. Çayeli Bakır son on yılda mühendislik çalışmaları ve gelişen teknolojiyi kullanarak daha verimli bir havalandırma sistemi kurma ve havalandırma enerjisi tasarrufu konusunda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Yeraltı havalandırması sürekli enerji harcayan bir sistem olduğu için iyi yönetilmeli ve harcanan enerjinin karşılığı tam anlamıyla alınmalıdır. Bu bildiride, Çayeli Bakır'ın havalandırma sistemi anlatılacak ve son on yılda elde edilen tecrübeler ve maliyet düşürücü önlemler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., havalandırma, yeraltı madenciliği, enerji tasarrufu

ABSTRACT Ventilation is a must for the underground mining. The aim is to provide fresh air to the people and equipment underground, remove the dust and toxic and suffocating gases as a result of underground blasting and diesel equipment, prevent moisture and reduce the temperature. Çayeli Bakır in the last decade has made progress in establishing a more efficient ventilation system and has made significant improvements in energy-saving with engineering studies and using developments in the technology. As underground ventilation is a system permanently consuming energy, it should be well managed and the consumed energy's worth must be received completely in return. In this paper, Çayeli Bakır's ventilation system will be described and experiences obtained in the last decade and cost-cutting measures will be presented.

Keywords: Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., ventilation, underground mining, energy saving

1 ÇAYELİ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş. HAKKINDA GENEL BİLGİLER

1.1 İşletmenin Tanıtılması ve Genel Bilgiler

Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. (ÇBİ) Doğu Karadeniz bölgesinde, Rize ilinin 28 km doğusunda, Çayeli ilçesinin 8 km güneyinde bulunan Madenli kasabasında yer almaktadır. ÇBİ 1983 yılında kurulmuş ve 1994 yılında üretime başlamıştır. ÇBİ yabancı sermaye ile kurulmuş bir Türk şirketi olup, hisselerinin tamamı First Quantum Minerals Ltd. şirketine aittir.

ÇBİ Türkiye'nin en büyük yeraltı metal madenidir. 2014 yılında 1.356.000 ton ham cevher üretilmiştir. İşletmenin 2014 yılı bakır ve çinko üretimi, 38.327 ton bakır metali ve 56.766 ton çinko metalidir.

Bu rakamlarla ülke ekonomisine her yıl milyonlarca liralık katkı sağlayan ÇBİ aynı zamanda Türkiye'de en fazla vergi veren şirketler sıralamasında da uzun zamandan beri ilk 50 şirket arasında yer almaktadır.

İşletmede 3 vardiya halinde haftanın 7 günü çalışılır. ÇBİ'de madencilik tam mekanize yeraltı üretim metotları kullanılarak gerçekleştirilir. Yeraltından çıkarılan ham cevher, cevher hazırlama tesisinde işlenerek bakır ve çinko konsantreleri haline getirilir. Bu konsantreler Rize limanından piyasaya sunulur.

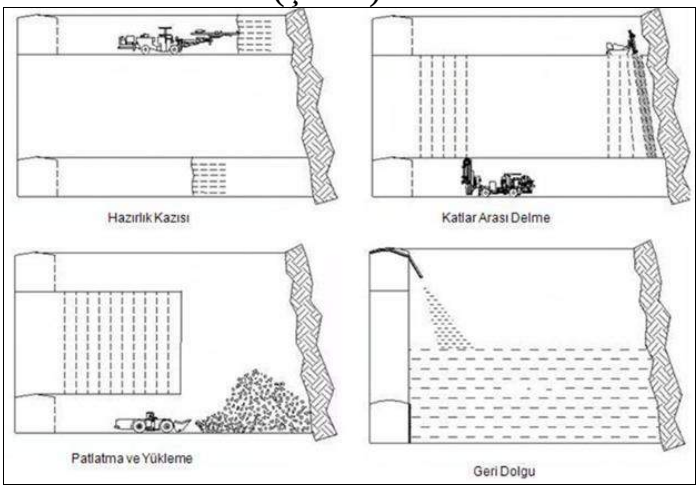
ÇBİ'nin mevcut rezervleri ile 2019 yılına kadar üretim faaliyetlerini devam ettirmesi öngörülmektedir.

1.2 İşletmenin Tarihsel Gelişimi

1920'ler: Ruslar tarafından yeraltı gümüş madenciliği yapılması.
1960: GAMA Endüstri A.Ş.'nin maden haklarını elde etmesi.
1967 – 1975: İlk jeolojik araştırma ve MTA tarafından sondaj yapılması.
1983: ÇBİ ortaklığının kurulması (ETİ Holding %45, Phelps Dodge %49 ve Gama Endüstri A.Ş. %6).
1983-1987: Küçük bir araştırma galerisinin 1000 kotuna doğru sürülmesi.
1988: Phelps Dodge Şirketinin payını Inmet şirketine satması.
1992: İşletme inşasının ve yatırımların başlaması
1993: Temel maden altyapı sisteminin başlaması.
1994: Ağustos ayında ilk konsantrenin elde edilmesi.
1995: Kuyu sistemi için mühendislik ve tasarım çalışmalarının başlaması.
1998: Kuyu sisteminin başlaması.
1998: Macun dolgu santralinin faaliyete geçmesi.
2002: GAMA Endüstri A.Ş.'nin %6 hisselerini satın alan Inmet'in ÇBİ hisselerinin %55'e yükselmesi.
2004: ETİ Holding'in %45 hisselerini satın alan Inmet'in ÇBİ hisselerinin tamamına sahip olması.
2007: Ham cevher üretiminin yılda 1 milyon tonun üzerine çıkması.
2009: Vergi rekortmenleri sıralamasında Türkiye'de ilk 50'ye girmesi.
2013: First Quantum Minerals Ltd'nin Inmet'in %100 hisselerini satın alması.

1.3 Üretim Yöntemi

ÇBİ'de yeraltı üretim yöntemi olarak ara katlarda delme patlatma ve sonrasında dolgu kullanılmaktadır. Kullanılan madencilik metodu, tam topuk kazanımı ile %100 cevher çıkarımını sağlamaktadır. Üretilen kat arası boşlukları, macun dolgu veya pasa dolgu ile doldurulmaktadır (Şek.1).



Şekil 1. Maden üretim metodu.

Cevhere tavan taşından başlayan ana rampa ve taban taşındaki üretim kuyusu aracılığıyla ulaşılır. Üretim blokları 80-100 metre dik aralıklarla, ara katlar ise 1080-800 kotları arasında 20 metre, 800 ve altı kotlar arasında ise 15 metre dikey aralıklarla konumlanmıştır.

2 HAVALANDIRMA VE ACİL KAÇIŞ PLANLARI

Havalandırma ve acil kaçış planları mevcut üretim katları ile birlikte A3 boyutunda aylık olarak güncellenir. Aylık olarak yapılan üretim planları doğrultusunda açılması gereken kuyu ve fan yerleri belirlenmektedir. Böylece üretim başlamadan hazırlık aşamasında havalandırma ile ilgili hazırlıklar tamamlanarak üretime başlanmaktadır.

Kat planları güncellenirken, kaçış yolları ve havalandırma fan ve vantüpleri planlarda gösterilir. Planlar yeraltındaki 12 adet sığınma istasyonuna da dağıtılır.

Kaçış yerleri olarak birinci öncelik sığınma istasyonlarına verilmiştir. Daha sonra temiz hava girişinin olduğu temiz hava kuyu bağlantıları tavsiye edilir. Kaçış yolları yeraltında fosforlu tabelalar ile belirtilir.

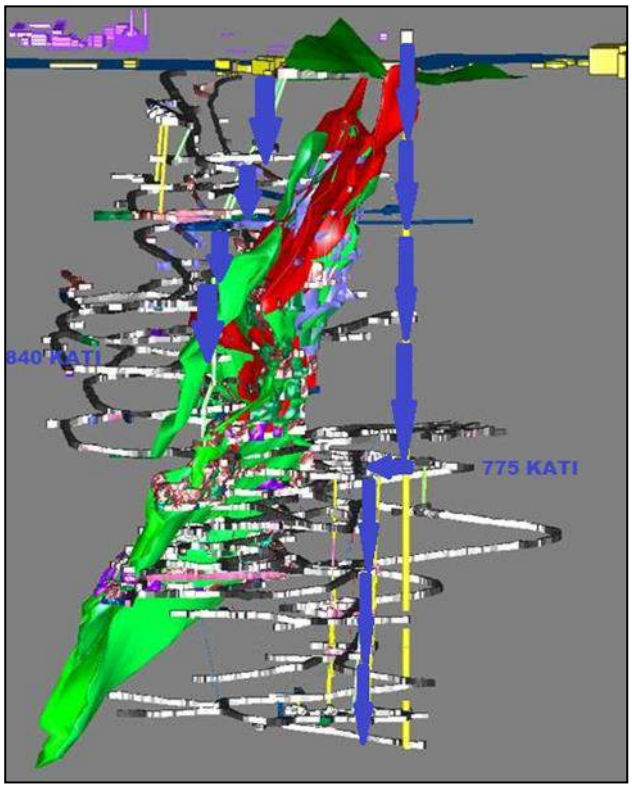
Sığınma istasyonlarının sayıları ve yerleri, çalışanların ferdi oksijen maskelerinin, kaçış için onlara tanıdığından daha az bir sürede sığınma istasyonlarına ulaşabilecekleri şekilde belirlenmiştir. Çalışma yerleri ile sığınma istasyonları arasındaki mesafeler yürüme hızı ile 15 dakikayı geçmez (Şek.2).

Şekil 2. 18 kişilik sığınma istasyonu.

ÇBİ'de kapasitesi 8 ile 12 kişi arasında değişen, MineARC marka 8 adet seyyar sığınma istasyonu ve içinde yine MineARC marka kapalı sistem gaz temizleme ünitesi bulunan 30'ar kişilik 2 adet betonarme sığınma istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlarının bakımları yetkili kişiler tarafından düzenli olarak yapılmaktadır.

3 GENEL HAVALANDIRMA SİSTEMİ VE HAVALANDIRMA KUYULARI

ÇBİ'de havalandırma 820 katı ve altı ve 840 katı ve üstü olacak şekilde ikiye bölünmüştür ve bu iki bölümün havalandırması birbirinden bağımsızdır (Şek.3).



Şekil 3. Havalandırma genel görünümü.

Yerüstünden 840 katına kadar olan kısım, yerüstünde (1120 kotunda) bulunan 220 kW'lık iki fan ve havalandırma kuyusu ile sağlanmaktadır. Bu fanın bir adet de yedeği bulunur. 840 katı ve üzerinde egzoz kuyusu bulunmamaktadır. Dönüş havası rampa aracılığıyla yer üstüne ulaşmaktadır.

820 katı ve altında olan kısmın havalandırması, 775 katından 620 katına kadar havalandırma kuyusu ile sağlanmaktadır. Bu havalandırma kuyusu 775 katında ana nakliye kuyusuna bağlantılıdır ve 400 kW fan ana nakliye kuyusundan havayı emerek havalandırma kuyusuna iletmektedir. Bu kısımda egzoz kuyu sistemi vardır. 800 katında bulunan bu egzoz fanlar 800 ve 685 katları arası dönüş havasını ana rampaya iletirler. Egzoz kuyusunun çapı 2 m olup, 115 m boyundadır. Ayrıca 670 ve 580 katları arasında tali egzoz kuyuları da vardır.

3.1 Temiz Hava Kuyuları

Ana fanlarla yeraltına temiz hava gönderilmesini sağlayan 3 m çaplı beton kuyulardır. 800 katı üzerinde, 280 m ve 60 m boyunda iki adet temiz hava kuyusu mevcuttur.

3.2 Dönüş Hava (Egzoz) Kuyuları

Yeraltındaki çalışma bölgelerinde patlatmalarla veya ekipmanlarla kirlenen havayı fanlar aracılığıyla ana rampaya gönderen 2 m çapında kuyulardır. 800 ve 685 katları arasında 115 m boyunda, 670 ve 580 katları arasında ise toplam 80 m boyunda egzoz kuyuları mevcuttur.

3.3 Geçici Havalandırma Kuyuları

Maden planlamasına göre cevheri alınması gereken bazı katlarda, dönüş hava kuyuları yoksa delici makine ile 80 cm çaplı veya delme patlatma ile yaklaşık 1,5 m çaplı 15 m boyunda geçici havalandırma kuyuları açılır.

4 FANLAR

Yeraltı havalandırmasını sağlamak üzere motor güçleri 3 kW ile 400 kW arasında değişen 11 çeşit, 72 adet elektrik motorlu fan bulunmaktadır. Cogema, Alphair, Zitron ve Türk malı Teknima markalı fanlar kullanılmaktadır. Bu fanlardan 3 tanesi ana havalandırma amaçlı olup, bunların da bir tanesi yedek durumundadır. Motor güçleri 7,5 kW ile 90 kW arasında değişen diğer fanlar tali havalandırma amaçlı kullanılmaktadır. Bu fanlardan 33 tanesi uzaktan kumanda edilebilmektedir. 5 tanesinin ise pervane hızları frekans konvertörleri ile ayarlanmaktadır.

4.1 Ana Fanlar

Bir adet 400 kW ve iki adet 220 kW olmak üzere üç adet ana fan vardır.

400 kW fanın kapasitesi 2.740 Pa basınçta 110 m³/s, 220 kW fanların kapasitesi 1.200 Pa basınçta 110 m³/s'dir.

840 katı ve üzerini havalandıran 220 kW ana fanlar birbirlerinin yedeğidir. Bakım veya arıza durumunda yedek fan devreye alınır. 820 katı ve altını havalandıran 400 kW fanın yedeği olmasa da, kuyuya bağlı mevcut yardımcı fanlarla, 400 kW fanın %60'ı kadar havalandırma sağlanmaktadır.

Ana fanların pervane hızları frekans konvertörleri ile maden kontrol odasında bulunan bilgisayarlarla ya da havalandırma mühendisi tarafından yapılabilmektedir.

Maden kontrol odası, operasyonun sevk ve idaresinin yapıldığı, çalışanların ve ekipmanların anlık durumu ve çalışma yerlerinin takip edildiği ve yeraltında bulunan kamera görüntülerinin izlendiği bölümdür (Şek.4). Micromine firmasının Pitram modülü kullanılır. Bu sistem sayesinde tüm operasyonların raporlaması da yapılabilmektedir. Yeraltında bulunan fiber optik ağ sayesinde personel takibi, fanların uzaktan kontrolü, havalandırma kapılarının uzaktan kontrolü, yeraltında meydana gelen sismik olayların kontrolü gibi işler de idare edilmektedir.

Şekil 4. Maden kontrol odası ve operatörü.

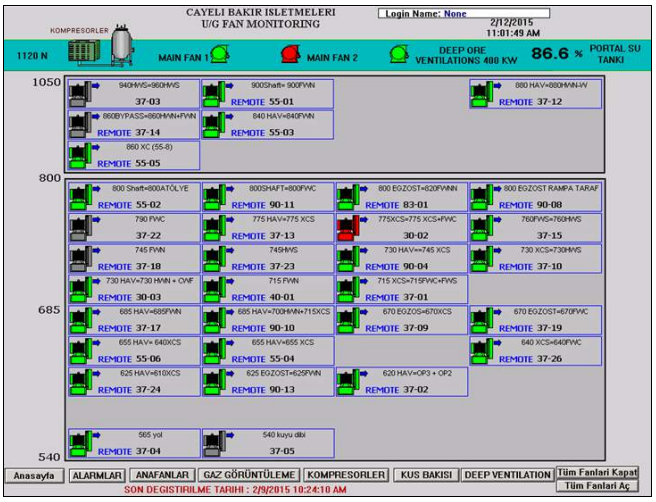
4.2 Yardımcı Fanlar

Yeraltı üretim ve tahkimat çalışmalarında, ana fanlardan gelen havayı vantüplerle çalışma bölgelerine gönderen fanlardır. Yeraltında güçleri 7,5 kW ile 90 kWarasında değişen yaklaşık 50 adet yardımcı fan çalışmaktadır.

Havalandırma hesaplamaları yapılırken yeraltında bulunan ekip ve ekipmanlar kriter olarak alınır. Ontario madencilik düzenlemelerine göre, 1 kW'lık motor gücü için 0,06m³/s'den daha fazla temiz hava sağlanmamalıdır. Bu değer MSHA onaylı motorlar için 0,045m³/s'den az olmamalıdır.

4.2.1 Uzaktan kontrol fanlar

Yerüstündeki kontrol noktalarından bilgisayar bağlantısı ile uzaktan kontrol ile kapatılıp açılabilen fanlardır. SCADA kontrol sistemi (uzaktan kontrol ve gözleme) kullanılır (Şek.5). Kısaca bilgisayarlardan, haberleşme araçlarından, algılayıcılardan veya diğer aygıtlardan oluşturulmuş denetlenebilen ve kontrol edilebilen bir sistemin genel adıdır. Bu sistem yeraltında kullanılan fiber optik ağ sayesinde fan panoları ile iletişime geçer ve fanları yerüstünden veya ağa bağlı herhangi bir bilgisayar vasıtasıyla kumanda eder. Sistem fanların çalışma durumunu (açık ya da kapalı) ve uzaktan bağlantının aktif olup olmadığı bilgilerini yansıtır. ÇBİ'de ana fanlar dâhil 33 adet fan uzaktan kontrol ile çalışabilmektedir.



Şekil 5. Fan uzaktan kontrol ekranı

Uzaktan kontrollü fanların ÇBİ'ye sağladığı avantajlar şöyle sıralanabilir:

Patlatma sırasında fanları kapatıp açma imkânı verdiğinden, basınçtan dolayı oluşacak fan ve vantüp hasarlarını önlemek,

Çalışma olmayan bölgelerde fanları kapatarak enerji tasarrufu sağlamak,

Vantüp ekleme ve tamiratı esnasında uzaktan kontrol ile kapatılıp enerji izolasyonu sağlayarak emniyetli çalışma sağlamak,

Yeraltında yangın gibi acil bir durumda fanların açılıp kapatılması ile dumanın etkileyeceği bölge sayısını azaltmak.

2008 yılında ÇBİ'de yapılan bir proje sonrasında, uzaktan kontrol fanların aktif kullanımı, fan seçimi ve yerlerinin gözden geçirilmesi, vantüp israfının önüne geçilmesi ve vantüp tamiratına başlanması ile yıllık 475.000$ tasarruf elde edilmiştir.

4.2.2 Frekans konvertörlü fanlar

ÇBİ'de ana fanlar dâhil toplam 5 adet fanda frekans konvertörü uygulaması vardır. Frekans konvertörü fan pervanelerinin hızlarını ayarlayıp, ihtiyaç duyulan hava miktarını daha düşük enerji tüketiminde sağlamaktadır.

İhtiyaç duyulan hava miktarı çalışma bölgesinde yapılacak işe ve kullanılan dizel makine sayısına göre değişir. Bu yüzden daha düşük hava debisine ihtiyaç duyulan iş için daha düşük pervane hızı kullanılıp enerji israfının önüne geçilmektedir.

Frekans konvertörü olmayan fanlar sürekli olarak 50 Hz frekansta çalışırlar. Oysa ÇBİ'de yapılan temel 6 madencilik aktivitesinin (taşıma-yükleme, püskürtme beton, kaya saplaması uygulaması, delme, patlayıcı şarjı, servis işleri) sadece ikisi için 50 Hz gerekir. Diğerlerinde fanın 30 ile 40 Hz arasında çalışması yeterlidir.

Ayrıca yaz mevsimi ile kış mevsimleri arasındaki sıcaklık farkından dolayı kışın ana havalandırma fanları %10 oranında daha düşük enerji gücü ile çalıştırılmaktadır. Yaz mevsiminde hava sıcaklığını düşürmek için ihtiyaç duyulandan daha fazla hava miktarı yeraltına gönderilir.

4.2.3 Egzoz fanlar

Dönüş hava kuyularında kullanılırlar. ÇBİ'de egzoz fanların motor güçleri, altlarında bulunan kuyuların çaplarına göre değişirler. Kuyu üstlerinde olduklarından uzaktan kontrol edilebiliyor olmaları tercih edilir. Egzoz fanların uzaktan kontrol ile kullanılmasının diğer avantajı, yeraltında bir yangın olması durumunda dumanın yönlendirilebilmesine imkân tanımasıdır.

4.2.4 Basınçlı hava ile çalışan jet fanlar ve 3 kW eksenel fanlar

Basınçlı hava ile çalışan fanlar, kısa süreli işler için ve kuyu içi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Küçük motorlu eksenel fanlar yeraltındaki küçük (uzunluğu 15 m'den az) ceplerin havalandırması için kullanılmaktadır.

Jet fanların kullanımı mümkün olduğunca minimumda tutulmaktadır. Jet fanlar kompresörden beslenen basınçlı hava ile çalıştığı için kompresörün sürekli çalışmasına ve dolayısıyla gereksiz enerji sarfiyatına sebep olmaktadır. 2013 yılında yapılan bir çalışmada, jet fan kullanılan yerler için 3 kW motor güçlü eksenel fanlar kullanılmaya başlanmış ve 4 adet eksenel fan ile yıllık 105.000$ değerinde enerji tasarrufu elde edilmiştir.

4.2.5 Fan asma aracı ve fan asma prosedürü

ÇBİ'de yeraltında fan asma ve sökme işleri için önceleri makaslı yeraltı platform araçları kullanılırken, 2013'ten sonra bu iş için geliştirilmiş Titan marka bir fan asma aracı satın alınmış ve kullanılmaya başlanmıştır. (Şek.6).

Bu değişimin sebebi, fanın makaslı platform içerisinde yükseltilmesi için kullanılan tahta takozlardan birisinin kırılarak kazaya sebep olmuş olmasıdır. Bu olay sonrasında fan montaj ve demontaj işlerinde kullanılmak üzere fan platformu tasarlanmıştır. Fan platformu kasasında, fan için ayrı bir kaldırma mekanizması olan bir platform ve çalışanların çalışma alanlarını içeren ayrı bir platform bulunmaktadır. Bu platformlar uzaktan kumanda edilerek olası devrilme veya düşmelerde çalışanların yaralanmasını engellemektedir. Böylelikle ÇBİ'de fanlarının yüklenmesi, taşınması, montajı, demontajı ve indirilmesi için yapılan çalışmaların daha emniyetli bir şekilde yapılması sağlanmıştır. ÇBİ'de fanlar, fan asma/sökme prosedürüne göre uzman çalışanlar tarafından asılır veya sökülürler.

Fanın asılmasını ve tüm yükün askıda kalmasını sağlayacak olan kaya saplamalarıdır. Bu kaya saplamaları standart bir tahkimat elemanı olup, çimento enjeksiyonu ile formasyona tutturulmaktadır. Fanlar askı yerlerinden uygun taşıma kapasiteli asma aparatları ile bu kaya saplamalarına bağlanırlar.

Fan asma işleminde, fanın bir ucunun sabit bir yapı ile (barikat ya da metal vantüp gibi) bağlantı yapılması gerektiğinde spiral vantüpler kullanılır. Spiral vantüp kullanılması ile montaj işinde emniyetli, verimli ve kolay bir çalışma gerçekleştirilir.

Şekil 6. Titan fan asma platformu.

5 MODELLEME

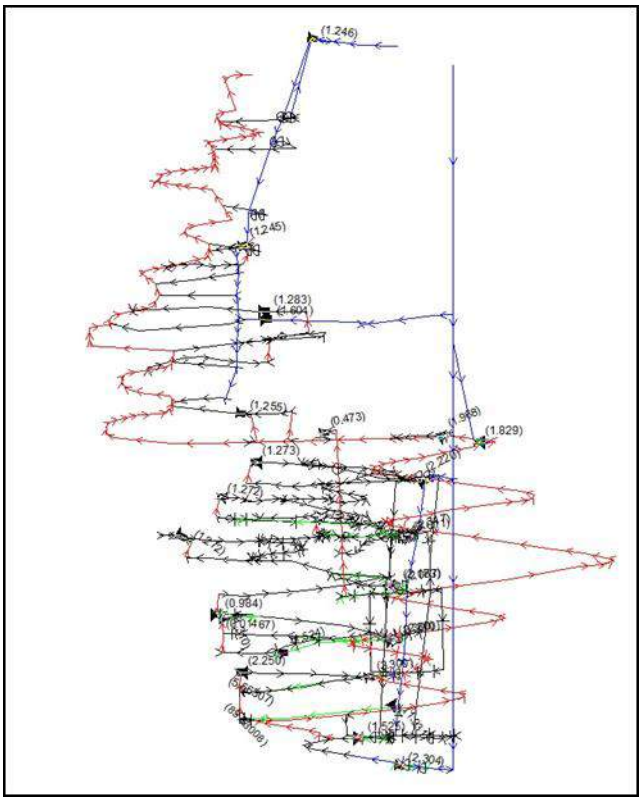
5.1 V-net Pro

Yeraltında açılacak yeni ulaşım ve üretim galerileri ve bunlara bağlı havalandırma ve egzoz kuyularının havalandırmayı nasıl değiştireceğini görmek için kazı çalışmalarından önce modelleme yapılarak havalandırma planları oluşturulur. Bu şekilde kuyu çapları ve kullanılacak fanlar önceden belirlenebilir.

MVS (Mine Ventilation Services) firmasının V-net Pro modelleme programı, hava hızı, hava debisi, hava basıncı ve hava yolu direnç değerlerini yerel olarak gösterir. Modelleme programı tüm havalandırma elemanlarını (fanlar, regülatörler, hava kapıları vb.) içermektedir. Havalandırma sisteminde yapılan değişiklikler sonrasında program çalıştırıldığında, hava debisi ve basınç değişiklikleri gözlemlenir ve istenilen hava miktarına ulaşıldığında operasyon başlatılır. Bu sistem sayesinde bazen enerji harcanmadan, sadece basınç farkından faydalanılarak hava yolu değiştirilir ve egzoz

sistemi veya doğal havalandırma sağlanabilir.

Modelleme ile hem üç boyutlu görüntüleme hem de iki boyutlu yerel görüntüleme sağlanır. Dönüş havası ve temiz hava farklı renklerde görüntülenerek kolay anlaşılabilir bir görüntüleme oluşturulabilir (Şek.7).



Şekil 7. V-Net Pro model görünümü.

5.2 Mine Fire

Bu program V-net'e bağlı olarak çalışır. Yeraltında olabilecek yangınlardan çıkacak dumanın yönünü ve etkisini görsel olarak gösterir. ÇBİ'de buna uygun olarak senaryolar hazırlanarak acil durum kaçış planları belirlenmiştir.

Hazırlanan senaryolarda önce yeraltında yangın potansiyelinin yüksek olduğu konveyör bant bölgeleri, mazot istasyonu, mekanik atölye gibi muhtemel yangın yerleri belirlenir. Sonrasında programa yanıcı madde değerleri (yağ hacmi, lastik ağırlığı, bant uzunluğu ve yoğunluğu, mazot miktarı vb.) girilir. Böylece dumanın, zehirli gazların ve sıcaklığın her 60 saniyede nasıl değiştiği modellenir. Sonrasında da dumandan etkilenen alanlar ve kaçış yollarındaki durumlar gözlemlenerek en iyi kaçış senaryosu belirlenir. Bu senaryoda açılması ya da kapatılması gereken fanlar, açılması gereken havalandırma kapıları gibi kritik noktalara karar verilir.

6 HAVALANDIRMA ELEMANLARI

6.1 Vantüpler

Havalandırma kuyularından gelen havayı fanlarla çalışma yerlerine taşıyan, PVC'den yapılan hava kanallarıdır. ÇBİ'de 1.200 mm, 900 mm ve 600 mm çaplı fermuarlı vantüpler kullanılmaktadır. Vantüpler çalışma yerleri, tavan taban yüksekliği ve ekipman yüksekliği gibi kriterlere göre seçilirler.

ÇBİ'de vantüp cinsine karar verilmeden önce sırasıyla tel bağlantılı, yapıştırma bantlı ve fermuarlı olmak üzere 3 değişik vantüp tipi denenmiş ve fermuarlı vantüpte karar kılınmıştır. Fermuarlı vantüplere karar verilmesinde pratik kurulumu ve yırtılma sonrası tamiratının kolay yapılarak tekrar kullanılabilmesi etkili olmuştur. Ayrıca fermuarlı vantüplerde hava sızdırmazlığı diğerlerine göre daha fazladır. Tel ile bağlantıda hava sızdırmazlığı etkili şekilde sağlanamamış, yapıştırma bantlı vantüplerde kolay ayrılma ve tozlanma ya da kirlenme sonrası bağlantı noktalarında sorun yaşanmış ve bu tecrübeler karar aşamasında etkili olmuştur.

6.2 Havalandırma Kapıları

ÇBİ'de ana nakliye kuyusu, havalandırma kuyusu ve dönüş havası kuyularında hava kapıları vardır. Ana nakliye kuyularında çift kapı ve pnömatik kapı uygulaması yapılmaktadır.

Ana nakliye kuyularında 9 adet pnömatik kapı olup bunlardan ikisi uzaktan kontrol edilebilmektedir. Uzaktan kontrol edilebilen kapılar, bir yeraltı yangını durumunda, dumanın yönünün değiştirilebilmesi açısından önemlidir.

6.3 Regülatörler

Giriş ve dönüş hava kuyularındaki havayı kontrol edebilmek için çelikten yapılmış

düzeneklerdir. Çalışma olmayan yerlerdeki hava, regülatörler ile kısılıp çalışma yerlerine yeterli hava gönderilerek enerji tasarrufu elde edilir.

6.4 Hava Duvarları

Havalandırma perdeleri olarak da bilinen hava duvarları, temiz hava veya dönüş havası kuyularının kat bağlantılarında, fanlarla kuyu arasında yapılarak, fanların kuyulardan kısa devre yapmadan hava çekmesine imkân sağlarlar.

7 TOZ, GAZLAR VE SICAKLIK

7.1 Gaz Ölçüm Sistemi

ÇBİ'de metal madenlerinde olabilecek O_2 (oksijen), CO (karbon monoksit), SO_2 (kükürt dioksit), NO_2 (nitrojen dioksit) ve patlayıcı gazlar, yeraltındaki ana rampada yerleri belirlenmiş beş havalandırma istasyonundan, 24 saat sürekli olarak ölçülmekte ve kayıt edilmektedir. Trolex marka sabit gaz ölçüm detektörleri kullanılmaktadır. Gaz ölçüm sisteminin temel amacı madene giren atmosfer havasının ne oranda kirlendiğini, zehirli ve boğucu gaz miktarları ölçerek takip etmektir.

Gaz ölçüm sisteminin üç temel kriteri vardır. Bunlardan birincisi, her zehirli ve boğucu gaz için eşik değerleri belirlemek, ikincisi uygun ölçüm cihazını belirlemek, üçüncüsü ise ölçüm cihazının yerini belirlemektir.

ÇBİ'de yapılan kayıtlar 24 saat maden kontrol odası tarafından gözlenmektedir. Bu gaz ölçüm istasyonlarında ayrıca sıcaklık, hava hızı ve nem de ölçülmektedir. Bu ölçümler bilgisayarlarda kayıtlı olup geriye doğru istenilen tarihteki gaz ölçümleri görülebilmektedir.

Ayrıca her yeraltı vardiya amirinde dijital çoklu gaz ölçüm cihazı ve hava hızı ve sıcaklık ölçen ölçüm cihazları bulunmaktadır. Bu cihazların kalibrasyonları da ÇBİ'de düzenli olarak yapılmaktadır.

Hava hızı ölçümünde Testo 434 ısıtma tel problu ölçüm cihazı ve Kestrel 4500 kullanılmakta, gaz ölçümü için Ventis MX4 dijital gaz ölçüm cihazı kullanılmaktadır.

7.1.1 Gaz limitleri (eşik değerleri)

ÇBİ havalandırma uygulamalarında "Maden ve Taş Ocakları İşletmeleri ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük", MSHA (Mine Safety and Health Administration) ve Ontario maden düzenlemeleri kıstaslarına göre hareket eder. Bu 3 kıstas arasından en katı olanı ÇBİ'de kural olarak uygulanır. Bu kıstaslara göre aşağıdaki değerler, ÇBİ'de kural olarak uygulanmaktadır.

8 saatlik çalışma limitleri:
CO: 25 ppm
NO_2: 3 ppm
SO_2: 2 ppm
O_2 : >%19,5

15 dakikadan fazla maruz kalınmaması gereken gaz limitleri:
CO: 200 ppm
NO_2: 5 ppm
SO_2: 5 ppm
O_2: >%19,5

7.2 Toz Bastırma

Yeraltındaki cevher kuyularına dökülen cevherlerden çıkan tozları bastırmak için yerüstü açık işletmelerde kullanılan toz bastırıcı WLP500 pompası deneme amaçlı kullanılmıştır. Bu sistem, çevresinde bulunan enjektörlerden püskürtülen sprey su ile tozu bastırmaktadır. Ancak enjektörlerin filtre mekanizması olmaması ve tıkanması sebebiyle verimli kullanılamamıştır.

Daha sonra basınçlı hava ve su ile çalışan toz bastırma sistemleri kullanılmaya başlanmış ve bu uygulamadan verim alınmıştır (Şek.8).

Şekil 8. Toz bastırma sistemi.

ÇBİ'de düzenli olarak toz ölçümleri yapılıp raporlanmaktadır.

7.3 DPM

DPM'in açılımı dizel partikül maddedir. Dizel araçların egzozlarından çıkarak havaya karışan katı ve sıvı partiküllerdir. DPM ile ilgili ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği açısından yasal bir yönetmelik bulunmamaktadır. DPM için uluslararası standartlardan NIOSH 5040 standardı temel alınmıştır. ÇBİ'de DPM ölçümleri düzenli olarak yapılıp sonuçlar raporlanmaktadır. Eşik değer 400 mg/m³ olup, maden geri dönüş havasında yaklaşık 130 mg/m³ olarak ölçülmektedir.

7.4 Sıcaklık Standardı

ÇBİ'de yeraltı çalışmalarında nemli sıcaklığın yükselmesi durumunda bazı tedbirler alınır. Sıcaklık durumuna göre modifiye iş (çalışmaya belirli sürelerle aralık vererek dinlenme) yapılır ya da iş durdurulur. Çizelge 1'de ÇBİ sıcaklık standardı verilmiştir.

Çizelge 1. ÇBİ sıcaklık standardı.

Çalışma Koşulu	Yaş Termometre	Tanım
Optimum	15°<26°C	Konforlu çalışma koşuludur.
Dikkat	27°C<30°C	Konforlu çalışma koşulundan farklı olsa da çalışılır.
Modifiye İş	28°C<30°C	Sürekli çalışma için sınır. Modifiye iş uygulanır.
İş durdur	>32°C	Sıcaklık 32°C'yi geçerse iş durdurulur. İş tehlike analizi ile birlikte çalışma koşulu gözden geçirilir.

8 SONUÇ VE ÖNERİLER

Havalandırma konusu işçi sağlığı ve performansını direkt etkileyen etkenlerden birisidir ve bu yüzden ÇBİ üretime başladığı 1994 yılından beri bu konuda yatırımlara ve iyileştirmelere devam etmektedir.

ÇBİ'de havalandırma konusunda elde edilen bu deneyim, emniyet ve sağlık konularından ödün vermeden, maliyeti düşürme ve enerji tasarrufu konularında da kullanmıştır.

Frekans konvertörlü fanlar, uzaktan kontrol fanlar, modelleme programları gibi uygulamalar, gelişen teknolojiye bağlı olarak kullanılmaya başlanan sistemlerden bazılarıdır.

Bu sistemlerin her biri bir yatırım maliyeti gerektirse de, elde edilen tasarruflar ilk maliyetlerini kısa zaman içerisinde telafi etmiş ve daha da önemlisi elde edilen maliyet tasarrufları sürdürülebilir tutulabilmiştir.

Yeraltı havalandırması konusunda yapılacak çok küçük ölçekli iyileştirmeler, çok büyük kazanımlar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

NIOSH, 1986 The Air Quantity Estimator Computer Software User's Guide, NIOSH Pittsburgh Research Laboratory, USA

McPherson, M.J. 1993, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman and Hall, USA (1 s.)

McPherson, M.J. 1993, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman and Hall, USA (209 s.)

McPherson, M.J. 1993, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman and Hall, USA (390 s.)

Yeraltı Kömür Ocaklarında Gaz İzleme Ağları Sensör Ölçümlerinin ve Konumlarının Doğruluğunun Analizi: TTK Kozlu Müessesesi

Analysis of Accuracy of Sensor Readings and Locations in Gas Monitoring Networks in Underground Coal Mines: TTK Kozlu Colliery

Y. Aydın
Türkiye Taşkömürü Kurumu, Kozlu Müessesesi, Zonguldak

K. Barış
Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

ÖZET Dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeraltı taşkömürü ve linyit ocaklarının zararlı gaz konsantrasyonları ile hava hızı gibi fiziksel özellikler sensörler ile izlenmekte, elde edilen veriler anlık olarak merkezi gaz izleme istasyonuna iletilmekte ve ocağın durumu ile ilgili değerlendirmeler yapılabilmektedir. Yeraltı kömür ocaklarında gazların izlenmesinde esas olan, sensörlerin ocak içinde doğru noktalarda ve sensörlerin bulunduğu kesit alanı içinde doğru şekilde konumlandırılmalarıdır.

Bu kapsamda bu çalışma; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Kozlu Müessese Müdürlüğü yeraltı kömür ocaklarında sensör değerlerinin ve konumlarının doğruluğunun belirlenmesine yönelik olarak başlatılan bir çalışmanın ön değerlendirme sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında, yeraltında çeşitli noktalarda metan (CH_4) konsantrasyonu ve hava hızını ölçmeye yönelik olarak manuel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde çeşitli noktalardaki hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmış ve hava yoğunlukları hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ölçüm yapılan noktalarda hava yoğunluğu değerlerinin 1,232-1,265 kg/m^3 arasında değişim gösterdiğini, metan sensörlerinin manuel ölçümlerden %5-10 yüksek değerlerde olduğunu ve anemometre ile ölçülen hava hızı değerlerinin sensör değerlerinden ortalama %50 fazla olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gaz izleme ağları, sensör ölçümleri, sensör konumları

ABSTRACT Harmful gas concentrations in underground lignite and hardcoal mines in Turkey, as in the world, are monitored via sensors, the instantaneous data obtained are sent to the gas monitoring station and evaluations can be made for the mine. Moreover, air velocity within the mine can also be monitored via sensors located in the mine. The main issue of monitoring gases in underground mines is that sensors must be located in correct locations in the mine as well as in the cross-sectional area where they are located.

In this context, this study covers the preliminary results of a study initiated to determine the accuracy of the sensors and their locations in the mines of the Kozlu Colliery of Turkish Hardcoal Enterprise (TTK). In the study, methane (CH4) concentrations and air velocity measurements were manually done in certain locations in the underground and the obtained results were compared to sensor readings at the same locations. Moreover, in order to observe the changes in the air density, relative humidity, wet and dry bulb temperatures and barometric pressures were measured. The results of the study showed that air velocity values

range from 1.232 to 1.265 kg/m^3, methane sensors recorded values 5 to 10% more than manual readings and manual readings for air velocity were 50%, on an average, more than sensor readings.

Keywords: Gas monitoring networks, sensor readings, sensor locations

1 GİRİŞ

Yeraltı kömür ocakları çoğunlukla zor çalışma koşulları ve tehlikeli çalışma ortamlarının varlığı ile karakterize edilmektedir. Dünya madencilik tarihine bakıldığında yeraltı kömür ocaklarında çoğunluğu ölüm ve büyük maddi kayıplarla sonuçlanan çok sayıda kaza olduğu görülmektedir. Bu kazaların çok çeşitli sebepleri olmakla beraber, sebeplerin önemli bir çoğunluğunun metan (CH_4) ya da grizu ve karbon monoksit (CO) gibi patlayıcı ve zehirli gazların konsantrasyonlarındaki ani artışlardan ya da çalışanlar için gerekli oksijenin (O_2) yetersiz konsantrasyonlara düşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir.

Bu kapsamda, yeraltı kömür ocaklarındaki atmosferi güvenli koşullarda tutabilmek için öncelikli gereksinim, ocak havasındaki O_2, CO, CO_2 ve CH_4 gibi gazların konsantrasyonlarının sürekli ve düzenli olarak izlenmesidir. Böylece, elde edilen verilerden ocak havasına ait kısa ve uzun vadeli değişimler izlenebilmekte ve bu da madencilerin bulunduğu tüm ocak kesimlerinde oluşabilecek patlayıcı ve zehirli atmosferlere karşı erken uyarı imkanı sağlamaktadır.

Yeraltı kömür ocaklarında zararlı gazların tespiti ve izlenmesi ile uygun gaz izleme alet/sistemlerinin tasarımı yeraltı kömür madenciliğinin temel araştırma alanlarından biri olmuştur (Micko, 1981; Farmer, 1982; Nakatani ve Sakai, 1996; McFadden, 2000). Günümüzde, yeraltı kömür ocaklarında ocak atmosferinin uzaktan izlenmesi amacıyla yeraltı ocaklarının çeşitli kesimlerine yerleştirilen elektronik sensörlerin oluşturduğu sensör ağları kullanılmaktadır (Chou, 1999). Bu tür sistemler sayesinde ocak içindeki zararlı gaz konsantrasyonları ile hava hızı ve sıcaklık gibi parametreler sensörler ile izlenmekte, elde edilen veriler anlık olarak merkezi gaz izleme istasyonuna iletilmekte ve ocağın durumu ile ilgili değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra, taşınabilir gaz detektörleri ve gaz kromatografi gibi çeşitli yöntemlerle de ocak içinde ve dışında anlık ölçümler yapılmakta ve elde edilen ölçüm değerleri sensör ağından elde edilen verilerle karşılaştırılabilmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında gazların izlenmesinde esas olan, sensörlerin ocak içinde doğru noktalarda ve sensörlerin bulunduğu kesit alanı içinde doğru şekilde konumlandırılmalarıdır. Ayrıca, sensörlerin kalibrasyonu ve sensör ölçümlerinin doğruluklarının kontrolü de önem arz etmektedir. İzlenecek gazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi kullanılacak sensörlerin seçimi ve doğru konumlandırma açısından oldukça önemlidir.

Bu kapsamda bu çalışma; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Kozlu Müessese Müdürlüğü yeraltı kömür ocaklarında sensör değerlerinin ve konumlarının doğruluğunun belirlenmesine yönelik olarak başlatılan bir çalışmanın ön değerlendirme sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında, yeraltında çeşitli noktalarda metan (CH_4) konsantrasyonu ve hava hızını ölçmeye yönelik olarak manuel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde çeşitli noktalardaki hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmış ve hava yoğunlukları hesaplanmıştır. Başlatılan çalışmanın nihai amacı ise yeraltı kömür işletmelerinde kurulacak gaz izleme ağları için esas teşkil edecek bir modelin oluşturulmasıdır.

2 OCAK GAZLARI

Yeraltı ocaklarında görev yapan bir havalandırma mühendisi sadece ocak havalandırmasındaki hava miktarı ile değil aynı zamanda havanın kimyasal kompozisyonu ile de ilgilenmek zorundadır.

Yeraltı ocakları için bir havalandırma sistemi tasarlanırken ya da o sistemde çalışılırken ocak havasının kalitesinin kontrolü oldukça önemli problemlerden biridir. Kirletici kaynakların yerel olduğu ve havalandırma sisteminin bu lokal kirletici kaynakları izole etmek üzere tasarlandığı diğer endüstriyel ortamların aksine, tüm yeraltı madencilik çalışmaları tabakalardan yayılan gaz, toz, patlatma kaynaklı gazlar ve dizel egzozları gibi hava kirleticilerin yayıldığı ortamlardır.

Yeraltı kömür ocaklarında çoğunlukla ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilecek patlayıcı, zehirli ya da boğucu özellikte gaz yayılımları mevcuttur. Bu nedenle yeraltı kömür ocaklarında özellikle metan (CH_4), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2) ve oksijen (O_2) konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi kritik öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, sıcaklık ve hava hızı gibi havalandırma açısından önem arz eden parametrelerin izlenebilmekte, ayrıca belirli ocaklarda tehlike yaratabilecek diğer spesifik gazların da sürekli izlenmesine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Bu noktada "gaz izleme" ile "anlık gaz tespiti" arasındaki farkı ortaya koymak gerekmektedir. Bu iki terimin birbirini tamamlar nitelikte olmasına karşın; g*az izleme* ocaktaki tehlikeli gaz yayılımlarının sürekli olarak izlenmesi anlamına gelmekte, *anlık gaz tespiti* ise ocakta taşınabilir ölçüm aletleriyle zaman zaman yapılan anlık gaz konsantrasyon ölçümlerini kapsamaktadır.

3 GAZ ALGILAYICI SENSÖRLER

Gaz sensörleri belirli bir alanda mevcut çeşitli gazların varlığını saptamak için kullanılır. Sensörler algılanacak gazın konsantrasyonuna bağlı olarak orantılı bir elektriksel tepki verirler. Eğer izlenen gazın ortamdaki konsantrasyonu önceden belirlenmiş limit değerleri aşarsa sensör/sensörlerin kullanıldığı alet ya yakındaki personele alarm vermekte ya da ekipmanın güç kaynağını kapatma gibi acil eylemleri harekete geçirebilmektedir. Yeraltı kömür ocaklarında karşılaşılan gazların tespitinde kullanılan sensörler Çizelge 1'de ve bu sensörlerin çalışma prensiplerine göre sınıflandırılması Çizelge 2'de verilmektedir.

3.1 Katalitik Sensörler

Yeraltı kömür ocaklarında kullanılan temel sensör çeşitlerinden biri katalitik ya da pellistör tip sensörlerdir. Bu tip sensörler bir seramik içine gömülü platin bir telin direncindeki değişim vasıtasıyla ölçüm yapmaktadır (Eggins, 2002). Bu tip sensörler %0-5 arasındaki metan konsantrasyonlarını ölçebilmekte ve organosülfür, organofosfor bileşikleri, etan, propan, hidrojen ve diğer yanıcı gazların varlığından etkilenebilmektedir (sensör zehirlenmesi).

Çizelge 1. Yeraltı ocaklarında kullanılan gaz tespit sensörleri.

Gaz	Tespit Yöntemi
CH_4	Katalitik oksidasyon, ısıl iletkenlik, optik, akustik
O_2	Elektrokimyasal, paramanyetik
CO	Elektrokimyasal, katalitik oksidasyon, yarıiletken, kızılötesi
CO_2	Optik, kızılötesi
SO_2	Elektrokimyasal, kızılötesi
NO_x	Elektrokimyasal
H_2S	Elektrokimyasal, yarı iletken
H_2	Katalitik oksidasyon

Çizelge 2. Çalışma prensiplerine göre sensörlerin sınıflandırılması.

Sensör Tipi	Fiziksel Değişim	Sinyal Kaynağı
Katalitik (pelistör)	Sıcaklık ya da ısı	Wheatstone köprüsü
Optik (kızılötesi, lazer, fiber optik)	Absorbans Lüminesans, Kırılma indisi, Saçılım	Gaz ya da bazı indikatörlerle reaksiyon, kimyasal reaksiyon sonucu yayılım, örnekteki belirli boyuttaki taneler
Yarı iletken	Elektriksel	Çalışma fonksiyonundaki değişimler
Elektrokimyasal	Voltametrik	Elektrotlar arasındaki akımın değişimi

Katalitik sensörler yüksek konsantrasyonda gaza maruz kaldıklarında, sensör yüzeyinde oluşabilecek yüksek ısı ve diğer oksidasyon işlemleri nedeniyle sensör performansı bozulabilmektedir. Bu tip sensörler oksidasyon prensibine göre çalıştığından genellikle %12'nin üzerinde bir oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır (Valoski, 2010).

3.2 Optik Sensörler

Gazların tespiti için kullanılan optik sensörler; Kızılötesi, lazer ve fiber optik sensörler olmak üzere üç çeşittir.

3.2.1 Kızılötesi (Infrared) Sensörler

Gaz molekülleri birbirine bağlı atomlardan oluşmaktadır. Atomları birbirine bağlayan bağlar sabit bir frekansta salınım yapmakta ve bu da doğal frekans olarak adlandırılmaktadır. Kızılötesi radyasyon gaz molekülleriyle etkileşime geçtiğinde enerjinin bir kısmı gaz moleküllerinin doğal frekanslarıyla eşit olmakta ve adsorbe edilmektedir. Gaz molekülleri bu enerjiyi adsorbe ederken moleküller enerji kazanmakta ve daha aktif bir şekilde titreşmektedir. Bu titreşim sonucunda gaz moleküllerinin sıcaklığı artmakta ve sıcaklıktaki bu artış sensör tarafından tespit edilmektedir (Kumar vd, 2013). Ocak atmosferinin bir filtreden difüze olması gerektiğinden kızılötesi sensörlerin tepki süreleri katalitik sensörlerden daha yüksektir. Ayrıca, kızılötesi sensörler nemden olumsuz olarak etkilenmektedir. Ancak, bu tip sensörler katalitik ve elektrokimyasal sensörlerin aksine oksijenden yoksun doğru ölçümler yapabilmektedir.

3.2.2 Lazer Sensörler

Bu sınıf gaz sensörleri ayarlanabilir diyot lazer absorpsiyon spektroskopisi (Tunable Diode Laser Absorption Apectroscopy – TDLAS) ve ayrışık absorpsiyon ışın tespiti ve ölçme (Differential Absorbtion Light Detection and Ranging-LIDAR) olmak üzere iki çeşittir.

Çoğu gaz, özellikle orta-kızılötesi (2-25 μm) bandında karakteristik optik absorpsiyonlar sergilemektedir. Farklı gazların optik parmak izleri spektral absorpsiyonu gaz analizinde eşsiz bir konuma getirmektedir (Zhang vd., 2006). TDLAS tekniğinde bir diyot lazer, lazer demetinin yolu üzerinde bulunan hedef gazın karakteristik absorpsiyon doğruları üzerinde iyi-tanımlanmış ancak ayarlanabilir bir dalga boyunda ışın yaymaktadır. Bu da fotodiyot tarafından saptanabilen ölçülebilen sinyal yoğunluğunda bir azalmaya yol açmakta ve daha sonra gaz konsantrasyonunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu teknikle, bir gaz karışımı içindeki gazların (metan, su buharı vb.) konsantrasyonlarını ölçmek mümkündür.

Ayrışık absorpsiyon ışın tespiti ölçme tekniğinde ise lazer kaynağı hedef gazın moleküler absorpsiyon doğrusu ile uyumlu bir lazer demeti yaymakta olup hedef gazın atmosferde gaz absorpsiyonuyla etkilenmiş sinyalin yansımasını algılamaktadır (Prasad vd., 2011). Ölçülecek gazın optimum dalga

boyu yakınında, iletilen ışının absorpsiyon miktarı her bir molekülün dalga boyu ile önemli ölçüde değiştiğinden (bu da gazlara ait özel moleküler imzalar yaratmaktadır) ayrışık absorpsiyon LIDAR (DIAL) olarak adlandırılan yöntem konsantrasyonları belirlemek için kullanılmaktadır.

3.2.3 Fiber Optik Sensörler

Fiber optik sensörler bir ışın modülasyonu (analit varlığına göre ışın parametrelerinden birinin değişimi) kullanmaktadır. Polipriol, polianilin ya da politiyofen gibi iletken organik polimerler bazı gazlara maruz kaldığında dirençlerinde tersinir bir değişim göstermektedir (Agbor vd., 1995). İletkenlikteki değişim, kırılma indisinde değişime yol açan elektriksel geçirgenlikte değişime neden olur. Analitler kırılım indisi, absorbans ve flüoresans gibi fiber optik boyunca iletim özelliklerinin değişiminin temeli olan optik özellikleri değiştirmek üzere kaplama ile reaksiyona girerler.

Fiber optik sensörler, elektromanyetik etkilere dayanıklılık, küçük ve kompakt boyutlar, hassasiyet, uzaktan algılama ve çeşitli tekstil yapılara gömülebilme gibi özellikleri nedeniyle geleneksel sensörlere üstünlük sağlamaktadır (El-Sherif, 2003).

3.3 Yarı İletken Sensörler

İki elektrot arasındaki yalıtkan bir tabakaya yarı iletken bir madde uygulanması ile elde edilen ve katı hal (solid state) sensörleri olarak da adlandırılan bu sensörler temel olarak zehirli gazların sınırlı olarak da yanabilir hidrokarbonların tespitinde, kullanılmaktadır. Tabaka, izlenecek gazın yarı-iletken materyalin iletkenliğinde tersinir bir değişime neden olabilecek bir sıcaklığa ısıtılmakta, hedef gaz metal oksit filmin yüzeyi ile etkileşmekte ve bu etkileşim materyalin taşıyıcı konsantrasyonunda değişime yol açmaktadır

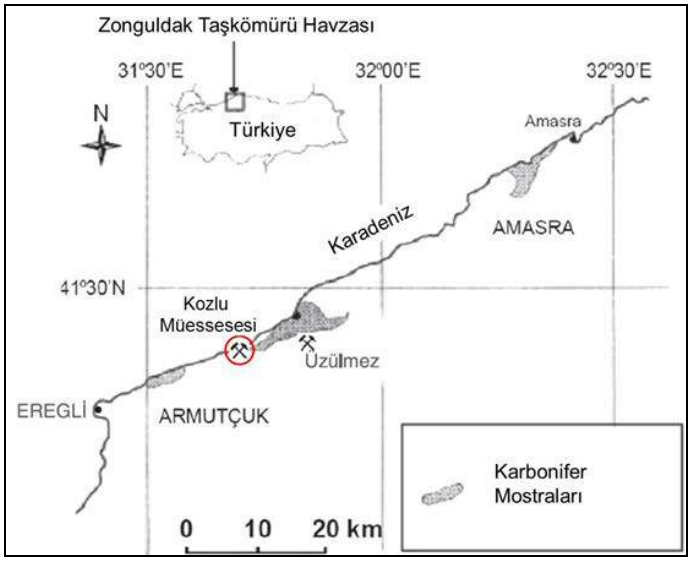
3.4 Elektrokimyasal Gaz Sensörleri

Elektrokimyasal sensörler, bir anot, katot ve elektrolit ihtiva eden, yakıt hücresine benzer sensörlerdir. Hücre içerisine difüze olan gaz bir kimyasal reaksiyona neden olmakta ve sonucunda bir akım üretmektedir. Tipik olarak CO, O_2, H_2 ve NOx gibi gazları tespit etmek için kullanılmakta ve düzgün çalışabilmeleri için belirli miktarda oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duymaktadırlar. Elektrokimyasal sensörler oldukça yüksek doğrulukta ölçümler yapabilmekte ve kolay zehirlenmemektedirler. Ancak, elektrokimyasal CO sensörleri H_2 ve H_2S'den, O_2 sensörleri CO'dan ve H_2 sensörleri ise CO ve H_2S'den etkilenebilmektedir. Bunun yanı sıra, elektrokimyasal gaz sensörleri dar sıcaklık aralıklarında faaliyet göstermekte, kuru ve sıcak ortamlarda raf ömürleri kısalmaktadır (Kumar vd., 2013).

4 TTK KOZLU MÜESSESİ VE MERKEZİ GAZ İZLEME SİSTEMİ

4.1 TTK Kozlu Müessesesi Hakkında Genel Bilgi

TTK Kozlu Müessesi, Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun beş müessesinden biri olup Zonguldak şehir merkezinden 6 km uzakta yer almaktadır. Türkiye'de bazı panolarında denizaltı madenciliği uygulanan tek ocaktır (Şekil 1).



Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası ve TTK Kozlu Müessesesi yer bulduru haritası.

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklar havzanın en gazlı damarlarına sahip ocaklardandır. Her ne kadar damar gaz içerikleri ve desorpsiyon karakteristiklerini

gösteren sistematik ölçüm verileri bulunmasa da müesseseye bağlı ocaklarda havza tarihi boyunca yaşanan patlama ve ani gaz-kömür püskürmesi vakaları ocakların oldukça gazlı olduğunun net bir göstergesidir.

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklarda üretim, Westfaliyen A yaşlı Kozlu formasyonunda yer alan ve kalınlıkları 0,8-8.0m arasında değişen toplam 22 damarda -200, -300, -425, -485, -560 ve -630 katlarında sürdürülmektedir. 2014 yılı itibariyle TTK Kozlu Müessesesi toplam (görünür, muhtemel, mümkün) rezervi 156.551.317 tondur.

Müessesede kömür, halihazırda çalışır durumdaki 11 panoda; pnömatik patlatma-tumba baca, ilerletimli-göçertmeli uzun ayak ve dönümlü-göçertmeli uzun ayak yöntemleriyle üretilmektedir. Müessese'nin 2014 yılı Kasım ayı itibariyle toplam tüvenan kömür üretimi 470,184 ton ve satılabilir kömür üretimi ise 269,166 ton olarak gerçekleşmiştir (TTK, 2014).

TTK Kozlu Müessesesi ocaklarında aktif olarak yedi kuyu bulunmaktadır. Bu kuyular, havalandırma amacı dışında kömür, insan ve malzeme taşımada da kullanılmaktadır. Bu kuyulardan Uzun Mehmet 1 ve 2 no'lu kuyular ile Yeni ve İncirharmanı kuyuları hava giriş kuyuları olarak görev yapmaktadır.

4.2 Merkezi Gaz İzleme Sistemi

TTK Kozlu Müessesesi'ne ait ocaklarda ocak atmosferinin sürekli olarak izlenmesi ve olası tehlikelerin önüne geçmek maksadıyla bir merkezi gaz izleme ağı tesis edilmiştir. Bu amaçla müessesede kurulan merkezi gaz izleme servisinde 14 operatör görev yapmaktadır.

Müesseseye ait ocaklarda ocak atmosferinin izlenmesi amacıyla ocak içinde konumlandırılmış, Tevel marka ve alev sızdırmaz özellikte, 87 adet metan (MPS-11D-NG), 12 adet karbon monoksit (MPS-06-NG), 7 adet hava hızı (MPS-02-NG), 6 adet basınç (MPS-08-NG) ve 3 adet de sıcaklık sensörü (MPS-03-NG) olmak üzere toplam 115 sensör mevcuttur. Sensörlerin elektronik kısımları paslanmaz bir çelik ile muhafaza edilmekte ve üzerinde bulunan askı sayesinde ocak içerisinde çeşitli yerlere/seviyelere asılmaya uygundur. Şekil 2'de bir metan sensörü örnek olarak gösterilmektedir. Ocakta kullanılan sensörlere ait teknik bilgiler Çizelge 3'te verilmiştir.

Müesseseye ait Merkezi gaz izleme istasyonunda ocak atmosferi ilgili personel tarafından sürekli olarak izlenmekte ve beklenmeyen herhangi bir durumda ocakta çalışan personel ve yetkili amir bilgilendirilmektedir. Ayrıca, sensörlerde anormal/tutarsız ölçümler kaydedildiğinde sensörler bir başka gaz ölçüm cihazı ile manuel olarak kontrol edilmekte ve herhangi bir sensör arızalıysa arızalanan sensörlerin bakım ve onarımları yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, ocaktaki tüm sensörler belirli aralıklarla kalibre edilmekte ve sensörlerin düzgün çalışmaları sağlanmaktadır. TTK'ya bağlı müesseselerde bulunan merkezi gaz izleme sistemleri, TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı'nca hazırlanan, 24.08.2010 tarih ve 242 sayılı "*Merkezi Gaz İzleme Yönergesi*" ile yürütülmektedir. Bu yönerge ile ilgili değerlendirmeler çalışmanın Bölüm 5'te ele alınacaktır.

Şekil 2. TTK Kozlu Müessese'sinde kullanılan Tevel marka MPS-11D-NG metan sensörü.

Çizelge 3. Sensörlere ait bilgiler.

Sensör Tipi ve Modeli	Temel Fonksiyonlar	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)	Ölçüm Aralığı
Metan (MPS-11D-NG)	- Ölçüm - Sonuçları dijital ekranda gösterme - Alarm - Komünikasyon	-20 / +50	0-100 %
Karbon monoksit (MPS-06-NG)		-20 / +50	0-50 ppm
Hava Hızı (MPS-02-NG)		-20 / +50	0-20 m/s
Basınç (MPS-08-NG)		-20 / +50	100-1100 mbar
Sıcaklık (MPS-03-NG)		-20 / +50	-20 / +100℃

5 MERKEZİ GAZ İZLEME SİSTEMİNDE GÖZLENEN MEVCUT SORUNLAR

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklar her ne kadar sensörlerle donatılmış ve merkezi gaz izleme sistemi ile sürekli olarak izlense de uygulamada problemler olduğu gözlenmiştir.

Bu sorunlardan öncelikli olanı yeraltı kömür madenciliğine yönelik ve havalandırma işlerini kapsayan mevzuattaki açıklardan kaynaklanan sorunlardır. Konuya yönelik olarak Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nca 19.09.2013 tarih ve 28770 sayılı (değişik 24.09.2014 tarih 29129 sayı) Resmi Gazete'de yayımlanan "*Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliği*" grizulu yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgili temel bilgiler sağlasa da yönetmelik detaydan yoksundur. Bu yönetmelikte "üretim ünitelerinden dönüş havası içinde ve üretim yerlerindeki gazların birikebileceği yerlerde metan gazı seviyesi sürekli olarak izlenir" ifadesi ile sadece metan gazının izlenmesine yönelik bir değerlendirme yapılmakta, ancak izlenmesi gerekli diğer gazlar ve fiziksel özelliklerle (özellikle, CO, O_2) ilgili herhangi bir detay verilmemektedir. Bu da ocak içinde sensör yerlerinin seçiminde bir standardın uygulanmamasını ve sensör yeri seçiminin ocak personeline bırakılmış olduğunu göstermektedir.

Bunun yanı sıra, özellikle 2014 yılında madencilik endüstrisinde yaşanan facialardan sonra Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından "*Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik*" taslağı Madde 16'da, yürürlükteki yönetmeliğin EK-3'ünün 10.3'üncü bendinin sonuna "*Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler, oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojensülfür, sıcaklık ve hava hızı değerlerini ölçecek şekilde, sayıları ve yerleri sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenecek şekilde yerleştirilir. Ancak, bu sensörler asgari olarak, ocağın ana hava giriş yolunda, üretim bölgelerinin her birinin temiz hava giriş ve dönüş yollarında, hazırlık çalışması yapılan bölgelerin hava dönüş yollarında ve ocağın kirli havasının ocak dışına çıktığı nefesliklerde bulunacaktır ibaresi eklenmiştir*" denilmektedir. Her ne kadar anılan yönetmelik taslağında sensör yerlerine atıfta bulunulsa da sensörlerin kesit içinde nerelere konumlandırılması gerektiği belirtilmemektedir. Ayrıca, yayılımlarının takip edilmesi beklenen gazlar ile hava hızı gibi fiziksel parametrelerin ölçülmesinde pratikte yaşanan problemlerin de göz ardı edilmiş olduğu görünmektedir. Örneğin, yeraltı ocaklarında hava hızı ölçümlerinin yeraltı açıklığının kesiti içerisinde tek bir noktada konumlandırılmış tek bir sensörle yapılması oldukça hatalı sonuçlara yol açmaktadır.

TTK ise bünyesindeki yeraltı kömür ocaklarındaki ocak atmosferinin izlenmesine yönelik olarak "*Merkezi Gaz İzleme Sistemi Yönergesi*" adı altında bir yönerge yayımlamıştır (TTK, 2014). Bu yönergede ocağa konumlandırılacak sensörlerin korunması, alarm seviyeleri ve sensör yerleri hakkında genel bilgiler vermekte ve buna yönelik olarak "*metan, CO vb. sensörler galeri veya taban arınında kesinlikle basınçlı veya tali havalandırma akımına maruz kalmayacak şekilde yan cidarda, en*

az ağız-burun seviyesinin üstünde tavana yakın olarak yerleştirilecektir" denmektedir. Ancak, yeraltı kömür ocaklarında yayılım gösterebilecek gazların özellikle yoğunluk gibi fiziksel özelliklerinin farklı olması nedeniyle bu yönergede belirtilen esaslara göre seçilecek sensör yerlerinin uygun olamayabileceği ve hatalı ölçümlere neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, ocağa sağlanan havanın yoğunluğundaki değişimlerin özellikle derinleşen ocak koşullarında sensör yeri seçiminde etkili olabileceği de düşünülmektedir.

Gaz izleme sistemi ile ilgili olarak TTK Kozlu Müessesesi'nde karşılaşılan sorunlardan bir diğeri de lağım ateşlemelerindeki ölçümlerde yaşanmaktadır. Ateşleme ile yapılan lağım ilerlemelerinde olası fiziksel zararların önüne geçmek amacıyla sensörler arından uzak bir noktaya konumlandırılmakta ve bu da açığa çıkan gazların ölçümlerinde hatalara neden olmaktadır.

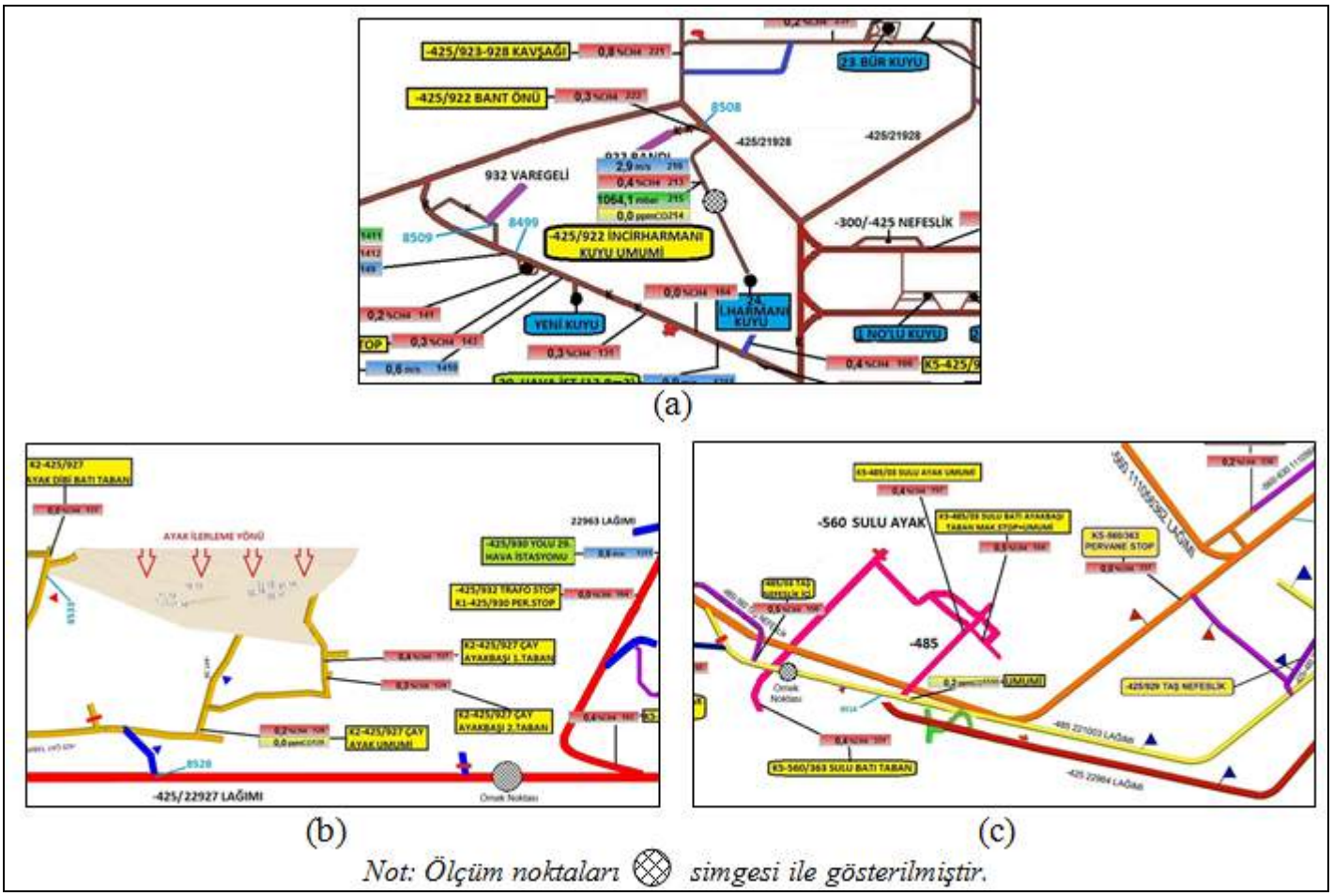
6 OCAKTA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Bir önceki bölümde bahsedilen problemlerin ve TTK Kozlu Müessesesi'ne ait ocaklarda sensör verilerinin doğruluğunun araştırılması amacıyla çeşitli ocak kesimlerinde metan konsantrasyonuna yönelik olarak, -425 katı İncirharmanı Kuyu bağlantı lağımı (İncirharmanı), -425 katı Kartiye 2 umumi lağımı (Kartiye 2) ve -485 katı Kartiye 5 umumi lağımında (Kartiye 5) olmak üzere üç farklı noktada manuel ölçümler yapılmış ve ölçüm değerleri merkezi gaz izleme sisteminden alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, anılan noktalarda ocak şartlarında hava yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla barometrik basınç, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri yapılmıştır. Bu sayede ocağa sağlanan havanın ocak içindeki farklı noktalarda yoğunluğundaki değişim gözlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, ocakta bulunan hava hızı sensörleri değerlerinin doğruluklarını test etmek amacıyla bu noktalarda hava hızı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ölçüm yapılan ocak kesimlerinin planları ve ölçüm noktaları verilmektedir.

6.1 Metan Konsantrasyonu Ölçümleri

Şekil 3'te belirtilen yerlerde çeşitli tarihlerde ocak içerisinde manuel metan konsantrasyonu ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler sensörler tarafından ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Manuel ölçüm değerleri ile sensör ölçümleri değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde birkaç ölçüm dışında sensör ölçümlerinin daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Sağlıklı değerlendirme yapabilmek için daha çok ölçüm sonucuna ihtiyaç bulunmakla beraber bu sonucun ocak güvenliği için tehlike yaratmayacağı düşünülmektedir. Ancak, Avrupa Birliği standartlarında yer alan ve yeraltı kömür ocaklarından atmosfere yayılan metan miktarının kayıt altına alınması gerektiği düşünüldüğünde, sensörlerle ölçülen değerlerin yüksek olmasının atmosfere yayılan toplam metan miktarının raporlanmasında önemli etkisi olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, metan sensörlerince ölçülen değerlerin gerçek değerlerden yüksek olmasının nedenlerinin araştırılmasının da uygun olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Ölçüm yapılan ocak kesimlerinin planları ve ölçüm noktaları: (a) -425 katı İncirharmanı Kuyu bağlantı lağımı, (b) -425 katı Kartiye 2 umumi lağımı ve (c) -485 katı Kartiye 5 umumi lağımı.

Çizelge 4. Manuel metan konsantrasyonu ölçümleri ve sensör ölçümlerinin karşılaştırılması.

	Tarih	Manuel Ölçüm (%)	Sensör Ölçümü (%)
İncirharmanı	10.10.2014	0,40	0,60
	20.11.2014	0,48	0,50
	29.11.2014	0,48	0,40
	10.12.2014	0,58	0,50
	31.12.2014	0,46	0,40
Kartiye 2	13.10.2014	0,10	0,20
	21.11.2014	0,15	0,10
	28.11.2014	0,10	0,20
	09.12.2014	0,15	0,20
	31.12.2014	0,25	0,20
Kartiye 5	15.10.2014	0,80	0,90
	22.11.2014	1,00	1,10
	25.11.2014	0,80	1,00
	08.12.2014	1,10	0,90
	31.12.2014	1,00	0,90

6.2 Hava Yoğunluğuna Yönelik Ölçümler

Çalışma kapsamında, metan konsantrasyonuna ölçülmesine yönelik ölçümlerin yanı sıra, hava yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla daha önce belirtilen noktalarda barometrik basınç, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Hava yoğunluğu hesaplamaları Davis (1992) ve Picard vd. (2008) tarafından belirtildiği üzere 1-5 eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT}\left[1 - x_v\left(1 - \frac{M_v}{M_a}\right)\right] \quad (1)$$

Burada; ρ_a nemli havanın yoğunluğunu, p barometrik basıncı (Pa), t hava sıcaklığını (°C), T termodinamik sıcaklığı (°K) (273+t), x_v su buharının molar fraksiyonunu, M_a kuru havanın molar kütlesini (gmol^{-1}), M_v suyun molar kütlesini (gmol^{-1}), Z sıkıştırılabilirlik

faktörünü ve *R* molar gaz sabitini ($Jmol^{-1}K^{-1}$) göstermektedir.

Eşitlik 1'de kullanılan M_a değeri genellikle sabit olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra, suyun mol fraksiyonu (x_v) doğrudan ölçülmemekte, ya bağıl nemin (*h*) ya da yoğuşma noktası sıcaklığının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Her iki durumda da nemli havanın doymuş buhar basıncının ($p_{sv}(t)$) bilinmesi gereklidir. Bu hesaplama Eşitlik 2 kullanılarak yapılmaktadır.

$$p_{sv} = 1\text{Pa x exp}(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}) \quad (2)$$

x_v'nin hesaplanması için ayrıca, Eşitlik 3'te verilen geliştirme faktörü (*f*) de gereklidir.

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (3)$$

Bu eşitlikte α, β ve γ sabit parametreleri, *t* ise sıcaklığı temsil etmektedir (°C).

p_{sv} ve f hesaplandıktan sonra eşitlik 2 ve 3 kullanılarak eşitlik 4 kullanılarak x_v hesaplanır.

$$x_v = hf(p,t).\frac{p_{sv}(t)}{p} \quad (4)$$

Burada, *h* bağıl nemi temsil etmektedir. Formülde kullanılan bağıl nem $0 \leq h \leq 1$ aralığındadır. Dolayısıyla, %42'lik bir enstrümental değer *h*= 0.53 olarak ifade edilmektedir

Son olarak, sıkıştırılabilirlik faktörü, *Z*, ise Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Z = 1 - \frac{p}{T}\left[a_0 + a_1 + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 c_1 t)x_v^{\,2}\right] + \frac{p^2}{T^2}(d + e x_v^{\,2}) \quad (5)$$

Eşitlik 2, 3 ve 5'te kullanılan sabit parametrelerin (a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d ve e) değerleri Giacomo (1982)'nin çalışmasında verilmektedir.

Ocakta gerçekleştirilen ölçümler sonucunda hesaplanan hava yoğunluğu değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Ölçülen sıcaklık (t), barometrik basınç (p) ve bağıl nem değerleri (h) ile hesaplanan hava yoğunlukları (ρa).

	Tarih	*t* (°C)	*p* *(mmHg)*	*h* (%)	ρ_a (kg/m^3)
İncirharmanı	10.10.2014	22,9	798,14	94,2	1,241
	20.11.2014	21,5	791,84	88,9	1,238
	29.11.2014	22,4	800,39	93,1	1,247
	10.12.2014	22,3	793,34	92,5	1,236
	31.12.2014	21,4	794,32	93,1	1,242
Kartiye 2	13.10.2014	22,2	797,02	94,6	1,242
	21.11.2014	21,9	799,94	95,0	1,248
	28.11.2014	21,2	807,67	89,2	1,265
	09.12.2014	22,5	791,17	93,7	1,232
	31.12.2014	20,4	800,32	93,1	1,257
Kartiye 5	15.10.2014	23,1	793,34	81,2	1,234
	22.11.2014	21,5	797,09	80,5	1,248
	25.11.2014	22,0	797,39	89,2	1,245
	08.12.2014	21,3	791,92	79,4	1,241
	31.12.2014	21,5	794,32	79,6	1,243

Çizelge 5 incelendiğinde, ocağın farklı kesimlerinde ölçülen sıcaklık, barometrik basınç ve bağıl nem değerleri kullanılarak hesaplanan hava yoğunluk değerleri 1,232 kg/m^3 ile 1,265 kg/m^3 arasında değiştiği görülmektedir. Her ne kadar burada sunulan veriler net bir değerlendirme yapmak için yeterli sayıda olmasa da hava yoğunluğunun ocak içerisinde değişiklik göstermesinin sensörler tarafından ölçülecek gazın kesit içindeki yeri (tavanda/tabanda birikme ya da hava ile benzer yoğunluğa sahip olma vb.) açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bu durumda, hava yoğunluğundaki değişimlerin sensör yerini etkilemesi olasıdır.

6.3 Hava Hızı Ölçümleri

Hava hızı sensörlerinin doğru ölçümler yapmasının sağlanması yeraltı kömür ocaklarında havalandırma ve havalandırma ile atılan metanın izlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, hava hızı değerleri doğru ölçüldüğünde ocaktaki hava dağılımının durumu ile ilgili sürekli bilgiler vermektedir. Hız sensörleri hava akımındaki herhangi bir yavaşlama, ya da bir havalandırma arızası durumlarında erken uyarı sağlamakta ve herhangi bir gaz

birikmesinden önce zamanında önlemler alınabilmektedir.

Çalışma kapsamında daha önce belirtilen noktalarda NAS 4 (Polonya) marka dijital ve pervaneli bir anemometre yardımıyla hava hızı ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler sensör değerleri ile karşılaştırılmıştır. Anemometre ile hava hızı ölçümleri kesit içerisinde dolaştırma yöntemi uygulanarak ölçülmüştür. Çizelge 6'da çalışma kapsamında anemometre ile ölçülen hava hızı değerleriyle ilgili sensör değerleri verilmektedir. Ancak, -485 Kartiye 5 Umumi lağımında hava hızı sensörü bulunmadığından bu ölçüm noktasına ait sensör değerleri çizelgede verilememiştir.

Çizelge 6 incelendiğinde sensörler tarafından ölçülen hava hızı değerlerinin anemometre ile ölçülen değerlerden oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde sensör ölçümleri ile anemometre ile ölçülen hava hızı değerleri arasındaki farkın ortalama %50 civarında olduğu görülmektedir. Hava hızı değerlerindeki böylesi büyük farkların kabul edilebilir düzeylerde olmadığı aşikardır. Sensör ölçümlerindeki bu hatanın büyük bir oranda hava hızını ölçen sensörün ölçüm yapılan açıklığın kesiti içerisinde sadece belirli bir noktada konumlandırılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 6. Çalışma kapsamında anemometre ile olarak ölçülen hava hızı değerleri ve ilgili sensör değerleri.

	Tarih	Hava Hızı (m/sn)		Fark (%)
		Manuel	*Sensör*	
İncirharmanı	10.10.2014	7,33	3,21	56,2
	20.11.2014	7,33	2,76	62,3
	29.11.2014	7,23	3,10	57,1
	10.12.2014	7,08	2,76	61,0
	31.12.2014	7,00	5,80	17,1
Kartiye 2	13.10.2014	1,13	0,56	50,4
	21.11.2014	1,20	0,47	60,7
	28.11.2014	1,13	0,38	66,4
	09.12.2014	1,24	0,69	44,3
	31.12.2014	1,22	0,8	34,4
Kartiye 5	15.10.2014	0,86	--	--
	22.11.2014	0,83	--	--
	25.11.2014	0,88	--	--
	08.12.2014	0,88	--	--
	31.12.2014	0,94	--	--

7 SONUÇLAR

Bir yeraltı açıklığında hava hızı, yaş sıcaklık, kuru sıcaklık, CH_4, CO ve barometrik basınç değerleri önemli maden kazalarının, ilgili risklerin ve bu tür olaylara karşı alınacak tedbirlerin anlaşılmasında temel parametrelerdir. Bu nedenle, bu parametrelerin doğru bir şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda, bu çalışmada TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü'ne bağlı yeraltı ocaklarında metan (CH_4) konsantrasyonu ve hava hızını ölçmeye yönelik olarak manuel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde çeşitli noktalardaki hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmış ve hava yoğunlukları hesaplanmıştır.

Metan konsantrasyonuna yönelik yapılan ölçümlerde manuel ölçüm değerlerinin sensör değerlerinden %5-10 düşük olduğu görülmüştür. Bu sonucun ocak güvenliği açısından bir tehlike yaratmadığı ancak ocaktan atmosfere salınan metan miktarının hesaplanmasında hatalara neden olacağı değerlendirilmiştir. Buna yönelik olarak ölçüm sayılarının arttırılması ve sensörlerin daha yakından izlenerek daha doğru ölçümlerin sağlanmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, metan dışında diğer tehlikeli gazların da (CO, CO_2 vb.) konsantrasyon ölçümlerinin yapılması ve sensör ölçümleri ile konumlarının doğruluklarının araştırılması yerinde olacaktır.

Çalışma kapsamında hava yoğunluğunun belirlenmesine yönelik olarak bağıl nem, sıcaklık ve barometrik basınç değerleri ölçülmüştür. Ölçüm verileriyle hesaplanan hava yoğunluğu değerlerinin aynı kat içerisinde (-425 katı) dahi farklar gösterebildiği saptanmıştır. Dolayısıyla, ocak içerisinde hava yoğunluğundaki değişimlerin tehlikeli gazların kesit içerisindeki konumlarını değiştirebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, hava yoğunluğu değerlerinin sensörlerin bulunduğu noktalarda kontrollerinin özellikle spesifik durumlarda sensör

yerlerinin değiştirilmesine yönelik olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışmada buna yönelik olarak sınırlı sayıda veri bulunması nedeniyle hava yoğunluğuna yönelik ölçümlerin sayısının arttırılması ve bu ölçümlerin ocağın derin ve sığ kotlarında da gerçekleştirilmesinin gerekli olduğu da değerlendirilmektedir.

Çalışmada son olarak anemometre ile hava hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bu değerler ile sensör değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları hava hızı sensörlerinin oldukça düşük hava hızı değerleri verdiğini ve dolayısıyla bu sensörlerin güvenilmez olduğunu göstermiştir. Buna ölçüm yapılan açıklık kesiti içinde sadece bir noktada hava hızı sensörü olmasının sebep olduğu değerlendirilmiştir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak, aynı noktada kesitin farklı yerlerine yerleştirilecek 3-4 hava hızı sensörünün kullanılmasının ve bu sensörlerin ölçüm değerlerinin ortalamasının alınmasının uygun olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca, yeraltı kömür ocaklarında kullanılan merkezi gaz izleme sistemleri ile ilgili mevzuat da incelenmiş ve mevzuatın bu konuda yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır. Ülkemizdeki mevcut mevzuatta merkezi gaz izleme sistemlerinde kullanılan sensörlerin ocak içerisindeki yerleri kabaca tarif edilmiş olsa da kesit içerisindeki konumla ilgili net bilgiler verilmemektedir. Oysa gelişmiş ülkelerde ölçümlerin yapılacağı yerler ve izleme enstrümanlarının ocak içerisindeki yerleri net olarak tarif edilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde halihazırda kullanılan Mine Safety and Health Administration (MSHA) tarafından yayımlanmış "*Standards for Underground Coal Mine Ventilation*" yönetmeliğinde metan ölçümlerinin tavandan, arından ve tabandan en az 12 inç mesafeden ölçülmesinin gerektiği; metan monitörlerinin hava dönüş yoluna, kesici-yükleyici makine üzerine hava yönünde ve kesici kafaya mümkün olan en yakın mesafeye konulması ve monitöre bağlanması gerektiği gibi kesin ifadelere yer verilmektedir (MSHA, 1996). Bu bağlamda, ülkemizdeki mevzuatın daha da geliştirilmesi ve yeraltı kömür ocaklarında görev yapan teknik personele daha kesin bilgiler verebilecek hale getirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında gerçekleştirilen ölçümlerde her zaman "doğruluk" (gerçek değerlerle ölçülen değerler arasındaki fark) sorunlarıyla karşılaşılmaktadır. Bu ölçümlerde "*küçük hataların*" kabul edilebilirliği yönünde tavsiyeler bulunmakla birlikte mevcut durumda bu hatalarla ilgili herhangi bir kılavuz çalışma ya da değer bulunmamaktadır. Dolayısıyla, enstrüman performansının doğru olarak ölçülmesi ancak uzun süreli vardiya ortalamaları üzerinden yürütülmesi gereken bir etüd ve izleme sistemi verileri ile manuel ölçümlerin karşılaştırılması ile mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Agbor, N E, Petty, M C, Monkman, A P, 1995. Polyaniline thin films for gas sensing, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 28, 173-179.

Chou, J, 1999. *Hazardous gas monitor: a practical guide to selection, operation and applications*, McGraw Hill publication, New York, 256 s.

Davis, R S, 1992. Equation fort he determination of the density of moist air (1981/91), *Metrologia*, 29, 67-70.

Eggins, B R, 2002. Chemical Sensors and *Biosensors*. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 273 s.

El-Sherif, M A, 2003. Smart Textiles Created with Embedded Sensors. *MRS Bulletin Technology Advances*, 28, 2, 101-102.

Farmer, D E, 1982. US patent on methane monitoring system, US4329870 A.

Giacomo, P, 1981. Determinationof the density of moist air, *Metrologia*, 1982, 18, 33-40.

Kumar, A, Kingson, T M G, Verma, R P, Kumar, A, Mandal, R, Dutta, S, Chaulya, S K, Prasad, G M, 2013. Application of gas monitoring sensors in underground coal mines and hazardous areas, *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, 3, 3, 9-23.

Mcfadden, E F, 2000. US patent on gas detection circuitry, US 6489787 B1.

Micko, E S, 1981. US patent on combustible gas detection system, US4305724 A.

MSHA, 1996. *Standards for Underground Coal Mine Ventilation*, The U.S. Mine Safety and Health Administration, Volume 61, number 18.

Nakatani, M, Sakai S, 1996. US patent on gas detecting method and apparatus.

Picard, A, Davis, R S, Glaser, M, Fujii, K, 2008. Revised formula for the density of moist air, *Metrologia*, 45, 149-155.

Prasad, C R, Lin, B, Lee, H S, 2011. Airborne tunable mid-IR laser gas-correlation sensor", US Patent no. 7965391.

TTK, 2014. www.taskomuru.gov.tr (23.12.2014 tarihinde ulaşılmıştır).

Valoski, M P, (2010). Instruments For Gas Analysis At Mine Fires/Explosions. *SME Annual Meeting* (pp. Preprint 10-039). Phoenix, the USA.

Zhang, Y, Xu, G, Li, A, Li, Y, Gu, Y, Liu, S, Wei, L, (2006). Mid-infrared tunable diode laser absorption spectroscopy for gas sensing, *Joint 31st International Conference: IEEE Conference on Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Teraherz Electronics*, s.181, Shanghai, China.

Elektromanyetik Csamt (Akım Çıkış Kaynağı Kontrollü Manyetotellürik)Yöntemi İle Jeotermal Sahanın İki Boyutlu Model Çözümü

Two Dimensional Model Resoluion Jeothermal Area By Using Electromagnetic Csamt (Controlled Source Audio Magnetotelluric) Method

D.Batum
MTA Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir

A.Üçer
MTA Jeofizik Etütleri Dairesi, Ankara

ÖZET Jeotermal aramalarda, temel, örtü kaya ilişkisinin ve tektonik hatların belirlenmesinde jeofizik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışma sahasında jeofizik yöntemlerde önemli yer tutan elektromanyetik yöntemlerden CSAMT (Akım Çıkış Kaynağı Kontrollü Manyetotellürik) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde kayaçların özdirenç özelliklerinden yararlanılmaktadır. Çalışmada Reconnaissance CSAMT (1 manyetik alana karşılık 6 elektrik alan) ölçüleri alınmış ve profiller boyunca iki boyutlu modellenmiştir. Modellenme sonucunda elektrik yapı kesitleri elde edilip jeolojik birimlerle ilişkilendirilmiştir. Hazırlanan kesitlere jeolojik tabaka sınırları ve tektonik hatlar işlenmiştir. Ayrıca iki boyutlu model kesitlerinden yararlanılarak seviye haritaları hazırlanmış ve özdirenç değişimlerinin derinliğe bağlı olarak alansal değişimleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik csamt, modelleme

ABSTRACT During Jeothermal ersearches, jeophysical method are often used to develope the relationship between base and covering rocks and to determine the tectonic lines. CSAMT (Controlled Source Audio Magnetotelluric) process that is one of the important methodology in jeophysics has been applied in the area. In this methodology, impedance characteristics of the rock have been utilised. Reconnaissance CSAMT scale (6 electrical area for 1 magnetic are) was implemented and modelled in two dimensional along the profiles. By means of modelling, electrical structural sections have been achieved and associated with geolocical units. Jeological layer borders and tectonic lines have also been implemented on prepared sections. Moreover, level charts have been produced by utilising two dimensional model sections and variation of rezistivity based on area versus depth has been illustrated.

Keywords: Electromagnetic csamt, modelling

1 YÖNTEM

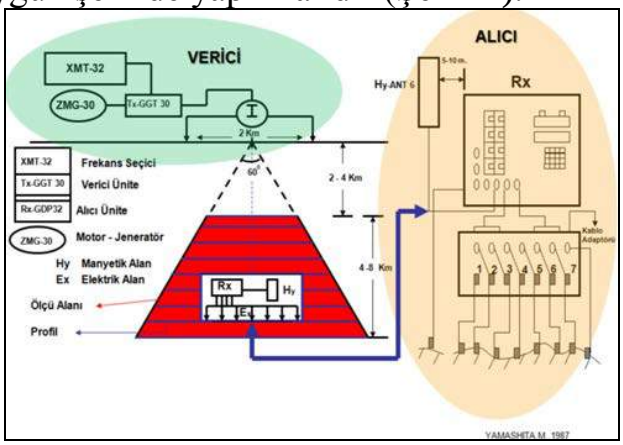
CSAMT (Controlled Source Audio Magnetotelluric) yöntemi MT ve AMT yönteminden yararlanılarak geliştirilmiştir.

CSAMT yönteminde, kaynağa paralel olarak iki elektrot aracılığı ile elektrik alan, bu elektrik alana dik yönde manyetik bobin aracılığı ile de manyetik alan ve bu iki alanın fazları ölçülür. Bu ölçülen parametrelerde Cagniard bağıntısı kullanılarak görünür özdirenç ve faz farkı hesaplanır.

CSAMT yönteminde arazi yerleşimi verici ve alıcı ünitelerin bulunduğu iki gruptan oluşur (Yamashita, 1987).

Vericiden, boyu yaklaşık 2 km uzunluğunda bir dipol aracılığı ile yere 8192 Hz - 0.250 Hz frekansları arasında akım uygulanır. Etüt alanı içerisindeki verici üniteden oldukça uzaklıkta bulunan bir alanda polarize olmayan $CuSO_4$ çözeltili elektrotlar kullanılarak elektrik alan ve elektrik alana dik yönde konulan manyetik bobin aracılığı ile de manyetik alan ölçülür.

Alıcı ile verici arasındaki mesafe yakın tutulduğunda verilere yakın alan etkisi girmektedir. Bu nedenle alıcı-verici arası mesafe mümkün olduğu kadar uzak tutulmalıdır. CSAMT ölçü düzeneği arazi en uygun şekilde yapılmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Arazi ölçü düzeneği.

Arazide manyetik bobinin gürültülerden etkilenmemesi için enerji nakil hatlarından, yerleşim alanları, fabrikalar, karayolları ve demir yollarından uzak olması gerekir (Üçer ve Batum, 2010).

CSAMT uygulamalarında görünür özdirenç değeri; Elektrik ve Manyetik alan oranlarının Cagniard, 1953'ın MT için geliştirdiği (1) bağıntısı ile hesaplanır.

$$\rho_c = \frac{1}{5f}\left|\frac{E_x}{H_y}\right|^2 \qquad (1)$$

ρ_c :Görünür özdirenç
f: Frekans (Hz)
E_x: Elektrik alanı (mV/km)
H_y: Manyetik alanı (gamma)

Bu denklem, verici ve alıcı grupları arasında yeterli uzaklığın bulunması halinde ve elektromanyetik alan için düzlem dalga kuralının işlediği bölge için geçerlidir. Cagniard (1953) denkleminin işlemeye başladığı uzaklık nüfuz derinliğinin üç katı olarak kabul edilir (2), etkin derinlik (3) ve faz açısı (4) bağıntısı ile hesaplanır;

$$L = 1509\sqrt{\frac{\rho}{f}} \qquad (2)$$

L: Uzaklık (m)
ρ: Homojen ortamın özdirenci
f: Frekans (Hz)

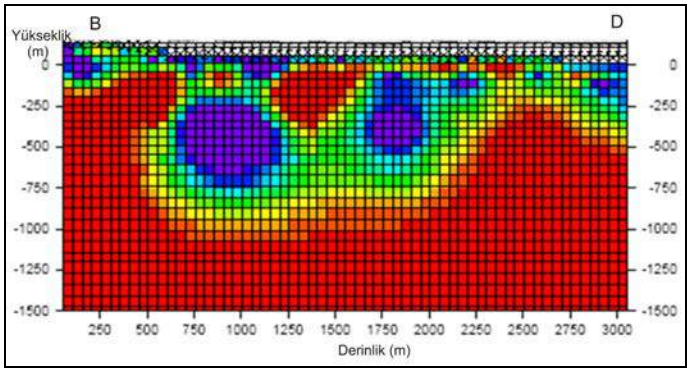
Etkin derinlik; $\delta = 503\sqrt{\frac{\rho}{f}}$ (3)

Faz açısı ise; $\Phi=\Phi_E-\Phi_H$ (4)
Φ_E: Elektik alan fazı
Φ_H: Manyetik alan fazı

2 VERİ İŞLEM

Arazide alınan ölçüler, WinGlink™ adlı paket program kullanılarak değerlendirilir ve haritalandırılır. Paket programda iki boyutlu modelleme, Mackie et al (1997) tarafından yazılan d2inv_nlog2_fast adlı yazılım kullanarak yapılmaktadır. Kullanılan program, Madden (1972) tarafından MT yönteme uyarlanan network analogy tekniği ile sonlu farklar ağı üzerinde, düğüm noktalarında bulunması istenen elektrik veya manyetik alanı, eşdeğer elektrik devresindeki gerilim düşümü ve akımlar ile özdeşleştirerek hesaplamaktadır.

Veri işlem aşamasında önce profil alanı hücrelere (mesh) bölüp (Şekil 2), daha sonra homojen bir özdirenç seçilerek, modele ters çözüm işlemi uygulanır. Statik kayma etkisini kaldırmak içinde (Groot-Hedlind, 1991) algoritması kullanılır. Ters çözüm işleminde özdirenç ve faz verileri alınır.



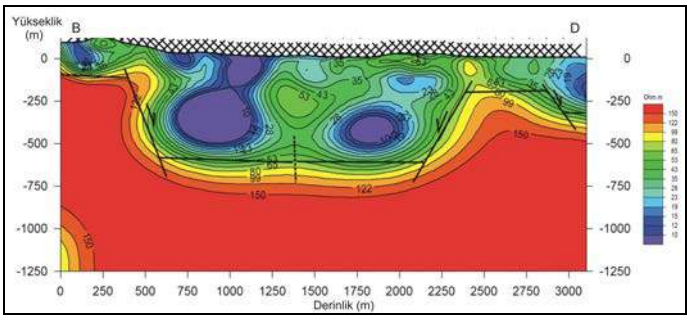
Şekil 2. Hücrelere bölünmüş CSAMT profili.

2.1 Elektrik Yapı Kesiti (İki Boyutlu)

Veri işlem sonrası elde edinilen iki boyutlu model sonucunda profiller boyunca özdirenç değerlerinin düşey ve yanal yönde dağılımı izlemek amacıyla elektrik yapı kesitleri hazırlanır.

Elektrik yapı kesitlerindeki seviyeler litostratigrafi birimleriyle korale edilerek jeolojik yapı modelleri ortaya konulur. Buna göre; yüksek özdirençli birimlerin paleotopografyası, elektrik yapı kesitinin en alt seviyesinde görülen yüksek özdirençli değerler olarak tanımlanır. Özellikle Neojen ve Neojen öncesi kayaçların elektrik özellikleri çıkarılmış olur. Bu amaçlar doğrultusunda; elektrik özellikler yönünden farklılık gösteren seviyelerle deneştirilen jeolojik birimlerin özdirenç değerlerine ait limitler belirlenir.

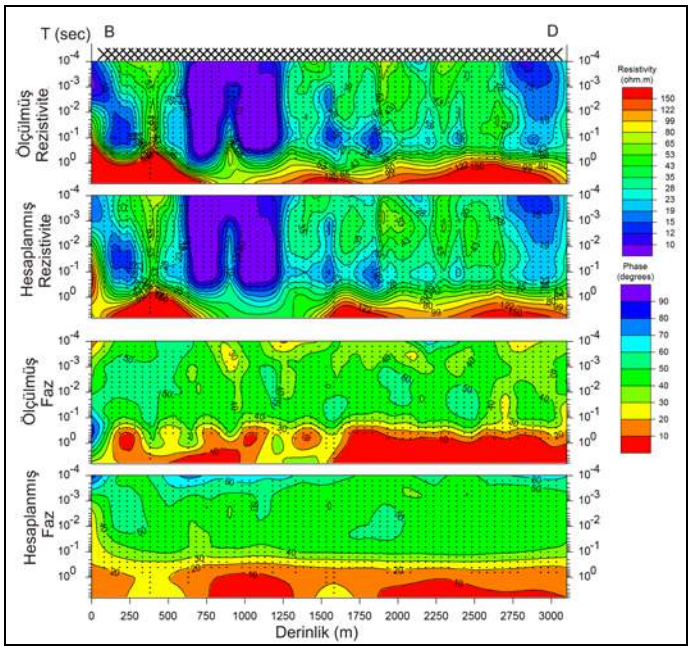
Elektrik yapı kesiti (Şekil 3) incelendiğinde; özdirenç değeri 10-80 Ohm. m. arasında değişen değerler Yeniköy, Bahçecik formasyonu ve altere olmuş İzmir Filişi spilitlerine aittir. Özellikle özdirençi 10 Ohm.m'nin altında olan jeotermal sistemden oldukça fazla etilenmiş alanlardır. Özdirenç değeri 10-80 Ohm. m. arasında değişen birimler ise altere olmamış İzmir Filişi spilitleridir. En alt seviyede özdirenci 80 Ohm. m ve üzeri olan metamorfikler yer almaktadır.



Şekil 3. Elektrik yapı kesiti (iki boyutlu).

2.2 Ölçülmüş –hesaplanmış Görünür Özdirenç ve faz kesiti

Veri işlem sonrası elde edinilen iki boyutlu model ile arazide ölçülmüş orjinal verilerin oluşturduğu modelin kıyaslanması için ölçülmüş-hesaplanmış görünür faz kesitleri hazırlanır. Hazırlanan bu kesitte özdirenç değerleri ile faz değerleri birbirine ters orantılıdır (Şek 4).



Şekil 4. Ölçülmüş-hesaplanmış görünür faz kesiti.

2.3 Seviye Haritası

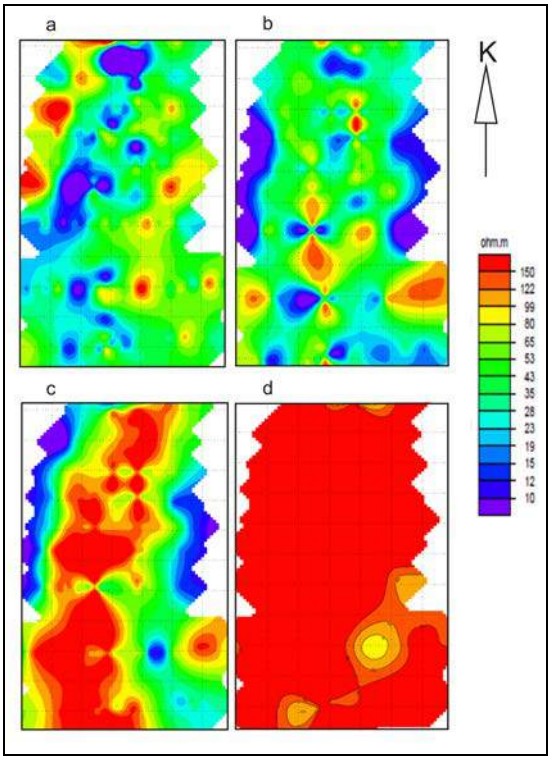
İki boyutlu modelleme sonucu hesaplanan özdirençlerin istenilen seviyelerde derine doğru düşey ve yanal yönde dağılımını izlemek amacıyla gerçek derinlik ve özdirenç değerleri kullanılarak gerçek seviye haritaları hazırlanır. Bu seviye haritaları incelendiğinde;

250 m seviye haritası (Şekil 5a); jeotermal sistemden etkilenen özdirenç değeri 10 ohm. m'nin altında anomaliler kendi içinde kapanımlar şeklinde görülmektedir.

500 m seviye haritası (Şekil 5b); sıcaksuyun etkisi nispeten azalarak anomalilerin devamlılığı söz konusudur.

750 m seviye haritası (Şekil 5c); sıcaksuyun etkisi sadece sahanın yaklaşık güzeydoğusunda tek noktada görülmekte olup bölgede kaplıca bulunmaktadır. Sahanın geneline altere olmamış İzmir Filişi spilitleri hakimdir.

1000 m seviye haritası (Şekil 5d); sıcaksuyun etkisi tamamen yok olmakta ve yerine metamorfikler gelmektedir.



Şekil 5. Gerçek özdirenç seviye haritası (a: 250 m., b 500 m., c 750 m., d 1000 m.)

3 SONUÇ

İki boyutlu model profilleri ve seviye haritaları yardımı ile sahanın jeotermal açıdan potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan jeofizik CSAMT etüt sonucunda yer altının geometrisi ortaya çıkarılarak, muhtemel faylar kesite işlenmiştir. Ayrıca kesit boyunca jeotermal sistemden kaynaklanan düşük özdirençli anomaliler tespit edilmiştir. Bütün bu çalışmalar dikkate alınarak kesiti hazırlanmış profil üzerine birden fazla jeotermal amaçlı sondaj önerilmiştir.

KAYNAKLAR

Akartuna, M.,1962. *İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla bölgesinin jeolojisi*., MTA., Ankara

Batum, D. ve Üçer, A., 2013 *İzmir-Seferihisar-Doğanbey ve Kavakdere Sahaları Jeotermal Enerji Aramaları Jeofizik CSAMT Etüt Raporu* (yayınlanmamış).,MTA., Ankara.

Bulut, M., Büyükboyacı, Ü, Dünya, H., 2013 *Akyar-Ilıkpınar (Seferihisar-Menderes-İzmir) Ruhsat Sahalarının Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) Ve Akyar İsa-2011/10 Jeotermal Arama Sondajı* Bitirme Raporu (Basımda).

Cagniard L. 1953. *Basic theory of magnetotelluric of geophysical prospecting, Geophysics*. Vol.18, p. 605-635.

Çakır,. E.,1984 İ*zmir-Seferihisar alanında gravite ve özdirenç çalışmaları*, DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Bitirme Tezi.

DeE Groot-Hedlin,C., 1971 *Rewmoval of Static Shift in two dimensions by regularized İnversion Geophysics*. S:56,2102-2106.

Ekingen., A., 1969, *İzmir-Urla-Seferihisar Jeotermik Enerji Aramaları Gravite Etüdü*., MTA., Derleme No: 4312., Ankara.

Eşder, T. ve Şimşek, Ş., 1975, *Seferihisar alanı, Çukurdağ grabeni ile dolaylarının jeolojik ve jeotermal olanakları.* MTA Derleme Rapor no:5842 Ankara.

Mackıe, R.L., *Rieven S., and Rodi, W. 1997., Users manual and software documentation two dimensional inversion for magnetotelluric data*: M.I.T. Earth Resources Lab. Report.

Madden, T., R., 1972., *Transmission system and network analogies to geophysical forward and inverse problems*, Tech. Rep. N000-14-67-A0204-0045, Dep. Of Earth Planet Sci., MIT.

Üçer, A., Batum, D., 2010 *İzmir Jeotermal A.Ş. Adına Yapılan Seferihisar, Balçova (İzmir) Jeotermal Enerji Aramaları CSAMT Etüt Raporu*. MTA Derleme no: 11377. Ankara.

Yamashita, M., 1987, *Software and hardware design of Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric (CSAMT) system and test survey: Phoenix Geophysics Limited Company report*, 43 p.

Kömür ve Kömür Teknolojileri

Farklı Su Tipleri ve Donma-Çözülmenin Mermer Dayanımı Üzerinde Etkisi

Effect on Marble Resistance of Different Water Types and Freezing-Thawing Cycles

S. Beyhan
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

A. Özgür
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada, Bilecik Beji mermerlerinin atmosfer olaylarına bağlı olarak, donma-çözülme ve farklı su ortamlarındaki suya doygun sıkışma dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Bu amaçla; yaklaşık 30 adet örnek saf su, yağmur suyu ve laboratuvar ortamındaki şebeke suyu ile su emme deneylerine, 40 adet örnek ise 25 çevrim donma-çözülme periyotlarına tabi tutulmuştur. Donma – çözülme deneyinde örnekler üç farklı su ortamında (yağmur suyu, saf su, şebeke suyu) koşullandırılmıştır. Hem su emme hem de donma-çözülme süreçlerine bağlı olarak örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu, mermerlerin donma-çözülme sürecine bağlı olarak sıkışma dayanımlarında azalma gözlenmiştir. Farklı su emme ortamlarına göre yapılan deney sonucuna göre ise suya doygun örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin kuru örneklere göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilecik Beji mermer, donma-çözülme, dayanım

ABSTRACT In this study, the freezing-thawing and waterlogged compressive strength changes in various water environments of Bilecik Beige marble, depending on atmospheric phenomena, were investigated. For that purpose, about 30 samples were subjected to water absorption tests with distilled water, rainwater, and mains water under laboratory conditions. Circa 40 samples were subjected to 25 freeze-thaw cycles. In the freeze-thaw test, samples were conditioned to three different water environments (rainwater, distilled water, mains water). Depending on both water absorption and freeze-thaw periods, uniaxial compressive strength tests were performed on the samples. It was observed that compressive strength of marbles decreases, depending on freeze-thaw period of marbles. As a result of the test performed in different water absorption environments, it was determined that the uniaxial compressive strength values of waterlogged samples are lower than dry samples.

Keywords: Bilecik Beige marble, freezing-thawing, resistance

1 GİRİŞ

Doğal yapıtaşları kullanıldıkları ortama göre uzun süre yağmur, rüzgar, nem, donma-çözülme ve sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kaldıklarında, fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Yeryüzünde bulunan tüm kayaçlar, su, rüzgar, nem ve donma gibi fiziksel etkenler ile çözülme gibi kimyasal etkenlerden sürekli olarak etkilenirler. Bununla birlikte bu etkenlerin zararlı etkileri her yerde aynı değildir. İklim, kayaç bileşimi ve aşınma tipi, kayacın maruz kalacağı bozunmayı etkilemektedir. Sonuç olarak yapılarda kullanılan kayaç yüzeyleri üzerinde bu zararlı etkiler görülebilmektedir. Doğal yapıtaşlarının, donma-çözülme ve yağmur gibi atmosfer olaylarından etkilenme derecelerinin daha önceden belirlenmesi, kullanıldıkları alanlardaki malzeme seçimi açısından önemlidir. Mermerlerin donma-

çözülme sonrası sıkışma dayanımı değeri özellikle inşaat sektöründe binaların dış kaplamasında önem arz etmektedir. Bu alanda kullanılacak olan mermerlerin donmaya karşı oldukça dirençli olmaları gerekir. Bunun için genellikle duvar kaplamasında kullanılan mermerlerin don sonrası sıkışma dayanımı değeri mutlaka standartlarda belirtildiği şekilde olmalıdır. Donma – çözülme periyotlarına bağlı olarak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Binal, vd. 1996, Bozkurtoğlu vd. 2010, Altındağ vd. 2004, Şengün 2008). Bu araştırmalarda kayaçların donma-çözülme sürecine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişimler gözlemlemişlerdir. Qi j. (2008) siltli kayaçlarda donma-çözülme döngüsünün zeminlerin mühendislik özelliklerini değiştiren bir ayrışma süreci olduğunu ve bu nedenle donma- çözülme etkisinin stabilite ve deformasyon analizlerde dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Wang (2007), killerin donma-çözülme sürecine bağlı olarak gerilme-deformasyon, elastik özellik gibi davranış şekillerini incelemiştir.

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olan bir diğer parametre ise kayaçların su ve nem içerikleridir. Her iki durumda kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu konuda Sachpazis (2004) İngiltere Northumberland kireçtaşları örnekleri üzerinde hem kuru hem de suya doygun deneyler gerçekleştirilmiştir. Vasarhelyi ve Van (2006), su içeriğinin kayaç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden birisi olduğunu belirtmişlerdir. Ergüler (2007), Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınmış kil içeren kayaçlar (silttaşı, çamurtaşı ve marn) üzerinde su içeriğinin etkisini incelemiştir.

2 BİLECİK BEJİ MERMERLERİ

Bu çalışmada kullanılan mermerler Bilecik ilinin yaklaşık 12-14 km. kuzeydoğusunda, Vezirhan ilçesinin güney ve güney batısını içine alan ve Adapazarı-Eskişehir yolu civarında yer almaktadır (Şekil 1). Bilecik civarı Vezirhan kesiminde, Bilecik kireçtaşlarının antik dönemlerde işletilmiş çok sayıda eski mermer ocağına bulunmaktadır (Uz 2003).

Şekil 1. İnceleme alanı yerbulduru haritası

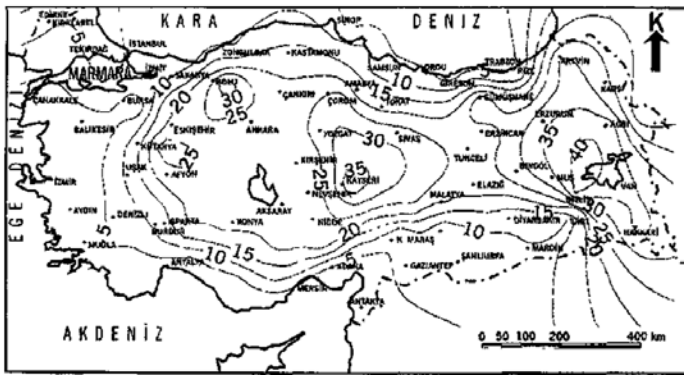
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Mermerlerin donma-çözülme ve suya doygun durumlarında tek eksenli sıkışma dayanımındaki değişimin incelenmesi amacıyla, 70x70x70 mm ebatlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Bu çalışmada, hem donma-çözülme periyotlarının hem de suyun tek eksenli sıkışma dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesinde farklı su tipleri kullanılmıştır. Bunlar; laboratuvar ortamında kullanılan şebeke suyu, saf su ve yağışlı havalarda toplanan yağmur suyudur.

3.1 Donma-Çözülme Deneyleri

Donma-çözülme deneyleri ISRM (1981) ve TS 699 (1987)'e uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde 40 adet küp numune kullanılmıştır. Tüm numuneler deney öncesi 105 °C'de etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan numuneler su havuzunda tamamen suya doygun hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Burada üç farklı su bulunan (şebeke suyu, saf su, yağmur suyu) üç su havuzu kullanılmıştır (Şekil 3). Farklı su tiplerinde doygun hale gelen numuneler -20 °C'deki derin dondurucuya konulmuştur (Şekil 4). Daha sonra derin dondurucudan alınan numuneler +20 °C'deki su havuzunda bekletilerek bir periyot gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 25 periyot tamamlanmıştır. 25 periyot sonucunda tekrar tüm numuneler etüv de 105 °C'de kurutulmuştur. Deney sonucunda numunelerin ağırlık kaybı ve tek

eksenli sıkışma dayanımındaki değişim belirlenmiştir. Bilecik, Türkiye donma-çözülme haritasına (Şekil 2) göre (Binal 1997) yıllık 10 – 15 donma-çözülme konturları içinde kalmaktadır.



Şekil 2. Türkiye donma-çözülme periyot haritası (Binal, 1997).

Şekil 3. Farklı su havuzlarında koşullandırılan numuneler

Şekil 4. – 20 °C'de koşullandırılan numuneler.

3.2 Su Emme Deneyleri

Su emme deneyleri ISRM (1981) ve TS 699 (1987)'e uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere 70x70x70 mm ebatlarında 30 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler önce 105 °C'de etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan numunelerin ağırlıkları hassas terazide belirlendikten sonra üç farklı su tipinde (şebeke suyu, saf su, yağmur suyu) farklı su havuzlarında (Şekil 3) değişmez kütleye gelinceye kadar koşullandırılmıştır.

3.3 Fiziksel ve Mekanik Özelikler

Çalışmada kullanılan mermerlerin birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve porozitesini belirlemek amacıyla her bir deney için 5'şer adet ve kenar uzunluğu 70 mm olan küp örnekler hazırlanmıştır. Deneylerin sonuçlarının aritmetik ortalamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bilecik beji mermerlerinin fiziksel özellikleri.

Testler	Ort. Deney Sonuçları
Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	2,65
Ağırlıkça su emme oranı (%)	0,20
Porozite (%)	0,23

3.3.1 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Kaya malzemelerinin dayanımlarına göre sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımı değeri, aynı zamanda donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi olayların sonucunda oluşan bozunmanın belirlenmesinde de bir parametre olarak kullanılmaktadır. Kayaçların bozunmalarının en önemli sonuçlarından birisi dayanım değerlerindeki azalmadır. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında örneklerin kuru, donma-çözülme çevrimi sonrası ile suya doygun tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiş (Şekil 5) ve değişimler incelenmiştir. Bu deneylerde TS699 standartlarına uygun olarak hazırlanmış kenar uzunluğu 70 mm olan küp numuneler kullanılmıştır. Deney sonuçlarının ortalaması Çizelge 2'de verilmektedir.

Şekil 5. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi

Çizelge 2. Donma-çözülme ve suya doygun numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Sonuçları (MPa)			
	Deneyde kullanılan su tipi		
Deney	Şebeke Suyu	Saf Su	Yağmur Suyu
Donma-çözülme	87,5	102,3	100,6
Suya doygun	97,5	101,7	104,9
Don sonrası ağırlık kaybı (%)	0,039	0,030	0,044

Donma-çözülme ve su emme deneyleri sonrası numunelerin tek eksenli sıkışma dayanım değerleri ile kuru numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla kenar uzunluğu 70 mm olan 10 adet küp numune etüvde kurutularak tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonucunda mermerin kuru tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ortalama 116,9 MPa olarak belirlenmiştir.

Donma-çözünme sonrası ağırlık kaybı değerleri; farklı su koşullarında muamele edilmiş numunelerde birbirlerine yakın sonuçlar çıkmıştır.

4 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bilecik beji mermerleri farklı tip su koşullarında donma-çözülme ve su emme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Her iki deney sonucunda numunelere tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi uygulanmıştır. Donma-çözülme deneyi sonrası örneklerin ağırlık kaybının çok az olduğu belirlenmiştir.

Donma-çözülme sonrası sıkışma dayanımları ile suya doygun numunelerin sıkışma dayanımı değerleri, kuru numunelere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, suyun ve donma-çözülme periyotlarının kayaç dayanımını olumsuz etkilediği sonucunu doğurmaktadır. Deneyler sonucunda sıkışma dayanımlarındaki azalma değerleri Çizelge 3'de görülmektedir. Bu azalma değeri şebeke suyu ile yapılan deneylerde daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3. Donma-çözülme ve suya doygun numunelerin kuru numunelere göre tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerindeki azalma.

Su tipi	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımındaki Azalma (%)	
	Donma Çözülme	Suya Doygun
Şebeke suyu	25,15	16,60
Saf su	12,49	13,00
Yağmur suyu	13,94	10,27

Yapılan bu çalışma daha çok sayıda ve farklı doğal taş örneği üzerinde ve doğal ortam şartlarına uygun şekilde yapılması gerektiği düşünülmektedir.

5 KAYNAKLAR

Altındağ, R., Alyıldız, T.S. 2004, Donma-Çözülme Periyotlarının Tüfün (Isparta-Dereboğazı) Fiziko-Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.

Binal, A., Kasapoğlu K.E., Gökçeoğlu C., 1997, The surficial physical deterioration behaviour of neogene volcano-sedimantery rocks of Eskişehir-Yazılıkaya, NW Turkey, Proc. Int. Symp. On Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, A.A. Balkema, Rotterdam, V3, 3065-3069.

Binal, A., Kasapoğlu K.E., Gökçeoğlu C., 1997, Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaçların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerinin değişimi Yerbilimleri, 19, 17-40,

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni.

Bozkurtoğlu, E., İş, M., Yazıcı, M., 2010, Trakya Formasyonu Grovaklarının Donma – Çözünme Davranışı, (Ayazağa-İstanbul) Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2, 38-45.

Ergüler, Z.A., 2007, Su içeriğinin kil içeren kayaların mühendislik davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi.

ISRM (International Society for Rock Mechanics),1981, Rock Characterization, Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods. E.T. Brown (ed.),Pergamon Press, 211 p.

Sachpazis, C.I., 2004, Monitoring gegree of metamorphism in a four-stage alteration process passing from pure limestone to pure marble, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 9, Bundle B.

Şengün N., Altındağ R., Mutlutürk M., Karagüzel R., Kıstır R., 2008, Kireçtaşlarında Donma-Çözünme (F-T) Çevrimlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12-2,128-134.

TS699, 1987, Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları, Ankara.

Uz, B., Bacak, G., Özdamar, Ş. Ve Yılmaz, M., 2003, Bilecik Bej Mermerleri; Vezirhan Bölgesi Jeolojik Etüd ve Değerlendirmesi, Türkiye IV Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı.

Vasarhelyi, B. and Van, P., 2006, Influence of water content on the strength of rock, Engineering Geology, v. 84, 70-74 p.

Kömür Öğütme Devresinde Değirmen Giriş ve Çıkışı Kükürt Farklılığının Nedenlerinin Araştırılması

Investigation of the Reasons for Differences of Sulfur Input and Output of Mills in the Coal Grinding Circuit

B. Kolukısa, M. G. Kolukısa
As Çimento San. ve Tic. A.Ş., Bucak-Burdur, TÜRKİYE

Y. Umucu
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

ÖZET Çimento fabrikalarında kullanılan kömürlerin klinker üretim fırınına hep aynı özellikte girmesi ve fırın dizaynına ve klinker özelliklerine uygun olması ve değişkenlik göstermemesi istenmektedir. Çimento fabrikalarında klinker fırının verimini doğrudan etkileyen en önemli parametre yakılacak kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleridir. Kömür için kalite kriterleri; kalori değeri, kül, nem, uçucu madde ve bünyesindeki kükürt miktarı gibi yapısal özelliklerdir. Bu özellikler kömürün oluşumu ile ilgili hususlardır ve bu kriterlerin istenen düzeyde olması kömürün yanma performansını belirler. Klinker üretiminde kullanılacak kömürün öğütülmesi esnasında elde edilen mikronize (<90 mikron) kömürün içerdiği kükürt oranında ki değişim farklı kükürt analizi yöntemleri ile araştırılmış ve değişimin sebepleri üzerinde tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kömür, klinker, kükürt, öğütme

ABSTRACT Coal production via the clinker produced from kiln used in cement plants are required to enter the same features and to conform to the characteristic and variability of clinker. The most important parameters that affect directly the efficiency of the kiln are the physical and chemical properties of coal, which is burned in cement plants. Quality critters for coal are calorific value, ash, moisture, volatile matter and structural properties such that the sulfur content in the body. These properties are related to the formation of coal. Also, coal combustion performance is determined by the desired level of these criteria. Clinker production obtained from the grinding of coal to be used in micronized (<90 microns) of the coal, changes in sulfur content of coal was investigated by different sulfur analysis methods and discussed the reasons for the change.

Keywords: Coal, clinker, sulfur, grinding

1 GİRİŞ

Dünya çok büyük kömür rezervi ile elektrik enerjisi üretimi, çimento sanayi ve kömüre dayalı diğer kimyasal endüstriler açısından gelecek için büyük bir potansiyele sahiptir (Doğan vd., 1983).

Kömürler üretildikleri andan itibaren doğası gereği, oksijenle reaksiyona girerek kendiliğinden yanmaya maruz kalmaktadırlar. Kendiliğinden yanma olayı, kömür bünyesindeki karbonun oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda ortama ısı vermesi, ortamı ısıtması ve sonuçta ortamı tutuşma sıcaklığına getirmesi olarak bilinmektedir (Doğan vd., 1983).

Çimento fabrikalarında kullanılan kömürlerin klinker üretim fırınına hep aynı özellikte girmesi ve fırın dizaynına ve

klinker özelliklerine uygun olması ve değişkenlik göstermemesi istenmektedir.

Kömür kullanan çimento fabrikalarında en yaygın yakma yöntemi kömürü ince tane boyutlarına (<90mikron) ufaladıktan sonra klinker fırınında pulverize yöntem ile yakılmaktadır. Bu yöntem, kömürün en az % 50'sinin 90 mikron altına geçecek şekilde öğütülmesini gerektirmektedir. Toz kömür yakan fırınlarda kömürün spesifik ve öğütülebilirlik derecesi önemli etkenlerdir. Kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri kömürün fırına beslenmesindeki akıcılığını ve yanma verimliliğini etkileyebileceği gibi, öğütülebilirlik derecesini de değiştirebilir.

Klinker üretim prosesinde fırınlara beslenen kömürün analizleri AS Çimento A.Ş.'ye ait kalite kontrol laboratuvarında yapılmaktadır. Ayrıca beslenen farklı niteliklerdeki kömürün beslenmeden önce sahaya dökülüş sırasında alınan numunelerden çıkan sonuçlar temel alınarak teorik karışım hesaplamaları yapılmaktadır.

Bu hesaplamaların sonucunda çıkan değerlendirmede; kömürün klinker fırını için öğütülmesinin gerçekleştiği değirmene beslenen karışım halindeki kömürün yanar kükürt rakamı, kömür değirmen çıkış rakamı ile aynı seyrederken, külden gelen kükürt rakamında yaklaşık 3 katı arttığı gözlenmektedir. Bu çalışmada artışın sebeplerinin araştırılması, proses veya yöntemden kaynaklanabilecek durumların ortaya konması için değirmen öncesi ve değirmen sonrası kömür numuneleri üzerinde yanıcı, kalıcı (külde) ve toplam kükürt analizleri farklı yöntemler kullanılarak yapılmış ve farklılıklar ortaya konmuştur.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Burdur'un Bucak ilçesinde bulunan AS Çimento A.Ş.'ye ait kömür öğüten dik değirmen beslemesi ve seperatörden elde edilen üründen alınan temsili numuneler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Değirmene beslenen kömür karışımın (linyit-taşkömürü-petrokok) analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

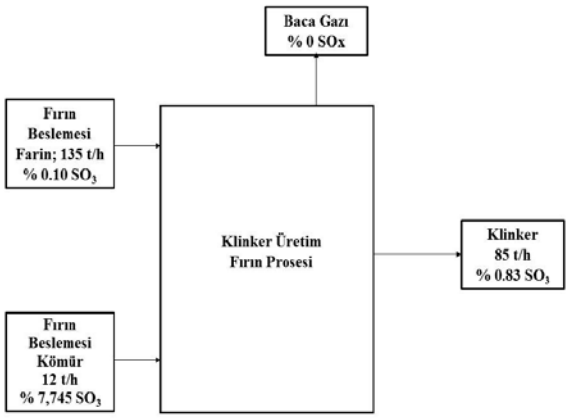
Çizelge 1. Değirmene beslene kömür karışımının kimyasal analizi

Analiz (Havada Kuru)	Laboratuvarlar		
	AS ÇİM.	TÇMB	SDÜ MADEN MÜH.
Kaba Rutubet	16.85	16.85	16.50
Kül	15.51	15.97	14.84
Uçucu Madde	32.88	28.63	30.82
Yanıcı Kükürt	1.97	1.66	1.73
Toplam Kükürt	2.19	-	2.17
Aşağı Kalori	6136	6461	6383

2.2 Yöntem

Kömür değirmeni giriş ve çıkışında yapılan analizlerdeki farklılığın sebebinin kömür değirmenine gelen sıcak gazdan kaynaklanabileceği düşüncesi ile tüm prosesden numuneler alarak kütle bazında SO_3 denkliği kurulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda SO_3 'ün 3. ve 4. Siklon civarında yoğunlaştığı ve 1. Siklonda konsantrasyonun oldukça azaldığı tespit edilmiştir. Literatürden (Kural, 1998) yakıttan gelen kükürdün yanma reaksiyonu ile beraber SO_2 gazı olarak fırın gazına karışıp, 400 ^{0}C'leri gördüğünde SO_3'e dönüştüğü bilinmektedir. Böylece siklonlarda SO_3 'ün tamamına yakınının kalsine olmuş farin içerisindeki CaO, MgO gibi oksitler ile reaksiyona girerek $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ olarak alkali sülfatlara dönüştüğünü ve kömür değirmen çıkışındaki kömür külündeki SO_3 artışının sebebi olarak düşünülen gaz içerisindeki tozların SO_3 içerme olasılığının olmadığı da tespit edilmiştir. Ayrıca periyodik olarak yapılan baca gazı ölçümlerinde de gaz içinde SO_X 'in bulunmadığı da tespit edilmiştir.

Proses de yapılan incelemelerde kükürt için kütle denkliği yapıldığında aşağıdaki sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 1. Klinker Üretim hattında kükürt için kütle denkliği

135*0,001+12*0,0745=85*0,0083+0

Bir saatte 0,32 gr SO_3 girişte fazla olduğu yukarıda verilen denklemle tespit edilmiştir.

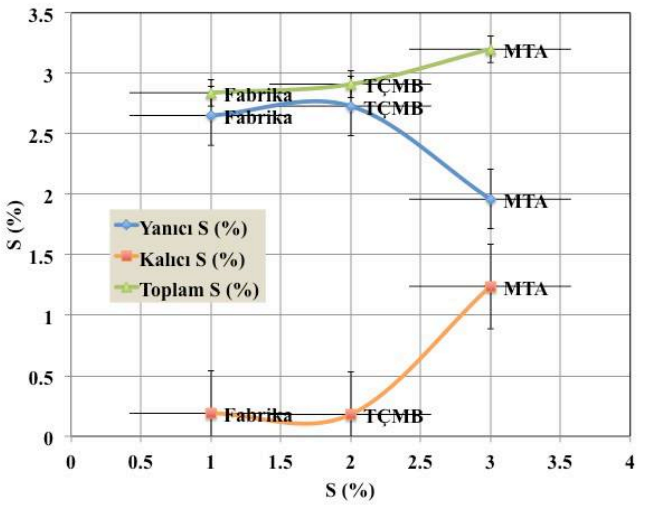
3 DENEYSEL SONUÇLAR

Yöntemden kaynaklanabilecek farklılıklar üzerinde durularak kömür değirmen giriş ve çıkışından alınan numuneler fabrika, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ve Maden Tetkik Arama (MTA) laboratuvarlarında kükürt analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge'de verilmiştir.

Değirmene beslenen ve öğütülmüş olarak çıkan kömür üzerinde yapılan yanıcı, külde ve toplam kükürt değerleri Çizelge 2, Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı laboratuvarlarda değirmene beslenen kömür üzerinde yapılan kükürt (S) analizi değişimleri

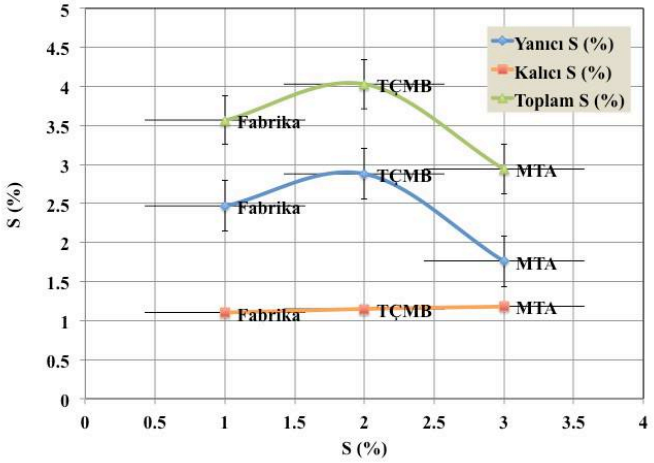
ANALİZİN YAPILDIĞI BİRİM	YANICI S (%)	KALICI S (%)	TOPLAM S (%)
FABRİKA	2.65	0.19	2.84
TÇMB	2.73	0.18	2.91
MTA	1.96	1.24	3.20



Şekil 2. Farklı birimlerde değirmene beslenen kömür üzerinde yapılan kükürt (S) değerlerinin fabrika verilerine göre standart sapmalarının değişimi

Çizelge 3. Farklı laboratuvarlarda değirmende öğütülmüş olan kömür üzerinde yapılan kükürt (S) analizleri

ANALİZİN YAPILDIĞI BİRİM	YANICI S (%)	KALICI S (%)	TOPLAM S (%)
FABRİKA	2.47	1.10	3.57
TÇMB	2.88	1.15	4.03
MTA	1.76	1.18	2.94



Şekil 3. Farklı birimlerde değirmende öğütülmüş olan kömür üzerinde yapılan kükürt (S) değerlerinin fabrika verilerine göre standart sapmalarının değişimi

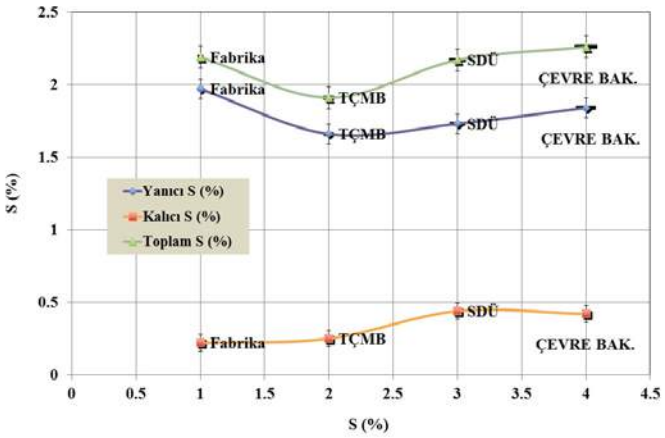
Yapılan kükürt (S) analizleri fabrika ve TÇMB için külden alınan örnekler üzerinde MTA için ESCHKA yöntemine göre yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda fabrika analiz sonuçları ile TÇMB aynı yöntemde aynı sonuçları bulurken, MTA'nın yaptığı Eschka yöntemi ile yapılan analizlerde sonuçlar farklı çıkmıştır. Bu sonuçlara göre yöntem farklılıklarından kaynaklanabilecek bir hatanın olabileceğini düşünerek daha kapsamlı bir numune alma işlemine ve farklı yöntemler, farklı laboratuvarlar ile yapılan çalışmayı tekrarlanmasına karar verilmiştir. Ayrıca fabrika laboratuvarında Eschka yönteminin de uygulanarak kükürt analizi yapılarak farklılıkların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla kömür öğütme ünitesinde bulunan değirmen girişinden ve çıkışından numuneler alınmıştır. Daha sonra numuneler örnek bölme işlemine tabii tutularak Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümüne (SDÜ), Çevre Bakanlığı Referans laboratuvarına ve TÇMB laboratuvarına gönderilmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge 4 ve çizelge 5'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Farklı laboratuvarlarda değirmene beslenen kömür üzerinde yapılan II. aşama kükürt (S) analizi değişimleri

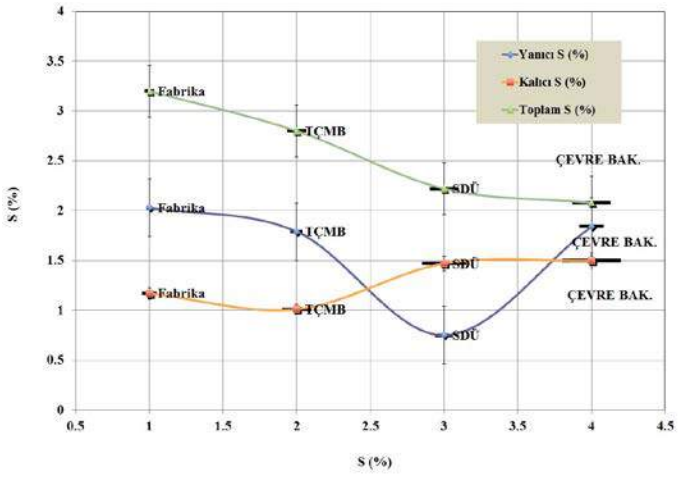
ANALİZİN YAPILDIĞI BİRİM	YANICI S (%)	KALICI S (%)	TOPLAM S (%)
FABRİKA	1.97	0.22	2.19
TÇMB	1.66	0.25	1.91
SDÜ	1.73	0.44	2.17
ÇEVRE BAK.	1.84	0.42	2.25



Şekil 4. Farklı birimlerde değirmene beslenen kömür üzerinde yapılan II. aşama kükürt (S) değerlerinin fabrika verilerine göre yüzdesel sapmalarının değişimi

Çizelge 5. Farklı laboratuvarlarda değirmenden öğütülmüş elde edilen kömür üzerinde yapılan II. aşama kükürt (S) analizleri

ANALİZİN YAPILDIĞI BİRİM	YANICI S (%)	KALICI S (%)	TOPLAM S (%)
FABRİKA	2.03	1.17	3.20
TÇMB	1.79	1.01	2.80
SDÜ	0.75	1.47	2.22
ÇEVRE BAK.	0.57	1.50	2.08

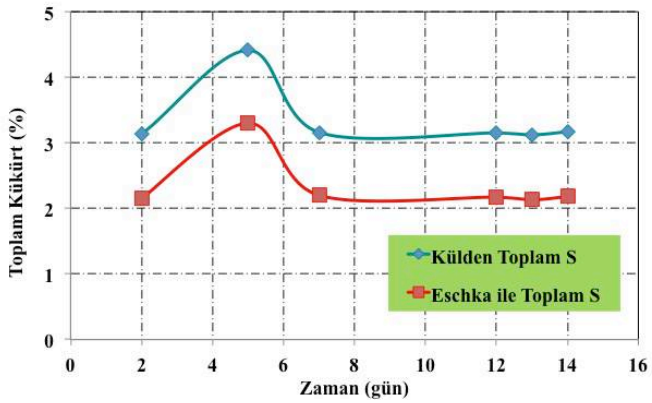


Şekil 5. Farklı birimlerde değirmende öğütülmüş olan kömür üzerinde yapılan II. Aşama kükürt (S) değerlerinin fabrika verilerine göre yüzdesel sapmalarının değişimi

Yapılan kükürt (S) analizleri fabrika ve Süleyman Demirel Üniversitesi'nde ESCHKA yöntemine göre TÇMB için külden alınan örnekler üzerinde ve Çevre Bakanlığı'nda yapılan analizler ise LECO marka kükürt analiz cihazında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ikinci aşama çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi'nde elde edilen sonuçları ile fabrikada yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, değirmene beslenen kömür kükürt analizleri benzer bulunurken, değirmen çıkışı kömür kükürt analiz sonuçlarında külden gelen SO_3 değerindeki yükselme her iki laboratuvarda da tespit edilmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi laboratuvar sonuçlarına göre küldeki SO_3 artışı kadar yanıcı kükürt değerinde düşme gözlenmiştir. Kullanılan metot toplam kükürt analizinin Eschka ile yapılıp külden gelen SO_3 'ün ise spektroanaliz veya yaş analiz yöntemiyle tespit edilip, yanıcı kükürt değerinin bunları farkından bulunması şeklindedir. Bu iki metot ile yapılan analizler bombada kömürü yakma sonucunda bulunan yanıcı kükürt üzerinde araştırma gerekliliğini getirmiştir.

Bu amaçla kömür öğütme ünitesinde bulunan değirmen girişinden ve çıkışından beş farklı günler için numuneler alınmış ve toplam kükürt analizi hem külden hem de ESCHKA yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Değirmen çıkışı öğütülmüş kömür için farklı günler ve farklı yöntemlere göre elde edilen kükürt değişimi

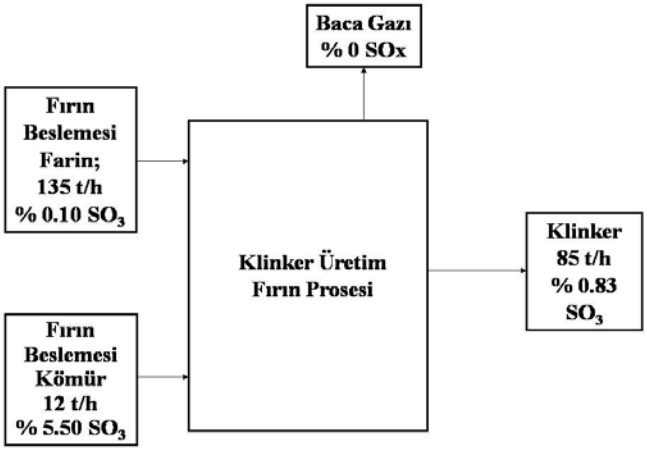
Kömür değirmen girişinden yapılan analizlerde farklı yöntemler ve farklı laboratuvarlarda yapılan sonuçların benzer olması, kömür değirmen çıkışında ise sonuçların farklı olması değirmen içerisinde öğünme esnasında bazı reaksiyonların oluştuğu izlenimini vermektedir. Kömür değirmenine verilen sıcak gaz içerisinde bulunan kalsine olmuş bir miktar farin tozunun içeriği bilindiği gibi CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3, Na_2O vb. bileşiklerden oluşmaktadır (Green, 2007). Buna göre;

%13,08 SO3 külden gelen+ % 2,87 SO3 yanıcı kükürtten

1,04 S külden - 2,20 Eschka toplam kükürt =1,16 yanıcı S

135*0,001+12*0,055=85*0,0083+0

0,795 gr SO3 /hr. = 0,71 gr. SO3/hr.
Fırına giren (yakıt+farin) Fırından klinker ile çıkan



Şekil 7. Klinker Üretim hattında kükürt için tekrar hesaplanan kütle denkliği

Yapılan kütle denkliği ile giren ve çıkan değerlerin eşit bulunması Eshcka yöntemi ile yapılan kükürt analizlerin doğruluğunu ispatlamaktadır.

Kömür değirmenine verilen harmanlanmış kömür içerisinde bulunan yanar kükürdün kritik sıcaklıklar olarak literatürde (Green, 2007) ifade edilen 150 ^{0}C, 300 ^{0}C'lerde reaksiyona girerek farin tozu içerisindeki CaO, MgO gibi oksitler ile oksitlenip

sülfatları oluşturduğunu ve bunu kül içerisinde sülfat kükürdü olarak tespit edildiği düşünülmüştür. Çünkü değirmen içerisindeki ortam sıcaklığı, sürtünme, sıkıştırma ve mikronize tane boyutu fraksiyonlarında bulunan farin tozu reaksiyon hızını arttırmaktadır. Kömür değirmenine verilen sıcak gazın sıcaklığının 280-300 ^{0}C olması bu reaksiyonların oluşması için uygun ortamın sağlandığını da göstermektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda kömür değirmen çıkışından alınan numuneler üzerinde bomba yöntemi ile bulunan yanıcı kükürt değerinin gerçeği yansıtmadığı görüşüne varılmıştır. Fakat bomba yöntemine göre değirmen girişinde kömür için yanıcı kükürt doğru bulunurken değirmen çıkışında farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Kömür değirmeni içerisinde yanıcı kükürt ile kalsine farin tozu reaksiyona girip, sülfatlaşmasının ardından kül içerisindeki SO_3'ün artışına, yanıcı kükürdün de azalmasına sebep olmaktadır. Değirmen çıkışından alınan kömür numunelerini biriket haline getirilip, kalorimetre bombasında yakma esnasında yaklaşık 2000 ^{o}C'lik sıcaklıklarda kül içerisinde sülfatlaşan kükürt de tayin edilmiş olunmaktadır.

Ayrıca aynı kömürü bir de ocak üzerinde yanmasını sağlayıp kül üzerinde spektrometrede SO_3 tayini yapıldığında kül içerisinde sülfatlaşan kükürdü tekrar tayin etmiş olmaktayız. Bu da kömür değirmeninde reaksiyona girmiş kükürdün her iki durumda ölçüldüğü anlamını çıkarmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında her türlü imkânı sağlayan AS Çimento A.Ş. sahipleri ve çalışanlarına maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Doğan, Z. M., Hoşten, Ç. ve Başol, A. U., 1983. Kömür Rutubetinin Türkiye'deki Bazı Linyitlerin Öğütülebilirliğine Etkisi, Doğa Bilim Dergisi, B, 9 (2).

Kural, O., 1998. Kömür, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.

Green , D. W., (Editor-in-Chief) & Pery, R., H., 2007. Perry's Chemical Engineers' Handbook, VIII. Edition. The Mc-Graw-Hill Companies Inc.

TS ISO 1928 -2014. Katı mineral yakıtlar - Bombalı kalorimetre yöntemi ile brüt ısıl değer tayini ve net ısıl değerin hesaplanması.

TS 440 ISO 351 -1997. Katı mineral yakıtlar - Toplam kükürt tayini - Yüksek sıcaklıkta yakma metodu.

TS ISO 18283 -2012. Taşkömürü ve kok - Elle numune alma.

TS 329 ISO 157:1996. Kömür- Kükürt türlerinin tayini.

TS 363 -1979. Eschka metodu ile maden kömüründe toplam kükürt tayini

Kömürün Hidrofobik Flokülasyonu ve Bazı Parametrelerin Etkisi

Hydrophobic Flocculation of Coal and the Effect of Some Parameters

S. Düzyol
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET Bu çalışmada Ermenek bölgesinden temin edilen linyit kömürünün hidrofobik flokülasyonuna, pH, dağıtıcı (sodyum silikat) miktarı ve bağlayıcı sıvı (gazyağı) miktarı gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Bu parametrelerin kömürün hidrofobik flokülasyonuna etkileri, yanabilir kısım verimi (YKV) ve kül içeriğinin belirlenmesiyle tespit edilmiştir. Ayrıca süspansiyonun yüzey gerilimi ve zeta potansiyeli değerleri de ölçülerek hidrofobik flokülasyon ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. İlaveten, kömürün hidrofobisitesinin dolaylı olarak belirlenmesi için deney sonrası elde edilen floklar üzerinde temas açısı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde uygun pH değerinin 4, sodyum silikat ve gazyağı miktarlarının ise sırasıyla 1 kg/ton ve 16 kg/ton olduğu belirlenmiştir. Uygun şartlar altında yapılan hidrofobik flokülasyon deneyleri sonucunda % 90 YKV ile elde edilen flokların kül içeriği % 9,8 olmuştur. Deneylerde yüzey geriliminin çok fazla değişme göstermediği, temas açısının ise 114° ila 130º arasında değiştiği ve yüzeylerin oldukça hidrofobik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik flokülasyon, linyit, Ermenek, pH, dağıtıcı, bağlayıcı sıvı

ABSTRACT In the present work, the effects of some parameters such as pH, dispersant (sodium silicate) concentration, bridging liquid (kerosene) concentration on the hydrophobic flocculation of the lignite sample of Ermenek region were investigated. The effects of these parameters on the hydrophobic flocculation of the coal were determined by means of combustible recovery and ash content analyses. Besides, solution surface tension and zeta potential values were measured and correlated with the hydrophobic flocculation. In addition, in order to specify indirectly the degree of hydrophobicity of the coal, contact angle measurements were performed on the flocks obtained from the experiments.

As a result of the study, optimum pH value was determined as to be 4; optimum sodium silicate and kerosene concentration were also determined as to be 1 kg/ton and 16 kg/ton, respectively. When experimental conditions were set up optimally, the flocks were obtained with combustible recovery of 90 % and ash content of 9,8 %. The surface tension of solution showed no remarkable change. It was confirmed from the experiment that the contact angle values ranged from 114º to 130° and the surfaces were highly hydrophobic.

Keywords: Hydrophobic flocculation, lignite, Ermenek, pH, dispersant, bridging liquid

1 GİRİŞ

Son yıllarda ince ve ultra ince taneli mineral kaynaklarının kazanılmasında yeni tekniklerin kullanımı oldukça fazla gelişme göstermektedir. Çoğu minerallerin oldukça düşük serbestleşme tane boyutlarına sahip olması nedeniyle zenginleştirme öncesinde ince boyutlarda hazırlanmasının gerekliliği, atıklardaki değerli minerallerin yeniden kazanılması, daha temiz konsantre elde edilmesi isteği ve çevresel kaygılar gibi

nedenler ya yeni tekniklerin arayışını gerektirmekte ya da mevcut tekniklerin geliştirilmesini tetiklemektedir. Çünkü klasik ayırma yöntemleri ultra ince taneler söz konusu olduğunda yetersiz kalmaktadır.

Hidrofobik flokülasyon, fiziksel zenginleştirme yöntemlerinden biri olup, adından da anlaşılacağı gibi süspansiyonda bulunan hidrofobik tanelerin yeterli kinetik enerji ile agregasyonuna dayanmaktadır. Hidrofobik etkileşimler yüksek seçimlilik sağlamakta (Koh ve Warren, 1977; Song ve Trass, 1997) ve bu da ancak tanelerin iyi bir dispersiyonu ile sistemin toplu flokülasyonunun engellemesiyle mümkün olmaktadır.

Sodyum silikat, sodyum hegzametafosfat, tannik asit gibi dağıtıcıların kullanımı ve süspansiyonun pH'ının uygun değerde ayarlanması dispersiyonu sağlamaktadır. Ayrıca sisteme ilave edilen uygun toplayıcılar, tane yüzeylerinin hidrofobisitesini arttırmakta ve polar olmayan yağlar ise hidrofobik yüzeylere yayılarak yüzeyler arası etkileşimi geliştirmektedir. Böyle bir sisteme yeterli kinetik enerjinin verilmesiyle elektriksel çift tabaka kuvvetleri ve yüzeylerdeki su filminden kaynaklanan enerji bariyeri aşılarak tanelerin bir araya gelmesi ve dolayısıyla flokülasyonu mümkün olmaktadır (Song vd., 1999).

Song ve diğerleri (1999) hidrofobik flokülasyon sonrası iki aşamalı flotasyon uygulayarak Bayi bölgesi bitümlü kömürlerinin külünü, % 1'den daha aza indirmişlerdir. Dağıtıcı olarak 1 kg/ton tannik asit öğütme esnasında değirmene beslenmiş ve kömür, d_{50}=4,2 µm tane boyutuna öğütüldükten sonra 20 kg/ton gazyağı ile hidrofobik flokülasyona tabii tutulmuştur.

Koca (1998), % 61,44 kül içerikli Zonguldak kömürleri ile 4 kg/ton flokülant ve 2 kg/ton sodyum hekzametafosfat (kalgon) ile gerçekleştirdiği hidrofobik flokülasyon çalışmaları neticesinde % 80,36 yanabilir kısım verimi ile % 15,12 küllü kömür elde etmiştir.

Uçbeyiay (2012), Ilgın yöresi kömürleri ile yaptığı hidrofobik flokülasyon çalışmalarında en iyi sonuçları 1 g/dm^3 sodyum silikat ve 4 g/dm^3 gazyağı konsantrasyonlarında elde etmiştir.

Bu çalışmada, Ermenek kömürü üzerinde hidrofobik flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve literatürdeki çalışmalara ilave olarak tane yüzey yükleri, süspansiyon yüzey gerilimi, hidrofobisitenin dolaylı bir ölçüsü olan temas açısı ölçülerek sonuçlar desteklenmeye çalışılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, Ermenek bölgesinden temin edilen -200 µm boyutundaki % 16,4 kül içerikli linyit kömürü üzerinde hidrofobik flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda dağıtıcı olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3), bağlayıcı sıvı olarak ise gazyağı kullanılmıştır. Ortamın pH'ı, HCl ve NaOH ile ayarlanmış ve dijital göstergeli (Jenco 6230) pH metre ile ölçülmüştür. Süspansiyonun karıştırılması manuel ayarlanabilen bir karıştırıcı (Heidolph RZR 2021) ile yapılmıştır. Tüm çözeltilerin hazırlanmasında ve deneylerde monodistile su kullanılmıştır.

Zeta potansiyeli ölçümleri Brookhaven Zeta Plus marka zetametre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın ölçüm aralığı -150+150 mV olup standart sapması 2 mV'tur.

Temas açısı ve yüzey gerilimi ölçümleri ise KSV Cam 101 Temas açısı ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz yüzey gerilimi ölçümlerinde 'sarkan damla tekniği'ni kullanmaktadır.

Hidrofobik flokülasyon deneyleri sonrası elde edilen flokların kül analizi, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarında bulunan Gemo marka TT107 model kül fırını ile standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

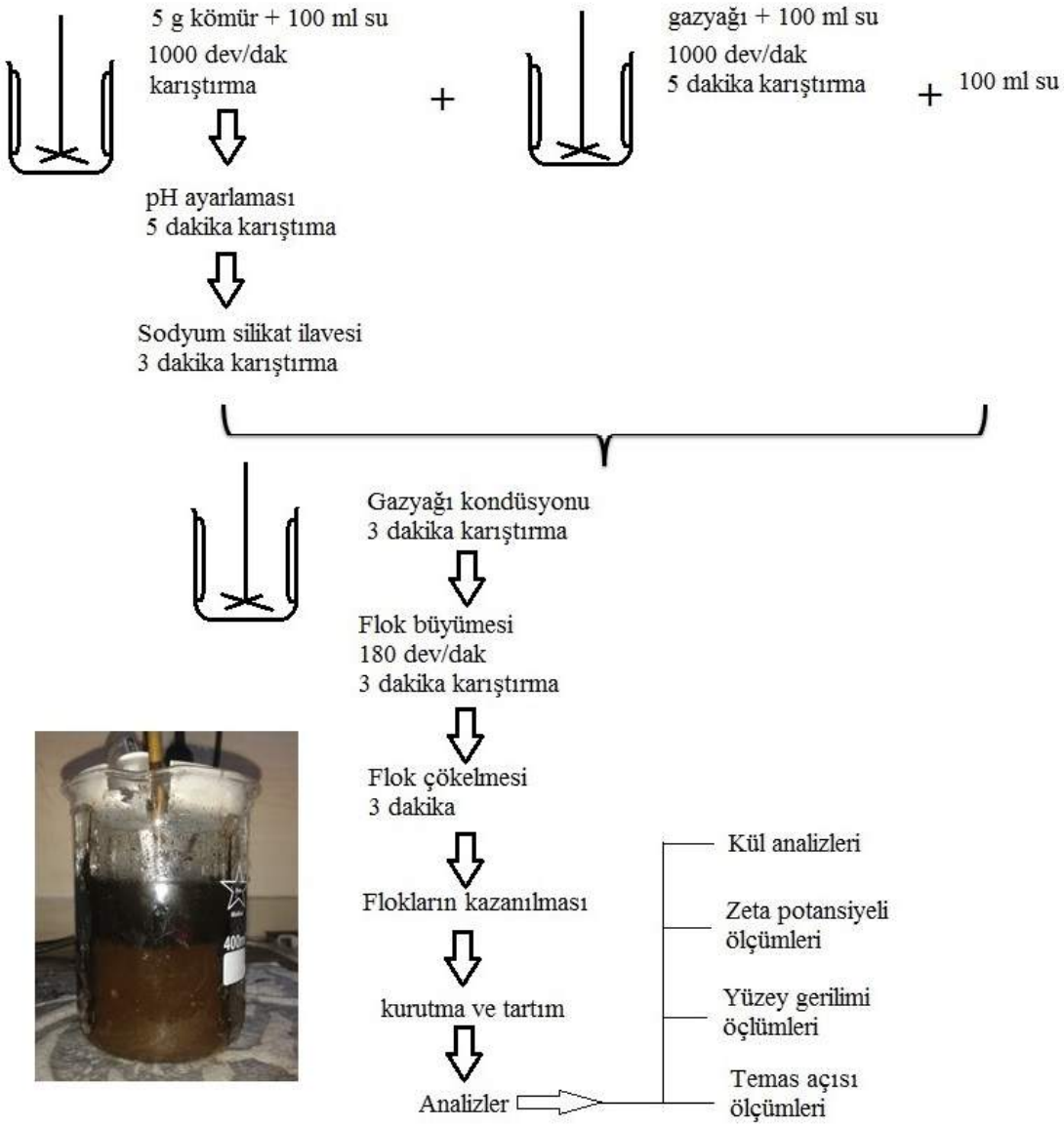
2.2 Hidrofobik Flokülasyon Deneyleri

Hidrofobik flokülasyon deneyleri, 400 cm^3 hacmindeki cam beherde gerçekleştirilmiştir. Taneler arası çarpışma olasılığını arttırmak için beherin iç yüzeyine dört adet cam

bariyer birbirlerine eşit mesafede olacak şekilde yapıştırılmıştır. Gazyağı sisteme emülsiyon halinde ilave edilmiştir. Deneylerde Şekil 1'deki akım şemasında verilmiş olan yol izlenmiştir. Hidrofobik flokülasyon deneyleri sonrasında floküle olan kömür beherin üst yüzeyinde toplanmıştır. Kullanılan özel bir sistem ile floküle olmayan kısım dekante edilmiş ve beherin içerisinde kalan floklar kazanılmıştır. Filtre kâğıdından süzülen floklar etüvde kurutulup tartılarak flok ağırlığı tespit edilmiştir. Daha sonra kül içerikleri belirlenerek Eşitlik 1'de verilen formül ile yanabilir kısım verimi (YKV) hesaplanmıştır.

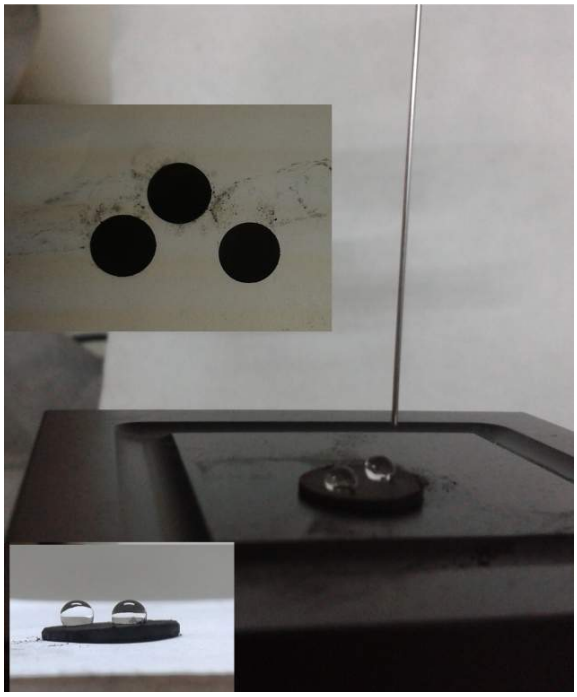
$$YKV, \% = \frac{\mathrm{F}(100-F_{\mathrm{kül}})}{\mathrm{B}(100-B_{kül})} \quad [1]$$

F :Flok yüzdesi
$F_{kül}$:Flokların kül içeriği
B :Besleme yüzdesi
$B_{kül}$: Beslemenin kül içeriği



Şekil 1. Deneylerde izlenen akım şeması

Temas açısı ölçümleri, özel bir kalıp yardımıyla preslenen floklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pelet yüzeyleri mümkün olduğunca düzgün hazırlanmış ve en az 4 ölçümün ortalaması temas açısı değeri olarak kabul edilmiştir. Şekil 2' de hazırlanan peletler ve su damlacıkları görülmektedir. Her bir deneyden sonra elde edilen floklardan en az 3 adet pelet hazırlanmış ve yüzeylerden mümkün olduğu kadar açı okunmuştur.



Şekil 2. Peletler ve üzerindeki su damlacıkları

3 BULGULAR

3.1 pH'ın Etkisi

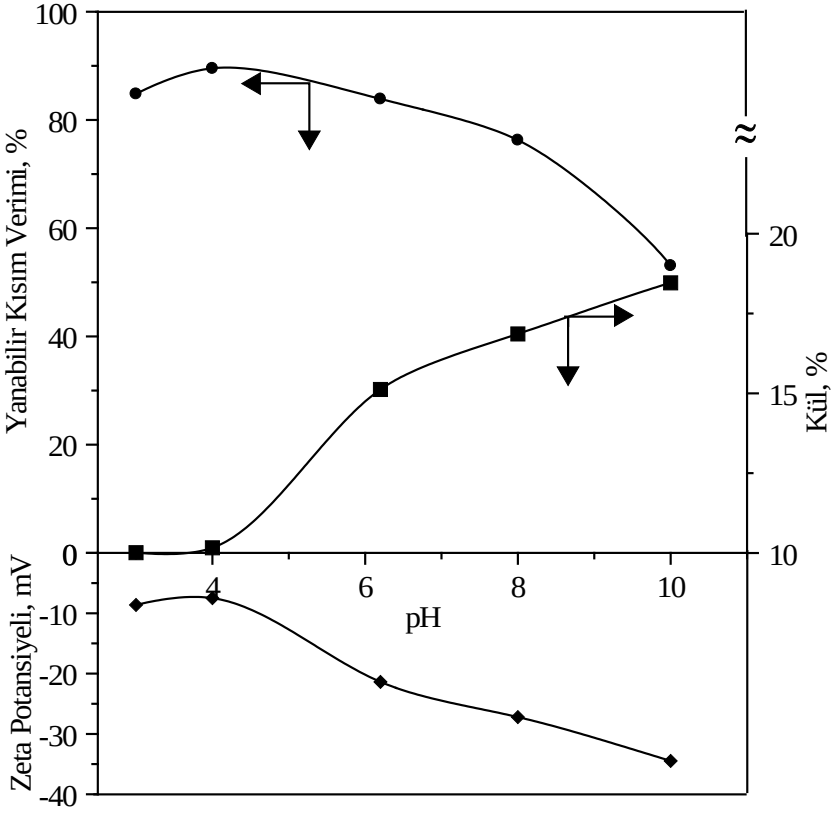
Kömürün hidrofobik flokülasyonuna pH'ın etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde sodyum silikat miktarı ve gazyağı miktarı sırasıyla 80 kg/ton ve 2 kg/ton olarak sabit tutulmuştur ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Düşük pH değerlerinde flokların kül içeriklerinin de düşük olduğu görülmektedir. Yanabilir kısım veriminin de düşük pH'ta yüksek olduğu tespit edilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümleri tanelerin yüzey yüklerinin ölçülen tüm pH aralığında negatif olduğunu hatta düşük pH değerlerinde bu değerin mutlak değerinin azaldığını göstermektedir. Şöyle ki süspansiyonun doğal pH değeri olan 6,2'de tanelerin yüzey yükü -21,4 mV iken pH=4'te bu değer -7,5 mV olmaktadır. Bu nedenle en düşük kül içeriği ve en yüksek yanabilir kısım verimi değerlerinin elde edildiği pH=4 değerinin en uygun değer olduğu tespit edilmiştir.

pH'ın kömür tanelerinin yüzey yüklerini kontrol eden en önemli parametre olduğu bilinmektedir (Leong ve Boger, 1990) ve yüzey yüklerinin azalması ile taneler arası itme kuvveti de azalmaktadır. Ancak hidrofobik flokülasyonda asıl önemli olan taneler arası hidrofobik çekim kuvvetidir (Pashley vd., 1985; Parker vd., 1993). Temas açısı ölçümleri yüzeylerin oldukça hidrofobik olduğunu göstermektedir. pH'ın 10, 6,2 ve 4 değerleri için flok yüzeylerinde ölçülen temas açıları sırasıyla 122°, 124º ve 126° olarak ölçülmüştür. Choung ve diğerleri (2000), kömür kazanımında en etkili parametrenin yüzeylerinin hidrofobisitesinin olduğunu belirtmişlerdir.

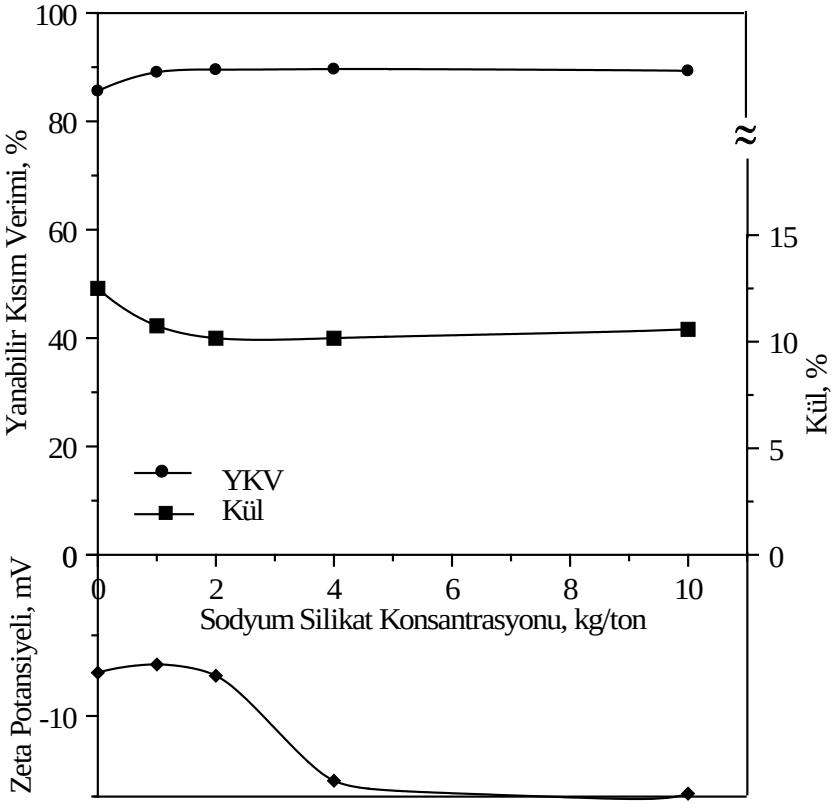
3.2 Sodyum Silikat Konsantrasyonunun Etkisi

Kömürün hidrofobik flokülasyonuna sodyum silikat konsantrasyonunun etkisinin belirlenmesi için pH=4'te 80 kg/ton gazyağı ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen bulgular Şekil 4'te verilmiştir. Sisteme 1 kg/ton sodyum silikat ilave edildiğinde yanabilir kısım verimi çok az bir artış göstererek % 89'a yükselmiş kül içeriği ise % 12,5'ten % 10,74'e düşmüştür. Bu nedenle sodyum silikatın 1 kg/ton'luk konsantrasyonu optimum değer olarak kabul edilmiştir.

Zeta potansiyeli ölçümleri sodyum silikat konsantrasyonunun artmasıyla tanelerin yüzey yüklerinin de arttığını göstermektedir. Benzer bir durum Albit minerali ile yapılan diğer çalışmalarda da belirtilmektedir (Kurşun, 2010). Ancak yüzey yüklerindeki bu artış hidrofobik flokülasyonu olumsuz yönde etkilememiştir. Süspansiyonun yüzey gerilimi ise çok fazla değişiklik göstermemiş ölçülen temas açılarının ise yine 114º ila 130° arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. Yanabilir kısım verimi, zeta potansiyeli ve kül değerlerinin pH'a bağlı değişimi (80 kg/ton gazyağı, 2 kg/ton sodyum silikat)



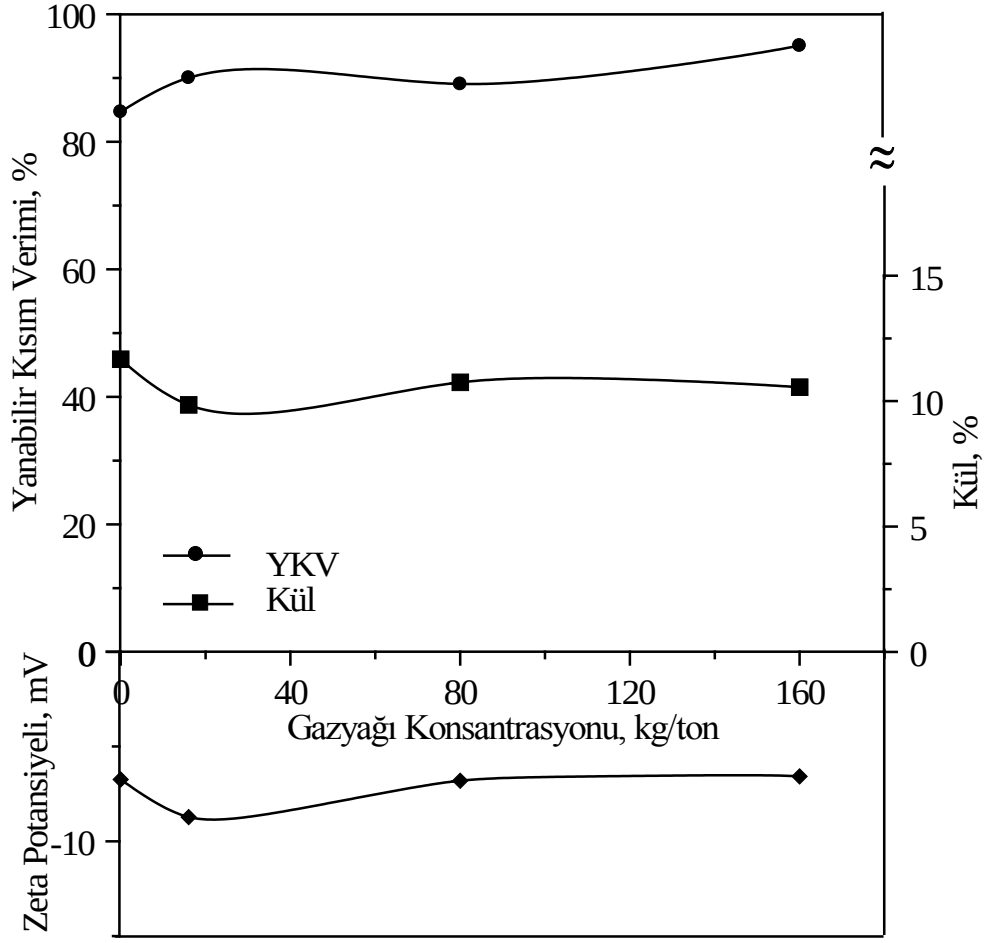
Şekil 4. Yanabilir kısım verimi, zeta potansiyeli ve kül değerlerinin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı değişimi (pH=4, 80 kg/ton gazyağı)

3.3 Gazyağı Konsantrasyonunun Etkisi

Şekil 5'te gazyağı konsantrasyonunun kömürün hidrofobik flokülasyona etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu deneyler pH=4'te ve 1 kg/ton sodyum silikat varlığında yapılmıştır. Şekil 5'ten gazyağı konsantrasyonunun artmasıyla yanabilir kısım verimi değerlerinin bir miktar artış gösterdiği kül içeriğinin ise azaldığı görülmektedir. Gazyağının 16 kg/ton konsantrasyon değeri için % 9,8 kül içerikli floklar elde edilmiş olup bu değer ulaşılan en düşük kül içeriği değeridir.

160 kg/ton gazyağı konsantrasyonunda elde edilen flokların yanabilir kısım verimi % 95'e ulaşmaktadır. Ancak, 160 kg/ton gazyağı konsantrasyon değerinde elde edilen flokların kül içeriğinin % 10,5 olduğu ve gazyağı sarfiyatının 10 kat daha fazla artacağı dikkate alındığında optimum gazyağı miktarının 16 kg/ton olduğu görülmektedir.

Zeta potansiyeli ölçümlerinden gazyağı miktarının artması ile tane yüzeylerinin yüklerinde belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümlerinde de belirgin bir farklılık görülmediği için değerler burada verilmemiştir.



Şekil 5. Yanabilir kısım verimi, zeta potansiyeli ve kül değerlerinin gazyağı konsantrasyonuna bağlı değişimi (pH=4 ve 1 kg/ton sodyum silikat)

4 SONUÇLAR

Ermenek kömürü üzerinde hidrofobik flokülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde pH, sodyum silikat konsantrasyonu ve gazyağı konsantrasyonu gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Ayrıca, zeta potansiyeli, yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümleri de yapılmıştır.
Yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler neticesinde;

- Optimum pH değerinin 4 olduğu tespit edilmiş olup bu değerde kömür yüzeylerinin elektriksel yükü -7,5 mV, temas açısı 126º, yanabilir kısım verimi % 89 ve kül içeriği %10,16 olarak belirlenmiştir.
- Optimum sodyum silikat konsantrasyonu 1 kg/ton olarak bulunmuş ve bu değerin üzerindeki konsantrasyonlarda flokların yanabilir kısım verimi ve kül içerikleri çok fazla bir değişiklik göstermemiştir.
- Gazyağı miktarının artması ile yanabilir kısım verimi artmış bununla birlikte kül içerikleri azalmıştır. En uygun gazyağı konsantrasyonunun 16 kg/ton olduğu belirlenmiştir. Elde edilen flokların kül içeriği % 9,8 olup % 90 yanabilir kısım verimi ile kazanılmışlardır.
- Süspansiyonun yüzey gerilimi ölçümlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.
- Kömür yüzeyleri yüksek hidrofobisiteye sahip olup ölçülen temas açısı değerleri 114º ila 130º arasında değişiklik göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki desteklerinden dolayı yazar Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (BAP) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Koh, PTL, and Warren, LJ, 1977. Flotation of floes of ultrafine scheelite, *Trans. Inst. Min. Metall*., 86, pp. C94-95.

Song, S and Trass, O, 1997. Floc-flotation of the Prince Coal with simultaneous grinding and hydrophobic flocculation in a szego mill, *Fuel*, 76, pp. 839-844.

Song, S, Valdivieso, AL and Bahena, JLR, 1999, Hydrophobic flocculation applied to fine mineral and coal processing, *23th Convencion* AIMMGM.

Leong, YK and Boger, DV, 1990. Surface chemistry effects on concentrated suspension rheology, *Journal of Colloid Interface Science*, 136, pp. 249-258.

Parker, JL, Yaminsky, VV, and Claesson, PM, 1993. Surface forces between glass surfaces in cetyltrimethylammonium bromide solutions, *J. Phys. Chem.*, 97, pp. 7706-7710.

Pashley, RM, McGuiggan, PM, Ninham, BW and Evans, DF, 1985. Attractive forces between uncharged hydrophobic surfaces–direct measurements in aqueous-solution. *Science*, 229, pp. 1088-1089

Koca, H, 1998. Zonguldak lavvarı ince kömürlerinin selektif flokülasyon ile zenginleştirilmesi, *11. Kömür Kongresi*, 10-12 Haziran Bartın-Amasra, s. 111-120.

Choung, J, Xu, Z, Szymanski, J, 2000. An integrated approach for coal tailings management, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 78, pp. 780-784.

Kurşun, I, 2010. Determination of flocculation and adsorption-desorption characteristic of Na-feldispar concentrate in the presence of different polymers, *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 44, pp. 127-142.

Ucbeyiay, H, 2012. Hydrophobic flocculation and Box–Wilson experimental design for beneficiating fine coal, *Fuel Processing Technology*, 106, pp. 1-8.

Malatya-Arguvan Linyitlerinin Gravite Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi

Beneficiation of Arguvan (Malatya) Lignite Utilizing Gravity Methods

A. Aksoğan Korkmaz,
İnönü Üniversitesi, Malatya MYO, Maden Teknolojisi Bölümü, 44100, Malatya

İ. Bentli, H. Sis
İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampüs, 44280, Malatya

ÖZET Malatya Arguvan-Parçikan linyiti, düşük kalorifik değeri, yüksek kül ve kükürt içeriği nedeniyle sınırlı kullanım alanına sahiptir. Linyitin kalitesini arttırmak amacıyla, öncelikle farklı tane sınıfında yıkanabilirliği incelenmiştir. Yıkama eğrilerinden linyitin yıkanabilirliğinin genelde zor olduğu, ancak 1.68 gr/cm^3 yoğunlukta kontrollü yıkama ile mümkün olabileceği belirlenmiştir. İri boyutta sallantılı masa, ince boyutta güncel yöntem olan Falcon konsantratör kullanılarak linyitten külün uzaklaştırılması için gravite zenginleştirilmesi uygulanmıştır. Sallantılı masa deneyleri sonucunda %40.95 küllü linyitten, %30.2 küllü lave %81.1 yanabilir verimle elde edilmiştir. Zenginleştirme deneyleri sonucunda linyitin sanayi yakıtı olarak kullanılabilmesi amacıyla, yapılması gereken çalışmalar önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Linyit, sallantılı masa, Falcon konsantratör, gravite zenginleştirmesi

ABSTRACT Arguvan-Parçikan (Malatya) lignite has very limited usage due to low calorific value, high ash and sulfur content. In order to increase the quality, washability of the lignite was investigated at different size fractions. Washability curves exhibited that the lignite has a difficult washing characteristics, but washing could be possible at about 1,68 g/cm^3 medium density under strictly controlled conditions. Ash removal from the lignite was also investigated by utilizing shaking tables for large size and by Falcon concentrator for finer size fractions. Shaking table results showed that, from the lignite of 40.95 % ash, a cleaner coal of 30.2% ash could be achieved with 81.1% combustible recovery. Based on the achieved results, further investigations on the lignite were suggested for its utilization in several industrial fields.

Keywords: Lignite, shaking table, Falcon concentrator, gravity concentration

1 GİRİŞ

Kömür, organik ve inorganik maddelerin kompleks bir karışımıdır. Mineral madde olarak da isimlendirilen kömürün inorganik kısmı, değişik kompozisyonlarda ve türlerde olabilmektedir. Kömürlerin kükürt ve mineral madde içerikleri, kömürün kullanımını belirleyen en önemli faktörlerdendir. Yüksek kül ve kükürt içeriği, kömürün kullanılmasında her aşamada ciddi sorunlar ortaya çıkarmaktadır (Laskowski 2001, Özbayoğlu ve Özbayoğlu 2006).

Türkiye yüksek kül ve kükürt içeren, düşük kalorifik değere sahip, rezervi yüksek linyit yataklarına sahiptir. Kömürlerin bu haliyle kullanılması ile önemli teknolojik ve çevresel problemler ortaya çıkmaktadır (Haykırı vd. 2011).

Malatya Parçikan linyitleri, enerji ve endüstride kullanılabilir özellikte, önemli bir

rezerve sahiptir (Önal 1995). Fakat düşük kalorifik değeri, yüksek kül ve kükürt içeriği bu linyitlerin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu yüzden, kömürün kalitesinin ve kalorifik değerinin arttırılması gerekmektedir.

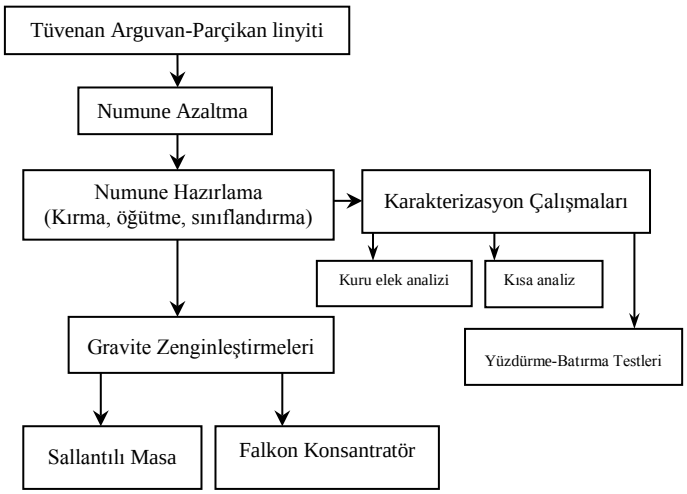
Literatürde Parçikan linyitiyle ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Sarıkaya vd (1995) ve Birinci (2013) Parçikan linyitine yüzdürme-batırma testi uygulamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, Parçikan kömürünün zor yıkanabilir bir kömür olduğu ve optimum ayırma yoğunluğunun 1.55 g/cm^3 olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, Malatya-Parçikan linyitlerinden istenmeyen içeriklerin gravite yöntemleriyle uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır.

2 MALZEME

Deneysel çalışmalarda kullanılan Arguvan-Parçikan linyiti, yeraltından çıkarılan kömürün boşaltıldığı silonun çıkışından belirli zaman periyotlarında alınmıştır.

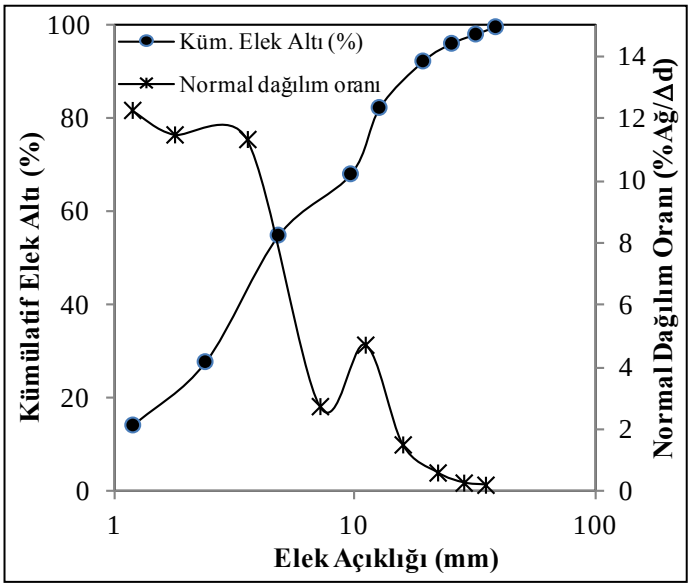
Laboratuvar çalışmaları kapsamında linyit örneğinin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, elek analizi, kısa kömür analizi ve yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Laboratuvar çalışmalarında takip edilen deney akım şeması

2.1 Elek Analizi

Linyit örneğinin orijinal bazda elek analizi sonuçları Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde orijinal baza göre, Arguvan linyitlerinin yaklaşık %80'inin 12 mm boyutunun, normal dağılım oranı grafiğine göre ise, örneklerin büyük oranda 19 mm boyutunun altında olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Orijinal bazda Arguvan-Parçikan linyitinin elek analizi

2.2 Kısa Kömür Analizi

Arguvan-Parçikan linyitine ait kısa analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir. Örneğin kaba nem içeriği, oda sıcaklığında sabit tartıma gelene kadar bekletilerek hesaplanmıştır. Nem analizi ASTM D 3173, kül analizi ASTM D 3174 ve uçucu madde analizi ASTM D 3175'e göre gerçekleştirilmiştir. Yanabilir kükürt ve sabit karbon içeriği ise Leco SC-144DR ile ölçülmüştür. Kalori değeri Parr marka kalorimetre bombasında yakılarak elde edilmiştir.

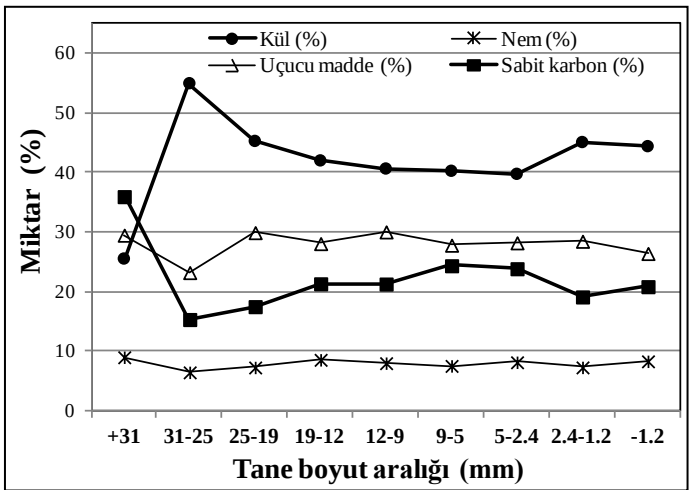
Orijinal nem oranı göz önünde tutularak yapılan dış görünüş linyit sınıflamasına göre, %22.68 nem içeren Arguvan linyiti Sert Linyit sınıflana girmektedir. Sert linyitler parça sağlamlığı ve yıkanabilirliklerin nispeten iyi olmasıyla bilinmektedir (Kemal ve Arslan 2010).

Çizelge 1. Arguvan linyitinin kısa analizi

İçerik	Orijinal Bazda	Havada Kuru Bazda
Kül (%)	35.15	41.84
Nem (%)	22.68	7.97
Uçucu madde (%)	20.48	24.66
Yanabilir Kükürt (%)	3.20	3.52
Sabit Karbon (%)	18.49	22.01
AID (kcal/kg)	2240	2880

Arguvan linyitinin diğer bir karakteristik özelliği de kül içeriklerinin %41.84 gibi yüksek bir orana sahip olmasıdır. Normalde sert linyitlerde bu kadar yüksek oranda kül içeriği ve düşük ısıl değer beklenen bir durum değildir. Linyitin karakteristik özelliklerinin daha iyi anlaşılması için ayrıntılı petrografik analizin yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Havada kuru baza göre gerçekleştirilmiş olan Arguvan linyitinin tane boyutuna göre kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon değişimleri ise Şekil 3'de görülmektedir.



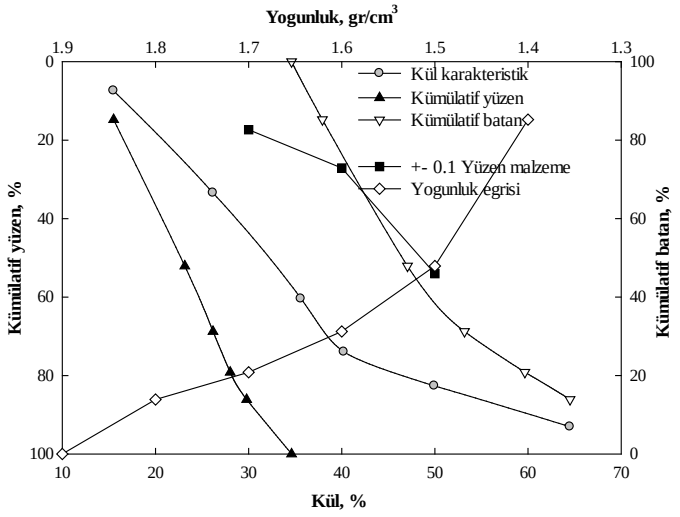
Şekil 3. Arguvan linyitinin tane boyutuna göre havada kuru bazda kısa analiz sonuçları

Şekil 3 incelendiğinde, Arguvan linyitinde 19 mm'den büyük boyutlar dışında kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon içeriklerinde anlamlı bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. 19 mm'den iri malzeme miktarı ise sadece %7.35'dir. Dolayısıyla tane boyutu değişimine göre içeriklerde belirgin bir farklılık olmadığı sonucu çıkarılabilir.

2.3 Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Yüzdürme-batırma deneyleri için havada kuru kömür örneği -31.5+19 mm, -19+4.75 mm ve -4.75-0.5 mm olmak üzere 3 boyut grubuna ayrılmıştır. Daha sonra $ZnCl_2$ ile yoğunlukları 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8 g/cm^3 olan ağır ortamlar hazırlanmış ve tüm boyut gruplarına yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır.

Kömür örnekleri yüzdür-batırma testinden önce suyla iyice yıkanarak, tüm gözeneklerinin su ile doldurulması sağlanmıştır. Her sıvının yüzeni ve son sıvının batanı iyice yıkanarak kurutulmuş, tartılmış, külleri tespit edilmiş ve yüzdürme-batırma eğrileri çizilmiştir. 3 boyut grubuna ait batan ve yüzen kömürler hesapla birleştirilerek, tüvenan Arguvan-Parçikan linyitine ait yüzdürme-batırma eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Arguvan-Parçikan linyitinin Henry-Rheinhard yıkanabilirlik eğrileri

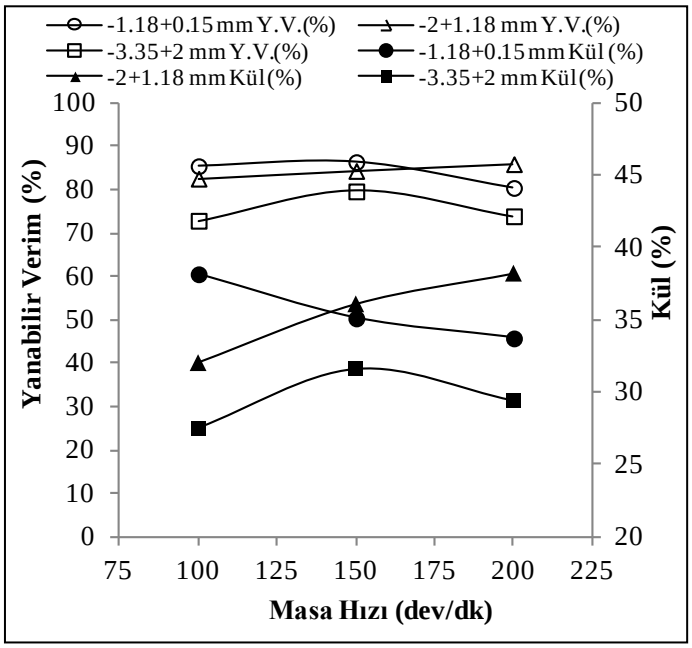
±0.1 Yoğunlukta yüzen malzeme miktarına göre, 1,7 gr/cm^3 yoğunlukta 17.3 olan bu değer linyitin yıkabilirliğinin olukça zor olduğunu göstermektedir. Yine kül karakterisrik eğrisi de yukarıdan aşağıya doğru yavaş yavaş külü artarak inmekte ve sadece 1.68 gr/cm^3 yoğunlukta bir bükülme göstermektedir. Bu durum linyitin dar tane boyutunda, çok kontrollü olarak yıkanması gerektiğini göstermektedir.

3 ZENGİNLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

3.1 Sallantılı Masa Deneyleri

Sallantılı masa deneylerinde laboratuar tip klasik Deister tipi masa kullanılmıştır. Deneyler için tüvenan linyit örneği kapalı devre bilyalı değirmen ve elek seti kullanılarak, -3.35+2 mm, -2+1.18 mm ve -1.18+0.15 mm olmak üzere iri, orta ve ince boyut gruplarına ayrılmıştır. Bu boyut gruplarına 100, 150, 200 dev/dk masa hızlarında ve 3, 6, 9° masa eğimlerinde sallantılı masa deneyleri uygulanmıştır.

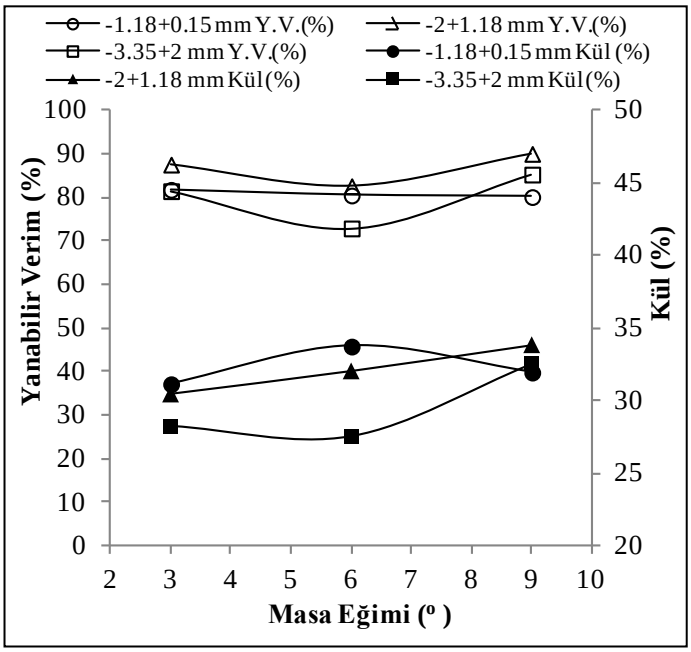
Deneyler sonucunda, her bir boyut grubuna ait en uygun sarsıntı hızı ve eğim sonuçları, kül ve yanabilir verim açısından değerlendirilmiştir. Tane boyutlarına göre, sarsıntı hızı değişiminin kül ve yanabilir verimine etkileri Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Tane boyutuna göre sarsıntı hızı değişiminin, kül ve yanabilir verimine etkisi

Şekil 5 incelendiğinde, literatüre uygun olarak ince boyutlarda yüksek sarsıntı hızında, iri boyutlarda ise düşük masa hızlarında çalışılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir (Önal 1980, Wills 1979). Yine literatüre uygun olarak lave külü (%) ile yanabilir verim arasında ters bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Laskowski 2001) . Üç boyuttan alınan en iyi lavelerin birleştirilmesiyle %31.3 küllü lave %79.8 yanabilir verimiyle kazanılmaktadır.

Optimum masa hızlarında gerçekleştirilen masa eğimi deneylerinde, kül ve yanabilir verim değişimini gösteren ilişki Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Tane boyutuna göre masa eğimi değişiminin, kül ve yanabilir verimine etkisi

Şekil 6'dan görüldüğü gibi, tüm boyutlarda lave külü açısından düşük eğimde çalışılması gerektiği anlaşılmaktadır. Masa eğimi sonuçları masa hızı sonuçlarından çok daha iyidir. Bu durum ayırımda masa eğiminin daha etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Sallantılı masa deneyleri sonucunda %40.95 küllü beslenen linyit, %30.2 küllü lave ve %81.1 yanabilir verimiyle elde edilebilmektedir.

3.2 Falcon Konsantratör Deneyleri

İnce boyuttaki kömürden kükürtün uzaklaştırılmasında, köpük flotasyonu yerine son zamanlarda gelişmiş gravite ayırıcıların kullanıldığı görülmektedir (Venkatram vd. 1995). Falcon konsantratörü, ince taneli kömürün temizlenmesinde kullanılan etkin bir gravite ayırıcısıdır (Honaker vd. 1996). Falcon konsantratörün ince boyutlu kömürlerde kullanılabileceği, Oruç vd (2010)

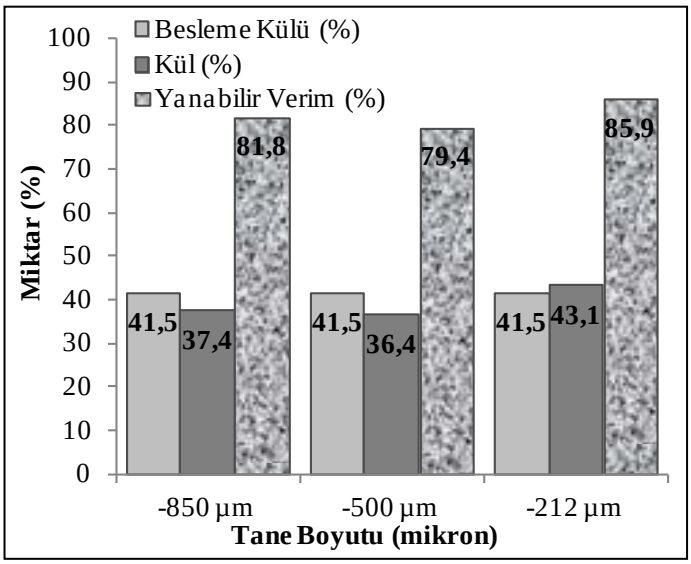
ve Boylu (2013)'un çalışmalarında görülmektedir.

Falcon konsantratörü, yüksek santrifüj kuvvetlerin etkisinde yoğunluğa göre ayırım yapan bir cihazdır. Üstten beslenen malzeme, dönüş hareketinin yarattığı yüksek yerçekimi kuvvetinin etkisi ile yoğunluk farkına göre konik gövdede tabakalaşmaktadır. Malzeme üst bölgeye ulaştığında yoğunlukça yüksek olan mineraller, yatay dairesel akerdeon şeklindeki toplayıcıda birikmekte, birikmiş malzeme belirli aralıklarla yıkanarak buradan alınmaktadır (Kemal ve Arslan 2010, Yıldız 2010).

Falcon deneylerinde Şekil 7'de gösterilen Falcon L40 tipi ayırıcı kullanılmıştır. Falcon konsantratörde optimum tane boyutu ve merkezkaç kuvveti (G) test edilmiştir. 44 G kuvveti sabit tutularak tamamı 850, 500 ve 212 mikronuna altına indirilen linyit örneğine ait deney sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir.

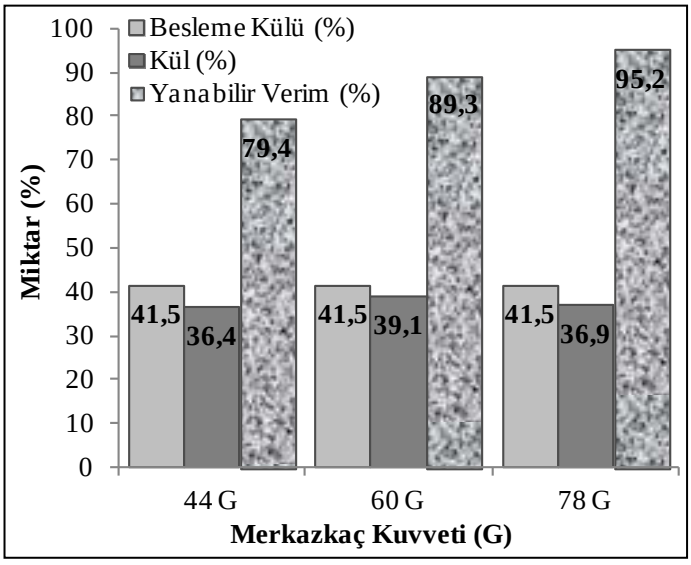
Şekil 7. Falcon L40 konsantratörün görünüşü

Şekil 8'den görüldüğü gibi, Falcon konsantratör ile 500 mikron altında, besleme külü %41.5'den %36.4'e düşürülmektedir. Sonuçlar ayırımın beklenildiğinin aksine iyi olmadığını ve daha üzerinde çalışılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 8. Falcon konsantratörde tane boyuna göre kül ve yanabilir verim değişimi

Falcon konsantratörde önemli bir çalışma parametresi olan merkezkaç kuvvetinin lave külü ve yanabilir verim üzerine etkisi Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. G kuvvetinin belirlenmesi için yapılan Falcon deneyleri sonuçları

44 G, 60 G, 78 G merkezkaç kuvvetlerinde gerçekleştirilen Falcon konsantratör deneylerinde, G kuvveti arttıkça lave külünde belirgin bir değişiklik görülmezken, yanabilir verim değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak çalışmada hedef, Arguvan-Parçikan linyitinin kül içeriğini azaltmak olduğundan Falcon konsantratörün bu amaca cevap veremediği görülmektedir. Bununla beraber Falcon konsantratör sonuçlarının,

literatürdeki çalışmalarla uyum içerisinde olduğu da burada belirtilmelidir (Oruç vd 2010, Boylu 2013).

4 SONUÇLAR

Malatya Arguvan-Parçikan linyitleri önemli rezerve sahip işletilen bir ocaktır. Dolayısıyla istenmeyen safsızlıkların uzaklaştırılarak daha kaliteli ürün alınması piyasada daha kolay pazarlanmasına neden olacaktır.

Arguvan linyit üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda;

- %22.68 orijinal nem oranına sahip linyit, dış görünüşüne göre sert linyit sınıfına girmektedir.
- Ancak linyitin havada kuru baza göre, yüksek kül (%41.84 kül), yanabilir kükürt (%3.52 S) ve düşük ısıl değere (2880 kcal/kg) sahip olması, bu sonucu desteklememektedir.
- 1,7 gr/cm^3 de ±0,1'de yüzen malzeme değeri 17.3'tür. Bu değer linyitin yıkanabilirliğinin daha önceki çalışmalara uygun olarak çok zor olduğunu göstermektedir.
- Sallantılı masa deneyleri sonucunda linyit, %30.2 küllü lave ve %81.1 yanabilir verimle kazanılmaktadır.
- Sallantılı masa sonuçları külün ince boyutlarda serbestleştiğini ve böylece ayırımın zorda olsa mümkün olabildiğini göstermektedir.
- Sallantılı masa sonuçlarının Falcon konsantratör sonuçlarından daha iyi olduğu belirlenmiştir.
- Kendine has özellikleriyle linyitin ayrıntılı petrografin analizinin yapılması gerekmektedir. Özellikle külün kaynağının belirlenmesi zorunludur. Böylece külün neden %25'lerin altına indirilemediği ortaya çıkarılabilecektir.

KAYNAKLAR

Birinci, M, 2013. Determination of washability characteristics of Parçikan (Malatya) lignite, *Proceedings of the 17th Inter. Coal Preparation Congress*, s.189-192, İstanbul, Turkey.

Boylu, F, 2013. Modeling of free and hindered settling conditions for fine coal benefication through a Falcon concentrator, *Inter. Journal of Coal Preparation and Utilization*, 33, s.277-289.

Haykırı Açma, H, Yaman, S, Özbek, N, Küçükbayrak, S, 2011. Mobilization of some trace elements from ashes of Turkish lignites in rain water, *Fuel*, 90, 11, s.3447-3455.

Honaker, R,Q, Wang, D, Ho, K, 1996. Application of the Falcon concentrator for fine coal cleaning, *Mining Engineering*, 9, 11, s 1143-1156.

Kemal, M, Arslan, V, 2010. *Kömür Teknolojisi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:033, İzmir, 394 s.

Laskowski, J.S., 2001. *Coal flotation and fine coal utilization*, Elsevier, 368 p.

Oruç, F, Özgen, S, Sabah, E, 2010. An enhanced-gravity method to recover ultra-fine coal from tailings: Falcon concentrator, *Fuel*, 89, s.2433-2437.

Önal, G, 1980. *Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındakı Zenginleştirme Yöntemleri*, İTÜ Yayın No: 1156, İstanbul, 232 s.

Önal, M, 1995. Miocene stratigraphy and lignite potential of the northern part of the Malatya graben basin; East Anatolia-Turkey, *Inter. Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA)*, İzmir.

Özbayoğlu, G, Özbayoğlu, M.A, 2006. A new approach for the prediction of ash fusion temperatures: A case study using Turkish lignites, *Fuel*, 85, 4, s.545-552.

Sarıkaya, M, Karakuş, M, Kumral, M, 1995. The washability characteristics of Malatya (Arguvan-Çobandere) lignite, *International Conference on Mineral Processing: Recent Advances and Future Trends*, New Delhi, India.

Venkatraman, P, Luttrell, G, H, Yoon, R, H, Knoll, F,S, Kow, W, S, Mankosa, M, J, 1995. High efficiency coal preparation: Fine coal cleaning using multi gravity separator. *In Proceedings from An International Symposium of SME*, Littleton, Colarado, 79-87.

Wills, B.A., 1979. *Mineral Processing Technology*, Pergamon, London, 584 s.

Yıldız, N, 2010. *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme*, 2.Baskı Ertem Basım, Ankara, 690 s.

Selimoğlu (Divriği-Sivas) Linyitlerinin Yıkanabilirliği
Washability of Selimoglu (Divrigi-Sivas) Lignites

M. Birinci, H. Sis

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya, Türkiye

ÖZET Bu çalışma, yüksek kül (kuru kömürde %34,13) ve kükürt içerikli (kuru kömürde %4,76) Selimoğlu (Divriği-Sivas) yöresi linyitlerin yıkama olanaklarını kapsamaktadır. Tane boyutuna göre sınıflandırılan tüvenan kömür örnekleri üzerinde ayrı ayrı yüzdürme-batırma deneyleri yürütülmüştür. Yüzdürme ve batırma deneyleri sonucunda, en temiz kömür 1,40 g/cm^3 yoğunlukta elde edilmiştir. Elde edilen bu ürünler düşük kül (maksimum %10) ve yüksek ısıl değere (minimum 6000 kcal/kg) sahiptir. Tüvenan linyit örneğinin kül oranında belirgin bir azalma elde edilmiş ise de kükürt içeriğinde anlamlı bir düşüş elde edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Yıkanabilirlik, kömür, tüvenan linyit

ABSTRACT This study presents the results of the washability tests on the Selimoglu (Divrigi-Sivas) region lignite which has high ash content (34.13% on dry based) and high total sulfur content(4.76% on dry based). The float and sink tests were conducted on the lignite sample with different particle size fractions. After float and sink tests, the cleanest coal has been obtained at 1.40 specific gravity. The products obtained from float-sink test have low ash content (max. 10%) and high calorific value (min. 6000 kcal/kg). Although ash content of raw lignite sample can be reduced significantly, no appreciable reduction was achieved in sulfur content.

Keywords: Washability, coal, raw lignite

1 GİRİŞ

Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre, dünya kömür üretiminde son on yılda toplam %55 oranında artış olduğu; son on yıldaki ortalama yıllık artış oranının ise %4,5-5 düzeyinde olduğu belirtilmektedir (ETBK, 2013; IEA, 2014). Son yıllarda dünya kömür üretimde görülen bu artışa parallel bir artışın Türkiye'de de yaşandığı görülmektedir. Bu bakımdan Türkiye'nin dünya kömür üretim ve tüketimindeki payı azımsanmayacak seviyeye ulaşmış durumdadır ve bu artış trendinin önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir.

Türk linyitlerinin ısıl değeri oldukça düşüktür. Tespit edilen linyit rezevleri genel olarak 1000 kcal/kg ile 4200 kcal/kg arasında değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık %90'ının alt ısıl değeri 3000 kcal/kg'ın altındadır (DPT, 2001; Anom, 2013). Bu bakımdan, yüksek ısıl değerlikli kömürlerin ekonomik ve daha rasyonel kullanımı önem kazanmaktadır.

Selimoğlu linyit sahası, Divriği(Sivas) ilçesinin güneydoğu kısmında yer almaktadır. Saha ile ilgili rezerv geliştirme çalışmaları henüz tamamlanmamış olup, MTA'nın daha önce yapmış olduğu çalışmalara göre sahada 4000-5000 kcal/kg ısıl değere sahip yaklaşık 650 bin ton linyit rezervi (görünür+muhtemel) bulunduğu tespit edilmiştir (ORAN, 2012; Anom, 2014). Bu rezerv içerisinde ısıl değer bakımından önem arz eden ince ve merceksi kömür damarları bulunmaktadır. Karayiğit ve Whateley (1997) yaptıkları bir çalışmada, Selimoğlu linyitlerini çeşitli petrografik ve kimyasal özellikleri bakımından karakterize etmişlerdir. Kömür damarından alınan

örneklerin yüksek ısıl değere (5606 kcal/kg) ve düşük nem (%1,68) oranına sahip olduğunu; ancak yüksek kül (%24,04) ve kükürt (%8,92) içerdiğini vurgulamışlardır.

Orijinal kömürün kalorifik değerinin nispeten yüksek olması bu denli küçük rezervlerin işletilmesine günümüz koşullarında imkan verebilmektedir. Bölgede gözlenen linyit damarlarının ekonomik olanları, küçük çaplı kapalı işletmelerle üretilmektedir. Ancak kömür damar kalınlığının düşük olmasından dolayı (ortalama 70-90 cm) seçimli kazı yapılamamaktadır. Bundan dolayı üretim sırasında kazılan kömüre önemli miktarda tavan ve taban formasyonları ile ara kesmeler karışmakta, bu nedenle de kömür kalitesi önemli oranda düşmektedir. Ayrıca tüvenan şekliyle satışa sunulan bu kömürler, zaman zaman piyasanın talep ettiği standartların dışına çıkmaktadır. Bu şekliyle üretilen kömürler, nispeten yüksek kül ve kükürt içeriğine rağmen, yüksek ısıl değerinden dolayı kısıtlı olsa bile tüvenan şekliyle doğrudan doğruya pazarlanabilmektedir.

Bununla birlikte, kömür kalitesini iyileştirme ve pazar çeşitliliğini arttırma arayışlarının kömür üreticileri tarafından devam ettirildiği görülmektedir. Kül ve kükürt içeriği bakımından kömür kalitesinin iyileştirilmesi durumunda, kömürün daha ekonomik ve rasyonel kullanımının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Günümüzde kömür kalitesini iyileştirmede birçok etkin kömür hazırlama ve yıkama yöntemi bulunmaktadır. Kömür yıkanmasında temel amaç, gerek kömür oluşumu esnasında kömür katmanları arasına yerleşmiş ince ara kesmeleri, gerekse kömür üretimi esnasında kömüre karışan tavan ve taban taşlarını kömürden olabildiğince uzaklaştırmaktır. Kömür yıkama yöntemleri içerisinde bilhassa yoğunluk farkına dayalı yıkama yöntemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir (Kemal ve Arslan, 2010).

Kömür hazırlamada, yıkama yönteminin ve kullanılacak donanımın saptanması amacıyla yüzdürme-batırma testleri yapılır. Bu testler, tane boyutuna göre sınıflandırılmış kömür numuneleri üzerinde yürütülür. Test sonuçları, belirli bir ayırma yoğunluğunda hangi kalitede ne miktar kömür elde edileceğini ve/veya gereksinim duyulan bir kömür kalitesi için ayırma yoğunluğunun ne olması gerektiği konusunda oldukça önemli ve yararlı bilgiler sunmaktadır.

Diğer taraftan, kömürün tüvenan haliyle satışı ile yıkama sonrası elde edilen temiz kömür satışı arasında sağlıklı bir değerlendirmede bulunabilmek ve gelir-gider dengesi üzerine iktisadi bir analizin yapılabilmesi için öncelikle kömürün yıkanabilme özelliğinin mutlaka bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmaya konu olan Selimoğlu sahası kömürlerin yüksek kül ve kükürtten arındırılarak daha kaliteli hale getirilebilmesi için yıkamaya elverişli olup olmadıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tespit için öncelikle yüzdürme-batırma testlerine ve bu testlerden elde edilecek bulgulara gereksinim vardır. Ancak bu konularla ilgili olarak daha önce yapılmış herhangi bir literatür çalışmasına rastlanılmamıştır.

Bir yandan bu konulardaki bilimsel çalışma eksikliğini gidermek, bir yandan da mevcut koşulları daha da iyileştirme arayışında olan kömür sektörüne faydalı olması amacıyla hazırlanan bu çalışmada, Selimoğlu kömürlerindeki yantaş ve ara kesmelerin yalnızca tane boyutuna göre sınıflandırmayla uzaklaştırılabilme olanakları ve yıkanabilirliği araştırılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu çalışmada, deney numunesi olarak, Selimoğlu (Divriği-Sivas) yöresi kömürler kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen kömür sahasında kurulu bulunan kırma-eleme tesisinde %90'ı 10 mm'nin altına kırılmış kömürden yaklaşık 30 kg temsili numune alınmıştır. Kömür numunesinin kısa analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, kömürün yüksek kül ve kükürt içeriğine rağmen düşük nem ve yüksek ısıl değere sahip olması dikkat çekicidir.

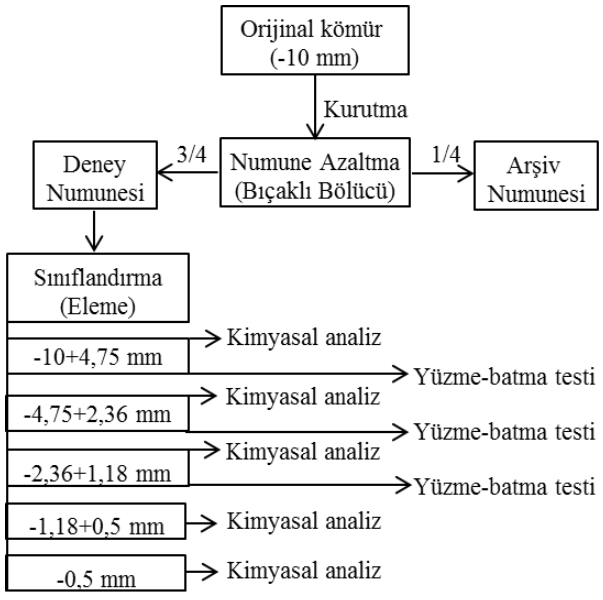
Çizelge 1. Kömür numunesinin kısa analizi.

Bileşenler	Havada kuru kömür	Kuru kömür
Nem, %	7,74	-
Kül, %	31,26	34,13
Uçucu madde, %	18,03	20,76
Sabit karbon, %	39,11	40,33
Kükürt, %	3,86	4,78
[1]ÜID, Kcal/kg	4853	5050

[1]Üst Isıl Değer

2.2 Numune Hazırlama

Yüzdürme-batırma testlerinde kömür tane boyutu önemli bir etkendir ve bu test öncesi kömür tane iriliğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla tüvenan kömür örneği çeşitli tane boyu gruplarına sınıflandırılmıştır. Yaklaşık %90'ı 10 mm nin altında olan tüvenan kömür örneği, bıçaklı bölücü yardımıyla dört parçaya ayrılmış, ¾ lük parça deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deney numunesi ASTM E-11 serisi 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm ve 0,5 mm açıklıklı eleklerden elenerek sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonrası -10+4,75 mm, -4,75+2,36 mm, -2,36+1,18 mm, -1,18+0,5 mm ve -0,5 mm tane boyu aralığında kömür örnekleri elde edilmiştir. Yüzdürme-batırma deneyleri için numune hazırlama akış şeması Şekil l'de özetlenmiştir. Bütün deneysel çalışmalarda kuru kömür örnekleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Numune hazırlama ve deneysel çalışma akış şeması.

2.3. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Ağır ortam sıvısı olarak teknik saflıkta $ZnCl_2$ katısının sulu çözeltisi kullanılmıştır. Seçilen sıvı yoğunlukları en düşük 1,3 ve en yüksek 1,7 g/cm^3 olup, yoğunluklar 0,1 aralıkla artırılmıştır. Yüzdürme-batırma deneyleri üç tane boyu aralığındaki kömür örnekleri üzerinde (-10+4,75 mm, -4,75+2,36 mm, -2,36+1,18 mm) yürütülmüştür. Kömür gözeneklerine ağır sıvı soğurumunu en aza indirmek için, her bir fraksiyon deney öncesi yaklaşık 1 saat suda ıslatılmıştır. Bu işlem sırasında kömür örneklerinin suda dağılıp parçalanmadığı gözlenmiştir. Her bir yüzdürme-batırma deneyi için yaklaşık 1 kg kuru kömür örneği kullanılmıştır.

Yüzdürme-batırma işlemi sonrası elde edilen farklı yoğunluk aralığındaki kömürler kurutulup tartılmıştır. Ayrıca bu kömürlerin kül oranları, toplam kükürt üçerikleri ve ısıl değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, bütün deney verileri ve analiz sonuçları yüzdürme-batırma çizelgesi üzerinde özetlenmiştir.

3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1 Sınıflandırılmış Kömürün Analizi

Bu çalışmaya konu olan orijinal kömür numunesi elekler yardımıyla sınıflandırılarak tane boyut dağılımı saptanmış ve daha sonra sınıflandırılmış kömürlerin kül, toplam kükürt ve ısıl değer değişimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Sınıflandırılmış kömürlerin kül yüzdeleri incelendiğinde, en iri ve en ince kömür fraksiyonların kül oranlarının birbirine yakın olduğu, ara fraksiyonların kül oranlarının ise nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, fraksiyonların kül oranlarında çok önemli bir farkın oluşmadığı ve sınıflandırılmış bütün kömürlerin kül oranının orijinal kömürün kül oranına yakın olduğu söylenebilir. Diğer bir ifadeyle, orijinal kömürün elenmesiyle düşük kül içerikli temiz kömür elde edilememektedir. Üretim sırasında kömüre karışan tavan ve taban taşları, ince ara kesme ve yoğun kil/şist bantları içeren kömürlü kısımların yalnızca

kırma ile yeterli oranda serbestleşmemesi bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

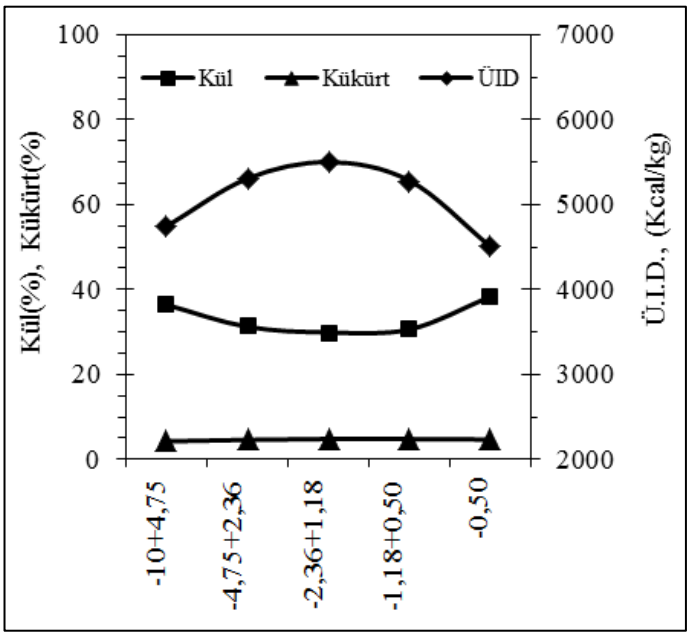
Kül oranının en yüksek olduğu değere (%38,39) en ince kömürde rastlanmış olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü, kömüre her zaman eşlik eden ve kömürün mineral madde içeriğinin önemli bir kısmını oluşturan kil mineralleri kömürden daha fazla kırılgan yapıdadır ve boyut küçültme ile her zaman ince boyuta geçme eğilimindedir.

Sınıflandırılmış kömürlerin ısıl değerindeki değişimler karşılaştırıldığında, bütün tane boyu fraksiyonlarında orijinal kömürün ısıl değerine yakın sayılabilecek benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ancak, en ince kömürün (ki en yüksek kül içeriğine sahip) ısıl değerinin en düşük değerde kaldığı görülmektedir. Kömürün ısıl değerini belirleyen önemli parametrelerden birisi de kömürün mineral madde içeriğidir. Bu bakımdan kül oranı yüksek olan kömürlerin ısıl değerinin düşük çıkmış olması beklenen bir sonuçtur.

Sınıflandırılmış kömürlerin kükürt içeriklerine bakıldığında ise, kömür tane boyutuna bağlı olarak kükürt içeriğinin çok fazla değişmediği görülmektedir. Bilindiği üzere kömürdeki kükürt ve kükürtlü bileşiklerin inorganik ve organik olmak üzere temelde iki ana kaynağı bulunmaktadır. İnorganik kükürt; kömürün bünyesinde piritik, elementel ve sülfatik kükürt şeklinde olabilmektedir. Organik kükürt ise kömürün hidrokarbon yapısına kimyasal olarak bağlıdır. Çizelge 2 ve Şekil 2 incelendiğinde sınıflandırılmış kömürlerin kükürt oranı birbirine çok yakın olduğu ve %4,5 ile %5 civarında bir değer aldığı görülmektedir. İnorganik kükürt bileşiklerinin kömür içerisinde çok ince boyutlarda homojen olarak dağılmış olması, bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

Çizelge 2. Sınıflandırılmış kömürün analizi.

T. Boyu (mm)	Ağ. (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Ü.I.D. (kcal/kg)
-10+4,75	29,35	36,45	4,16	4742
-4,75+2,36	28,25	31,25	4,59	5307
-2,36+1,18	17,04	29,90	4,81	5502
-1,18+0,5	12,77	30,62	4,79	5283
-0,5	12,59	38,39	4,68	4505
Toplam	100,00	33,36	4,27	5070



Şekil 2. Kömür tane boyutuna göre kül, toplam kükürt ve ısıl değer değişimi.

3.2 Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları

Belirli bir yoğunluk aralığında hangi kalitede ne kadar miktar temiz kömür elde edileceğini tespit etmek amacıyla yüzdürme-batırma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde -10+4,75 mm, -4,75+2,36 mm ve -2,36+1,18 mm tane boyutundaki kömür örnekleri kullanılmıştır. Yüzdürme-batırma deney sonuçları ve elde edilen ürünlerin kül, kükürt ve ısıl değer analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgedeki toplam değerler yoğunluk fraksiyonu sonuçlarından yararlanılarak hesapla bulunmuştur.

Çizelge 3.Yüzdürme-batırma deney sonuçları ve analiz değerleri (kuru kömür bazında).

Kömür tane boyutu: *-10+4,75 mm*				
Yoğunluk aralığı	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	ÜID (kcal/kg)
<1,3	0,56	7,73	4,85	7790
1,3-1,4	37,58	10,72	4,69	7282
1,4-1,5	7,24	26,82	4,52	6437
1,5-1,6	5,47	34,53	4,37	4695
1,6-1,7	7,67	42,75	4,13	2316
>1,7	41,48	58,73	3,56	1472
Toplam	100,00	35,54	4,14	4293

Çizelge 3.(devamı) Yüzdürme-batırma deney sonuçları ve analiz değerleri (kuru kömür bazında).

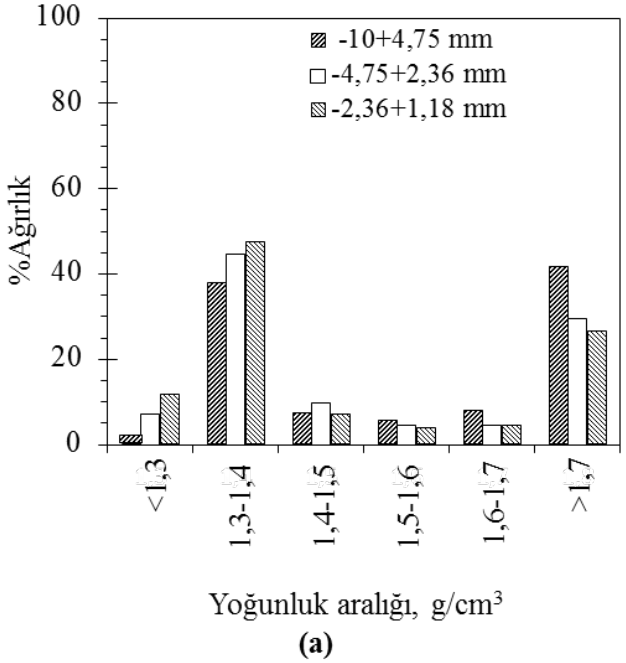
Kömür tane boyutu: *-4,75+2,36 mm*				
Yoğunluk aralığı	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	ÜID (kcal/kg)
<1,3	7,00	6,28	4,88	7460
1,3-1,4	44,63	10,44	4,62	6989
1,4-1,5	9,70	24,78	4,79	5855
1,5-1,6	4,64	33,00	4,54	4571
1,6-1,7	4,64	44,70	4,13	3062
>1,7	29,39	58,15	4,12	1405
Toplam	100,00	28,52	4,48	4976
Kömür tane boyutu: *-2,36+1,18 mm*				
Yoğunluk aralığı	Ağırlık (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	ÜID (kcal/kg)
<1,3	11,44	5,84	4,94	7720
1,3-1,4	47,33	10,24	4,92	7513
1,4-1,5	6,78	25,34	4,60	5766
1,5-1,6	3,75	32,01	4,41	4392
1,6-1,7	4,35	42,80	4,53	2988
>1,7	26,35	59,88	4,68	1340
Toplam	100	26,07	4,80	5478

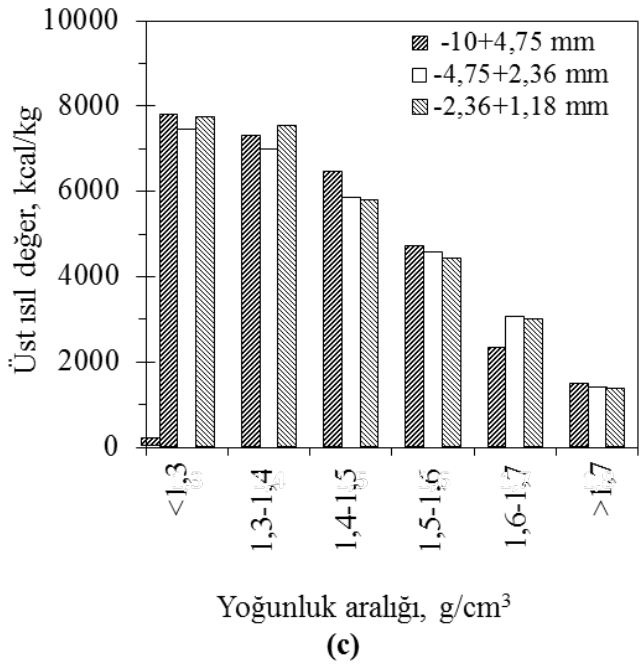
3.3 Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 3'te verilen yüzdürme-batırma deney sonuçları ile elde edilen ürünlerin kül, kalorifik değer ve toplam kükürt içerikleri arasındaki değişimler karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de grafik halinde verilmiştir.

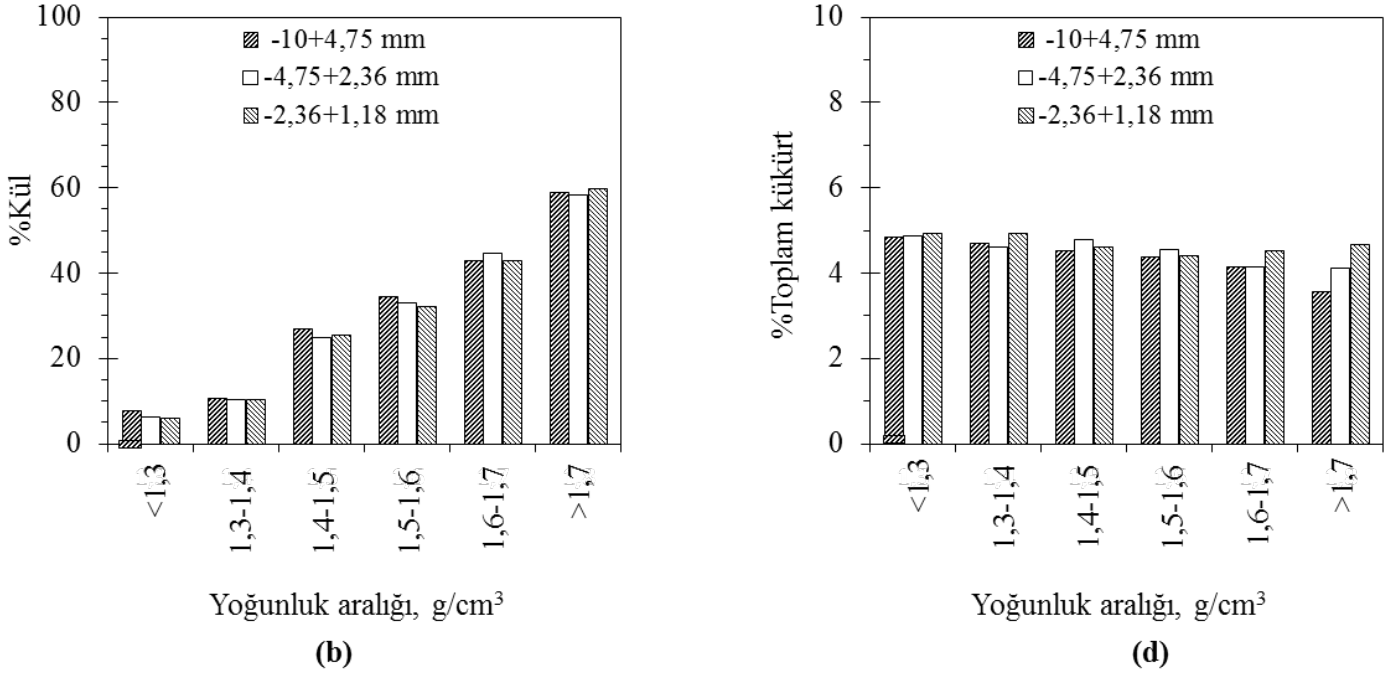
Kömür yoğunluk aralığı ile kömür miktarı arasındaki ilişkinin verildiği Şekil 3(a) incelendiğinde her üç kömür grubu için yaklaşık olarak aynı değişimin meydana çıktığı görülmektedir. Bu kömürlerin ağırlıkça hemen hemen %40-50'e yakını 1,3-1,4 yoğunluk aralığında, yaklaşık %30-40 kadarı da 1,7'nin üzerindeki bir yoğunluk aralığında dağılım göstermiştir. Diğer yoğunluk aralığındaki kömür miktarları ise yaklaşık olarak eşit oranda dağılım göstermektedir. En düşük ayırma yoğunluğunda (1,3 g/cm^3) yüzen temiz kömür miktarı nispeten az olurken, özellikle 1,3-1,4 yoğunluk aralığındaki kömür miktarı belirgin bir şekilde artış göstermektedir.

Kömür yoğunluk aralığı ile kömür külü arasındaki ilişkinin verildiği Şekil 3(b) incelendiğinde, beklenildiği üzere, kömür yoğunluğu arttıkça kömürün kül oranı da artmaktadır. Kül yüzdelerindeki değişimlere bakıldığında, en düşük yoğunluktaki kömürlerin (<1,3 g/cm^3) en düşük kül oranlarına sahip oldukları (maksimum %10) açık bir şekilde görülmektedir. En yüksek kömür yoğunluğunda (>1,7 g/cm^3) kül oranı ise maksimum %60'dır.





Şekil 3. Farklı tane boyundaki kömürler için yüzdürme-batırma yoğunluk değerlerine göre Ağırlık(a), Kül(b), Isıl değer(c) ve Toplam kükürt(d) değişimi.



Şekil 3. Farklı tane boyundaki kömürler için yüzdürme-batırma yoğunluk değerlerine göre Ağırlık(a), Kül(b), Isıl değer(c) ve Toplam kükürt(d) değişimi.

Kömür yoğunluk aralığı ile kömür ısıl değerindeki değişimin verildiği Şekil 3(c) incelendiğinde ise, en düşük yoğunluktaki kömürlerin (<1,3 g/cm^3) beklenildiği gibi en yüksek ısıl değere sahip oldukları (minimum 7500 kcal/kg) görülmektedir. En yüksek yoğunluktaki kömürlerin (>1,7 g/cm^3) ısıl değeri ortalama 1500 kcal civarındadır. Diğer sonuçlarla kıyaslandığında bulunan bu değer göreceli olarak düşük olsa da, kullanımda olan birçok endüstriyel kömürün ısıl değerine yakındır ve değerlendirilebilme imkanının bulunduğu söylenebilir.Kömür kül oranı ile ısıl değer arasındaki değişim incelendiğinde ise, kömür yoğunluğu arttıkça kömür kül oranı da artmakta ve ısıl değer azalmaktadır. Kömür kül oranındaki değişimin tersine bir durumun söz konusu olduğu görülmektedir.

Şekil 3(d)'de verilen kömür yoğunluk aralığı ile kömürün toplam kükürt içeriği arasındaki değişime bakıldığında, kükürt oranlarının yaklaşık olarak eşit bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Kömür tane boyutu ve yoğunluğuna bağlı olarak toplam kükürt içeriğinde ciddi bir değişimin meydana gelmemiştir. Diğer bir ifadeyle, kömür tane boyutu ve yoğunluk farklılığı kükürt oranının düşürülmesinde etkili olamamıştır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Selimoğlu (Divriği-Sivas) yöresinden üretilen linyitin, kömür hazırlama yöntemleriyle daha kaliteli hale getirilme olanakları deneysel yöntemle araştırılmıştır. Bu çalışmadaki deneysel bulgulardan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1) Orijinal kömürün tane boyutuna göre sınıflandırılmasıyla elde edilen kömürlerin kül, kükürt ve ısıl değer parametrelerinde önemli bir fark oluşmamıştır. Tane boyutuna göre sınıflandırılmış kömür fraksiyonları arasında selektif bir ayrışmanın oluşmadığı, orijinal kömür kalitesinde belirgin bir iyileşmenin sağlanamadığı görülmüştür. Dolayısıyla yalnızca tane boyuna göre sınıflandırma yöntemi kaliteli kömür eldesinde etkili olamamıştır. Bu sonucun, kömürün yoğun ara kesme içermesi ve bunların kırma ile yeterli ölçüde serbestleşmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

2) -10+4,75 mm, -4,75+2,36 mm ve -2,36+1,18 mm tane boyutundaki kömürlerin yüzdürme-batırma deney sonuçları incelendiğinde kömür kalitesinde ciddi bir iyileşmenin sağlandığı görülmüştür. Özellikle düşük yoğunluktaki ağır sıvılarda

az küllü ve yüksek ısıl değerli kömür elde edilebilmiştir. Örneğin, -2,36+1,18 mm tane boyundaki kömürün 1,4 yoğunlukta ayrılmasıyla kümülatif olarak %9,8 kül içeren 7550 kcal/kg üst ısıl değerli bir temiz kömür %60 verimle kazanılabilmiştir. Diğer boyut grupları için de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

3) Yüzdürme-batırma deney sonuçları Selimoğlu kömürünün yoğunluk farkına dayalı fiziksel yöntemlerle başarılı bir şekilde yıkanabileceğine işaret etmektedir. Özellikle 1,4 yıkama yoğunluğunda temiz kömür ile şist keskin bir şekilde birbirinden ayrılabilmektedir.

4) Ayrıca, yüzdürme-batırma deneyleri sırasında Selimoğlu kömürünün suda ve ağır sıvı ortamında çok fazla parçalanıp ufalanmadığı gözlenmiş, bu bakımdan yıkama için elverişli parça sağlamlığına da sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

5) Kömür külü gideriminde görülen başarılı iyileşmeler, kükürt gideriminde görülememiştir. Gerek sınıflandırma ve gerekse yüzdürme-batırma sonuçları incelendiğinde, orijinal kömürün kükürt içeriğine yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür. Bu sonuca göre, yoğunluk farkına dayalı yıkama yöntemlerinin kükürt gideriminde etkin bir başarı gösteremeyeceği söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın özellikle analiz safhasında, 2013/73 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan İnönü Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder. Ayrıca kömür örneklerinin teminini sağlayan Kardelen Kömür İşletmesi yetkililerine teşekkürü borç bilirler.

KAYNAKLAR

Anom, 2004. Low-rank Coal Upgrading Technology (UBC Process Report), Japan Coal Energy Center; Kobe Steel, Ltd., p.77-78.

Anom, 2014, Sivas İli Maden ve Enerji Kaynakları, İl maden Potansiyelleri, http://www.mta.gov.tr/

Arnold, B.J. (1999) Rate and residence time studies applied to the operation of conventional coal froth flotation cells (Ed. Parekh and Miller), Denver-US, pp. 321-331.

DPT, 2001. Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, s.41.

ETKB, 2013. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, TKİ Kömür Sektör Raporu (2012), s.32.

IEA, 2014. The International Energy Agency, Key World Energy Statistics, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf.

Karayiğit, A.I. and Whateley, M.K.G., 1997. The origin and properties of a coal seam associated with continental thin micritic limestones, Selimoglu-Divrigi, Turkey, The Geological Society, London, Special Publications, v.125, p.101-114.

Kemal M. ve Arslan V. (2010) Kömür Teknolojisi(Genişletilmiş 5. Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No:33, İzmir, 394 s.

ORAN, 2012. Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, TR72 Bölgesi Madencilik Raporu, s.33.

Yüksek Kül-Kükürt İçerikli Toz Boyutlu Kömürün Flotasyon ile Temizlenmesi

Cleaning of High Ash-Sulphur Fine Coal by Flotation

E. Şahinoğlu
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Kömürün sürdürülebilir enerji arzının sağlanmasındaki önemi ve gelişen teknolojiye paralel olarak artan toz kömür oranı, toz kömürün temizlenmesine ilginin artmasına sebep olmuştur. Toz boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan yöntemlerin içinde flotasyon en yaygın olanıdır. Bu çalışmada, -0,5; -0,25 ve -0,125 mm boyutlarındaki yüksek kül-kükürt içerikli kömür örneği, gazyağı ile flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen en yüksek yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksi sırasıyla %83, %83 ve %46 olarak bulunmuştur. Verim indeksine göre optimum flotasyon tane boyutu -0,125 mm'dir.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, ince kömür, kül, kükürt

ABSTRACT Increasing amount of fine coals resulted from advanced coal technologies and importance of coal in sustainable energy supply lead investigations on fine coal cleaning. Among the several methods used for cleaning of fine coals, flotation is the most commonly used one. In the present study, high ash-sulphur coal sample with size of -0.5, -0.25, -0.125 mm was subjected flotation. Maximum combustible recovery, ash rejection and recovery index was found to be 83%, 83% and 46%, respectively. According to recovery index optimal flotation particle size is -0,125 mm.

Keywords: Flotation, fine coal, ash, sulphur

1 GİRİŞ

Tükenebilir fosil yakıtlardan olan kömür (Şahinoğlu, 2012; Bilir, 2011), dünya enerji üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir (Bilir, 2011; Shen vd., 2012; Han vd., 2014). Türkiye'de de fosil yakıt kaynakları içerisinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Petrol ve doğalgaz gibi diğer fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün hızla tükendiği göz önüne alınırsa, gelecekte de enerji üretiminde önemli rol oynayacak olan kömür rezervlerinin en etkin şekilde kullanılması ve değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Türkiye kömürlerinin üretilmesi ve tüketime hazırlanması esnasında oldukça yüksek miktarda ince boyutlu toz kömür ortaya çıkmaktadır. Yüksek kül içerikli bu kömürlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisi ve gelecekteki enerji hammadde gereksinimleri açısından bir zorunluluktur (Bilir, 2011).

Kömür madenciliğinde artan mekanize kazı yöntemleri nedeniyle miktarları artan çok ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri flotasyondur. (Çelik, 2006).

Flotasyon, sulu bir ortam içerisinde bir minerali yüzdürme yoluyla diğer minerallerden ayırma yöntemidir. Kömür flotasyonunda kömür çeşitli yağlarla yüzdürülürken silikat ve kil gibi gang mineralleri bastırılır ve bu yolla kömürün kül yapıcı mineralleri uzaklaştırılır (Hacıfazlıoğlu, 2011). Kömürler beraber bulunduğu mineral maddelere göre daha fazla su sevmez (hidrofob) karaktere sahiptir (Şimşek, 2007). Kömür flotasyonu, kömürdeki karbonlu materyalin doğal

hidrofobitesinden yararlanılarak yapılır (Jia vd., 2000). Flotasyon ile zenginleştirmede pülpteki ince kömür partikülleri, birlikte olduğu mineral maddelerden seçimli olarak ayrılarak su yüzeyine çıkar ve buradan da sıyrılarak kazanılır (Şimşek, 2007).

Kömür flotasyonu için kömür tane boyutun 0,5 mm'nin altında olması yeterlidir (Jia vd., 2000; Xiu-xiang vd., 2009; Şahinoğlu, 2012; Jorjani vd., 2013; Azizi vd., 2014).

Bu çalışma kapsamında, toz boyuta sahip yüksek kül-kükürt içerikli Müzret kömürlerin farklı tane boyutlarında flotasyon ile temizlene bilirliği araştırılmıştır. Müzret kömürünün flotasyon yöntemiyle temizlenmesi konusunda daha önce bir çalışma yapılmamıştır. Müzret kömürünün oldukça yüksek kül-piritik kükürt içermesi bu kömürün flotasyondaki eğiliminin bilinmesini daha ilginç hale getirmektedir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürü kullanılmıştır. Müzret havzasından yeni üretilmiş kömür yığınlarından örnek alınmıştır. Örneklerin tüm yığını temsil etmesi konusunda gerekli özen gösterilmiştir. Alınan kömür örneğinin miktarı laboratuvarda konileme-dörtleme yöntemi ve mekanik numune bölücü kullanılarak azaltılmıştır. Kömür numunesinin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Mineralojik incelemelerde kömürde sülfür minerallerinden pirit, kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit, sülfat minerallerinden jips, silikat minerallerinden kuvars tespit edilmiştir. Müzret kömürün kimyasal analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Tane boyutu analizleri Çizelge 2, 3 ve 4'de verilmiştir.

Araştırmada toplayıcı olarak gazyağı, köpürtücü olarak ise çamyağı kullanılmıştır. Gazyağının yoğunluğu Alla France tipi hidrometre, viskozitesi Tanaka AKV-202 tipi viskometre ve yüzey gerilimi de CSC Dunouy tipi yüzey gerilim ölçer ile cihazı ile belirlenmiştir. Gazyağının fiziksel özellikleri Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları.

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	2,25	-
Kül (%)	34,85	35,65
Uçucu Madde (%)	10,73	10,98
Sabit Karbon (%)	52,17	53,37
Sülfat Kükürt (%)	0,99	1,01
Piritik Kükürt (%)	5,44	5,57
Organik Kükürt (%)	1,3	1,33
Toplam Kükürt (%)	7,73	7,91
Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isı Değeri)	4970	5084

Çizelge 2. Kömür tane boyutu analizi (-0,5 mm).

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)
-0,5+0,3	22,16
-0,3+0,212	17,54
-0,212+0,15	14,11
-0,15+0,106	10,10
-0,106+0,053	15,93
-0,053	20,16
Toplam	100

Çizelge 3. Kömür tane boyutu analizi (-0,25 mm).

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)
-0,25+0,212	12,79
-0,212+0,15	18,31
-0,15+0,106	14,38
-0,106+0,053	21,88
-0,053	32,64
Toplam	100

Çizelge 4. Kömür tane boyutu analizi (-0,125 mm).

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)
-0,125+0,106	11,24
-0,106+0,75	15,84
-0,75+0,053	19,82
-0,053	53,10
Toplam	100

Çizelge 5. Gazyağının fiziksel özellikleri.

Yağ Türü	Yoğunluk (g/cm^3)	Viskozite (mm^2/s)	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)
Gazyağı	0,795	1,082	27,3

2.2 Yöntem

Flotasyon deneyleri öncesi, büyük çoğunluğu toz boyutta olan kömür örneği kontrollü olarak -0,5; -0,25 ve -0,125 mm'in altına indirilmiş ve deneyler bu tane boyutlarında gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneyleri 1 L'lik flotasyon hücresinde, 1200 dev/dak. karıştırma hızında Denver tipi flotasyon makinesinde, %10 katı oranında 100 g örnek kullanılarak yapılmıştır. Tüm tane boyutları için, ilk olarak kömür+su karışımı 3 dakika şartlandırılmış, daha sonra kömür+su karışımına gazyağı ilave edilip (250; 500; 750 ve 1000 g/t) 5 dakika karıştırılmıştır ve ortama çamyağı ilavesi yapılıp (400 g/t) 2 dakika daha karıştırılmıştır. Makinenin havası tam açılarak 3 dakika köpük alınmıştır. Tüm deneyler doğal pH'da gerçekleştirilmiştir. Flotasyon ürünleri vakum filtre ile susuzlandırılıp, daha sonrada etüvde 105 °C'de kurutulup tartılmış ve analize tabi tutulmuştur.

Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, yanabilir verim (YV, %), kül atımı (KA, %) ve verim indeksi (Vİ, %) hesaplanmıştır (Şimşek, 2007).

$$YV\ (\%) = [\ C(100-c)/F(100-f)\ ] \times 100 \quad (1)$$

$$KA\ (\%) = 100 - [\ (C/F \times c/f) \times 100\ ] \quad (2)$$

$$Vİ\ (\%) = YV\ (\%) + KA\ (\%) - 100 \quad (3)$$

Burada;
C: Konsantrenin ağırlığı (g)
c: Konsantrenin külü (%)
F: Beslemenin ağırlığı (g)
f: Beslemenin külü (%)

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Müzret kömürünün flotasyon yöntemiyle büyük ölçüde temizlendiği görülmüştür. Kömür tane boyutu ve gazyağı miktarının değişken olarak kullanıldığı flotasyon deneylerinde ulaşılan yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksi değerleri aşağıda verilmiştir.

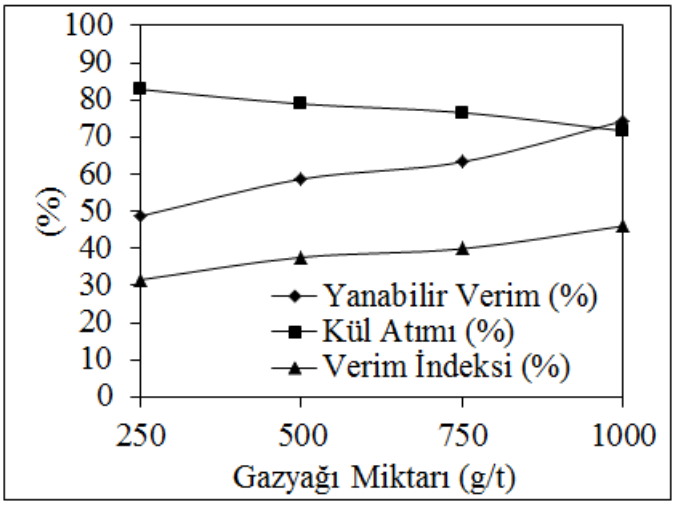
-0,125 mm kömür tane boyutunda, yanabilir verim %49-74, kül atımı %72-83 ve verim indeksi %32-46 arasında değişmektedir (Şekil 1). Şekil 2'de görüldüğü gibi kömür tane boyutu -0,25 mm olduğunda, yanabilir verim %71-76, kül atımı %62-70 ve verim indeksi %39-41 arasında değişmektedir. En yüksek kömür tane boyutunda (-0,5 mm) ise, yanabilir verim %75-83, kül atımı %51-65 ve verim indeksi %34-40 arasında değişmektedir (Şekil 3). -0,5 mm kömür tane boyutu için flotasyon konsantresi ve atığının parlak kesit görüntüleri verilmiştir (Şekil 4). Parlak kesit görüntüleri verilen deneyde beslemenin piritik kükürt içeriği %5,57 iken, elde edilen konsantrenin piritik kükürt içeriği %2,12 olmuştur. Bu sonuçlardan beslemedeki piritik kükürttün büyük bir miktarının atığa gittiği sonucuna ulaşılabilir. Üç farklı tane boyutunda elde edilen en yüksek yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksi sırasıyla %83, %83 ve %46'dır.

Her bir kömür tane boyutu için gazyağı miktarı artıkça yanabilir verim artmaktadır. Yanabilir verimdeki artış, yağların adsorpsiyonu ile kömür taneciklerinin hidrofobluğunun artması ve kömür tanecikleri ile hava kabarcıkları arasındaki tutunmanın daha kuvvetli olmasıyla açıklanabilir. Gazyağı miktarı artıkça tüm kömür tane boyutlarında kül atımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, gazyağı miktarı artıkça yağ damlacıklarının yüksek mineral madde içerikli kömür tanecikleri ve/veya mineral maddeler üzerine adsorbe olması sonucu yüzdürülen mineral madde miktarının artmasıyla açıklanabilir.

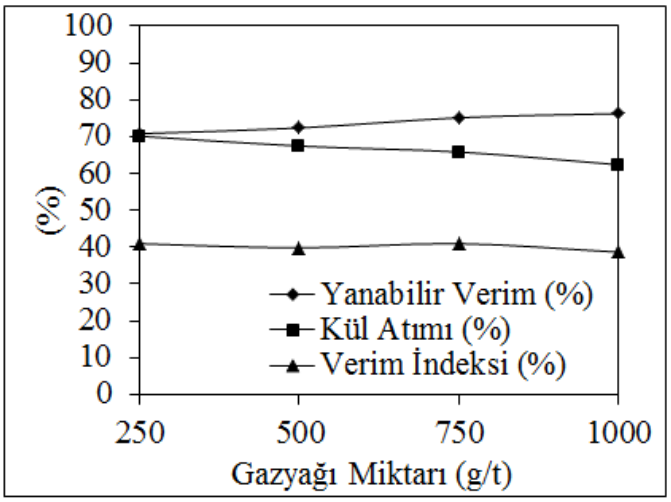
-0,125 mm kömür tane boyutunda verim indeksi değerleri gazyağı miktarının artışına bağlı olarak artmaktadır. Bu durum gazyağı miktarı artıkça yanabilir verimin %49'dan %74 çıkmasıyla açıklanabilir. Her ne kadar gazyağı miktarının artışıyla kül atımı azalsa da (%83'den %72'ye) bu azalış yanabilir verimin artışından daha az olmuştur. Diğer kömür tane boyutları için (-0,25 ve -0,5 mm) gazyağı miktarının artışına bağlı olarak

verim indeksi değerleri genel olarak azalmaktadır. Bunun nedeni de gazyağı miktarının artışına bağlı olarak her ne kadar yanabilir verim artsa da bu artış genel olarak kül atımı azalmasından daha az olması ile açıklanabilir.

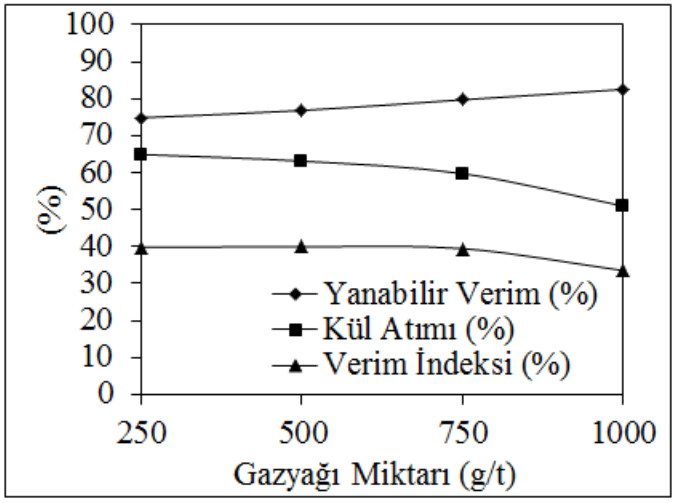
Verim indeksi, hem yanabilir verimi hem de kül atımını birlikte değerlendiren bir kriterdir. Bu değer ne kadar yüksek ise zenginleştirme işlemi o kadar başarılıdır. Verim indeksine göre bir değerlendirme yapıldığında optimum flotasyon tane boyutu -0,125 mm'dir. -0,125 mm tane boyutunda (gazyağı miktarı 1000 g/t) olduğunda yanabilir verim %74 ve kül atımı %72 iken verim indeksi %46 olarak bulunmuştur.



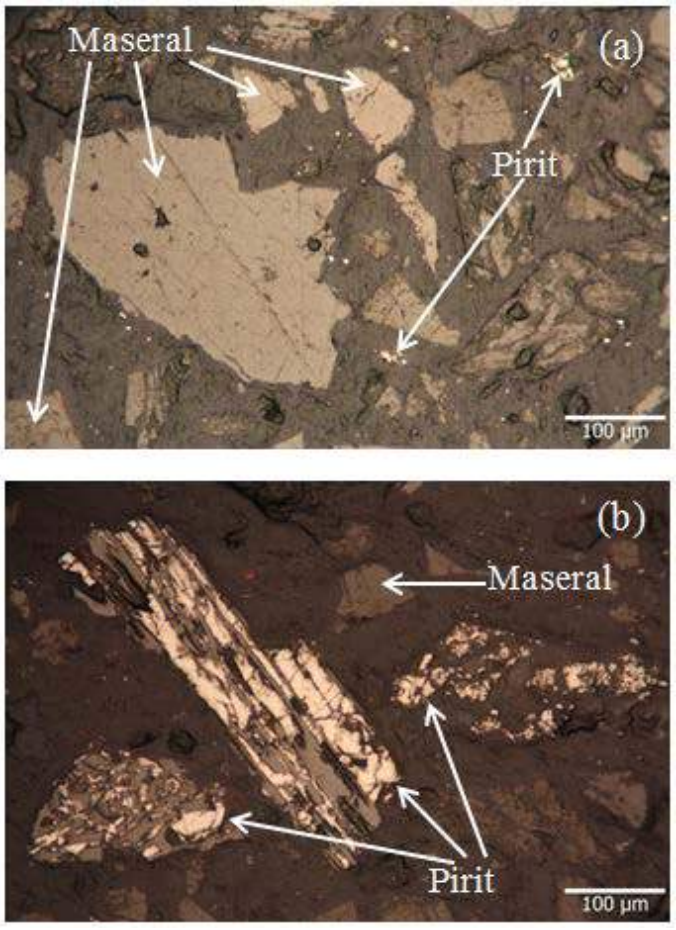
Şekil 1. Gazyağı miktarının YV, KA ve Vİ'sine etkisi(tane boyutu: -0,125 mm).



Şekil 2. Gazyağı miktarının YV, KA ve Vİ'sine etkisi(tane boyutu: -0,25 mm).



Şekil 3. Gazyağı miktarının YV, KA ve Vİ'sine etkisi(tane boyutu: -0,5 mm).



Şekil 4. Flotasyon konsantresi (a) ve atığının (b) parlak kesit görüntüleri (kömür tane boyutu: -0,5 mm; gazyağı miktarı: 1000 g/t).

4 SONUÇLAR

Müzret kömürünün flotasyonunda kömür tane boyutunun değişimi ile yanabilir verim, kül atımı ve verim indeksi değerlerinin önemli ölçüde değiştiği görülmüştür.

Tüm tane boyutlarında gazyağı miktarının artışına bağlı olarak yanabilir verim artarken, kül atımı azalmıştır.

Verim indeksine göre optimum flotasyon tane boyutu -0,125 mm'dir. Bu tane boyutunda verim indeksi %46 (gazyağı miktarı: 1000 g/t) olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Azizi, D, Gharabaghi, M, Saeedi, N, 2014. Optimization of the Coal Flotation Procedure Using the Plackett–Burman Design Methodology and Kinetic Analysis, Fuel Processing Technology, 128 (pp. 111-118).

Bilir, K, 2011. Kömür Flotasyonunda Kullanılan Gazyağı Miktarının Oranların Farkı Testi ile Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: XXIV, (S. 119-130).

Çelik, H, 2006. İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8 (2), (s. 93-106).

Hacıfazlıoğlu, H, 2011. Jameson Hücresinde Bitümlü Şlam Kömürün Flotasyonu İçin En Uygun Köpürtücü ve Toplayıcı Tipinin Araştırılması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2 (1), (s. 33-43).

Han, O.H, Kim, M.K, Kim, B.G, Subasinghe, N, Park, C.H, 2014. Fine Coal Beneficiation by Column Flotation, Fuel Processing Technology, 126 (pp. 49-59).

Jia, R, Harris, G.H, Fuerstenau, D.W, 2000. An İmproved Class of Universal Collectors for the Flotation of Oxidized and/or Low-rank Coal, International Journal of Mineral Processing, 58 (pp. 99-118).

Jorjani, E, Esmaeili, S, Khorami, M.T, 2013. The Effect of Particle Size on Coal Maceral Group's Separation Using Flotation, Fuel, 114 (pp. 10-15).

Shen, S, He, J, Pan, M, Zhou, Z, Feng, C, Liang, G, 2012. Effective removal of sulfur from high-sulfur coal prior to use by dry chlorination at low temperature, Journal of Hazardous Materials, 217-218 (pp. 116-122).

Şahinoğlu, E, 2012. Kömürün Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ile Temizlenmesinde Bitkisel Atık Yağların ve Ses Ötesi Dalgaların Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (150 s.).

Şimşek, S, 2007. Farklı Kömürlerin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Klasik Flotasyon Yağları ile Bitkisel Kökenli Yağların Performanslarının Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, (342 s.).

Xiu-xiang, T, Yi-jun, C, Jing, L, Kai-yi, S, Jin-yan, L, Fan, M, 2009. Studies on Characteristics and Flotation of a Hard-to-float High-ash Fine Coal, Procedia Earth and Planetary Science, 1, (pp. 799-806).

Yüksek Kül-Kükürt İçerikli Toz Kömürün Farklı Yağlar ile Aglomerasyonu

Agglomeration of High Ash-Sulphur Fine Coal by Different oil Types

E. Şahinoğlu, T. Uslu
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Yüksek kül-kükürt içeriğine sahip kömürlerin temizlenmesi önemlidir. Çünkü çevre kirliliğine neden olurlar. Ayrıca kullanımları yasak olduğundan ekonomik açıdan da kayba sebep olurlar. Bu çalışma kapsamında, toz boyutlu, yüksek kül-kükürt içerikli Müzret kömürü bitkisel atık ayçiçek yağı, orijinal ayçiçek yağı, mazot ve gazyağı ile aglomerasyona tabi tutularak temizlenmiştir. Elde edilen maksimum yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımı oranları sırasıyla %84, %91, %97 ve %98'dır. Maksimum kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksleri ise sırasıyla %55, %77 ve %75 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yağ aglomerasyonu, kül, kükürt, kömür

ABSTRACT Cleaning of high ash-sulphur is very important. Because, they are cause environmental pollution. In addition, these coals are lost economic value due to prohibition of their use. In this study, high ash-sulfur fine coal was cleaned by oil agglomeration in which waste vegetable sunflower oil, the original sunflower oil, diesel and kerosene were used as agglomerant. Obtained the resulting maximum combustible recovery, ash, pyritic sulfur and sulphate sulfur rejections were achieved to be 84%, 91%, 97% and 98%, respectively. Maximum ash, pyritic sulfur and sulphate sulfur recovery index were found to be 55%, 77% and 75%, respectively.

Keywords: Oil agglomeration, ash, sulphur, coal

1 GİRİŞ

Kömür, dünya enerji gereksiniminin karşılanmasında birkaç yüzyıldan beri çok önemli, rol üstlenmiş olan önemli bir katı fosil yakıttır (Ünalan, 2010). Ülkemizde yüksek kül-kükürt içeriğine sahip olduğu halde temizlenmeden kullanıldığı için değer kaybına uğrayan ve çevresel kirliliğe yol açan kömürlerin temizlenerek çevre dostu enerji yakıtı haline getirilmeleri ve ekonomik değerlerinin artırılması ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Bu kömürlerin bazılarının, çok fazla miktarda toz boyutlu malzeme içermesi ve oksitli olması gibi sebeplerle klasik yöntemlerle temizlenmeleri zordur (Şahinoğlu ve Uslu, 2011a).

Gelişen yeni enerji teknolojileri ve çevre ile ilgili kaygılar, kömürün daha temiz bir yakıt olarak üretimini zorlarken, klasik metotlarla zenginleştirilemeyen düşük ranklı kömürlerin de daha yüksek verimlerle ve ekonomik olarak kazanımı için araştırmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, kömürün çevreye en az zarar verecek yöntemlerle üretilmesi ve tüketimi esnasında çevreye en az zararlı gaz çıkışı verecek şekilde temizlenmesi şart olmuştur (Engin, 2002).

Kömürün uzun vadeli enerji kullanımında lider enerji kaynağı olmayı sürdürecek olması ve gelişen teknolojiye paralel olarak üretimde artan toz kömür oranı, toz kömürün temizlenmesine ilginin artmasına sebep olmuştur. Günümüzde, -0,5 mm tane boyutunun altı olarak nitelendirilen toz kömürlerin çoğu, stoklanmakta ve ekonomiye kazandırılamayan atıl bir yatırım

olarak kalmaktadır. Toz kömürlerin yakıt olarak kullanılmadan atılacak olmasının yanı sıra, son yıllarda artan çevre duyarlılığının getirdiği zorlamalar, toz kömürlerin atık olarak atılması konusunda engel teşkil etmektedir (Şahinoğlu, 2006).

Toz boyutundaki kömürlerin temizlenmesinde kullanılabilen yöntemler, yağ aglomerasyonu, flotasyon, seçici flokülasyon ve geliştirilmiş gravite ayırıcıları (kelsey jig, multi gravite ayırıcısı, falkon konsantratörü ve knelson konsantratör) dır (Kawatra ve Eisele, 2001).

Yağ aglomerasyonu, kömürün ve beraberindeki mineral maddelerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak seçimli ayırım yapabilen bir temizleme yöntemidir (Hoşten ve Uçbaş, 1989).

Yağ aglomerasyonu yöntemi, yüksek verimi (Mehrotra vd., 1983, Cebeci ve Eroğlu, 1998; Şahinoğlu, 2006; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), kil ve şlamdan etkilenmemesi (Mehrotra vd., 1983; Uslu, 1997; Şimşek, 1999; Canpolat, 2003), oksitli kömürlere uygulanabilirliği (Mehrotra vd., 1983; Canpolat, 2003; Guntupalli ve Dastidar, 2006), birincil susuzlandırmanın kolay ve ucuz olması (Mehrotra vd., 1983; Canpolat, 2003) ve temiz kömürün düşük nem içeriğinden dolayı nihai susuzlandırmanın ucuz olması (Şimşek, 1999; Kawatra ve Eisele, 2001; Canpolat, 2003) gibi sebeplerle diğer yöntemlere üstünlük sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, toz boyuta sahip yüksek kül-kükürt içerikli Müzret kömürü farklı yağlar ile aglomera edilmiştir. Müzret kömürünün oksitli olması ve özellikle piritik kükürt içeriğinin çok fazla olması çalışmayı ilginç hale getirmektedir. Çoğu aglomerasyon çalışmalarında sadece kül azalma oranları ele alınmış olup piritik kükürt ve sülfat kükürt azalma oranları genellikle ihmal edilmiştir. Bu çalışma, kül atımlarının yanında piritik kükürt ve sülfat kükürdü atımlarını da içermesi açısından önemlidir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürü kullanılmıştır. Müzret havzasından yeni üretilmiş kömür yığınlarından yaklaşık 150 kg örnek alınmıştır. Örneklerin tüm yığını temsil etmesi konusunda gerekli özen gösterilmiştir. Alınan kömür örneğinin miktarı laboratuvarda konileme-dörtleme yöntemi ve mekanik numune bölücü kullanılarak azaltılmıştır. Kömür numunesinin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Mineralojik incelemelerde kömürde sülfür minerallerinden pirit, kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit, sülfat minerallerinden jips, silikat minerallerinden kuvars tespit edilmiştir. Müzret kömürün kimyasal analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Tane boyutu analizi Çizelge 2'de verilmiştir.

Araştırmada bağlayıcı yağ olarak, bitkisel atık ayçiçek yağı, orjinal ayçiçek yağı, mazot ve gazyağı kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan atık ayçiçek yağı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü kantininden temin edilmiştir. Atık yağ, içindeki fiziksel safsızlıkların giderilmesi amacıyla vakum filtre ile süzülmüştür. Tüm yağların yoğunluğu Alla France tipi hidrometre, viskozitesi Tanaka AKV-202 tipi viskometre ve yüzey gerilimi de CSC Dunouy tipi yüzey gerilim ölçer cihazı ile belirlenmiştir. Yağların fiziksel özellikleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları.

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem (%)	2,25	-
Kül (%)	34,85	35,65
Uçucu Madde (%)	10,73	10,98
Sabit Karbon (%)	52,17	53,37
Sülfat Kükürt (%)	0,99	1,01
Piritik Kükürt (%)	5,44	5,57
Organik Kükürt (%)	1,3	1,33
Toplam Kükürt (%)	7,73	7,91
Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isı Değeri)	4970	5084

Çizelge 2. Kömür tane boyutu analizi (-0,5 mm).

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)
-0,5+0,3	22,16
-0,3+0,212	17,54
-0,212+0,15	14,11
-0,15+0,106	10,10
-0,106+0,053	15,93
-0,053	20,16
Toplam	100

Çizelge 3. Yağların fiziksel özellikleri.

Yağ Tipi	Yoğunluk (g/cm^3)	Viskozite (mm^2/s)	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)
Atık Ayçiçek Yağı	0,917	35,81	34,6
Orijinal Ayçiçek Yağı	0,918	32,24	34,6
Mazot	0,832	2,756	29,4
Gazyağı	0,795	1,082	27,3

2.2 Yöntem

Aglomerasyon deneyleri öncesi, büyük çoğunluğu zaten toz boyuta sahip kömür örneği kontrollü olarak 0,5 mm'in altına indirilmiş ve deneyler -0,5 mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aglomerasyon deneyleri için, iç çapı 11,7 cm olan silindirik cam bir kap kullanılmış olup, cam kap içerisine genişlikleri 1,1 cm olan 4 adet plastik levha (buffle) koyulmuştur. Levha koymanın amacı, kömür ve yağ damlacıklarının kap çeperinde dönmeksizin birbiriyle etkin bir şekilde temasını sağlamaktır. Deneyler, Heidolph RZR 2021 tipi hızı ayarlanabilen bir mekanik karıştırıcı vasıtasıyla, saf su kullanılarak yapılmıştır. Karıştırıcının pervane çapı 50 mm olup pervaneler yatayla 45º açı yapmaktadır. Karıştırma işlemi kap tabanından 8 mm yükseklikte yapılmıştır. Tüm deneyler öncesinde kömür-su karışımı, 1000 dev./dak. hızda 5 dakika şartlandırılmıştır. Şartlandırma işleminden sonra deney ortamına yağ ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir (1400 dev./dak., 10 dak.). Karıştırma işleminden sonra pülp 0,5 mm boyutlu eleğe beslenerek aglomeratlar elek üstü olarak kazanılmıştır. Aglomeratlar, yüzeylerine yapışan mineral maddelerin uzaklaşması için 1,5 litre su ile yıkanmıştır. Daha sonra, vakum filtreye konularak susuzlandırılmış, aseton ile yıkanarak da yağdan arındırılmışlardır. En son olarak da etüvde 105°C ± 5°C'de kurutulup tartılmış ve analize tabi tutulmuşlardır.

Deneyler; ağırlıkça %10 kömür oranında (kömür miktarı/kömür-su karışımı miktarı) ve %5, %10, %15, %20 yağ oranlarında dört farklı yağ için (yağ miktarı/kömür miktarı) gerçekleştirilmiştir.

Gerekli hesaplamalar yapılarak, yanabilir verim, kül atımı, piritik kükürt atımı, sülfat kükürt atımı, kül verim indeksi, piritik kükürt verim indeksi ve sülfat kükürt verim indeksi değerleri bulunmuştur.

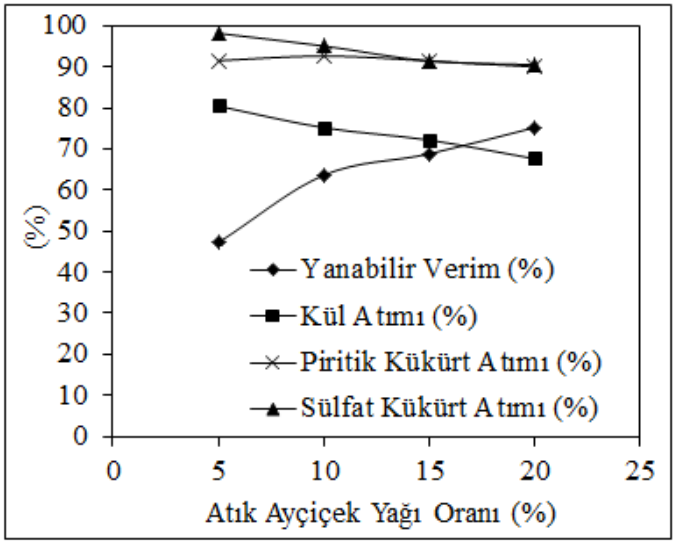
3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Müzret kömürünün aglomerasyon yöntemiyle büyük ölçüde temizlendiği görülmüştür. Farklı yağların ve yağ oranlarının değişken olarak kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

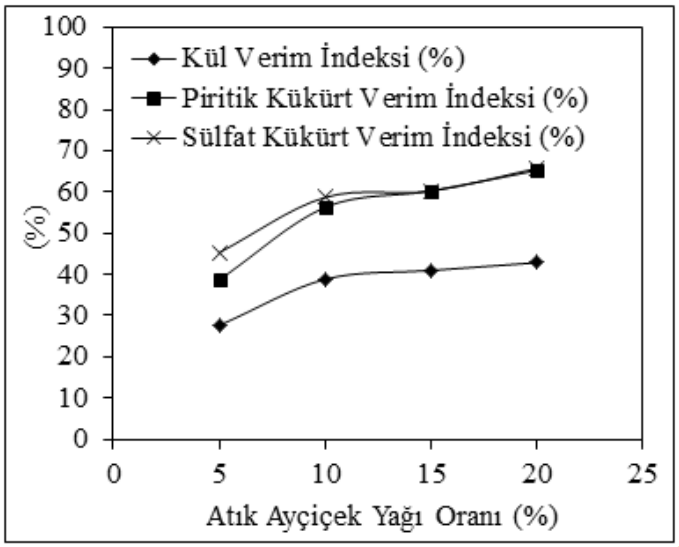
Atık ayçiçek yağı ile yapılan aglomerasyon deneylerinde, yanabilir verim %47-75, kül atımı %68-80, piritik kükürt atımı %90-93, sülfat kükürt atımı %91-98 (Şekil 1), kül verim indeksi %28-43, piritik kükürt verim indeksi %39-65 ve sülfat kükürt verim indeksi %45-66 (Şekil 2) arasında değişmektedir. Orijinal ayçiçek yağı ile yapılan deneylerde, yanabilir verim %31-74, kül atımı %74-91, piritik kükürt atımı %93-97, sülfat kükürt atımı %92-97 (Şekil 3), kül verim indeksi %22-48, piritik kükürt verim indeksi %28-66 ve sülfat kükürt verim indeksi %28-66 (Şekil 4) arasında değişmektedir. Mazot ile yapılan deneylerde, yanabilir verim %51-79, kül atımı %72-85, piritik kükürt atımı %92-96, sülfat kükürt atımı %91-94 (Şekil 5), kül verim indeksi %36-51, piritik kükürt verim indeksi %47-72 ve sülfat kükürt verim indeksi %46-72 (Şekil 6) arasında değişmektedir. Bağlayıcı

yağ olarak gazyağı kullanıldığında, yanabilir verim %53-84, kül atımı %71-79, piritik kükürt atımı %92-95, sülfat kükürt atımı %91-91 (Şekil7), kül verim indeksi %32-55, piritik kükürt verim indeksi %46-77 ve sülfat kükürt verim indeksi %44-75 (Şekil 8) arasında değişmektedir.

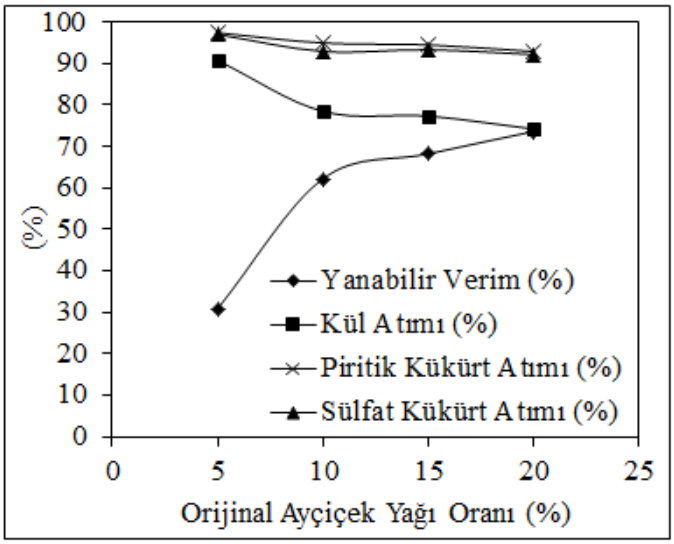
Deneylerde elde edilen en yüksek yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımı sırasıyla %84, %91, %97 ve %98'iken kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksleri ise sırasıyla %55, %77 ve %75'dir.



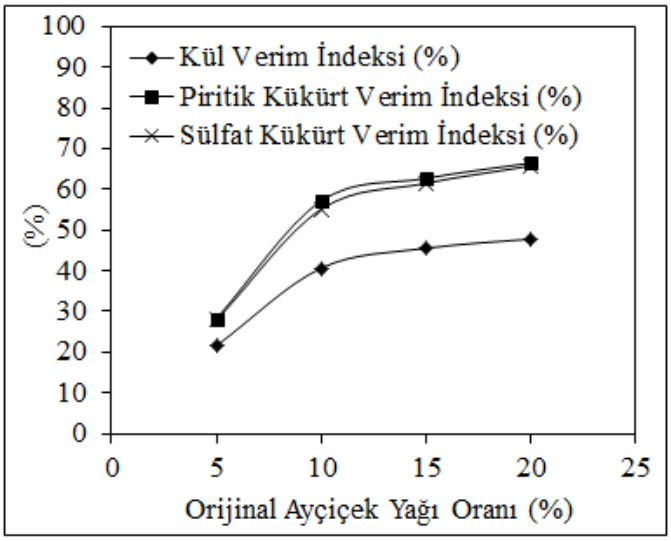
Şekil 1. Atık ayçiçek yağı oranının yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımına etkisi.



Şekil 2. Atık ayçiçek yağı oranının kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksine etkisi.



Şekil 3. Orijinal ayçiçek yağı oranının yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımına etkisi.

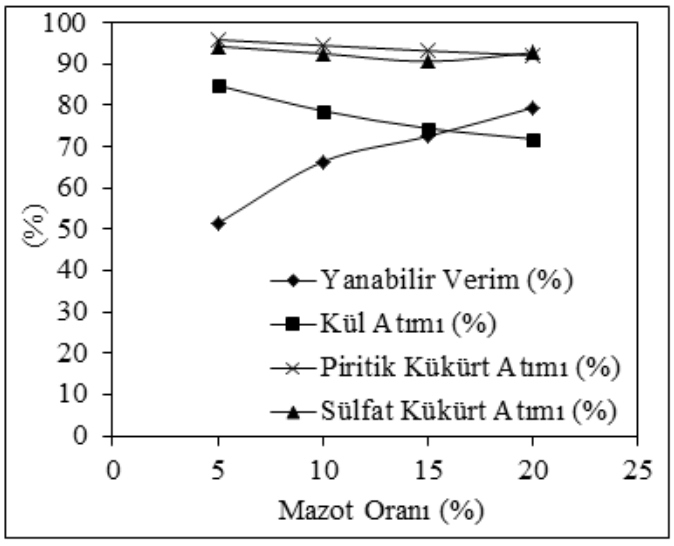


Şekil 4. Orijinal ayçiçek yağı oranının kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksine etkisi.

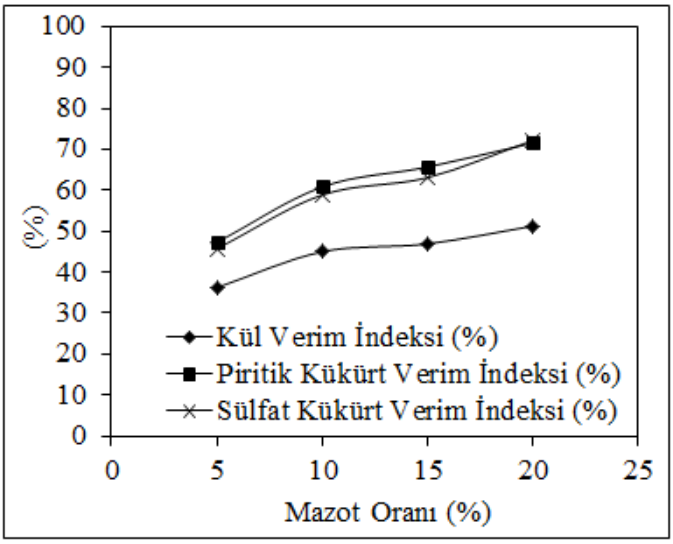
Tüm yağlar için yağ oranının artışına bağlı olarak yanabilir verimin arttığı, kül atımının azaldığı, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımlarının genel olarak azaldığı, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indekslerinin ise arttığı görülmüştür. Artan yağ oranlarıyla birlikte yanabilir verimdeki artış, ortamda daha fazla yağ damlası bulunması sonucu kömür taneleriyle daha fazla temasın olması ve bunun sonucu gerçekleşen aglomeratlardaki boyut büyümesidir. Daha fazla yağ oranlarında kül atımlarının azalmasının sebebi ise ortamdaki yağ damlacıklarının sayısının daha da artması

sonucu kül yapıcı mineral maddelerin, oluşan aglomeratların aralarına sıkışıp kalmasıyla açıklanabilir. Kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indekslerinin artması yağ oranlarının artışıyla birlikte yanabilir verimdeki artış oranının, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımlarındaki değişimlere göre çok daha fazla olmasıyla açıklanabilir.

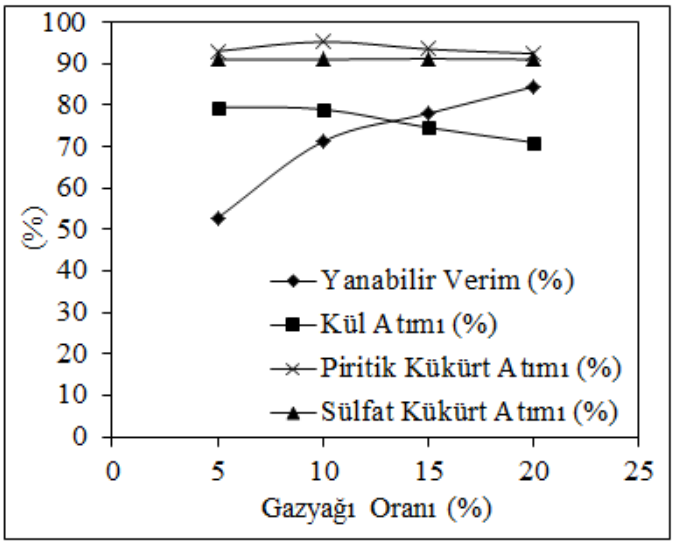
Yağların aglomerasyon performansları karşılaştırıldığında, gazyağı ve mazot ile atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağına göre daha yüksek yanabilir verimler elde edilirken, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımlarının genel olarak tüm yağlar için birbirine yakın olduğu görülmüştür. Verim indeksleri ise gazyağı ve mazotun bağlayıcı yağ olarak kullanıldığı aglomerasyon deneylerinde daha yüksek olarak elde edilmiştir. Gazyağı ve mazot ile elde edilen yanabilir verimlerin atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağı ile elde edilen yanabilir verimlerden fazla olmasının sebebi gazyağı ve mazotun viskozitelerinin atık ayçiçek yağı ve orijinal ayçiçek yağının viskozitelerine göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Gazyağı ve mazot, düşük viskoziteleri sebebiyle diğer yağlara göre pülp içerisinde daha iyi dağılma göstermiş ve kömür taneleriyle daha fazla temas ederek yanabilir verimin yüksek olmasını sağlamışlardır. Tüm yağlar arasında ise en yüksek yanabilir verim viskozitesi en düşük olan gazyağında %84 olarak elde edilmiştir.



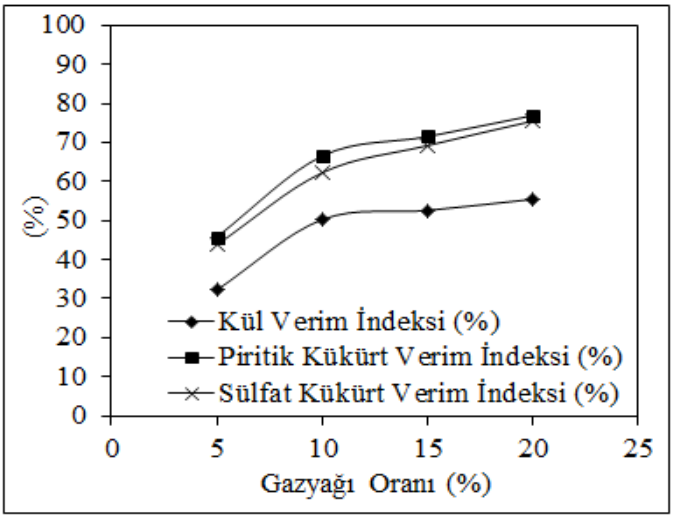
Şekil 5. Mazot oranının yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımına etkisi.



Şekil 6. Mazot oranının kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksine etkisi.



Şekil 7. Gazyağı oranının yanabilir verim, kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt atımına etkisi.



Şekil 8. Gazyağı oranının kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksine etkisi.

4 SONUÇLAR

Müzret kömürünün yağ aglomerasyonun da yağ tipinin yanabilir verim, kül, piritik kükürt, sülfat kükürt atımlarını ve kül, piritik kükürt, sülfat kükürt verim indeksi değerlerini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür.

Elde edilen en yüksek yanabilir verim %84 (gazyağı oranı: %20), kül atımı %91 (orijinal ayçiçek yağı oranı: %5), piritik kükürt atımı %97 (orijinal ayçiçek yağı oranı: %5), sülfat kükürt atımı %98 (atık ayçiçek yağı oranı: %5) olarak bulunmuştur.

Maksimum kül, piritik kükürt ve sülfat kükürt verim indeksleri sırasıyla %55, %77 ve %75 olarak %20 gazyağı oranında bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Canpolat, L., 2003. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Yağ Aglomerasyonu-Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Cebeci, Y., Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77, 5, (pp. 419-424).

Engin, V.D., 2002. Kömür Yıkama Tesisleri İnce Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Guntupalli, H.V.C.C., Dastidar, M.G., 2006. Fine Coal Beneficiation by Oil Agglomeration Using Vegetable Oil: an Ecofriendly and Energy Saving Technique, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi-110016, India.

Hoşten, Ç., Uçbaş, Y., 1989. Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ Aglomerasyonu Çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Nisan, Ankara, (s. 355-365).

Kawatra, S.K., Eisele, T.C., 2001. Coal Desulfurization High-Efficiency Preparation Methods, Department of Mining and Materials Processing Engineering Michigan Technological University, 360 s.

Mehrotra, V.P., Sastry, K.V.S. ve Morey, B.W., 1983. Review of Oil Agglomeration Techniques for Processing of Fine Coals, International Journal of Mineral Processing, 11, (pp. 175-201).

Şahinoğlu, E., 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Şahinoğlu, E., Uslu, T., 2008. Amenability of Muzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, Energy Conversion and Management, 49, 12, (pp. 3684-3690).

Şahinoğlu, E., Uslu, T., 2011. Toz Boyutlu Kömürün Aglomerasyon ile Temizlenmesinde Ayçiçeği Yağının Kullanılabilirliği, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı: (s. 341-346).

Şimşek, S., 1999. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesinde Bazı İşletme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Uslu, T., 1997. Particle Size (Feed and Agglomerate Size) in Oil Agglomeration of Coal, Unpublished Report Submitted to Prof. Dr. Çetin Hoşten in Lecture of Particle Characterization, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Ünalan, G., 2010. Kömür Jeolojisi, Matser Basım San. Tic. Ltd. Şti., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, (556 s.).

Endüstriyel Hammaddeler ve Kıymetli Metaller

Batı Toroslar, Beydağları Otoktonu Mermer Yatakları

The Marble Deposits of Beydağları Autochthonous, Western Taurus

N.Kun
Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir

M.Kun
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Toros kuşağı ve Batı Toroslar'ın jeolojik özellikleri uzun yıllardan bu yana jeologların ilgisini çekmektedir. 1940 lar da başlayan çalışmalar ile bölge jeolojisi tanımlanmaya ve değerlendirilmeye başlanmıştır.

Batı Toroslar'da (Teke Torosları), özellikle 1990 lı yıllardan bu yana sayıları hızla ilerleyen mermer ocak işletmelerinin faaliyete geçmesi, bölgenin deha detaylı olarak çalışılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Önceki araştırmalar ile ortaya konulan Beydağları Otoktonu, Likya Napları ve Antalya Napları gibi bölge birimlerinin sınırlarının ve ayrımlarının daha net yapılarak, özellikle doğal taş madenciliği açısından incelenmesi gerekmektedir.

Beydağ Otoktonu önceki araştırıcılara göre Kaş-Kalkan'dan başlayarak Elmalı-Finike hattından kuzeybatıya yönelerek Korkuteli'nden devamla Burdur yöresine kadar uzanmaktadır. Hazırlanan çalışmada, Batı Toroslar Beydağları Otoktonun da, bir kısmı terk edilmiş, bir kısmı da halen çalışan, onlarca mermer ocağı incelenerek değerlendirilmiştir. Bu ocak işletmelerinin, jeolojik olarak hangi birim üzerinde oldukları, çalışma şekilleri, terk nedenleri ve verimlilikleri dikkate alınarak, çalışma sonucunda bölgesel ölçekte genellemelere gidilmiştir. Bu genellemelere göre, Beydağ Otoktonu bir bütün değil, Elmalı-Finike hattından bölünen, farklı fasiyeslerin oluşturduğu iki parçadan oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Beydağları, mermer, Otoktonu, Batı Toroslar

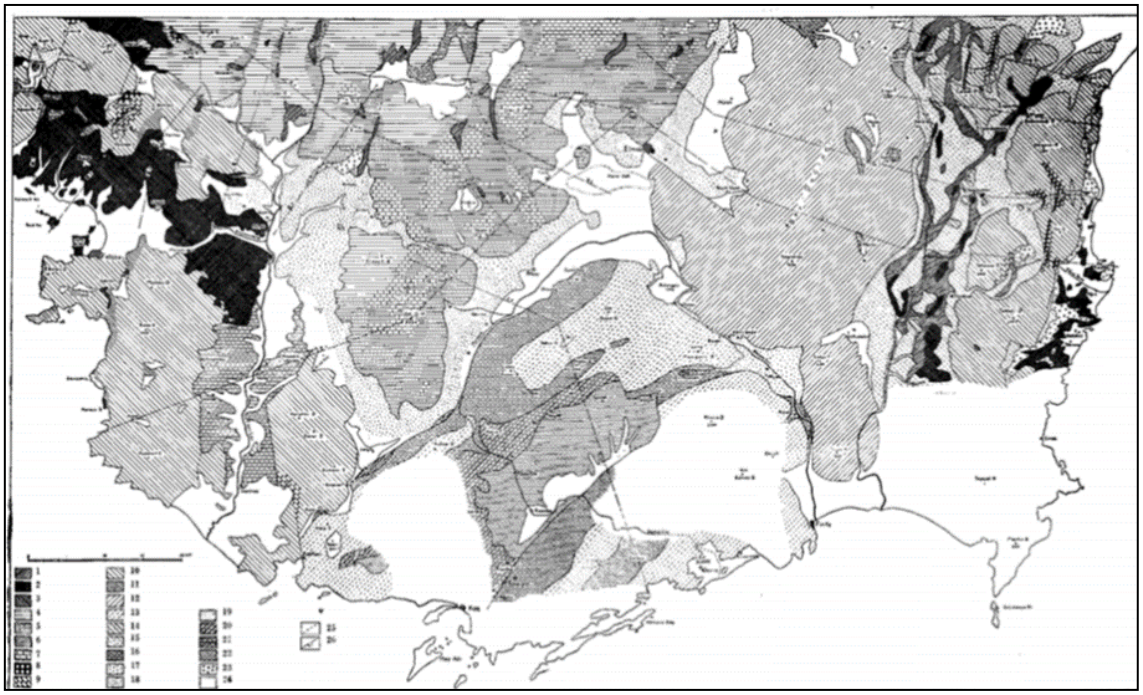
ABSTRACT The geological structure of Taurus Belt and Western Taurus draws attention of geologists for many years. The geology of the region has been investigated and evaluated since 1940's.

The necessity of detailed studies on the Western Taurus region has been revealed with growing number of marble quarries operating from 1990's. The determination of borders and distinction of regional units such as previously studied Beydağları Autochthonous, Antalya and Lycia Nappes should be made clearly especially with respect to natural stone quarrying.
In this study, several marble quarries on Beydağları Autochthonous, still operating or abandoned, were located and investigated. Some generalizations were derived on these quarry operations regarding their geology, operating parameters and productivity. According to these generalizations, it was revelaed that Beydağları Autochthonous is not a whole autochthonous, on the contrary it is formed from two pieces of Elmalı-Finike stroke and different other facies.

Keywords: Beydağları, marble, Autochthonous, Western Taurus

1 BATI TOROSLARIN JEOLOJİSİ

Toros kuşağı ve Batı Torosların jeolojik yapısı çok uzun yıllardan bu yana jeologların ilgisini çekmektedir. 1940'lar dan itibaren başlayan çalışmalar ile bölge jeolojisi açıklanmaya çalışılmaktadır. 1960 yıllarına kadar olan çalışmalar daha ziyade Batı Torosların tanıtılması ve karmaşık jeolojik yapısına dikkat çeken araştırmalardır. Colin (1962), Fethiye, Antalya, Kaş ve Finike bölgelerinde yaptığı araştırmalar sonucu bu bölgede çeşitli birlikler ayırtlamıştır.



Şekil 1. Colin 1962 tarafından bölgede yapılan jeolojik harita

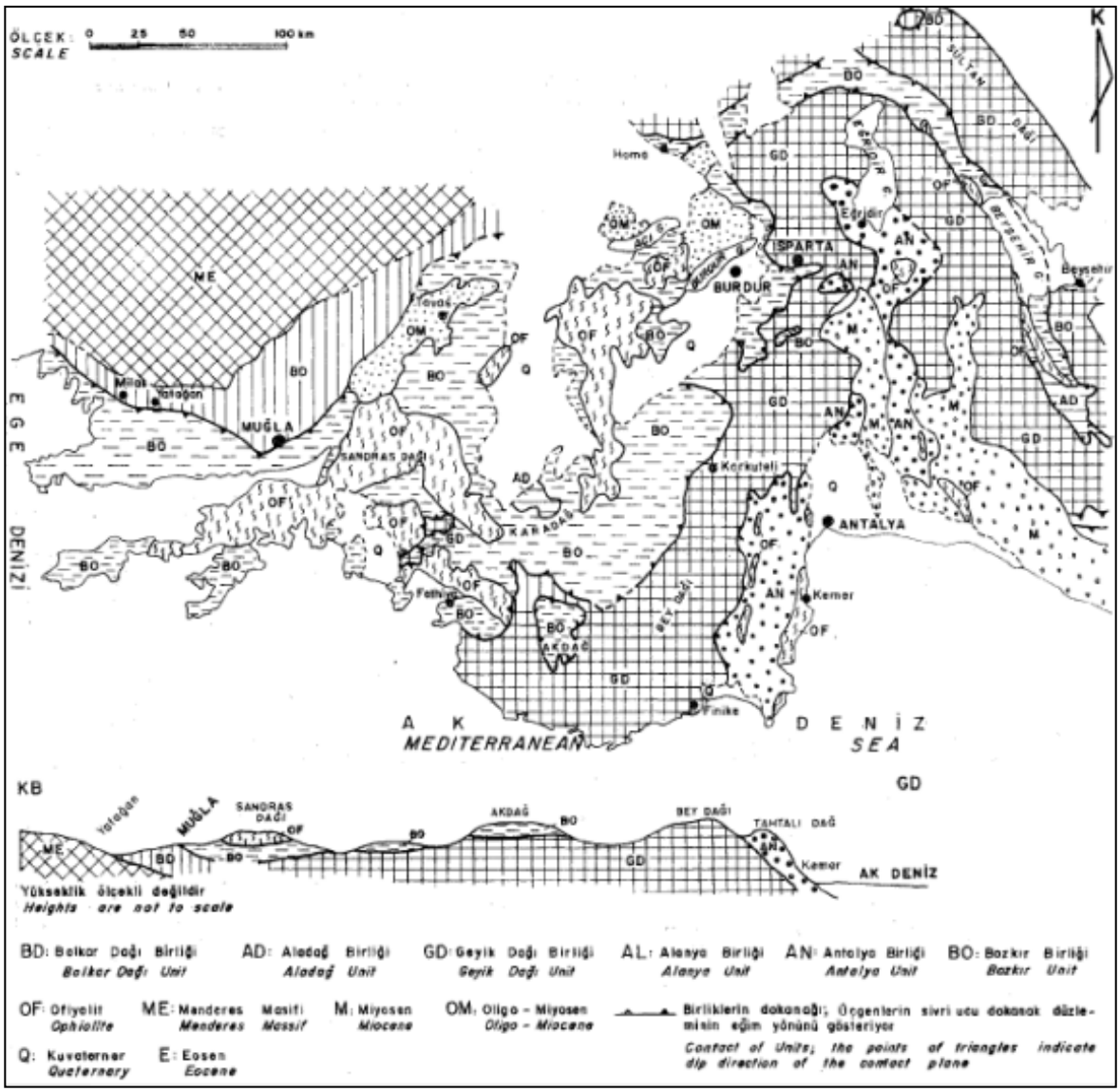
Colin, bölgedeki birliklerin tektonik hatlar ile birbirlerinden ayrıldıklarını belirterek yöreye ait detaylı jeolojik harita vermiştir (şekil 1).

Pisoni (1965), Kaş civarında yaptığı çalışmalarda Kaş kalkerleri olarak adlandırdığı kayaçların yaşının Meastridyen –Lütesyen olduğunu belirtilir. Aynı kayaçlar Colin (1962), tarafından yapılan jeolojik haritada "Kratase (kalkerli) Fethiye" olarak tanımlanmaktadır.

Ancak Özgül'ün 1976 da yaptığı çalışmadan sonra Batı Toroslar üç farklı tektonik yapıya ayrılmaktadır. Özgül'e göre bunlar Kuzeyden güneye doğru

1- Bozkır Birliği
2- Geyik Dağı Birliği
3-Antalya Naplarıdır.

Özgül Geyik Dağı Birliğini güney batıdan, Kalkan-Kaş-Finike hattından başlatarak Korkuteli güneyinden Isparta'ya kadar devam ettirerek, Bey Dağlarını da bu birim içinde gösterir. Batı Toroslar dahil tüm Toros kuşağı için Özgül'ün 1976 yılında yaptığı bu çalışma, yörede çalışan tüm araştırıcılar için başvuru kaynağı haline gelmiştir. Özgül'e göre, birlikler birbirleriyle anormal dokanaklı olarak kuşak boyunca yüzlerce kilometre yanal devamlılık gösterirler ve çoğunlukla birbirleri üzerinde allokton örtüler oluştururlar. Geyik Dağı birliği şelf türü karbonat ve kırıntılı kayaları kapsar. Bozkır ve Antalya birlikleri ise daha çok derin deniz çökellerini, ofiyolitleri ve bazik denizaltı volkanitlerini kapsar. Özgül (1976), yaptığı genel sentezde, Batı Toroslar'da değişik havza koşullarını yansıtan birliklerin yer aldığını, bunlardan Geyik Dağı Birliği kapsamında düşündüğü Beydağlarının otokton olduğunu ve şelf türü karbonat ve kırıntılı kayalardan oluştuğunu belirtmiştir (şekil 2). Yine, Poisson, 1977' de Batı Toroslarda yaptığı araştırmada bölgedeki kayaçları Otokton birimler, Antalya Napları, Likya Napları, Hadim Nap ları ve Ofiyolitler olarak toplamıştır.



Şekil 2. Batı Toroslarda yer alan birliklerin şematik harita ve enine kesiti (Özgül,1976).

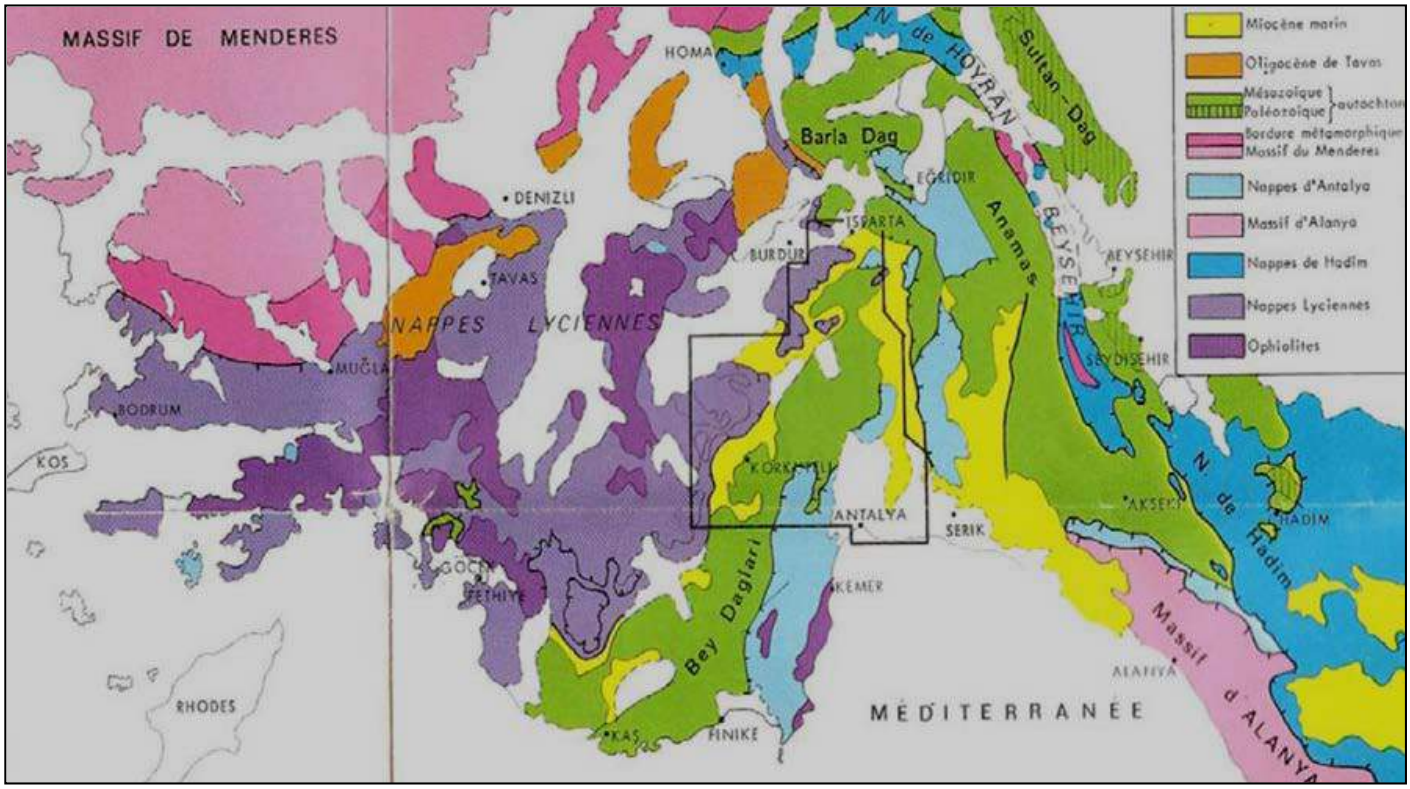
Likya Napları (Özgül,1976' a göre bozkır birliği) olarak adlandırılan bölgede genel olarak iki farklı kayaç tipi gözlenir. Bunlardan ilki Marmaris ve Fethiye bölgelerinde yayılım gösteren serpantinitleşmiş peridotit ve dünit gibi ultrabazik kayaçlardır.

Likya naplarında yer alan ikinci kayaç tipi Poisson (1977), tarafından Domuz dağı birimi olarak adlandırılır. Bu birim yaşları Üst permiyenden başlayıp Meastridyen'e kadar devam eden karbonatlardan oluşmaktadır (şekil 3).

Özellikle Megaladon ve Alg fosilleri içeren Triyas yaşlı bu kayaçlar bej mermerciliği açısından önemlidir. Bu bölgede ayrıca Poisson tarafından 20 m. lik bir kalınlıkta olduğu ifade edilen Lias yaşlı kırmızı renkli mermerler de "Rosa Verona" adıyla işletilmektedir.

Bej mermerciliği açısından çok önemli olan Domuz dağı birimi Güneyde Elmalı, Korkuteli'nin batısı, Yelten yaylasından devamla Burdur ilinden Isparta'ya kadar uzanmaktadır. Bu birimin yayılım gösterdiği başlıca yükseltiler, güneyden itibaren, Kızılcadağ, Yelten yaylasının da yer aldığı Domuz dağı, Kestel Dağı, Beşparmak dağı ve Isparta güneyinde Akdağ dır.

Şenel vd. (1981), tarafından Teke Toroslarının Güneydoğusunda yapılan çalışmada, bölgede Keçili Formasyonu olarak adlandırılan (Üst Kampaniyen-Meastridyen-Paleosen) yaşlı bloklu fliş karakterindeki formasyonun geniş alanlar kapladığını söylenmiştir. Genellikle bloklu fliş görünümünde olan bu birim, kumtaşı,



Şekil 3. Toros kuşağının batı kısmının basitleştirilmiş Jeoloji haritası (Poisson, 1977).

çakıltaşı, kiltaşı, miltaşı, marn, breşik kireçtaşı, detritik kireçtaşı, killi kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört gibi kaya türlerini ve değişik boyutta, çeşitli yaşta bloklar içerir. Bloklar, yüzlerce metre boyutta olabilir. Çoğunlukla Permiyen, Triyas, Jura, Kretase yaşlı formasyonların ve ofiyolitlerin parçalarından oluşurlar.

Yapılan çalışmada Şenel vd. daha önceden Antalya napları olarak ayırtlanan tektonik birimlerin (alt orta ve üst nap) hiçbirinin nap özelliğinde olmadığını belirtirler. Yazarlar yaptıkları çalışmada, Ordovisyen'den Üst Kratase'ye kadar devamlılık sunan bir istiften sonra Keçili formasyonu diye adlandırdıkları ve çok geniş alanlarda yayılım sunan formasyonu şöyle tanımlarlar. "Genellikle bloklu fliş görünümünde olan bu birim, kumtaşı, çakıltaşı, kiltaşı, miltaşı, marn, breşik kireçtaşı, detritik kireçtaşı, killi kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört gibi kaya türlerini ve değişik boyutta, çeşitli yaşta bloklar içerir." Bu Formasyon içinde bulunan fosiller Üst Kampaniyen-Meastridyen-Paleosen yaşını verir.

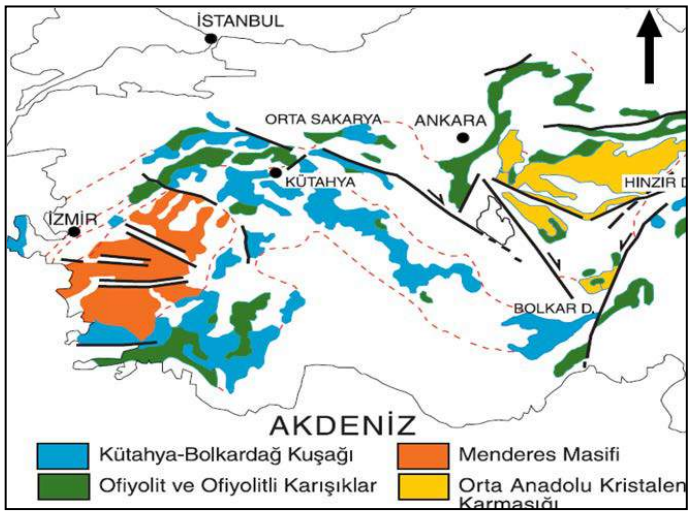
Sarı ve Özer (2002), Bey Dağları Karbonat Platformu Üst Kretase Startigrafisi yayınlarında, çalışmalarını şöyle özetlerler. "Bey Dağları otoktonunun (Batı Toroslar) Korkuteli (Antalya) bölgesindeki Üst Kretase karbonat istifi iki formasyon içerir. Senomaniyen-Santoniyen yaşlı Bey Dağları formasyonu istifin tabanında yer alır ve iki bölümden oluşur. Alttaki Senomaniyen - erken Santoniyen yaşlı neritik bölüm, gel git ortamında çökelmiş, platform karbonatlarından oluşur ve yaklaşık 600 m. kalınlığında bir istif oluşturur. Bu istif Senomaniyen ve erken Santoniyen'e karşılık gelen iki rudist resifi içerir. Senomaniyen rudist resifi radiolitid ve caprinid'lerden yapılıdır ve 10 m. kalınlığa sahiptir. Yanal yönde sürekli olan alt Santoniyen rudist resifi ise hippuritid'lerden yapılıdır ve 20 m kalınlığa sahiptir."

Son olarak Göncüoğlu (2007 ve 2011), yıllarında yaptığı "Kütahya-Bolkardağ Kuşağının Jeolojisi" isimli çalışmada (şekil 4) İzmir Ankara Zonu ile daha önceki araştırıcıların Likya Napları, Bozkır Birliği olarak adlandırdıkları kayaçların tamamen benzer jeolojik özellikte olduklarını söylemektedir. Kütahya-Bolkardağ Kuşağı Neotetis'in İzmir-Ankara Okyanusal Kolu'nun kapanması ile oluşan çok sayıdaki

tektonik dilimden meydana gelmiştir. Bu tektonik dilimler;

- İzmir-Ankara Okyanusal litosferine ve yığışım prizmasına ait kayaları (İzmir-Ankara ofiyoliti ve ofiyolitli melanjı),
- Torit-Anatolit kıtası kuzey kenarında, kıta kenarına yerleşen birimler önünde gelişmiş bloklu ve düzenli fliş çökellerini,
- Torit-Anatolit platformunun kuzey kenarına ait bazen yüksek basınç metamorfizmalı çökel istifleri içerir.

Büyük allokton kütleler veya melanj ve fliş içinde bloklar halinde gözlenen İzmir-Ankara okyanusu birimleri bir ofiyolit dizisinin tüm elemanlarını kapsarlar.



Şekil 4. Orta ve Batı Toroslarda Kütahya-Bolkardağ Kuşağının konumu ve dağılımı (Göncüoğlu 2011).

2 BEYDAĞLARI OTOKTONU

Türkiye'nin güneybatısında, Teke Yarımadasının güney ve iç kesimindeki kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı birim, Beydağları otoktonu olarak tanımlanır. Beydağlarının kuzeybatısında Likya Napları, güneydoğusunda ise Antalya Napları bulunur. Beydağları, 3000 m. yükseltilere ulaşan platform tipi karbonatlardan yapılıdır.

Fransız yerbilimciler grubu Brunn vd.,(1973) Beydağlarının (Jura-Kretase), Arap-Afrika Kıtası platformuna ait olduğunu belirtmişlerdir.

Bunların dışında Beydağları Otoktonu değişik isimler altında "Toros kireçtaşı ekseni", "Tetis Yükseltisi", "Toros karbonat platformu", "Anadolu-Torid Platformu", "Geyikdağı Birliği", "Beydağları Zonu", "Beydağları Masifi" olarak da isimlendirilmiştir (Aksoy ve Aksarı 2008).

Beydağları Otoktonu duraylı bir karbonat platformu çökellerinden oluşur ve doğuya doğru Batı Toroslar boyunca napların önünde ve gerisinde yer alır.

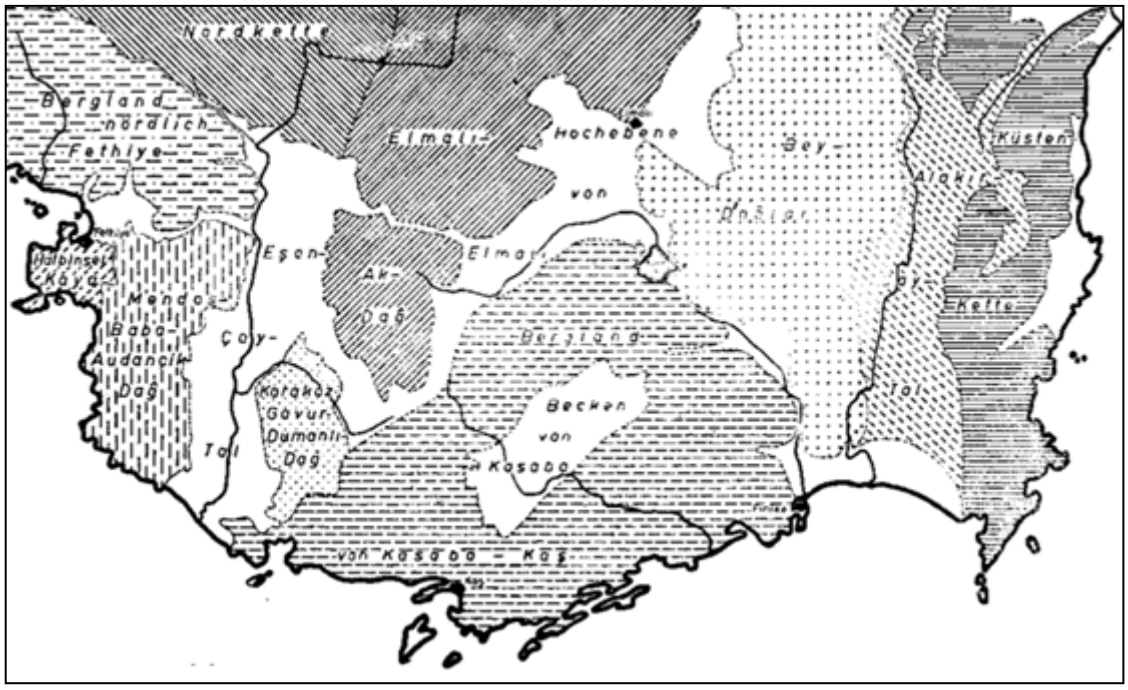
Üst üste duran tektonik birimlerden oluşan bölgede en batıda Beydağları otoktonu ile Likya Naplarına ilişkin birimler izlenmektedir. Burada, bu tektonik istifin en altında Beydağları otoktonuna ait neritik karbonatlardan yapılı, Üst Kretase yaşlı Beydağları formasyonu yer alır. Bunu kaba kırıntılı kayaçlardan oluşan Kasaba formasyonu uyumsuz olarak örter.

Beydağları Otoktonu üzerinde tektonik dokanakla Likya Naplarına ait birimler bulunur.

Günay vd., (1982) tarafından Beydağları formasyonu; alttan üste doğru monoton bir şekilde orta-kalın, yer yer ince tabakalı, gri-koyu gri, bej, krem, beyaz ve açık kahve renkli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. "Birimin inceleme alanında tabanı görülmemektedir. İnceleme alanı dışında kuzeyde, bu formasyonun Kasaba formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtüldüğü gözlenmektedir. Bölgede oldukça geniş alanlar kaplayan Beydağları formasyonunun yaşının önceki çalışmalara bağlı olarak Liyas-Üst Kretase arasında değiştiği bilinmektedir. Önceki çalışmalara göre, formasyonun yaşı Üst Kretase olarak kabul edilmiştir" tanımlaması ile Beydağları Otoktonuna yaş verirler.

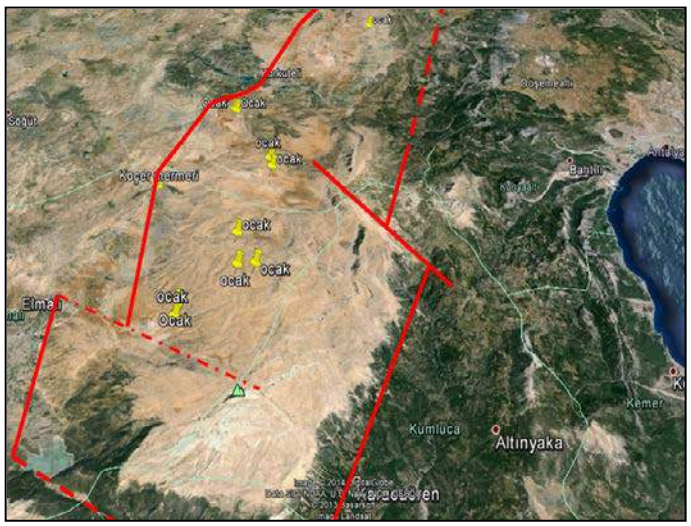
Bu çalışmalara karşın, Colin 1962 yılında yaptığı çalışmada Beydağları otoktonunu Elmalı-Avdan Gölü – Finike arasından geçen bir sınırla ayırmış ve bu sınırın doğusunda kalan kesime Beydağları derken batısındaki bölgeye ise Kasaba-Kaş Dağları (Bergland von Kasaba-Kaş) adını vermiştir (şekil 5).

Ancak, Colin tarafından yapılan bu ayrım daha sonraki çalışmacılar tarafından benimsenmemiştir.



Şekil 5. Beydağları otoktonu olarak adlandırılan bölgenin, Colin, (1962) tarafından yapılan çalışmada Morfolojik ve jeolojik iki farklı oluşum olarak gösterilen haritası.

Bu çalışmada Elmalı-Finike hattının kuzeydoğu kesimi **Bey dağları**, güneybatı kesimi ise **Kaş-Kasaba Dağları** olarak adlandırılacaktır. Çalışma boyunca Bey dağlarında 11 adet (şekil 6), Kaş-Kasaba dağlarında ise 22 adet mermer ocağı detaylı incelenmiştir.



Şekil 6. Beydağları otoktonu olarak adlandırılan kuzeydoğu kesim Beydağları bölgesinde incelenen, açılmış ve ekonomik olmadıkları için terk edilmiş mermer ocakları ve tektonik hatlar.

Çalışma sonucunda önemli bir tespit olarak, Beydağlarında açılan tüm mermer ocakların terk edildiği gözlenmiştir. Bir kısmından ya hiç üretim yapılmamış ya da az bir üretimden sonra ocağın ekonomik olmadığı düşünülerek bırakılmıştır. Bu ocakların yapılan incelemelerde, birçoğunda rudist fosilleri gözlenmiştir (şekil 7).

2.1 Kuzeydoğu Kesim Beydağları

Beydağlarında yapılan arazi çalışmaları ve mermer ocak etüdleri sonucunda bu bölgede açılacak ocakların verimli olamayacağı, bu nedenle bu kaya birimi içinde ocak açılmaması gerektiği anlaşılmıştır.

Araştırma sırasında incelenen mermer ocakları yanı sıra, Beydağları içinde araştırma gezileri yapılmış ve ayrıca yöreden Likya Naplarından başlayıp, Antalya Naplarına kadar devam eden birçok travers atılmıştır. Bu traversler sonucunda Beydağları'nın Üst Kretase yaşlı plaketli kireçtaşlarından oluştuğu, bazı yörelerde kuvvetli tabakalanma gösteren bu kayaçların tabaka kalınlıklarının birkaç cm ile 40-50 cm arasında değiştiği gözlenmiştir (şekil 8).

Bazı bölgelerde ise (Çobanisa doğusu, Küçüksöge-Ovacık arası, Kızlar sivrisi, vb.) bu tabakalar tektonik etkiler sonucunda kırılmışlar ve kıvrılmışlardır (şekil 9).

Şekil 7. Beydağları Otoktonunda terk edilmiş ocaklarda gözlenen bazı rudist fosilleri.

Şekil 8. Beydağları Otoktonunda farklı bölgelerde gözlenen tabakalanmalar.

Bu çalışmalar ve arazi gözlemleri sonucunda Beydağları otoktonu olarak eski çalışmalarda gösterilen oluşumların, aslında bir bütün değil iki farklı bölge olduğu söylenebilir. Beydağları olarak adlandırılan doğu bölgesinin Üst Kratase yaşlı neritik kireçtaşlarından oluştuğu anlaşılmıştır ve bu yöre mermer ocak açılmasına, bir kısım yeterli rezerve sahip resifal zonlar haricinde, uygun değildir.

Şekil 9 Beydağlarında gözlenen bazı tektonik yapılar (Çobanisa doğusunda kayaların ovadan geçen fay'a doğru kıvrılması; Küçüksöge-Ovacık arasında gözlenen faylar)

2.2 Kaş-Kasaba Dağları (Batı Kesim Bey Dağları)

Kaş-Kasaba dağlarında incelenmiş olan 22 adet mermer ocağından birkaç tanesi tektonik olarak kötü lokasyonda açıldığı için terk edilmiş olmak ile birlikte, yaklaşık 18 tanesinde günümüzde üretim devam etmektedir. Ayrıca Kaş ve Demre civarlarında gezilmemiş birçok mermer ocağı da halen çalışmaktadır. Bu bölgede bulunan kireçtaşlarının özellikleri Beydağlarına benzemez. Türkiye'de ve dünyada çok iyi tanınan Limra mermerleri bu yörede üretilmektedir. Yine bölgenin kuzeyinde bulunan ocaklarda üretilen kireçtaşı karakterindeki mermerler, ne Limra ne de sert kireçtaşlarına benzemektedirler. Bunlar Limra'ya göre daha sert ve masif kalkerlerdir. Yörede yaygın olarak fliş fasiyesindeki kayalar da gözlenmektedir.

Kaş-Kalkan civarlarında ise büyük olasılıkla kireçtaşları içinde Triyas yaşlı seviyeler de gözlenmekte ve mermer olarak işletilmektedir.

Şekil 9. Kaş-Kasaba dağları (Batı kesim Bey dağları) ve incelenen mermer ocak bölgeleri.

Bu çalışmalar sonucunda Kaş-Kasaba dağları olarak ayrılan bölgenin jeolojik olarak Beydağlarından farklı olduğu, yer yer fliş fasiyesindeki kayaların görüldüğü, kireçtaşlarının daha geniş bir yaş aralığında olduğu ve Beydağlarının mermer üretimine uygun olmamasına karşın bu bölgedeki kireçtaşlarında dünyanın en önemli mermerlerinin üretildiği gözlenmiştir.

3 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Hazırlanan çalışmada, 1960'lar dan bu yana farklı araştırmacılar tarafından çalışılan Beydağları Otoktonu'nda bulunan mermer yatakları incelenmiştir. Kun ve Kun (2014), bölgede yaptıkları tamamen mermer yataklarına dönük olan araştırmada, eski çalışmalarda Beydağları Otoktonu olarak adlandırılmış olan bölgede bulunan mermer ocaklarını incelemişlerdir. Araştırıcılar incelenen mermer yataklarına ve kireçtaşlarının özelliklerine dayanarak Bey dağları Otoktonu'nun tek bir fasiyesten oluşmadığını belirtirler. Araştırıcılara göre; Avlan gölü – Yalnız - Finike Fayı olarak adlandırdıkları tektonik bir hat, Beydağlarını ikiye ayırmaktadır. Araştırıcılar, bu fayın kuzeydoğusunda kalan kesimi Bey dağları, güneybatısında kalan kesimi ise Kaş - Kasaba Dağları olarak adlandırmışlardır.

Kaş-Kasaba dağları mermer üretimi açısından Türkiye'nin önemli bölgelerinden biridir. Bu bölgede Finike, Demre civarlarında üretim yapan onlarca mermer ocağı, Limra ve Limestone adıyla tanınan mermerleri, Kaş civarlarında ise bej karakterli mermerleri üretmektedirler. Buna karşılık Beydağlarında açılmış tüm ocaklar ya hemen ya da bir sure sonra ekonomik olmadıklarından terk edilmişlerdir. Bunun nedeni ise Beydağlarını oluşturan kireçtaşlarının, tabakalı yapıda olmaları ve tabaka kalınlıklarının birkaç cm ile 40-50 cm arasında değişmesidir. Bu özellikler blok üretmeye elverişli değildir. Ancak, Beydağları Otoktonu içerisinde bulunan bazı resifal düzeylerde mermer üretilebilir. Bu düzeylerden bazıları da, üretim için elverişli rezerve sahip değillerdir. Bu nedenle Beydağları Otoktonu mermer ocakçılığı için, ender bazı resifal düzeyler hariç, uygun değildir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar hazırlanan bu çalışma kapsamında, DEÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne 2012 KFEN022 nolu proje desteği için teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Aksoy, R., Aksarı, S.,2008, Elmalı (Antalya, Batı Toroslar) Kuzeyinde Likya Naplarının Jeolojisi, S.Ü. Müh.Mim. Fak. Dergisi, 23, s.45-59

Brunn, J.H., Argyriadis, I., Marcoux, J., Monod, O., Poisson, A., Ricou, L.E., 1973, Antalya Ofiyolit Naplarının Orijini Lehine ve Aleyhine Kanıtlar, *50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğler Kitabı*, 58-69.

Colin, H.J., 1962, Geologische Untersuchungen im Raume Fethiye, Anatalya, Kaş, Finike (SW Anatolien), *MTA Bull*., 59, 19-61.

Göncüoğlu, M.C.,2007, Kütahya-Bolkardağ Kuşağının Jeolojisi, *Menderes Masifi Kolokyumu, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı,* s.39-43.

Göncüoğlu, M.C., 2011, Geology of the Kütahya-Bolkardağ Belt., *Mineral Research and Exploration* Bulletin,142, s.223-277.

Günay, Y., Bölükbaşı, S. ve Yoldemir, O.,1982, Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı. *Türkiye 6. Petrol Kongresi*, s.91–101.

Kun, N., Kun, M., 2014, Mermer ocak işletmeciliğinde yer altı üretim planlaması. D.E.Ü Rektörlüğü 2012 KB. Fen 024 no.lu proje raporu (Yayımlanmamış), s.82.

Özgül,N.,1976, Toroslar'da bazı temel jeoloji özellikleri, Türkiye Jeol.Kur.Bült., 9, s.65-78.

Pisoni, C., 1967, Kaş (Antalya ili) bölgesinin jeolojik etüdü. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 62, s. 44- 51.

Poisson, A.,1977, Recherches ge'ologiques dans Les Zaurides occidentales (Turquie):Thfese d'Etat, Univ. *Paris-Sud*, 79 (yayımlanmamış),Orsay

Sarı,B., Özer, S., Upper Cretaceous Stratigraphy of the Bey Dağları Carbonate Platform, Korkuteli Area (Western Taurides, Turkey), 2002, *Turkish J. Earth Sci*., 11, s.39-59.

Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M., Gözlerteke, M. Z., 1981, Torosların Güney-doğusu'nun Jeolojisi. *MTA Dergisi*, 95-96, s.13-43.

Bazı Doğal Taşların Farklı Koşullar Altında Dayanım Değerlerinin Değişiminin İncelenmesi

Investigating the Strength Values of Some Natural Stones Under Different Conditions

D. Akbay, N. Şengün, S. Demirdağ, R. Altındağ, İ. Uğur
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Günümüzde özellikle inşaat sektöründe doğal taşların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Doğal taşlar kullanıldıkları yere göre uzun süre yağmur, rüzgâr, nem, donma-çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır. Doğal taşın bu koşullar karşısında görünümünde bir kötüleşme olabildiği gibi hem fiziksel hem de mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Doğal taşlar servis ömrü süresince atmosfer şartlarına bağlı olarak kuru, suya doygun veya gözeneklerinin içindeki su donmuş halde bulunabilmektedir. Bu çalışmada, bu üç farklı koşul altında doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı yapısal ve dokusal özelliklere sahip magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli doğal taşlara, üç farklı durum için; tek eksenli basınç dayanımı ve yoğun yük altında bükülme dayanımı deneyleri yapılıp elde edilen sonuçlar ışığında farklı koşullar için değişim oranları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, dayanım değerleri

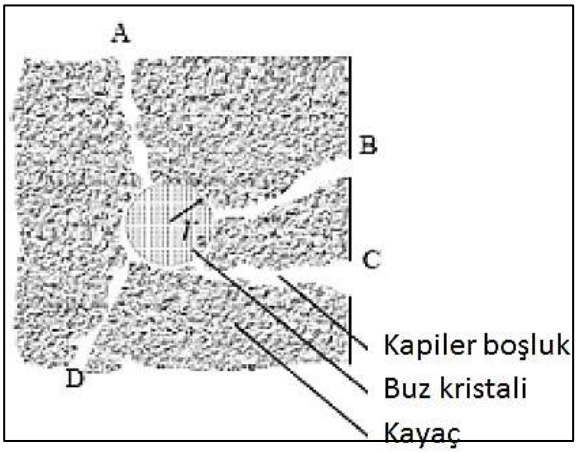
ABSTRACT Nowadays, the use of natural stone in the construction industry is increasing day by day. Natural stones are exposed to different atmospheric conditions as rain, wind, moisture, freezing-thawing and temperature difference between night and day. Thus, it is known physical appearance, physical and mechanical properties of natural stones change by the effects of atmospheric conditions. During their service life natural stones stand in the state of dry, saturated or frozen water in the pores. In order to determine or examine how change the strength of natural stones by those under three different conditions, uniaxial compressive strength and bending strength tests were applied to natural stones which have different structural and textural properties (magmatic, metamorphic, sedimentary). The strength values were statistically analyzed and strength loss rates were determined for the three different conditions.

Keywords: Natural stone, strength values

1 GİRİŞ

Doğal taşlar günümüzde özellikle inşaat sektöründe zeminlerde, bina iç ve dış cephe kaplamalarında dayanıklılığı ve estetik görünümü nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlar kullanıldıkları yere göre uzun süre yağmur, rüzgâr, nem, donma-çözülme ve gece gündüz sıcaklık farklılıkları gibi atmosfer olaylarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle servis ömürleri boyunca maruz kaldığı atmosferik koşullara karşı dirençli olmalıdır. Özellikle, dış ortam koşullarında döşeme ve kaplama elemanı olarak kullanıldıklarında, yağmur, yüzey veya zemin suları doğal taşın bünyesinde bulunan kılcal çatlaklar ve/veya boşluklar sayesinde yapı boyunca ilerleyerek bünyeye

nüfuz etmektedir. Hava sıcaklığının suyun donma derecesinin altına düşmesiyle, doğal taşın bünyesindeki su donmakta, hacmi artmakta ve iç gerilmelere sebep olmaktadır (Şekil 1). Bu olay neticesinde doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir.



Şekil 1. Kayacın gözeneğine yerleşmiş buz (Powers ve Helmuth, 1953).

Birçok araştırmacı kayaçların sıcaklığa ve suya doygunluk derecelerine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini anlamak için çalışmalar yapmışlardır. Fakat literatür incelendiğinde kayacın bünyesindeki su donduktan sonra donmuş halde kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana geldiğini inceleyen çok fazla çalışmaya rastlanılmamaktadır.

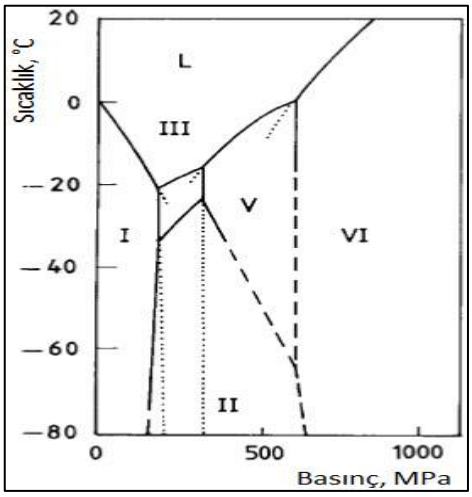
Sayles ve Haines (1974) donmuş kumtaşı ve kilin sabit gerilme altında dayanımının nasıl değiştiğini ve kayaçların dayanımı ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Haynes ve Karalius (1977) farklı yükleme hızlarında kayaçların dayanımlarının sıcaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemeye çalışmışlardır. Bragg ve Andersland (1981), Bourbonnais ve Ladanyi (1985) ve Wu vd. (1994) donmuş kaya malzemesinin sıcaklıkla dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişler. Haynes vd. (1975) -9,4 °C'deki killi kumtaşının deformasyon oranının dayanım üzerindeki etkisini araştırmışlar ve serbest basınç dayanımı ile deformasyon hızı arasında bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Baker (1979) donmuş kayaçlar üzerinde yaptığı çalışmada tek eksenli basınç dayanımı ile deformasyon hızı arasında üssel bir fonksiyon olduğunu belirtmiştir. Parameswaran ve Jones (1981) donmuş kaya malzemesinin dayanımı ile deformasyon hızı arasındaki ilişkinin doğrusal olabileceğini önermişlerdir. Chamberlain vd. (1972) -10 °C'de donmuş kumtaşı üzerinde üç eksenli basınç dayanımı deneyi yapmışlar ve farklı yanal basınç değerlerinde (0-275,6 MPa) kumtaşının mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Fish (1991) ve Ma vd. (1994) donmuş kaya malzemesi için çevresel basınç ile malzemenin dayanımı arasında doğrusal olmayan parabolik dayanım kriteri önermişlerdir. Ma vd. (1999) yüksek çevresel basınç altında donmuş kaya malzemesinin yenilme mekanizmasını analiz etmişlerdir. Arenson vd. (2004), Sayles ve Carbee (1981) ve Vyalov (1962) kaya malzemesinin buz içeriği ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalar yapmışlarıdır. Andersland ve Akili (1967) RPT'ye (Rate ProcessTheory) bağlı olarak donmuş kilin sünme karakteristiğini tanımlamışlardır. Fish (1984) yaptığı çalışmada termodinamiğe bağlı olarak donmuş kaya malzemesinin sünme modelini önermiştir. Zhu ve Carbee (1987) eksenel gerilme altında donmuş kaya malzemesinin sünme davranışını araştırmışlar ve ampirik bir eşitlik önermişlerdir. Zhu ve Zhang (1982) eksenel yük altında donmuş kilde meydana gelen deformasyonu incelemişlerdir. Zhu vd. (1992) yaptıkları çalışmalar sonucunda tek eksenli basınç altında donmuş kaya malzemesinin davranışını açıklayan bir seri model önermişlerdir. Ma vd. (1998) donmuş kumtaşında üç eksenli basınç dayanımı deneyinde deformasyon karakteristiğini incelemişlerdir. Ma vd. (2000) donmuş kilde normalizasyon metoduna göre deformasyon karektristiğini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Zhang vd. (2007) donmuş kilde üç eksenli basınç dayanımı deneyinde meydana gelen hacimsel deformasyon karakteristiğini analiz etmişlerdir. Li vd. (2009) donmuş kaya malzemesi için Mohr-Coulomb kriterine dayanan istatistiksel yapısal bir deformasyon modeli önermişlerdir. Lai vd. (2009) donmuş

kumtaşı için bir elasto-plastik yapısal deformasyon bağıntısı belirlemişlerdir. Lai vd. (2010) donmuş kil için genel plastik mekaniğine dayanan elasto-plastik deformasyon bağıntısı önermişlerdir. Baker vd. (1981) ve Sayles vd. (1987) donmuş kaya malzemesinin mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarla, donmuş kaya malzemelerine uygulanacak mekanik test yaklaşımları için standartlar geliştirmişlerdir. Fakat Arenson vd. (2007) deney koşullarının farklı araştırmacılar için farklı olduğunu vurgulamışlar ve bir genelleme yapmanın uygun olmayacağını ifade etmişlerdir. Arenson vd. (2007) yaptıkları çalışmada, donmuş zeminler için hacimsel buz içeriğine bağlı olarak bir sınıflama önermişler ve ayrıca buzca zengin diye yeni bir tanımlama yapmışlardır. Arenson vd. (2003) ve Arenson ve Springman (2005a, b) buzca zengin sürekli donmuş tabakalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kodama vd. (2013) farklı doygunluk derecelerine sahip kayaçların farklı sıcaklıklarda ve yükleme hızlarında dayanımlarında meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki donmuş kayaçların dayanımı büyük ölçüde sıcaklığa, deformasyon hızına, çevresel basınca ve buz içeriğine bağlıdır. Bu çalışma kapsamında, üç farklı koşul altında kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı yapısal ve dokusal özelliklere sahip magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli doğal taşlara, üç farklı durum için; tek eksenli basınç dayanımı ve yoğun yük altında bükülme dayanım deneyleri yapılıp elde edilen sonuçlar ışığında farklı koşullar için değişim oranları belirlenmiştir.

1.1 Buz ve Buzun Yapısı

Buz değişik yapılarda bulunabilmektedir. Hacim olarak buzun sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişik halleri veya durumları Şekil 2'de verilmiştir. Normal sıcaklık (0 °C ve altı) ve basınç altında buzun yapısı altıgen durumundadır. Mikro gözenekli malzemelerdeki buzun yapısı üzerine araştırmalar yapmış olan Anderson'a (1967) göre, -80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki malzemelerde bulunan buz normal halindedir.



Şekil 2. Buzun faz diyagramı.

Buzun sıcaklıkla dayanımı arasındaki ilişkinin belirlendiği çalışmada, sıcaklık derecesi eksi yönde artıkça dayanımların arttığı Çizelge 1'de verilmiştir (Postacıoğlu, 1987). Görüldüğü gibi sıcaklık derecesi azaldıkça buzun dayanımı artmaktadır.

Çizelge 1. Buzun farklı sıcaklıklardaki dayanımı.

Sıcaklık Derecesi (°C)	Buzun Basınç Dayanımı (MPa)
-5	59
-10	109
-15	164
-20	194

Yeryüzünde kıtalar ve bölgeler bulundukları yere göre değişik sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Ekvatora yakın bölgelerde sıcaklık derecesi ve süresi uzun iken, kutup bölgelerine doğru yaklaşıldığında sıcaklık derecesi ve süresi değişmektedir. Bazı bölgeler uzun süre buzun etkisi altında kalabilmektedir. Ülkemizde de özellikle doğu bölgelerde kış ayları 4-5 ay sürmekte ve yapıların kış ayları boyunca sıfırın altında (-) sıcaklıklar altında bulunmaktadır.

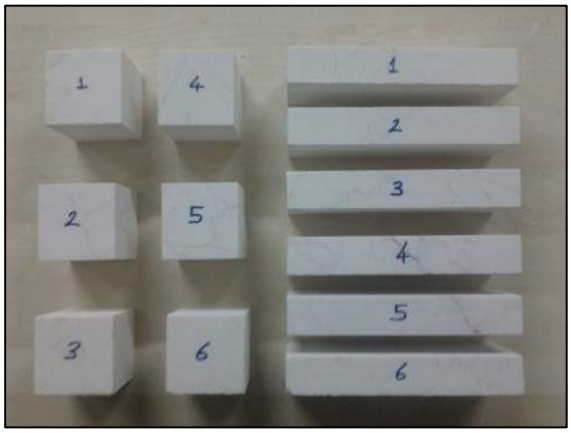
2 MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında ülkemizin çeşitli yörelerinden 11 farklı doğal taş temin edilmiştir (Çizelge 2). Bu doğal taşlar

laboratuvar ortamına getirilerek, her bir deney koşulu için kayaçlardan 5'er adet boyutları 50x50x50 mm küp ve 25x50x150 mm prizmatik numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3).

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan doğal taşlar.

Kayaç	Kodu	Orijini
Sivrihisar Granit	SG	Magmatik
Isparta Andezit	IA	Magmatik
Akşehir Siyah	AS	Metamorfik
Muğla Gümüş	MG	Metamorfik
Afyon Kaplanpostu	AK	Metamorfik
Elazığ Vişne	EV	Sedimanter
LightTraverten	LT	Sedimanter
Kırmızı Traverten	KT	Sedimanter
Light Emperador	LE	Sedimanter
Perla Limra	PL	Sedimanter
Adin Bej	AD	Sedimanter



Şekil 3. Deneylerde kullanılan numuneler.

Hazırlanan numuneler, 3 farklı koşulda (kuru, suya doygun ve donmuş) tek eksenli basınç dayanımı ve yoğun yük altında bükülme dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Kuru durumdaki deneyler için numuneler 105 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bekletildikten sonra etüvden çıkarılmış ve 3 saat süreyle desikatörde soğutulduktan sonra deneyler yapılmıştır.

Suya doygun durumdaki deneyler için numuneler 105 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bekletildikten sonra etüvden çıkarılmış ve 3 saat süre desikatörde soğutulduktan sonra kademeli olarak suya doyurulmuştur. Numuneler 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra deneye tabii tutulmuştur.

Donmuş durumdaki deneyler için ise, numuneler 105 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bekletildikten sonra 3 saat süre desikatörde soğutulduktan sonra kademeli olarak suya doyurulmuştur. Numuneler, 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra -30 °C'ye ayarlanmış dondurucuda 48 saat süre ile dondurulmuştur.

Hazırlanan numuneler, her üç koşulda belirtilen deneylere tabii tutularak dayanım değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

2.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Doğal taşların kuru birim hacim ağırlık değerleri, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri, toplam porozite ve yoğunluk değerleri TS EN 1936 (2010) standardında belirtilen esaslara göre kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler üzerinde belirlenmiştir.

Sismik hız deneyleri TS EN 14579'da (2006) belirtilen esaslara göre, kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler kullanılarak yapılmıştır. Her bir deneyde en az 5'er numune kullanılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan doğal taşların fiziksel özellikleri.

Kayaç Kodu	KBHA g/cm^3	γ g/cm^3	ASE %	HSE %	P_t %	V*p* m/s
SG	2,66	2,75	0,35	0,93	3,10	5065
IA	2,32	2,59	2,94	6,80	10,51	4624
AS	2,70	2,72	0,28	0,76	0,88	4866
MG	2,74	2,78	0,16	0,43	1,72	4855
AK	2,69	2,72	0,29	0,77	1,03	5047
EV	2,73	2,92	0,59	1,60	6,48	5444
LT	2,41	2,61	1,58	3,81	7,85	4797
KT	2,51	2,70	1,29	3,24	6,86	4876
LE	2,66	2,81	1,74	4,61	5,61	4843
PL	2,24	2,54	5,13	11,49	11,79	3566
AD	2,70	2,72	0,09	0,25	0,84	6263

BHA: Kuru birim hacim ağırlık; γ: Gerçek yoğunluk; ASE: Ağırlıkça su emme; HSE: Hacimce su emme; P_t: Toplam gözeneklilik; V*p*: *P*-dalga hızı

2.2 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri TS EN 1926 (2007) standardında belirtilen esaslara göre kenar uzunluğu 50 mm olan

küp numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 200 ton yükleme kapasitesine sahip hidrolik pres kullanılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı değerleri her 3 koşul için de Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Burada; σ_c, kayacın tek eksenli basınç dayanımı (MPa), *F*, kırılmanın gerçekleştiği maksimum yük (N)ve *A*, yüzey alanı (mm^2).

2.3 Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı

Yoğun yük altında bükülme dayanımı deneyleri TS EN 12372 (2007) standardında belirtilen esaslara göre kenar uzunluğu 25x50x150 mm olan prizmatik numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yoğun yük altında bükülme dayanımı değerleri her 3 koşul için de Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

$$\sigma_{eğ} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (2)$$

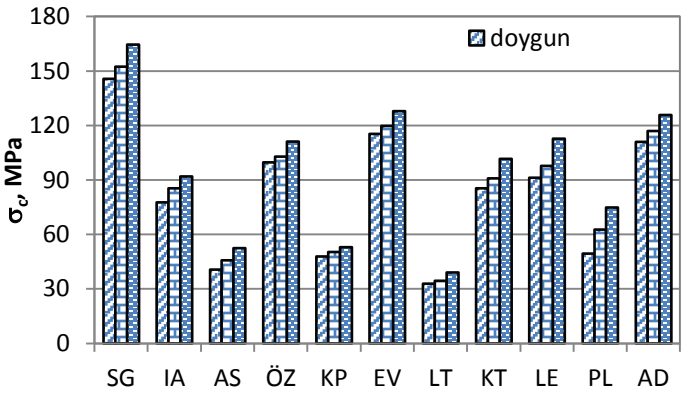
Burada; $\sigma_{eğ}$, yoğun yük altında bükülme dayanımı (MPa), *F*, kırılmanın gerçekleştiği maksimum yük (N), *l*, mesnetler arasındaki mesafe (mm), *b*, numune genişliği (mm), *h*, numune kalınlığı (mm).

3 DEĞERLENDİRMELER

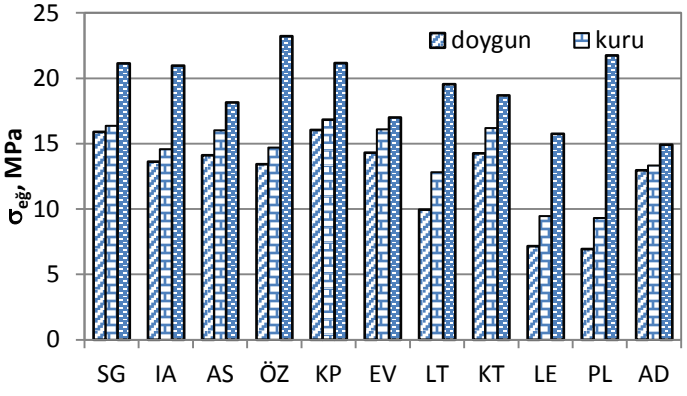
Doğal taşların mekanik özelliklerinden olan tek eksenli basınç dayanımı ve yoğun yük altında bükülme dayanımı değerlerinin kuru duruma göre, suya doygun ve donmuş koşullarda nasıl değiştiğinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Çizelge 4, Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, tüm kayaçlar için hem basınç dayanım değerleri hem de yoğun yük altında bükülme dayanım değerleri donmuş durumdaki koşullarda (-30 °C) diğer koşullara göre daha yüksek çıktığı, doygun durumda ise kuru duruma göre daha düşük çıktığı görülmektedir.

Çizelge 4. Kayaçların farklı koşullar altındaki dayanım değerleri.

Kayaç	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)			Yoğun yük altında bükülme day. (MPa)		
Kodu	kuru	doygun	donmuş	kuru	doygun	donmuş
SG	152,4	145,7	164,5	16,4	15,9	21,1
IA	85,5	77,7	91,9	14,6	13,6	21,0
AS	45,7	40,6	52,5	16,0	14,1	18,2
MG	102,8	99,7	111,2	14,7	13,4	23,2
AK	50,3	47,9	53,0	16,8	16,0	21,2
EV	119,8	115,3	127,8	16,1	14,3	17,0
LT	34,5	32,8	39,1	12,8	10,0	19,5
KT	90,9	85,3	101,6	16,2	14,3	18,7
LE	97,7	91,2	112,8	9,5	7,2	15,8
PL	62,6	49,4	74,8	9,3	7,0	21,8
AD	117,0	110,9	125,8	13,3	13,0	14,9



Şekil 4. Numunelerin farklı koşullardaki tek eksenli basınç dayanım değerleri.



Şekil 5. Numunelerin farklı koşullardaki yoğun yük altında bükülme dayanım değerleri.

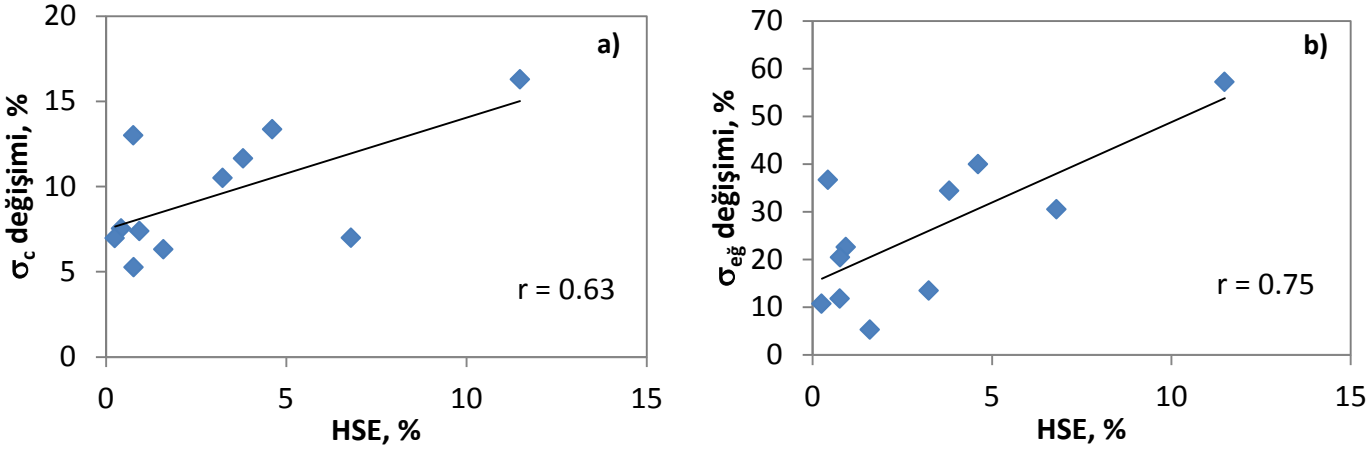
Çalışmada kullanılan doğal taşların kuru duruma göre, suya doygun ve donmuş durumda ne derece etkilendiğini belirlemek amacıyla yüzdesel değişim oranları

hesaplanmış ve Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgede doğal taşların dayanım değerlerinin kuru duruma göre, suya doygun durumda azaldığı, donmuş durumda ise arttığı gözlemlenmiştir. Suya doygun durumda en fazla basınç dayanım kaybının % 21, donmuş durumda ise en fazla basınç dayanımı artışının % 16,3 ile PL kodlu numunede meydana geldiği görülmektedir. Doymuş durumda en fazla eğilme dayanımı kaybının % 25,3, donmuş durumda ise en fazla eğilme dayanım değeri artışının % 57,2 ile yine PL kodlu numunede meydana geldiği belirlenmiştir.

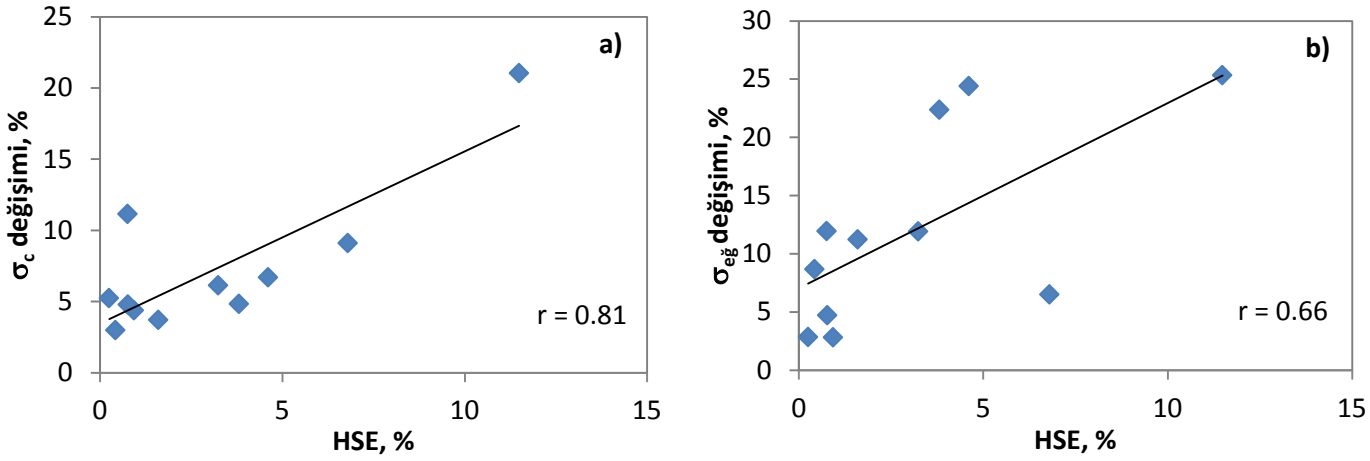
Sonuçlar irdelendiğinde, çalışmada kullanılan kayaçlar için suya doygun durumda (gözeneklerinin suyla doldurulması ile) yapısında bulunan kılcal çatlaklardaki dolguyu zayıflatması sonucu kuru duruma göre daha düşük dayanım değerleri gösterdiği ifade edilebilir. Kayaçların donmuş halde dayanım değerlerinin daha yüksek çıkmasının nedeni şu şekilde açıklanabilir; Kayaçların çatlak ve gözeneklerindeki suyun dondurulması ile suyun kristalleşmesine bağlı olarak, çatlak ve gözenek duvarlarında kayaç ile bağ yapması sonucu, kayacın daha masif bir yapıya ulaşmış olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçla, kayaçların dayanımlarındaki değişim değerleri ile açık gözenekliliğin göstergesi (kayaç içerisine suyun girebileceği boşlukların oranı) olan hacimce su emme değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için Şekil 6 ve Şekil 7'de dağılım grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde, farklı durumlarda dayanım değişimleri ile hacimce su emme değerleri arasında anlamlı ve doğrusal ilişkiler elde edilmiştir.

Çizelge 5. Kayaçların kuru duruma göre dayanımlarındaki yüzdesel değişim oranları

Kayaç	Tek eksenli basınç dayanım değişimi (%)		Yoğun yük altında bükülme dayanım değişimi (%)	
Kodu	doygun	donmuş	doygun	donmuş
SG	-4,4	7,4	-2,8	22,6
IA	-9,1	7,0	-6,5	30,5
AS	-11,2	13,0	-11,9	11,8
MG	-3,0	7,5	-8,7	36,7
AK	-4,8	5,3	-4,7	20,5
EV	-3,7	6,3	-11,2	5,3
LT	-4,8	11,6	-22,4	34,4
KT	-6,1	10,5	-11,9	13,4
LE	-6,7	13,3	-24,4	40,0
PL	-21,0	16,3	-25,3	57,2
AD	-5,3	7,0	-2,8	10,7



Şekil 6. Doygun (a) ve donmuş (b) durum için basınç dayanımı değerlerindeki değişim ile hacimce su emme değerleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 7. Doygun (a) ve donmuş (b) durum için bükülme dayanımı değerlerindeki değişim ile hacimce su emme değerleri arasındaki ilişkiler.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, kış aylarında özellikle çok yağış alan ve çok soğuk bölgelerde bulunan diğer bir deyişle uzun süre su veya buzun etkisi altında bulunan doğal taşların dayanım özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, ülkemizin farklı bölgelerinden temin edilen farklı orijine sahip 11 farklı doğal taş üzerinde, kuru, suya doygun ve donmuş durumlarda deneyler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar ile daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Veriler incelendiğinde, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Hem basınç dayanımı hem de yoğun yük altında bükülme dayanımı için, doygun durumdaki dayanım değerleri kuru duruma göre düşük çıkmıştır.
- Yine bütün deneylerde donmuş haldeki dayanım değerleri, kuru duruma göre yüksek çıkmıştır.
- Dayanım değerlerindeki en yüksek değişim, en yüksek gözenekliliğe sahip olan Perla Limra (PL) kodlu numunede meydana gelmiştir.
- Tüm kayaçlar için, donmuş haldeki eğilme dayanım değişim değerleri, yine donmuş haldeki basınç dayanım değişim değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.
- Doygun durumdaki kayaçların dayanım değerlerindeki azalma durumunu, kayacın gözenek yapısı ve kılcal boşlukların birbiri ile olan bağlantılarının durumunun etkilediği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Andersland, O.B., Akili, W., 1967. Stress effect on creep rates of a frozen clay soil, Geotechnique, 17 (1), 27–39.

Anderson, D.M., 1967. The Interface Between Ice and Silicate Surfaces, J. Colloid and Interface Science, 25, pp 174-191.

Arenson, L.U., Almasi, N., Springman, S.M., 2003. Shearing response of ice-rich rock glacier material, Eight International Conference on Permafrost, pp. 39–44, Zurich, Switzerland.

Arenson, L.U., Johansen, M.M., Springman, S.M., 2004. Effects of volumetric ice content and strain rate on shear strength under triaxial conditions for frozen soil specimens, Permafrost and Periglacial Processes, 15, 261–271.

Arenson, L.U., Springman, S.M., 2005a. Mathematical descriptions for the behaviour of ice-rich frozen soils at temperatures close to 0 °C, Canadian Geotechnical Journal, 42, 431–442.

Arenson, L.U., Springman, S.M., 2005b. Triaxial constant stress and constant strain rate tests on ice-rich permafrost specimens, Canadian Geotechnical Journal, 42, 412–430.

Arenson, L.U., Springman, S.M., Sego, D.C., 2007. The rheology of frozen soils, Applied Rheology, 17 (1), 1–14.

Baker, T.H.W., Jones, V.R., Parameswaran, V.R., 1981. Confined and unconfined compression tests of frozen sand, The Roger J.E. Brown Memorial Volume Proc. Fourth Canadian Permafrost Conference, pp. 387–393.

Baker, T.H.W., 1979. Strain rate effect on the compressive strength of frozen sand, Proceedings of the First Symposium on Ground Freezing, pp. 223–231, Bochum, Germany.

Bragg, R.A., Andersland, O.B., 1981. Strain rate, temperature, and specimen size effects on

compression and tensile properties of frozen soil, Engineering Geology, 18, 35–46.

Bourbonnais, J., Ladanyi, B., 1985. The mechanical behavior of frozen sand down to cryogenic temperatures. Proceedings of the Fourth International Symposium on Ground Freezing, Vol. 1, pp. 235–244, Sapporo, Japan.

Chamberlain, E., Groves, C., Perham, R., 1972. The mechanical behavior of frozen earth materials under high pressure triaxial test conditions, Journal of Geotechnical, 22 (3), 469–483.

Fish, A.M., 1984. Thermodynamic model of creep at constant stress and constant strain rate, Cold Regions Science and Technology, 9 (2), 143–161.

Fish, A.M., 1991. Strength of frozen soil under a combined stress state, Proceedings of the Sixth International Symposium on Ground Freezing, Vol. 1, pp. 135–145, Beijing, China.

Haynes, F.D., Karalius, J.A., Kalafut, J., 1975. Strain rate effect on the strength of frozen silt, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Research Report, p. 350.

Haynes, F.D., Karalius, J.A., 1977. Effect of temperature on the strength of frozen Silt, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL Report 77-3, pp. 1–21.

Kodama vd., 2013.Theeffects of water content, temperature and loading rate on strength and failure process of frozen rocks, International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences, 62, 1–13.

Lai, Y.M., Long, J., Chang, X.X., 2009. Yield criterion and elasto-plastic damage constitutive model for frozen sandy soil, International Journal of Plasticity, 25, 1177–1205.

Lai, Y.M., Yang, Y.G., Chang, X.X., Li, S.Y., 2010. Strength criterion and elastoplastic constitutive model of frozen silt in generalized plastic mechanics, International Journal of Plasticity, 26, 1461–1484.

Li, S.Y., Lai, Y.M., Zhang, S.J., Liu, D.R., 2009. An improved statistical damage constitutive model for warm frozen clay based on Mohr–Coulomb criterion, Cold Regions Science and Technology, 57, 154–159.

Ma, W., Wu, Z.W., Chang, X.X., Sheng, Y., 1998. Effects of the shear stress strength and the average normal stress on deformation of frozen soil, Progress in Natural Science, 8 (1), 77–81.

Ma, W., Wu, Z.W., Zhang, L.X., Chang, X.X., 1999. Analyses of process on the strength decrease in frozen soils under high confining pressures, Cold Regions Science and Technology, 29, 1–7.

Ma, W., Wu, Z.W., Zhang, C.Q., 1994. Strength and yield criterion of frozen soil, Progress in Natural Science, 4 (3), 319–322.

Ma, W., Zhu, Y.L., Ma, W.T., Chang, X.X., 2000. Analysis of deformation in frozen clayey Soils, Journal of Glaciology and Geocryology, 22 (1), 43–47.

Parameswaran, V.R., Jones, S.J., 1981. Triaxial testing of frozen sand, Journal of Glaciology, 27 (95), 147–155.

Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Cilt 2, s. 333-337.

Powers, T.C., Helmuth, R.A, 1953. Theory of Volume Changes in Hardened Portland-Cement Paste During Freezing, Proceedings of Highway Research Board, Vol. 32, p. 285-295.

Sayles, F.H., Baker, T.H.W., Gallavresi, F., Jessberger, H.L., Kinosita, S., Sadovskiy, A.V., Sego, D.C., Vyalov, S.S., 1987. Classification and laboratory testing of artificially frozen ground, Journal of Cold Regions Engineering, 1 (1), 22–39.

Sayles, F.H., Carbee, D.L., 1981. Strength of frozen silt as a function of ice content and dry unit weight, Engineering Geology, 18, 55–66.

Sayles, F.H., Haines, D., 1974. Creep of frozen silt and clay, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Technical Report 252.

TS EN 1926, 2007. Doğal taşlar- Deney metotları- Basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara.

TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar - Deney metotları - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.

TS EN 12372, 2007. Doğal Taşlar - Deney metotları - Yoğun yük altında bükülme dayanımı tayini, TSE, Ankara.

TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney metotları - Ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara.

Vyalov, S.S., 1962. Strength and creep of frozen soils and calculations in ice-soil retaining structures, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Translation 76.AD 484093.

Wu, Z.W., Ma, W., Zhang, C.Q., Sheng, Z.Y., 1994. Strength characteristics of frozen sandy Soil, Journal of Glaciology and Geocryology, 16 (1), 15–20.

Zhang, S.J., Lai, Y.M., Sun, Z.Z., Gao, Z.H., 2007. Volumetric strain and strength behavior of frozen soils under confinement, Cold Regions Science and Technology, 47, 263–270.

Zhu, Y.L., Carbee, D.L., 1987. Creep and strength behavior of frozen silt in uniaxial Compression, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL Report 87-10, pp. 1–60.

Zhu, Y.L., Zhang, J.Y., Peng, W.W., Sheng, Z.Y., Miao, L.N., 1992. Constitutive relations of frozen soil in uniaxial compression, Journal of Glaciology and Geocryology, 14 (3), 210–217.

Zhu, Y.L., Zhang, J.Y., 1982. Elastic and compressive deformation of frozen soils, Journal of Glaciology and Geocryology, 4 (3), 29–39.

Borlu Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
Invesigation of Physical and Mechanical Properties of Concrete Boron

H. Sarıkaya
Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksek Okulu, Uşak

R. Altındağ
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Bu çalışmada, bor yataklarından elde edilen bor mineralleri farklı oranlarda kullanılarak çeşitli amaçlara yönelik özellikli betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda Su/Çimento oranı C30 betonu için 0,40, C35 betonu için 0,35 alınarak agrega hacminin ağırlıkça % 2,5 ve % 5 oranlarında bor kullanılmıştır. Üretilen betonların yoğunlukları, su emmesi, çökme değerleri, basınç dayanımları, ultrases hızları, donma çözünme sonrası basınç dayanımları ve ısı iletkenlikleri belirlenmiştir. Çalışma neticesi normal agrega yerine bor kullanılması ile bor oranı artışı ve basınç dayanımının azaldığı, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişme olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bor, beton, mekanik özellikler

ABSTRACT In this study, using different proportions of boron deposits obtained from various purposes are manufactured with concrete. In the study produced concrete water / cement ratio for concrete C30 of 0.40, 0.35 for concrete on the aggregate volume of C35 of % 2.5 and % 5 by weight of boron is used. The produced concrete of density, water absorption, deflection values, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, after the dissolution of compressive strength and thermal conductivity were determined freezing. Aggregate as a result of operation instead of the normal use of boron and boron compressive strength decreases with increasing rate, has been found to change the physical and mechanical strength.

Keywords: Boron, concrete, mechanical properties

1 GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan bu yana yeme içme ihtiyacından sonra ikincil temel ihtiyacı barınma olmuştur. Böylece yapı sektörü hep gündemde kalmış ve her an daha güzel, pratik yöntemler geliştirmeye yönelik çalışmalar devam etmiştir. Günümüz dünyasında ise her alanda olduğu gibi bu alanda da temel gaye, en kısa zamanda en az harcama ile çözüme ulaşmaktır. Günümüzde kullanımda ortaya çıkan ihtiyaçlar nedeni ile, çeşitli özelikleri geliştirilmiş veya üretim ve uygulama teknikleri farklı bazı özel betonlar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Üretilen betonların kullanım amacına yönelik olarak tasarımının yapılması ve ekonomik olması çok önemlidir (Sarıkaya, 2014).

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin (mineral, kimyasal, fiber vb) belirli şartlar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta şekil verilebilen plastik formda olup, zamanla çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonun gelişmesiyle (hidratasyon) sertleşerek mukavemet kazanan, harç fazı ve agregadan oluşan kompozit bir yapı malzemesidir (Özel, 2007). Beton henüz yeni karıldığında taze beton adını alırken, katılaşıp sertleşince

sertleşmiş beton adını alır (Neville, 1993). Betonda bileşime giren malzemeler özel olarak oranlandığı zaman karışım herhangi bir yere dökülebilir ve ebadı ile kalıpların şeklini alabilen plastik bir kütle meydana getirir (Baradan, 1997).

Bor madeni, periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, yoğunluğu 2.84 gr/cm^3, ergime noktası 2300 °C, kaynama noktası 2550 °C olan, metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir (Etimaden, 2012). Genellikle doğada tek başına değil, başka elementlerle bileşikler halinde bulunan bor madeni, çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği değişik özellikler nedeniyle, endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Doğadaki yaklaşık 150 mineralin bor elementi içerdiği bilinmesine rağmen, endüstriyel açıdan önemli ve ticari değeri olan bor bileşikleri arasında boraks, kolemanit, tinkal, üleksit, kernit, pandermit, probertit, szyabelit ve hidroborasit yer almaktadır. Bor mineraleri doğadaki halleriyle ticari önem taşımalarına rağmen, farklı tipteki rafine bor bileşiklerinin üretilmesi için bazen teknolojik işlemlere tabi tutulmaktadır. Öte yandan bu bor bileşikleri içerdikleri B_2O_3 (borik oksit) miktarına, taşıdıkları fiziksel veya kimyasal özelliklerine göre farklı alanlarda kullanılmaktadır (Boraxs, 2011).

Türkiye Dünya bor madeni rezervinin %72'sine sahiptir. Bu özelliği ile Dünya ham bor madeni üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Öte yandan, tek başına dünya bor talebini 567 yıl karşılayabilmesi söz konusudur. Dünya bor madeni rezervinin %7'sine sahip olan ABD ise, yakın gelecekte bor rezervlerinin tükenmesi ile karşı karşıyadır. ABD'deki bor rezervlerinin dünya bor talebini karşılayabilme süresi ise yalnızca 53 yıldır (Etimaden, 2012).

Türkiye'de bulunan bor madenleri diğer ülke rezervlerine göre karşılaştırmalı üstünlüğe sahiptir. Ülkemizde bulunan bor madenlerinin yerleşim yerlerinin hemen yanında yer alması, rezervlerin kolaylıkla işletilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca Türkiye'deki bor madenlerinin içindeki borik oksit oranının yüksek olması, boraks ve borik asit üretilmesi için madenlerin ek işlemlerden geçirilme zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır. Bütün bu özelliklere rağmen, Türkiye'nin bor ürünleri piyasasında aldığı pay ise yalnızca % 7'dir. Oysa ABD'nin aynı piyasadan aldığı pay yaklaşık % 60–70 civarındadır (Etimaden, 2012).

Bu çalışmada, bor yataklarından elde edilen bor minerallerinden (Kolemanit Konsantre), % 2,5 ve % 5 oranlarında agrega yerine ve boru öğütdükten sonra 50 mikron elekten eleyerek, betonda ince malzeme yerine konularak betonlar üretilmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyaller

Çalışmada normal beton üretiminde Aydın ili Söke ilçesi Çorapçı Boğazı merkezinden elde edilen Karakaşlar kum çakıl ocağından temin edilen agrega ve ve Balıkesir Bigadiç Bor işletmesinden getirilen bor agregası çeneli kırıcılarda kırıldıktan sonra agrega haline getirilerek kullanılmıştır. Karışımlarda % 40' ı ince agrega (0–4 mm) ve % 60' ı kaba agrega (4–16 mm) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda suya ilave katkı olarak Draco Yapı Kimyasalları' nın ürettiği Levelcon 1200 yüksek performanslı beton üretiminde kıvam korumalı ve yüksek oranda su azaltan kimyasal katı kullanılmıştır. Çimento olarak Burdur Bucak'ta bulunan As Çimento Fabrikası'nda üretilmiş CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve borun kimyasal özellikleri Çizelge 1'de ve çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.' de verilmiştir.

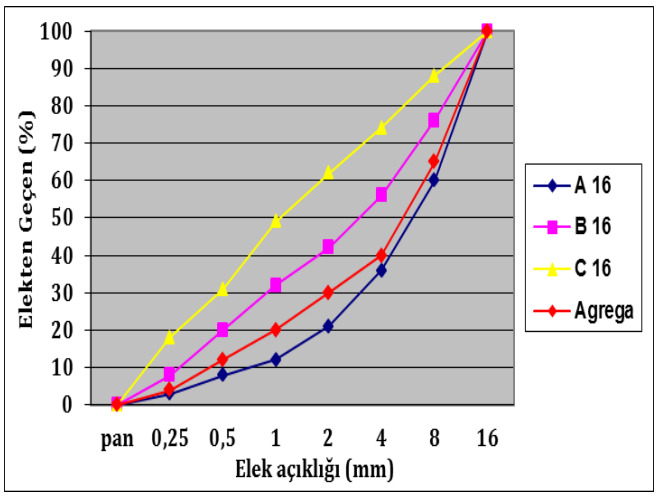
Çizelge 1. Çimento ve borun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	PÇ42,5 (%)	Kolemanit(%) Konsantre
Be_2O_3	-	42,23
SiO_2	20,02	4,94
Fe_2O_3	3,52	0,006
Al_2O_3	5,16	0,009
CaO	63,46	27,74
MgO	1,03	2,04
SO_3	2,74	0,52
SrO	-	0,62
Na_2O	-	0,13
H_2O	-	3,44

Çizelge 2. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özelikleri (As Çimento, 2010)

Bileşen	PÇ 42,5
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,124
Donma Başlangıcı (dakika)	180
Donma Sonu (dakika)	280
Hacim Genleşmesi (mm)	1,10
7 günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	26,60
28 günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	49,60

Beton bileşimlerinde normal agrega kullanılarak TS EN 206-1' e göre C30 ve C35 betonları üretilmesi hedeflenmiştir. C30 betonu için w/c oranı 0,40, C35 betonu için w/c oranı 0,35 alınmış ve üretilecek betonun kuru plastik kıvamda ve maksimum dane çapı 16 mm olacak şekilde TS 802' deki birim hacim ağırlık yöntemine göre yapılmıştır. İyileştirilmiş ve beton yapımında kullanılacak olan normal agrega ve borun granülometri eğrisi ise Şekil 1' de verilmiştir. Üretilen borlu betonların yapımında kullanılan kodlar Çizelge 3' de, karışıma giren borlu betonların 1 m^3 beton bileşenleri ise Çizelge 4.' de verilmiştir.



Şekil 1. İyileştirilmiş ve beton yapımında kullanılacak olan normal agrega ve borun granülometri eğrisi

Betonların üretimi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı ve doğal taşlar teknolojisi laboratuarında, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ve Aydın As Beton Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 10 seri beton üretilmiştir. Bunlar C 30 ve C35, katkılı beton serileridir.

Çizelge 3. Üretilen betonların karışım yüzdeleri

Kodu	**Beton Sınıfı**	**Agrega (%)**	**Bor (%) (Kolemanit-Konsantre) (agrega olarak)**	**Bor (%) (Kolemanit-Konsantre) (ince malzeme olarak)**
N30	C30	100	-	-
N35	C30	100	-	-
B30-1	C30	97,5	2,5	-
B30-2	C30	95	5	-
B35-1	C35	97,5	2,5	-
B35-2	C35	95	5	-
Bİ30-1	C30	97,5	-	2,5
Bİ30-2	C30	95	-	5
Bİ35-1	C35	97,5	-	2,5
Bİ35-2	C35	95	-	5

Çizelge 4. Üretilen betonların karışım miktarları (kg/m^3)

Beton kodu	Su	Çimento	Katkı	İnce Agrega	Kalın Agrega	İnce Bor	Kalın Bor
N30	160	400	3,2	722	1111	-	-
N35	158	400	3,6	706	1088	-	-
B30-1	160	400	3,2	704	1083	18	28
B30-2	160	400	3,2	686	1055	36	56
B35-1	158	450	3,6	688	1061	18	27
B35-2	158	450	3,6	671	1034	36	54
Bİ30-1	160	400	3,2	704	1111	18	-
Bİ30-2	160	400	3,2	686	1111	36	-
Bİ35-1	158	450	3,6	688	1088	18	-
Bİ35-2	158	450	3,6	671	1088	36	-

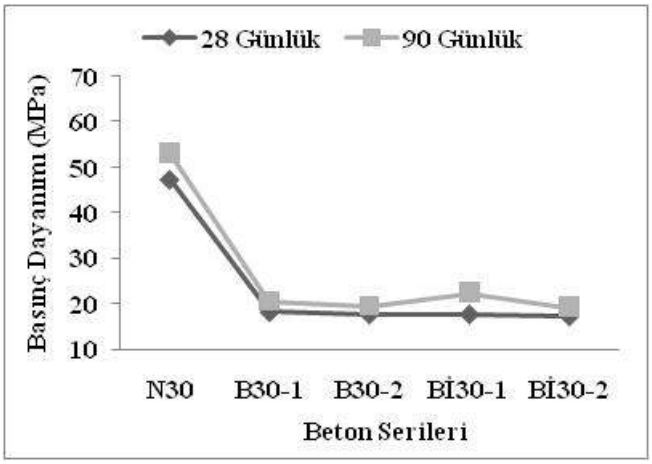
Karışıma giren agrega, bor, su ve çimento üretilecek betonun koduna göre önceden tartılıp hazırlanmıştır. Karılma işlemi (Özel 2007)'deki gibi 30 s kuru (iri agrega, ince agraga, bağlayıcı madde), 90 s (ilk bir dakika su ilavesi), 60 s dinlenme ve 120 s karışım olmak üzere toplam 300 s'de (5 dk) yapılmıştır. Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere sarsma tablası üzerindeki 10 cm boyutlu küp kalıplara harç üç aşamada konmuş ve her aşamada 10 saniye sarsma tablası aleti ile sarsılmıştır. Numunelerin üstü ıslak keten örtü ile örtülerek 24 saat kalıp içinde bırakılmış, bu sürenin sonunda lastik takozlar yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Üretilen beton numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 20±3 °C ve 90±5 bağıl nem ortamında deneylerin yapılacağı zamana kadar kür edilmiştir. Hazırlanan beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının ölçümü "Hot Wire" yönteminden yararlanılarak geliştirilen Shotherm QTM-D_2 cihazı ile yapılmıştır. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları beton dayanım basınç presinde TS EN 12390-3 standartlarına göre basınç deneylerinde yükleme hızı saniyede 0,35 MPa olarak sabit tutulmuştur. Ultrases hız ölçümü ise 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli Ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır. Donma-çözünme deneyi TS 3449' a göre her seri için hazırlanan 3'er adet numune 28 gün oda sıcaklığında küre tabi tutulmuştur. 28 gün sonunda, 3'er adet numune 30 çevrimli donma çözünme deneyine (-18±2 ^{o}C'de ve 2 saat donma ve 4±1 ^{o}C su içinde 1 saat çözünme) tabi tutulup basınç mukavemeti belirlenmiştir.

3 BULGULAR

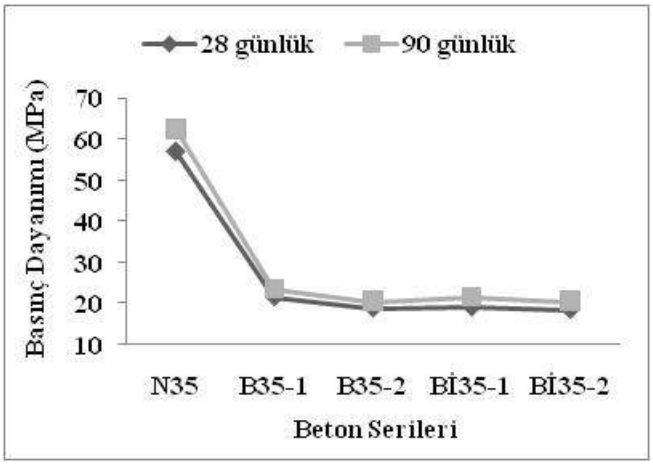
Atık mermerli betonların birim ağırlıkları, su emmeleri, çökme miktarları, basınç dayanımları, donma-çözünme sonrası basınç dayanımları, ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayısı sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. C30 ve C35 betonlarının fiziksel ve mekanik özellikleri

Beton Serisi	Birim Ağırlıkları (kg/m^3)	Su Emme (%)	Çökme Miktarları (mm)	Basınç Dayanımı (MPa)		Don. Çöz. Sonrası Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrases Hızları (km/s)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
				28 günlük	90 günlük			
N30	2,519	1,77	170	47,43	53,41	37,98	5,28	2,14
N35	2,508	1,82	210	57,23	62,48	50,36	4,99	2,30
B30-1	2,352	3,74	25	18,27	20,53	15,71	4,54	1,86
B30-2	2,391	3,86	30	17,78	19,40	14,88	4,38	1,74
B35-1	2,466	3,70	25	21,68	23,52	19,02	4,79	1,98
B35-2	2,410	3,83	30	18,90	20,61	17,03	4,42	1,85
Bİ30-1	2,462	3,92	20	17,80	22,51	15,32	4,55	1,83
Bİ30-2	2,470	3,96	40	17,33	19,21	14,56	4,61	1,72
Bİ35-1	2,484	4,02	25	19,17	21,52	17,38	4,52	1,93
Bİ35-2	2,353	4,02	25	18,53	20,50	16,17	4,29	1,79

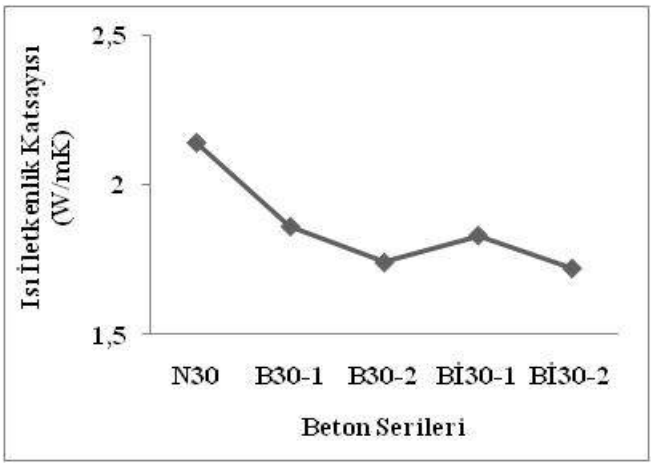


Şekil 2. C30 betonların basınç dayanımları

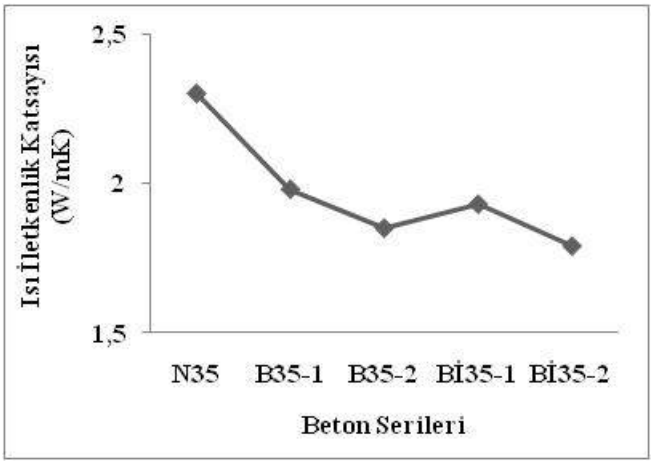


Şekil 3. C35 betonların basınç dayanımları

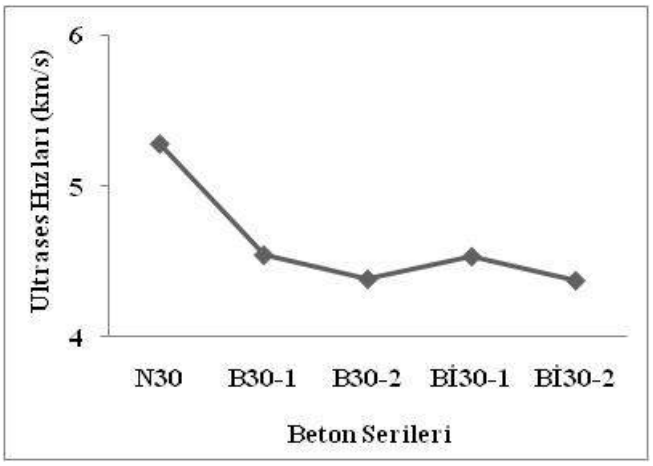
Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan bor oranı arttıkça beton numunelerinin basınç dayanımları normal betona göre yaklaşık % 50 civarında bir düşüş görülmektedir. İnce malzemeli betonların basınç dayanımları ise agregalı betonlara göre daha düşük çıkmıştır (Şekil 2-3).



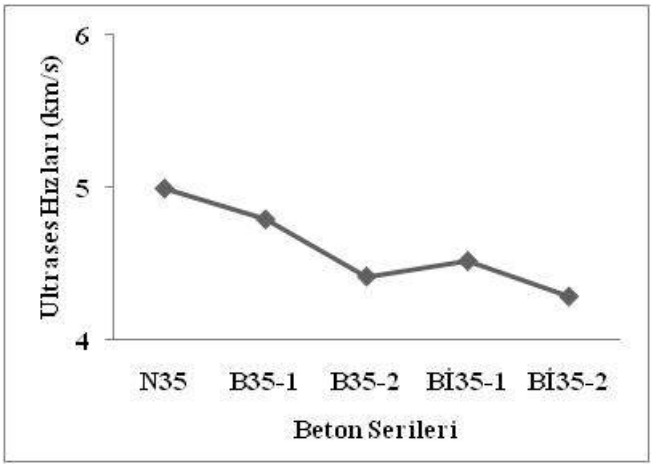
Şekil 4. C30 betonların betonların ısı iletkenlik katsayısı



Şekil 5. C35 betonların betonların ısı iletkenlik katsayısı

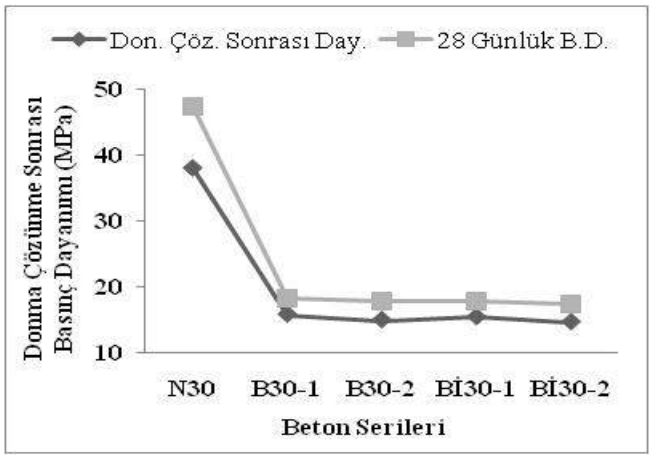


Şekil 6. C30 betonlarının ultrases hızları

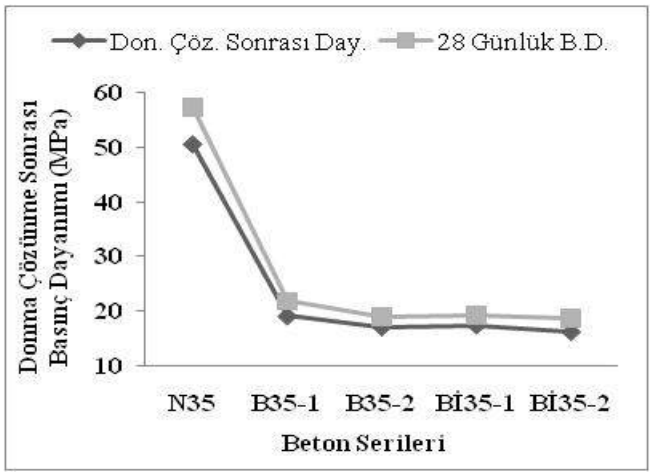


Şekil 7. C35 betonlarının ultrases hızları

Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan bor oranı arttıkça beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarında ve ultrases hızlarında bir düşüş olduğu görülmektedir. İnce malzemeli betonların ısı iletkenlik katsayıları ve ultrases hızları ise agregalı betonlara göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4-7).



Şekil 8. C30 betonlarının donma çözünme sonrası basınç dayanımları



Şekil 9. C35 betonlarının donma çözünme sonrası basınç dayanımları

Üretilen beton numunelerinde donma çözünme sonrası basınç dayanımlarında bir düşüş olduğu görülmektedir. Normal betondaki düşüş, borlu betona göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8-9).

4 SONUÇLAR

Kullanılan bor agregasının içindeki makro ve mikro boşluklar nedeniyle su emme değeri normal agregaya göre daha yüksektir. Betonlarda bor miktarının artmasıyla taze betonun birim hacim ağırlığı normal betona göre azalma göstermiştir. Sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre bor miktarının artmasıyla, kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma gözlemlenirken, su emme değerlerinde artış elde edilmiştir.

Agrega yerine kullanılan bor ve ince malzeme olarak kullanılan bor numunelerinde basınç dayanımlarında

normal betona göre yaklaşık yarı yarıya bir düşüş olduğu görülmektedir. Borlu betonların priz süresinin normal betona göre çok uzun olması ve betonun 7 ci gün bile plastik kıvamda olduklarından dolayı dayanımlarını etkilediği beton prizini engellediği görülmüştür. Donma çözünme sonrası basınç dayanımlarında ise bir düşüş olduğu görülmektedir. Normal betondaki bu düşüş, borlu betona göre daha fazla olduğu görülmektedir. Agrega yerine kullanılan bor ve ince malzeme olarak kullanılan bor numunelerinde bor miktarı arttıkça beton numunelerinin ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayılarında düşüş olduğu görülmektedir. Isı iletkenlik katsayısının azalması ise ısı yalıtımına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Baradan, B., 1997. Yapı Malzemesi II Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

Boraxs Araştırma Merkezi, 2011. Bor Çeşitleri. www.boraxtr.com.tr. Erişim tarihi: 10.02. 2011.

Etimaden,2012.http://www.etimaden.gov.tr/dünyada-bor-rezervi-55s.htm, Erişim Tarihi. 01.01.2013.

Neville, A.M., 1993. Properties of Concrete, ISBN 0-582-23070-5, 3rd edition London,

Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özeliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri nstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Doktora Tezi, Isparta.

Sarıkaya, H., 2014. Bor Katkılı Özellikli Beton Üretimi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, Isparta.

TS EN 206-1, Beton-Bölüm 1:Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 68 s., Nisan, Ankara.

TS 802, 1985. Beton Karışım Hesapları. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan, Ankara.

TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3449, 1997. Donma Çözünme Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Farklı Doğal Taşların Isıl Yalıtım Performanslarının Değerlendirilmesi

Thermal Insulation Performance Evaluation of Several Different Natural Stones

M. Kun
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

B. Tufan
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Son yıllarda dekoratif cephe kaplaması olarak yaygın kullanım alanı bulan doğal taşların yapı malzemesi olarak kullanımı, sahip oldukları termal davranışlar göz önüne alındığında büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma ile Türkiye'nin batı ve güneybatı bölgelerine ait doğal taş örneklerine ait kızılötesi termografi analizleri ile ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri gerçekleştirilerek, ısıl yalıtım karakteristikleri ortaya konulmaktadır. Çalışmada, limra, beyaz mermer, andezit, bej mermer ve traverten gibi farklı oluşum mekanizmalarına ve kökenlere sahip doğal taşların ısıl özellikleri belirlenerek, kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal taş, ısıl yalıtım, limra, mermer, andezit, traverten

ABSTRACT Natural stones are most widely utilized as decorative cladding materials starting from last decades. Therefore, the utilization of these stones as building materials becomes significant with respect to their thermal insulation performances. The natural stone samples from Western and South-Western Turkey were evaluated by infrared thermography and heat transmission coefficient determination regarding their thermal insulation characteristics. Samples of limra, white marble, andesite, beige marble and travertine with different formation mechanisms and origins were analyzed and evaluated thermographically in comparison to each other.

Keywords: Natural stones, thermal insulation, limra, marble, andesite, travertine

1 GİRİŞ

Gelişen teknoloji, çevre bilinci, enerjiye olan ihtiyacın artması ve benzeri faktörler, şehir yaşamının, yapı sektörünün, dekorasyonun ve daha birçok sektörün en önemli hammaddesi olan doğal taşların özellikle ısıl davranışlarının bilinip, bilinçli uygulanması gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır.

Isı yalıtımı amacı ile cephe kaplamalarında kullanılan birçok farklı malzeme bulunmaktadır. Estetik görünüm ve teknik özellikleri açısından yaygın olarak kullanılan doğal taşların, termal davranışlarındaki üstünlükler nedeni ile (ısı geçirgenliği, ısı birikimi, sağlığa uygunluk vb.) farklı mekânlarda (iç ve dış cephe kaplama, fayans, vb.) daha bilinçli ve yerinde kullanılması gerekmektedir (Tufan ve Kun 2014).

Bu çalışma kapsamında, farklı yörelere ait farklı kökenlerdeki doğal taşların ısıl özellikleri belirlenmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda kıyas ve yorumlar yapılmıştır. Ülkemizde gerek iç piyasada gerekse ihracatta sıklıkla tercih edilen doğal taşların termal özellikler açısından yerinde ve doğru kullanımını sağlamak amacı ile gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı oluşum mekanizmalarına sahip beş farklı doğal taş kullanılmış ve bu taşların ısıl özellikleri kızılötesi termografi yöntemi ve ısıl

geçirgenlik katsayısı ölçümleri ile belirlenmiştir.

Kızılötesi termografi yöntemi tahribatsız bir sıcaklık haritalama yöntemi olup, yüzey sıcaklığının önemli olduğu birçok endüstriyel çalışma alanında kullanımı mevcuttur. Bu yöntem ile birçok malzeme ve yapının ısıl analizi yapılabilmektedir. Malzeme karakterizasyonu amacı ile kızılötesi termografi yöntemi, Demirdağ ve Gündüz (2003), Vosteen ve Schellscmidt (2003), Meola vd. (2004), Nilica ve Harmuth (2005), Meola (2007) ve Shi vd. (2007) gibi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, çeşitli taş ve yalıtım malzemesinin ısıl özellikleri birçok araştırmacı tarafından detaylı biçimde incelenmiştir (Al-Kassir vd. 2005, Synnefa vd. 2006, Barreira ve Freitas 2007, Durmus ve Görhan 2009). Ayrıca Gündüz vd. (2001) tarafından da farklı mermer türlerinin ısıl kapasite değerleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Literatürde, yalıtım ve yapı malzemeleri üzerinde yaygın olarak uygulanan kızılötesi termografi analizleri ve ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri bir arada değerlendirilerek, seçilen numunelerin ısıl yalıtım performansları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Doğal taşların ısıl geçirgenlik özelliklerinin araştırılması amacı ile batı ve güneybatı Türkiye'nin farklı yörelerinden numuneler alınmıştır. Şekil 1'de verilen yerbulduru haritasında belirtilen lokasyonlardan alınan limra, beyaz mermer, andezit, bej mermer ve traverten numunelerine termografi ve ısıl geçirgenlik testleri uygulanmıştır.

Şekil 1. Çalışma alanı yerbulduru haritası.

2.1 Doğal Taş Numuneleri

Araştırmada kullanılan Limra örneği Antalya ile Turunçova yöresinden, beyaz kristalin mermer Muğla ili Kavaklıdere yöresinden, andezit örneği İzmir'in Menemen ilçesinden, bej mermer Antalya ilinden ve traverten örneği ise Denizli ilinden temin edilmiştir.

Çizelge 1'de çalışmada kullanılan örneklerin sertliği, birim hacim ağırlığı (BHA), tek eksenli basınç dayanım (TEB) ve porozite (POR) değerleri verilmektedir.

Çizelge 1. Örneklere ait bazı laboratuvar test sonuçları

Örnek	Sertlik Mohs	BHA gr/cm^3	TEB MPa	POR %
Limra	2-2,5	2,42	40	6,31
Byz. mermer	3	2,71	75	0,37
Andezit	3-4	2,73	64	4,14
Bej mermer	3-3,5	2,69	114	0,31
Traverten	2-2,5	2,49	51	3,11

2.2 Termografi Yöntemi

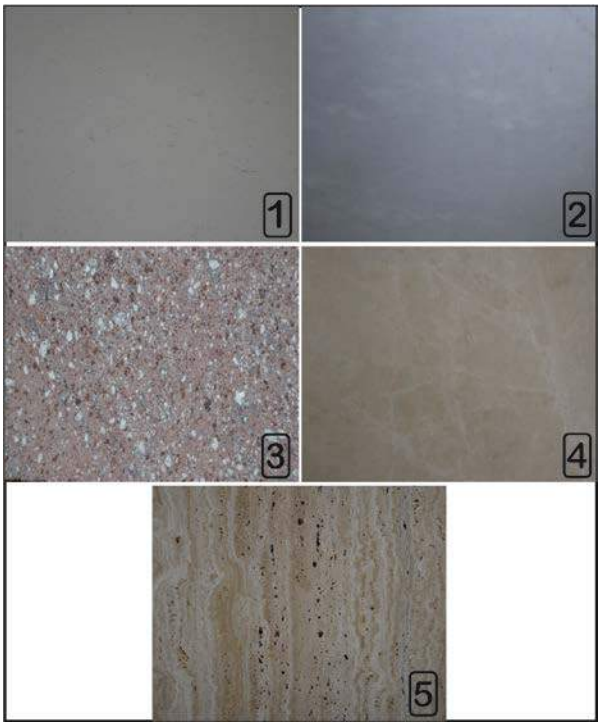
Termografi ya da termal görüntüleme yöntemi, nesnelerin yüzey sıcaklığını esas alan görüntünün genel yapısının ısıya göre oluşmuş renkler ve şekiller tarafından belirlenmesidir (Grinzato vd. 1998, Luong 2004). Bu yöntemde yüzeyden kızılötesi bantta yansıyan termal enerji, her bir enerji seviyesinin farklı renklerle gösterildiği gözle görülebilir bir renk spektrumu olarak sunulur (Popov 1999, Meola vd. 2005, Avdelidis vd. 2007). Kızılötesi ışınlarını kullanan termal kameralar bu sistemleri kullanmakta ve nesnelerin yüzeylerinde oluşan termal farklılıkları da saptayabilmektedir (Peterson ve Innocenzi 2002).

Termografik ölçümler için tasarlanan ölçüm düzeneği, doğal taşların üzerine yerleştirileceği, tamamen izole ve homojen ısı dağılımı sağlayan bir yapıdadır. Bu düzenek sayesinde, bir yüzeyinden ısıya maruz bırakılan doğal taşın termal kamera ile elde edilecek termografik görüntüleri, cihazla birlikte gelen özel yazılım ile işlenip incelenebilmekte ve bu sayede ölçümler

değerlendirilebilmektedir. Laboratuvar düzeneği; termal kamera, ısı kaynağı (dijital kontrollü ve zaman ayarlı), kızılötesi termometre ve fotoğraf makinesinden oluşmaktadır (Şekil 2).

Şekil 2. Termografi ölçümleri deney düzeneği.

Numuneler Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Isıl İşlem Laboratuvarında, termal özelliklerinin tayini için gereken standartlara getirilmiştir. Bu amaçla, her bir kayaç örneğinden 60x60x2 cm boyutlarında beş farklı örnek temin edilmiş ve termal testler bu örnekler üzerinde yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Termal ölçümlerde kullanılan doğal taş örnekleri (1.Limra, 2.Beyaz Mermer, 3.Andezit, 4.Bej Mermer, 5.Traverten).

2.3 Isıl Geçirgenlik Katsayısı Ölçümleri

Yalıtım performansları değerlendirilen doğal taşların ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri ise Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Laboratuvarında yapılan testler ile gerçekleştirilmiştir. Bu testler için 10x10x2 cm boyutunda numuneler kullanılmıştır.

Yapı ve çeşitli ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin ölçümü, kararlı durumda ve geçiş durumunda olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Alışılmış yöntem, kararlı durumda ısıtılmış plaka yöntemidir. Bu yöntemde ısıtılmış bir plakanın iki tarafına simetrik olarak yerleştirilen, levha biçiminde muayene örneğinin, ortalama ısı iletkenliği bulunur. Geçiş durumunda ölçüm yapan cihazlar, daha ufak boyutlardaki malzemenin ısı iletkenliğini daha kısa sürede saptayabilmektedir. Geçiş yöntemleri arasında "Angstrom" yöntemi, "Flash" yöntemi ve "Hot Wire" yöntemi başta gelir.

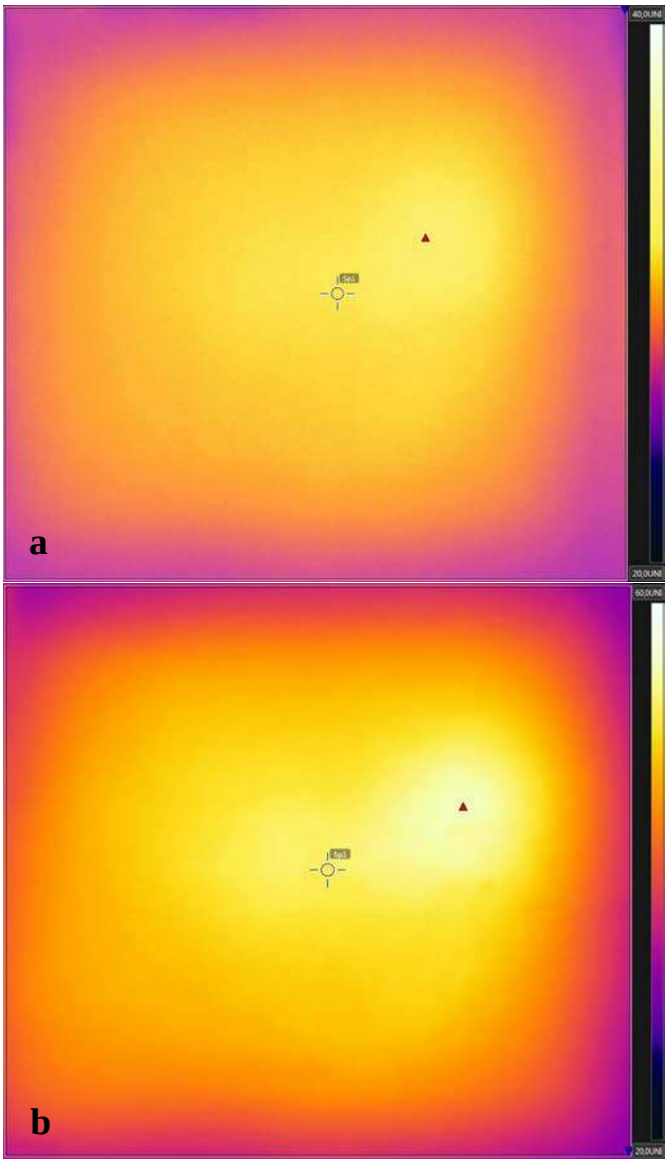
Numunelerin ısıl geçirgenlik katsayıları, "Shotherm QTM-D2" cihazı ile "Hot Wire" yöntemi uygulanarak ölçülmüştür. Cihaz 0,02 ile 10 $W/m^2.K^o$ aralığında ölçüm yapabilmektedir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

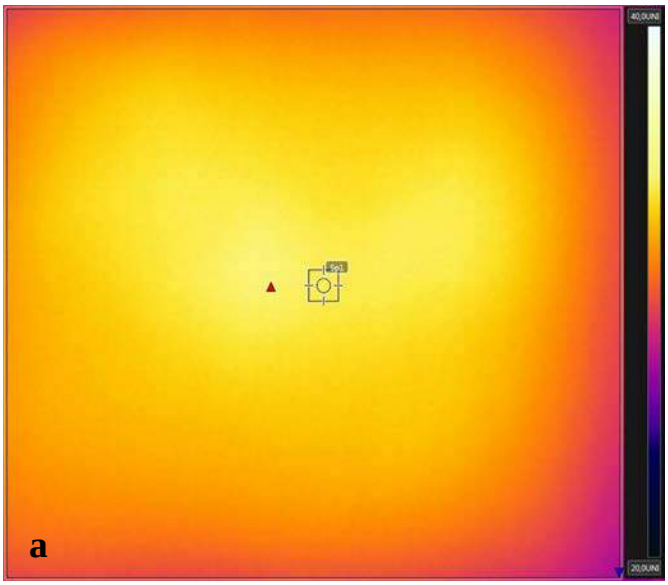
Deney düzeneğine yerleştirilen farklı taşların her biri 30 dakika boyunca düzgün dağılımlı ısıya maruz bırakılarak, zamana bağlı termal görüntülerinin yanı sıra ortalama yüzey sıcaklık değişimleri ölçülmüştür.

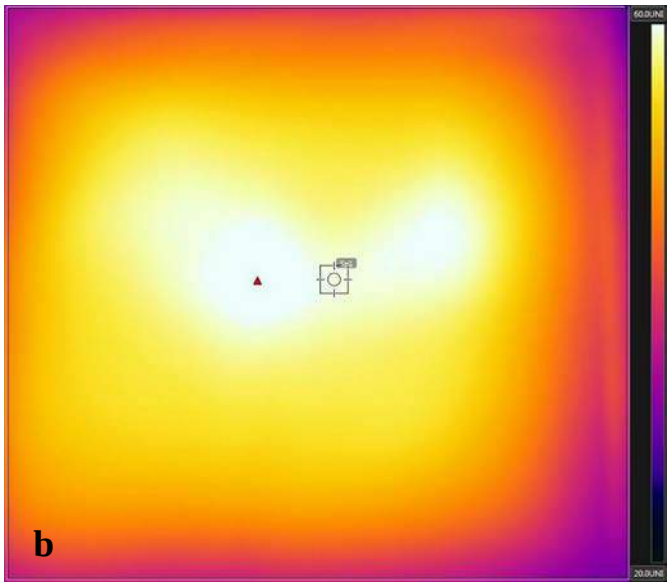
Bu ölçümlere ait termal görüntülerden 30 dakika sonunda, 40 ve 80^oC ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait olanlar şekil 4, şekil 5, şekil 6, şekil 7 ve şekil 8' de verilmektedir. Termografik görüntülerde ısı ölçekleri 40^oC için 20-40^oC aralığında iken 80^oC için 20-60^oC aralığında sabitlenmiştir.

Limra, beyaz mermer, andezit, bej mermer ve travertene ait 40 ve 80^oC ısı kaynağı yüzey sıcaklığında ulaşılan doğal taş ortalama yüzey sıcaklarının değişimi ise Şekil 9'da verilmektedir.

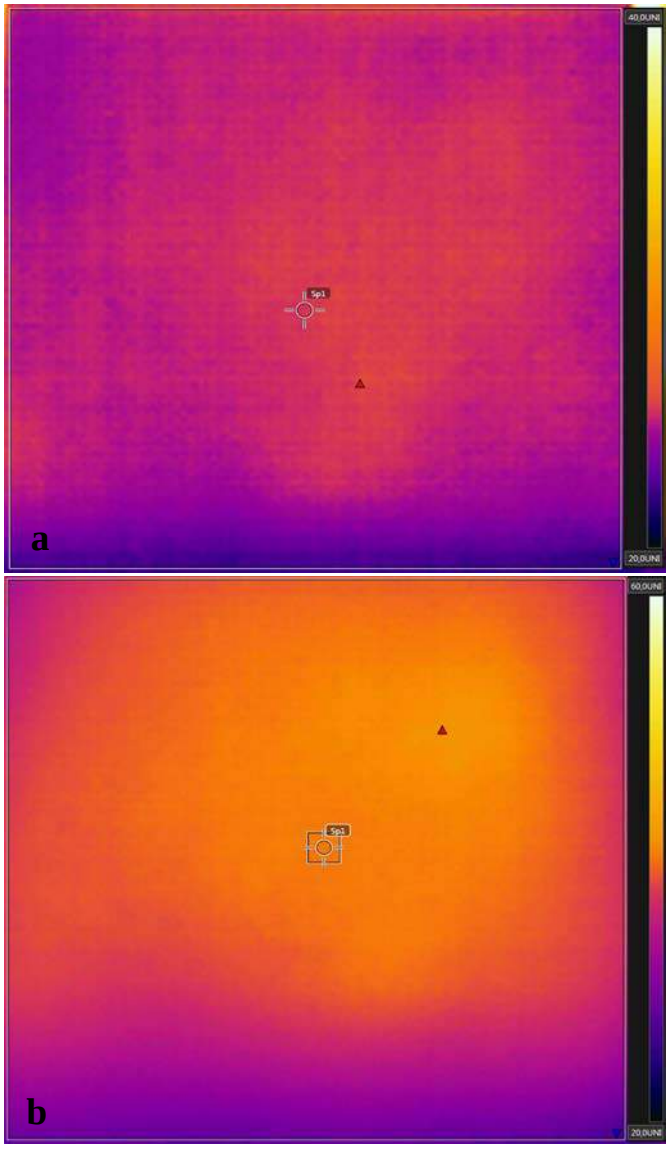


Şekil 4. Limra numunesinin 40°C (a) ve 80°C (b) ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.

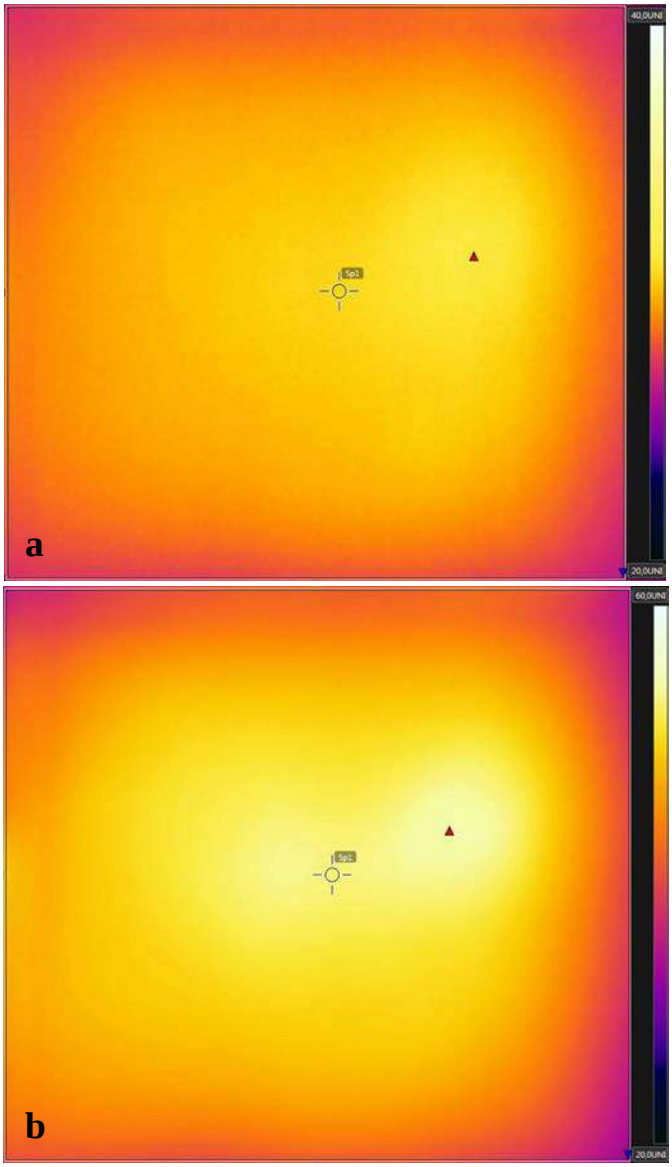




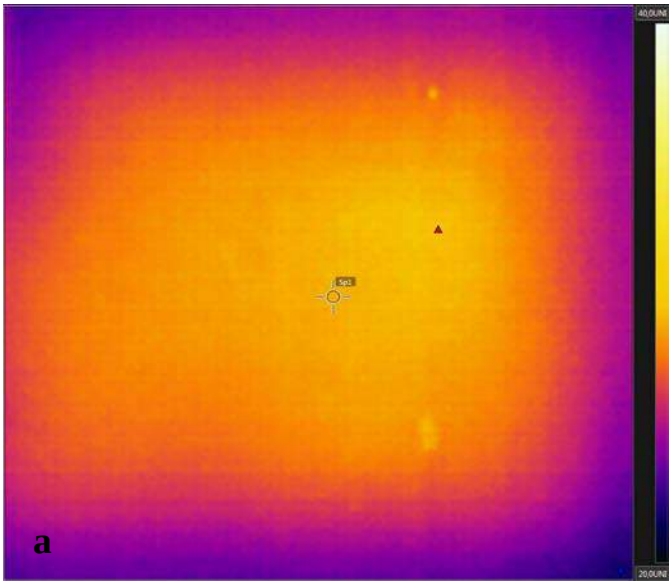
Şekil 5. Beyaz mermer numunesinin 40°C (a) ve 80°C (b) ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.

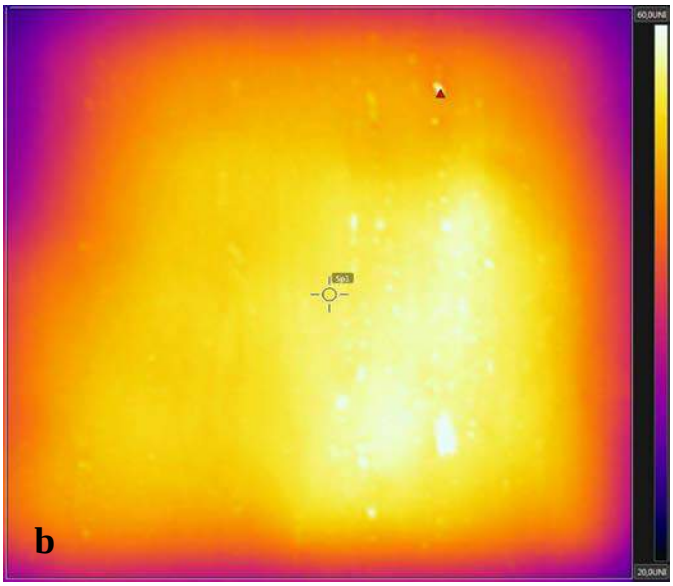


Şekil 6. Andezit numunesinin 40°C (a) ve 80°C (b) ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.

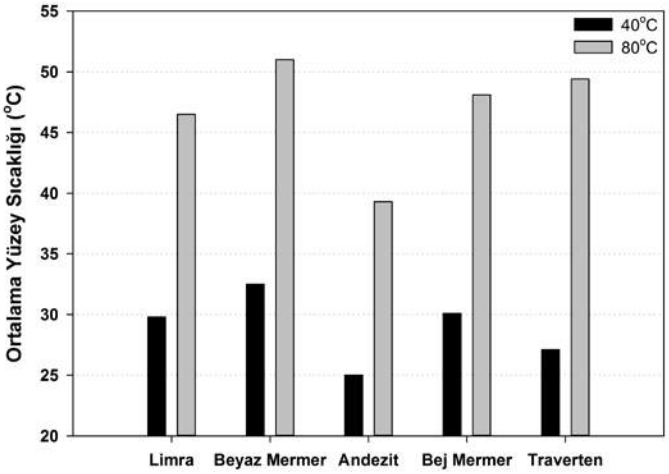


Şekil 7. Bej mermer numunesinin 40°C (a) ve 80°C (b) ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.





Şekil 8. Traverten numunesinin 40°C (a) ve 80°C (b) ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.



Şekil 9. Doğal taş numunelerinin 40 ve 80°C ısı kaynağı yüzey sıcaklığına ait 30 dakika sonundaki ortalama yüzey sıcaklıkları.

Doğal taşların termografik ölçümler ile eş zamanlı gerçekleştirilen diğer karakterizasyon çalışması olan ısıl geçirgenlik katsayı ölçümlerinde ise Çizelge 2'deki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 2. Örneklere ait ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri ($W/m^2.K^o$)

Örnek adı	Isıl geç.katsayısı
Limra	1,904
Beyaz Mermer	2,776
Andezit	1,313
Bej Mermer	2,407
Traverten	2,047

4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Doğal taşlar, dış cephe kaplamalarında dekoratif ve yalıtım amaçlı olarak yaygın kullanıma sahiptirler. Bina yalıtımlarında enerji kaybını önlemek için bu tip malzemelerin ısıl yalıtım performanslarının belirlenmesi önemlidir. Bu çalışma ile farklı oluşum mekanizmaları ve kökenlere sahip doğal taşların farklı termal özellikler sergilediği belirlenmiştir. Taşın petrografik yapısı, doluluk oranı, porozitesi ve yoğunluğuna bağlı değişim gösteren bu farklılıklar termografik analiz ve ısıl geçirgenlik katsayısı tespiti ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Limra, beyaz mermer, andezit, bej mermer ve traverten örneklerinin homojen yüzey sıcaklığı üreten ısı kaynağı üzerinde 2 farklı (40 ve 80°C) sıcaklıkta 30 dakika boyunca tutularak termografik görüntüleri elde edilmiştir. En düşük, en yüksek ve ortalama yüzey sıcaklıklarının termal kameraya ait yazılım sayesinde belirlenmesi ile taşların süreye bağlı ısıl geçirgenlikleri değerlendirilebilmektedir.

Eş ısı kaynağı ile gerçekleştirilen deneylerde 30 dakika sonunda en düşük ortalama yüzey sıcaklığı andezit örneğinde ölçülmüştür. Andezit örneğinde 80°C'lik ısı kaynağı ile 30 dakika sonunda ulaşılan ortalama yüzey sıcaklığı 39,3^{o}C'dir. Yüksek poroziteye sahip andezit, gözeneklerinde kapanım halinde hava içermesi nedeniyle doğal yalıtım özelliğine sahiptir. Yüksek silis içeriği, yüksek porozite değeri ve rijit yapısal matrisi sayesinde en düşük ısıl geçirgenlik katsayısına sahip andezitin yüksek ısıl yalıtım performansı termografi yöntemi ile de kanıtlanmıştır.

Beyaz ve bej mermerler gerek termografik analizlerde gerekse ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümlerinde benzer ısıl özellikler göstermektedir. 80°C'lik ısı kaynağı ile 30 dakika sonunda ulaşılan ortalama yüzey sıcaklıkları beyaz ve bej mermer için sırasıyla 32,5 ve 30,1^{o}C'dir. Düşük porozite ve yüksek ısıl geçirgenlik katsayısı değerleri, kristal yapıdaki mermerleri ısıl yalıtım performansı açısından yetersiz kılmaktadır.

Limra ve traverten taşları termografik özellik ve ısıl geçirgenlik katsayısı açısından benzer davranış göstermektedir. 80°C'lik ısı kaynağı ile 30 dakika sonunda ulaşılan ortalama yüzey sıcaklıkları limra ve traverten için sırasıyla 29,8 ve 27,1^{o}C'dir. Sahip olduğu düşük ısıl geçirgenlik katsayısına ve yüksek poroziteye rağmen traverten, ısıl yalıtım performansı olarak yetersiz kalmıştır. Poroz olduğu kadar delikli ve boşluklu yapısı (yer yer birbiri ile bağlantılı 5-6 cm genişliğinde boşluklar) travertenin ısı tutma kapasitesini düşürmekte ve yüksek ortalama yüzey sıcaklığı ölçümlerine neden olmaktadır.

Limra numunelerinde ise, traverten numunelerine kıyasla porozite değerinin yüksek olmasına rağmen ısıl geçirgenlik katsayısının daha düşük, andezit örneklerine kıyasla ise; porozite yakın olmasına rağmen, ısıl geçirgenlik katsayısının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun limranın petrografik özellikleri, mineral yapısı ve kayaç yapısındaki mikro gözenekler ile ilgili olduğu düşünülmekte ve çalışmalar bu yönde devam etmektedir.

Çalışma sonucunda, kızılötesi termografi analiz yönteminin, doğal taşların ısıl performanslarını değerlendirmede verimli olarak kullanılabilmesi için fiziksel özelliklerin yanı sıra kayaçların petrografik ve kimyasal özellikleri ile birlikte irdelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aksi durumda benzer fiziksel özelliklere (porozite, birim ağılık vb..) sahip kayaçların, çok farklı ve uyumsuz ısıl özellikler göstermesi mümkündür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2013.KB.FEN.022 no'lu projeye olan desteklerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Al-Kassir, A.R, Fernandez, J, Tinaut, F.V, Castro, F, 2005. Thermographic study of energetic installations. *Applied Thermal Engineering*, 25: 183-190, Elsevier.

Avdelidis, N.P, Koui, M, Ibarra-Castanedo, C, Maldague, X, 2007. Thermographic studies of plastered mosaics. *Infrared Physics & Tech*., 49: 254-256, Elsevier.

Barreira, E, Freitas, V.P, 2007. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21: 218-224, Elsevier.

Demirdaş, S, Gündüz, L, 2003. The characteristics of pumice and analysis of thermal insulation. *18th International Mining Congress and Exhibition*, 10-13, Turkey.

Durmuş, G, Görhan, G, 2009. Evaluation of termographic images with respect to thermal conductivity. *Journal of Technical-Online*, Vol.8, 1: 48-57.

Grinzato, E, Vavilov, V, Kauppinen, T, 1998. Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy & Build*., 29: 1-9.

Gündüz, L, Uğur, L, Demirdağ, S, 2001. Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Afyon.

Luong, M.P, 2004. Mechanical performance of wood construction materials, *16th World Conference on Nondestructive Testing*, Montreal-Canada.

Meola, C, Carlomango, M, Gierleo, L, 2004. The use of infrared thermograpgy for materials characterization. *Journal of Materials Processing Tech*., 155-156:1132-1137, Elsevier.

Meola, C, Di Maio, R, Roberti, N, Carlomagno, G.M, 2005. Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. *Engineering Failure Analysis*, 12: 875-892, Elsevier.

Meola, C, 2007. Infrared thermograpgy of masonry structures. *Infrared Physics & Technology*, 49: 228-233, Elsevier.

Nilica, R, Harmuth, H, 2005. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*, 35: 1641-1645, Elsevier.

Peterson J.E, Innocenzi, M.J., 2002. Use of Infrared thermography as a standard in the quality assurance and quality control of grouted masonry construction, *Inframation*, ITC 035 A.

Popov, Y.A, Pribnow, F.C, Sass, J.H, Williams, C.F, Burkhardt, H, 1999. Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. *Geothermics*, 28: 253-276, Pergamon.

Shi, W, Wu. Y, Wu. L, 2007. Quantitative analysis of the projectile impact on rock using infrared thermography. *International Journal of Impact Engineering*, 34: 990-1002, Elsevier.

Synnefa, A, Santamouris, M, Livada, I, 2006. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80: 968-981, Elsevier.

Tufan, B, Kun, M, 2014. Thermal insulation performance and thermal conductivity evaluation of natural stones by infrared thermography. *Proceedings of the International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, Paper No.62, Czech Republic.

Vosteen, H.D, Schellschmidt, R, 2003. Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 499-509, Pergamon.

Farklı Olivin Cevherlerinin Yıkanabilirliğinin Araştırılması

The Investigation of Washability of Different Olivine Ores

Y. Umucu, A. Hatipoğlu, B. Tamgüç, T. Tunay
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

V. Deniz
Hitit Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, Çorum

Ş. Caran
Süleyman Demirel Üniversitesi, , Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

R. Dakduklu
Dakduklu Madencilik Nakliye San. ve Tic. Ltd., Yalvaç-Isparta

ÖZET Bu çalışmanın en önemli amacı, Türkiye'de yeni tanınmakta olan olivin kaynaklarının çok fazla olmadığı, bu yüzden de mevcut olanların da iyi bir şekilde değerlendirilme gerekliliği vardır. Bu yüzden de olivinle birlikte bulunan ve kızdırma kaybını önemli ölçüde düşüren, olivin ile de özgül ağırlık farkı bulunan dolomit ve serpantin türü minerallerinin gravite ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak uzaklaştırılmasıdır. Bu sayede çoğu değerlendirilemeyen olivin kaynakları da değerlendirilme sürecine girebilecektir. Çalışma kapsamında üç farklı olivin yataklanmasına sahip işletmelerden numuneler alınarak yoğunluk farkına göre zenginleştirile bilirlikleri araştırılmış ayrıca kalite değişimleri de ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Olivin, yüzdürme-batırma testi, gravite ile zenginleştirme, refrakter malzeme

ABSTRACT The most important aim of this study, olivine which is known new a resource in Turkey, there is too much, so there is need to requirement existing olivine deposit in a good way. Therefore, a serpentine and magnesite minerals which are concomitant with olivine, the loss ignition of olivine are significantly reduced and a serpentine and magnesite have difference the specific gravity with the olivine type, are beneficiated by gravity separation method from olivine. In this way, it cannot be used the most olivine resources is evaluated to using the process in ındustry. In this study, olivine samples were taken from the open pit mines have three different deposited and olivine sample was investigated to beneficiation with gravity separation. In addition, the quality changes were introduced for beneficiated olivine with the loss ignition data.

Keywords: Olivine, sink-float tests, gravity separation, refractory material

1 GİRİŞ

Olivinle ilgili madencilik faaliyetleri 50 yıl öncesine gitmesine rağmen sanayideki önemi son 15 - 20 yıl içerisinde anlaşılmıştır. Olivin günümüzde en fazla demir-çelik sanayi dalında kullanıldığından ticareti de çoğunlukla bu sektöre bağlı olarak yapılmaktadır (Heine et al., 1990).

Çoğunlukla dolomit, manyezit gibi refrakter mineraller demir-çelik sanayinde kullanılmaktaydı. Olivinin refrakter özelliğinin anlaşılmasından sonra Avrupa, A.B.D, Kanada, Avustralya ve Japonya'da olivin yavaş yavaş bu minerallerin yerini almaya başlamıştır. Demir-çelik sanayi dalı ve bu daldaki gelişmeler devam ettiği sürece

olivine olan ihtiyaç da devam edecektir. Ayrıca dünyada mevcut diğer refrakter hammadde rezervlerinin azalması veya üretilmesindeki güçlükler de olivine olan talebi artıracaktır. Avrupa'da çevre ve sağlık nedenleri dikkate alınarak olivin kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Örneğin içinde serbest silis bulunmadığından döküm ve aşındırıcı sanayi dallarında kullanımı tercih edilmektedir (Cobett, 2002).

Ülkemiz dünit (dolayısıyla olivin) rezervi bakımından neredeyse Norveç kadar zengin görülmektedir. Bunların kesin rezervlerinin belirlenmesi, ürün standartları açısından kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ortaya konması gereklidir. Mevcut çalışmalara göre, olivin madenciliği ülkemiz ekonomisine önemli katkılar yapacak boyutlardadır. Ülkemizde peridotit/dunit türü kayalar bu kadar yaygın iken, olivin madenciliğinin bugüne kadar yapılmamış olması ve günümüzde halen böyle bir işe başlamak için girişimin olmaması büyük bir eksiklik gibi görünmektedir (DPT, 2001).

Cevherlerin yıkanabilirlik özelliklerinin tespiti amacıyla yapılan yüzdürme-batırma testleri, kurulması planlanan bir yıkama tesisinin tasarımı için gerekli çalışmaların ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu testler, cevherin farklı yoğunluk fraksiyonlarında dağılımı hakkında bilgi vermesi yanında, söz konusu cevherin yıkama işlemine tabii tutulması sonuncunda elde edilebilecek ürünlerin miktarı ve içerikleri hakkında teorik bir bilgi vermektedir (Leonard, 1979; Burt, 1984; Osborne, 1988).

Dünya'da olivinler ile ilgili çalışmalar teknolojinin özelliklerinden dolayı Magnezyum'ca zengin (forsterit) olivinler üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak doğal olarak saf forsterit bulmak oldukça güçtür. Sanayide forsterit miktarı fazla olan olivinler tercih edilmektedir. Sanayide kullanılmakta olan olivinlerde genel olarak MgO miktarının % 42'nin üzerinde, toplam Fe-oksitlerin (Demir oksitler) miktarının da % 7-8'den az olması istenmektedir. Ayrıca SiO_2 miktarının %38-42 arasında, diğer metal oksitlerin toplamının %3'den az ve kızdırma kaybının da %3 civarında olması tercih edilmektedir (Acar, 2003).

Isparta'nın Yalvaç ilçesinde bulunan Dakduklu Madenciliğe ait üç farklı ocak sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmalarda, Olivinle birlikte bulunan ve kızdırma kaybını önemli ölçüde yükselten, Olivin ile özgül ağırlık farkı bulunan dolomit-manyezit ve serpantin türü minerallerinin gravite ile zenginleştirilebilirlikleri yüzdürme-batırma testi ile araştırılmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1Malzeme

Isparta'nın Yalvaç ilçesinde bulunan olivin ocaklarından alınan temsili numuneler, Endüstrinin kullandığı tane boyutu olan -10+2 mm, tane boyutunda sınıflandırılmıştır.

Deneylerde kullanılan tüvenan olivinlerin kimyasal analizleri sonuçları XRF ile yapılmış ve sonuçları Çizelge 1 verilmiştir. Ayrıca, mineralojik özellikleri ise XRD ile yapılarak sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir.

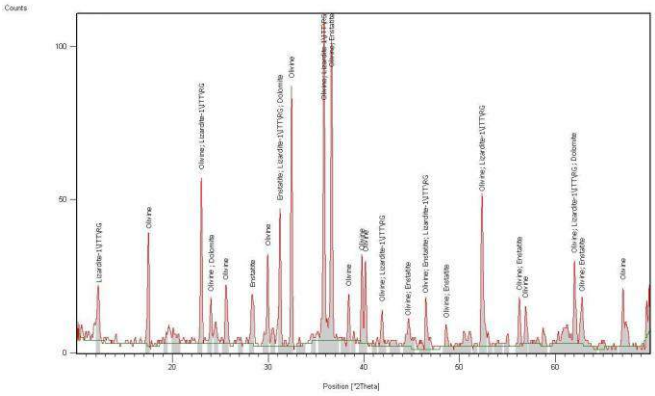
Şekil 1-3'den ve ince kesit çalışmalarından, numunelerin esas mineral olarak olivin olduğu ve yan mineral olarak ta olivinin bozuşması ile oluşan serpantin mineralleri (lizardit, enstatit), dolomit ve manyezit mineralleri tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan olivin numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

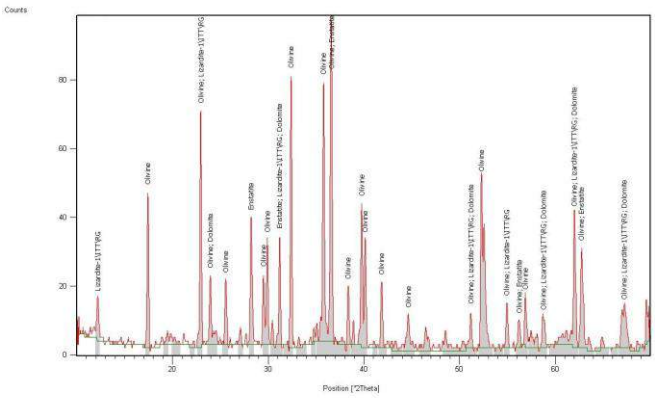
Elaman	Eski Ocak 2A - (%)	Eski Ocak 2B - (%)	Yukarı Ocak (%)
SiO_2	52.95	51.54	48.22
Al_2O_3	1.06	1.62	1.56
Fe_2O_3	4.19	3.48	3.19
MgO	30.10	32.46	33.77
CaO	5.26	4.72	5.86
Na_2O	1.84	2.35	1.94
K_2O	0.63	0.69	0.66
P_2O_5	0.23	0.41	0.26
MnO	0.08	0.07	0.07
Ateş kaybı	3.64	2.65	4.46

Yapılan XRD analizlerinden Eski Ocak 2A ve 2B numunelerinin kısmen serpantinleşmeye başladığı ve Yukarı Ocak numunesinde çok daha fazla serpantinleşme olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kalite bakımından en iyi kaliteye sahip olivin

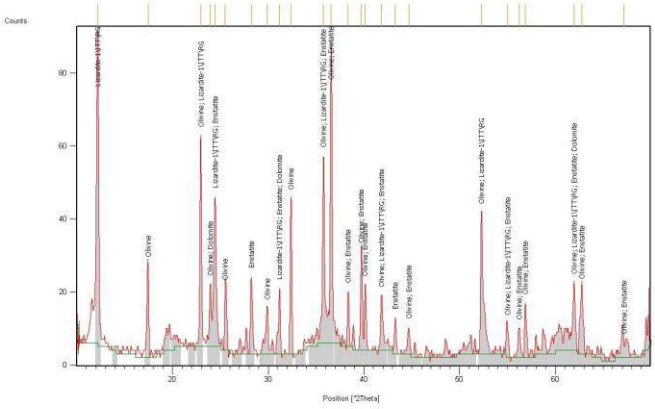
cevherinin Eski Ocak 2B numunesi olduğu Çizelge 1.'de verilen kimyasal analiz sonuçlarından belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan Eski Ocak 2A numunesinin XRD sonuçları



Şekil 2. Deneylerde kullanılan Eski Ocak 2B numunesinin XRD sonuçları



Şekil 3. Deneylerde kullanılan Yukarı Ocak numunesinin XRD sonuçları

2.2Yöntem

Isparta –Yalvaç bölgesi olivin cevherlerinin yoğunluğuna göre yıkanabilirliklerini belirleyebilmek için açık ocaklardan numune alınıp, tamamı elek analizine tabii tutulmuş ve tane boyutundaki fraksiyonlarındaki numuneler yüzdürme-batırma işlemleri için hazırlanmıştır. Jig ile zenginleştirilebileceği düşünülerek 10-2 mm tane boyutunda sınıflandırılan örnekler yüzdürme-batırma testlerine tabi tutulmuştur.

Yüzdürme-batırma testi, 2.40 gr/cm^3 lük yoğunluktan başlayarak, 3.60 gr/cm^3 lük yoğunluğa kadar 0.2 gr/cm^3 yoğunluk farkları için 30 lt' lik plastik kovalarda ağır sıvılar (Bromoform ve 10 mikronun altına öğütülmüş kurşun tozu) ile hazırlanmıştır. Hazırlanan ağır ortamların test malzemelerinin gözeneklerine girmemesi için önceden gözenekler su ile doygun hale getirilmiştir. Daha sonra en yüksek yoğunluk olan 3.60 gr/cm^3'den başlayarak 2.40 gr/cm^3'e kadar numune üzerinde yüzdürme-batırma testleri gerçekleştirilmiştir.

Yüzdürme-batırma test sonucunda kovalardaki batan ürünler su ile iyice yıkandıktan sonra etüvde 105^{0}C de kurutularak ağırlıklar tartılmış ve her bir yoğunluk fraksiyonu için kızdırma kaybı değerleri bulunmuştur. Yüzdürme – Batırma eğrileri çizilirken karakteristik eğriler kızdırma kaybına göre çizilmiştir. Yoğunluk fraksiyonları için yapılan Kızdırma kaybı değerleri laboratuvarda TS EN ISO 11127-2'e göre gerçekleştirilmiştir.

3 DENEYLER SONUÇLARI

Açık ocaktan alınan ve 10-2 mm tane boyutu için yapılan yüzdürme-batırma eğrileri Şekil 4-6' de verilmiştir.

Bu çalışma ile test yapılan tane boyutu için Eski Ocak 2B için zenginleştirile bilirliğin iyi olduğu, ancak diğer iki bölgeden alınan numunenin zenginleştirilebilirliklerinin orta-zor olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4'de elde edilen Yüzdürme-Batırma eğrilerine göre en ideal ayırım 3.40 gr/cm^3'dür. Bununla birlikte düşük ayırma yoğunluklarında yüksek miktarda yan kayaç

(Serpantin, dolomit ve manyezit) kazanımı gerçekleşmektedir. Spesifik kızdırma kaybı eğrisi incelendiğinde düşük yoğunluklarda yan kayacın çok miktarlarda bulunduğu, miktarca serpantinleşmiş olivinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

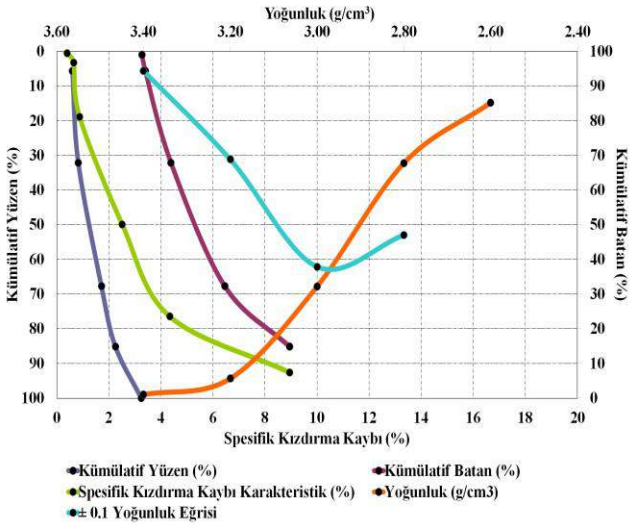
Şekil 5'de elde edilen Yüzdürme Batırma eğrilerine göre, belirtilen tane boyutu için en ideal zenginleştirme yoğunluğu 3.40 gr/cm^3'dür. Belirtilen yoğunlukta yapılacak bir zenginleştirme işleminin kolay ayırım kabul edilebilir. Buna karşın spesifik kızdırma kaybı karakteristik grafiğinden olivin ile yan kaçların (serpantin ve olivin) ayırımının kolay olduğu, olivin oranının miktarca yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6'da Yüzdürme Batırma eğrilerine göre belirtilen tane boyutu için en ideal zenginleştirme yoğunluğu 2.80 gr/cm^3'dür. Bu yoğunlukta yapılacak bir zenginleştirme işleminde ayırım kolay kabul edilmektedir. Buna karşın spesifik kızdırma kaybı karakteristik grafiğinden olivin ile yan kayaç ayırımının kolay olduğu, yan kayaç oranının olivin miktarı ile eşit olduğu, ara ürün miktarının az olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte Yukarı Ocak için yapısında serpantinleşmiş olivin miktarının az olduğu da söylenebilinir. Daha çok dolomitin bulunduğu yapılan analizlerden elde edilmiştir.

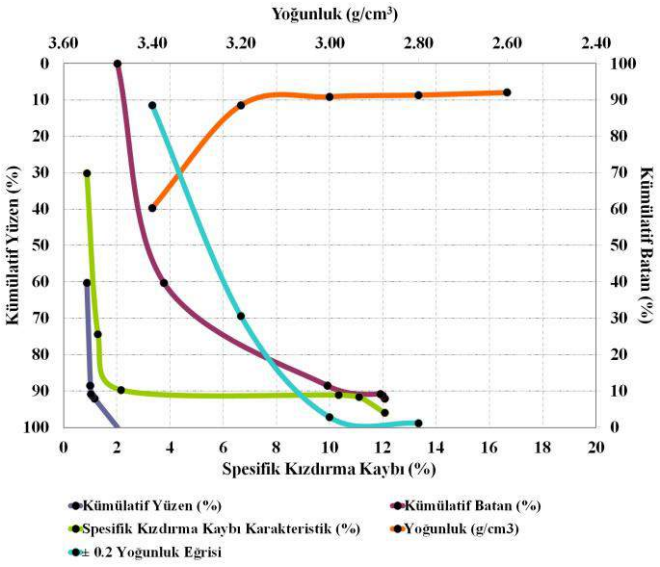
4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Olivinin her geçen gün önemi artmaktadır. Bu yüzden olivin üzerine zenginleştirme çalışmalarının da yapılması gerekmektedir. Çalışma olivinin zenginleştirilmesi açısından bir ilk olmasının yanında sonraki çalışmalara da ışık tutacaktır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda olivin ile ilgili kurulacak zenginleştirme tesisisin de bir alt yapısı sağlanmıştır.

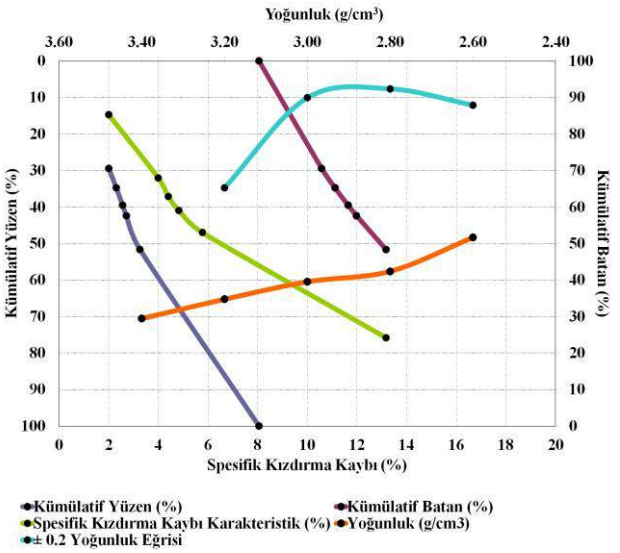
Olivin kullanımındaki genel eğilim, tanımlanan kullanım alanlarında olivine olan talebin artarak devam edeceğini göstermektedir. Bu sektörlerin başında da demir-çelik sanayi ve metal döküm endüstrileri gelmektedir. Türkiye üretilen olivinlerin hepsi uygun standartlara sahip değillerdir. Kızdırma kaybı özellikle önemli bir noktadır. Bu yüzden olivinle birlikte bulunan ve kızdırma kaybı değerini yükselten dolomitin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte zenginleştirilebilirliği olumsuz etkileyen diğer olumsuz bir nokta ise, olivinlerin serpantinleşmeye uğramasıdır. Bu yüzden dolayı da yüksek yoğunluğa sahip olivinlerin düşük yoğunluk göstererek dolomitlerden ayrılamamasıdır. Ayrıca bu çalışmayla ilk olarak dolomitin olivinden uzaklaştırılabileceği ve olivinin satılabilir kızdırma değerlerine ulaştığı deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur.



Şekil 4. Eski Ocak 2A için (-10+2 mm) Yüzdürme- Batırma Eğrileri



Şekil 5. Eski Ocak 2B) için (-10+2 mm) Yüzdürme- Batırma Eğrileri



Şekil 6. Yukarı Ocak) için (-10+2mm) Yüzdürme- Batırma Eğrileri

TEŞEKKÜR

Bu çalışma "Farklı Oluşumlara sahip Olivin Cevherlerinden Yankayaçların Uzaklaştırılmasının Araştırılması ve Refrakter Sanayinde Kullanılabilirliğinin Ortaya Konması" isimli TÜBİTAK 2241-A proje kapsamında desteklenmiştir. Bu nedenle TÜBİTAK 2241-A grubuna ve Dakduklu Madencilik Nakliye San. Ve Tic. Ltd. sahipleri ve çalışanlarına maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Acar, B., 2003. Olivinin sanayiye yönelik kullanım özelliklerinin tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) olivinleri‖, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Burt R. O., 1984, *Gravity Concentration Technology*, Amsterdam, Elsevier.

Cobett, T., 2002. *The ABC's of Green Sand*, *Foundry Management & Technology*, 130 (4): 24-30

Devlet Planlama Teşkilatı, 2001. *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri II* (Refrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkondisten, Sillimanit, Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu‖ DPT: 2612—ÖİK: 623, Ankara, 69-84.

Heine, R.W., Loper, C.R., Rosthenhal, P., 1990. *Principles of Metal Casting*, Tata Mc Graw-Hill Publishing, New Delhi, İndia.

Leonard J.W., 1979, Coal Preparation, AIME, 4th Edition, New York.

Osborne D.G., 1988, *Coal Preparation Technology* Vol. 1, Graham and Trotman Ltd., Chapter 8, London.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2002. TS EN ISO 11127-2 / TS 2980, *Çelik yüzeylerin hazırlanması - Boya ve ilgili malzemelerin uygulanmasından önce - Püskürme ile temizlemede kullanılan metalik olmayan aşındırıcıların özellikleri - Bölüm 4: Kömür fırını cürufu*, Metalürji İhtisas Grubu, Ankara.

.

Farklı Ortam Koşullarında Çarpma Dayanımı ile Kireçtaşlarının Performanslarının Araştırılması

Investigation of Performance of Limestones on Impact Resistance in Different Environment Conditions

G.Sarıışık
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar

E. Özkan, A. Şentürk
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Bu çalışma kireçtaşı örneklerinin farklı ortam koşullarında kullanım alanlarındaki performansları belirlenmesi için çarpma dayanımı deney yöntemleri ile yapılan bir araştırmayı kapsamaktadır. Yaygın olarak kullanılan ve oluşumlarına göre sınıflandırılmış olan 6 farklı tür kireçtaşı, bir seri karakterizasyon (mineralojik ve petrografik özellikleri, kimyasal özellikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri) testleri yapılmıştır. Kireçtaşı nihai ürünlerin TS EN 14158 standardına göre kopma enerjisi ve çarpma dayanımı, TS EN ISO 10545–5 standardına göre sıçrama katsayısı değerleri farklı bilye düşürme test cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Çarpma dayanımı deneylerinde kullanılan cilalı kireçtaşı plakaların farklı boyutlarda ve ortam koşullarında çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kireçtaşı plakaların çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerlerini etkileyen parametreler farklı ortam koşulları, plaka kalınlığı, mineralojik ve petrografik özellikler, kimyasal özellikler, fiziksel ve mekanik özellikler olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan kireçtaşı plakaların istatistiksel analiz sonucunda çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerlerine göre kırılma potansiyeli sınıflaması önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kireçtaşı, çarpma dayanımı, TS EN 14158, TS EN ISO 10545–5

ABSTRACT This study involves the analysis of impact resistance of natural stone samples different environmental conditions using test methods to determine their performance in their fields of use. A total of 6 different kinds of limestone were categorized according to their commonly used geological formations and were subjected to various characterization tests (mineralogical and petrographic characteristics, chemical properties, as well as physical and mechanical properties). The rupture energy caused by an impact on limestones was determined in accordance with the EN 14158 standard, and the restitution coefficient values were determined in accordance with the EN ISO 10545-5 standard. The impact resistance, rupture energy, and restitution coefficient of polished natural stone plates that were used in the tests were statistically analyzed. The parameters that affected the impact resistance, rupture energy, and restitution coefficient of natural rocks were plate thickness, environmental conditions, mineralogical and petrographic characteristics, chemical properties, as well as physical and mechanical properties. Finally, the potential fractures of the specimens were classified based on impact resistance, rupture energy, and restitution coefficient.

Keywords: Limestone, impact resistance, TS EN 14158, TS EN ISO 10545–5

1 GİRİŞ

Türkiye, 4000 yıllık mermer üretim geçmişiyle dünyanın eski doğal taş üreticilerinden ve dünyada büyük rezervlere sahip ülkelerden birisidir. Ticari anlamda doğal taş; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkartılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak talebe göre yüzey işlemleri (parlatma, eskitme vb.) yapılabilen kayaçlardır. Doğal taşlar oluşumlarına göre; metamorfik (mermer, şist, gnays vb.), sedimanter (kireçtaşı, traverten, oniks vb.) ve magmatik (granit, siyenit, gabro, trakit, bazalt, andezit, tüfler) kökenli doğal taşlar olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal taşlar tarih boyunca yapıların tamamında veya dekoratif amaçlı olarak süslenmesinde kullanılmıştır (Şentürk vd., 1996; Kulaksız, 2007).

Uluslararası doğal taş piyasada rekabet edebilmek için ürünlerin kalitesi ve uygun standartlarda olması ön plana çıkmaktadır. Bugüne kadar doğal taşlar hakkında yapılan araştırmalar, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak kullanım alanlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır (Şentürk vd, 1996; Sarıışık, 1998; Kulaksız, 2007; Sarıışık, 2007; Sarıışık vd, 2010a; 2010b). Doğal taş tesislerinde üretilen nihai ürünlerin kullanım alanlarının belirlemesi içinde kalite kontrolün yapılması gerekmektedir. (Onargan vd, 2006). Doğal taş nihai ürünlerin iç ve dış mekânlarda, zemin döşemesi ve kaplaması olarak kullanımında çarpmaya karşı dayanıklılığının da belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca nihai ürünlerin zemin döşeme ve kaplamalarda kullanımında kırılma riskini en aza indirmek için uygun doğal taş plaka kalınlıklarının belirlenmesi de gerekmektedir.

Literatür çalışmalarına bakıldığında; doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri ve çevre etkileşim özellikleri dikkate alınarak, kullanım alanları ve sınıflandırması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Singh, et, al., 1999; Rodriquez, et, al., 2002; Benavente, et, al., 2004; Sharma, et, al., 2007; Sarıışık, 2007; Sarıışık vd., 2010a; 2010b; 2012, Sarıışık ve Sarıışık, 2010; 2011; Sarıışık; 2011; 2012). İncelenen çalışmalarda, doğal taş nihai ürünlere yönelik, özellikle çarpma dayanımı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sadece TS EN ISO 10545–5 standardına göre seramik ürünlerine çarpma dayanımı analizi yapılmaktadır.

Bu çalışmada, zemin döşeme ve kaplaması olarak kullanılan 6 farklı tür kireçtaşı kullanılmıştır. Farklı ortam koşullarındaki kireçtaşlarının çarpma dayanımları çarpma dayanımı test cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Sektörde yaygın olarak tercih edilen plaka kalınlıklarındaki kireçtaşı örneklerinin farklı ortam sıcaklıklarındaki dayanımları belirlenerek uygun tercihlerin yapılması hedeflenmiştir. Kireçtaşlarının TS EN ISO 10545–5 ve TS EN 14158 standartlarıyla belirlenen çarpma dayanımı değerleri istatistiksel analiz sonuçları dikkate alınarak, farklı ortam koşullarındaki çarpma dayanımlarına bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Çeşitli alanlarda kullanılan kireçtaşı plakalarının farklı ortam sıcaklıklarında kırılma riskini en düşük seviyeye indirmek için çarpma dayanım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çarpma dayanımı deneyinde 200×200×20 mm (P1) ve 200×200×30 mm (P2) boyutlarında sıçrama katsayısı ölçümü ile çarpma dayanımı tayini deneyinde ise 75×75×10 mm (P3) boyutlarında kireçtaşı plakaları kullanılmıştır. Çizelge 1'de deneylerde kullanılan kireçtaşlarının ticari isimleri, örnek kodları, yüzey işlem metodu, ortam koşulları ve plaka boyutları verilmiştir. Çarpma dayanımı testi ve sıçrama katsayısı ölçümünde bir ortam koşulu ve bir boyut için her bir örnekten 6 adet kullanılmıştır. Çalışma kapsamında toplamda 324 (çarpma dayanımı testinde 6 kireçtaşı x 6 örnek x 3 ortam x 2 boyut = 216 ve sıçrama katsayısı ölçümünde testinde 6 kireçtaşı x 6 örnek x 3 ortam x 2 boyut = 108) örnek üzerinde testler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan kireçtaşı örneklerinin kodlanması

Doğal Taş Türü	Kireçtaşı	
Ticari İsim/ Kodu	Rosalia Pink	K1
	Victory	K2
	Jaguar	K3
	Afrodit	K4
	Orange	K5
	Affumicato	K6
Ortam Koşulları	(Ort1)Oda Sıcaklığı (Ort2)Don Sonrası (Ort3)Termal Şok	
Plaka Boyutu (mm)	(P1) 200 × 200 ×20 (P2) 200 × 200 × 30 (P3) 75 × 75 × 10	
Yüzey İşleme Metodu	Cilalı	

2.2 Metot

2.2.1Çarpma dayanımı yöntemleri

Çarpma etkisini ölçmek için farklı test cihazları geliştirilmiştir. Bu cihazlar malzemeleri kırmak için harcanan enerji miktarı ve sıçrama katsayısının belirlenmesi için tasarlanmıştır. Çarpma dayanımını belirlenmesi için geliştirilmiş test cihazları; çentik darbe deney cihazı ve çarpma dayanımı test cihazıdır (Sarıışık vd. 2012). Bu çalışmada, doğal taş nihai ürünler ile ilgili yapılan deneyler; çarpma etkisi ile kopma enerjisinin belirlenmesi ve sıçrama katsayısı ölçümü ile çarpma dayanımıdır.

2.2.1.1 Çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayini

Doğal taş çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayininde TS EN 14158 standardına göre yapılmıştır. Standartta belirtilen boyutlardaki cilalı örnekler doğal taş işleme tesislerinde hazırlatılmıştır. Doğal taş örneklerin çarpma işlemlerinin gerçekleştiği yüzeyler anizotropi düzlemlerine paralel olarak seçilmiştir. Çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayini deneyi P1 (200×200×20 mm) ve P2 (200×200×30 mm) boyutlarında oda sıcaklığında, don sonrasında ve termal şok ortamlarında sabit kütleye ulaşmış 6 çeşit kireçtaşı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çarpma dayanımı ile kopma enerjisi deneyinde bilye düşürme test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, 1044 gr ağırlığında çelik bir bilyeyi istenilen yükseklikte tutabilen bir mekanizma ve örneğin bulunduğu eşit seviyede kumla (2 cm kalınlık) kaplanmış bir hazneden oluşmaktadır. Doğal taş örneği zemin üzerine yerleştirilmeden önce kum tesviye edilir ve sonra örnek zemine düzgünce yerleştirildikten sonra su terazisi ile dengelenir (Şekil 1). Çelik bilye 0-100 cm yükseklikten, P1 ve P2 boyutlarında doğal taş plakaların üzerine düşürülmesiyle çarpma dayanımı ile kopma enerjisi deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde örneğin dışında kırılma yüksekliğinin (ht) belirlenmesi amacıyla 1 kontrol örneği kullanılmıştır. Deney örnekleri üzerinde en az 100 mm başlangıç yüksekliğinden başlanması koşuluyla kırılma yüksekliğinden 150 mm az olarak ve her seferinde 50 mm yükseltilerek bilye zemin üzerindeki örnek üzerine serbest düşme yoluyla bırakılmıştır. Eğer örnek kırılamıyorsa; yükseklik 5 cm arttırılarak aynı işlem örnek kırılıncaya kadar uygulanmıştır (Şekil 2). Çelik bilye aynı yükseklikten maksimum 5 defa düşürülmüştür. Deney örneklerinin ilk seferinde kırılması durumunda deney başka bir örnek ile tekrarlanmıştır. Oda sıcaklığı, don sonrası ve termal şok ortamında sabit kütleye ulaşan örnekler çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayininde kullanılmıştır.

Oda sıcaklığı ortamı için, (70±5) °C sıcaklıkta kurutulan değişmez kütleye gelinceye kadar örnek kurutulduktan sonra etüvden çıkarılarak uygun bir desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutularak 0,1 g hassasiyetli terazide tartımı gerçekleştirilmiştir. Kurutulan örneğin (24 ± 2) h zaman aralığındaki iki tartımının farkı ilk kütlenin % 0,1'ini aşmamışsa numunenin sabit kütleye ulaştığı varsayılmıştır.

Don sonrası ortamın sağlanması için (TS EN 12371), normal atmosfer şartlarında suya doygun hale getirilen örnek, soğutma hızı yaklaşık 4 saat zarfında -20°C'ye düşecek şekilde ayarlanarak, soğuk hava dolabına yerleştirilmiştir. Sıcaklığın -20°C'ye düşmesinden sonra 2 saat bu sıcaklıkta bekletilen örnek dolaptan çıkarılarak içinde 20°C ± 5°C sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde en az 2 saat

bekletilmiştir. Buzların tamamen erimesi sağlandıktan sonra tekrar 20°C'ye kadar soğutulmuştur. Donma ve çözülme işlemi örnek üzerinde 25 kez tekrarlanmıştır. Sabit kütleye ulaşan örneklere çarpma etkisi ile kopma enerjisi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Termal şok ortamının sağlanması için (TS EN 14066) örnekler oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğutulmalarından sonra kuru kütlede başlangıç değeri dikkate alınarak kurutulan örnekler (105 ± 5)°C sıcaklıktaki hava dolaşımlı bir etüvde (18 ± 1) saat sıcaklık değişimlerine tâbi tutulmuştur. Bunu takiben örnekler (20 ± 5) °C sıcaklıktaki su içerisine (6 ± 0,5) saat süreyle bekletilmiştir. Termal şok işlemi örnek üzerinde 20 kez tekrarlanmıştır. Sabit kütleye ulaşan örneklere çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayini deneyi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır.

Şekil 1. Çarpma dayanımı test cihazı

Doğal taşların çarpma dayanımının aşağıdaki bağıntılardan yararlanılarak hesaplanması öngörülmüştür.

Doğal taşların kopma enerjisi TS EN 14158 standardına göre hesaplanması eşitlik (1)'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Çarpma dayanımı deneyinde örnek kırılma şekli

$$W = m \times g \times h \quad (1)$$

W: Kopma enerjisi (Nm),
m: Çelik bilyenin kütlesi (kg),
g: Yer çekimi ivmesi (9,806 m/s^2),
h: Çelik bilyenin kopma yüksekliği (m)

Eşitlik (3)'te belirtilen toplam darbe işinin deneyde kullanılan örnek hacmine oranı olan doğal taşın çarpma dayanımını formülü eşitlik(2)'de gösterilmiştir (Sarıışık 2012).

$$ÇD = \frac{W_t}{V} \quad (2)$$

ÇD: Doğal taşın çarpma dayanımı, N/m^2
W_t: Toplam darbe işi, (Nm), (
V: Deney örneğinin hacmi, (m^3)

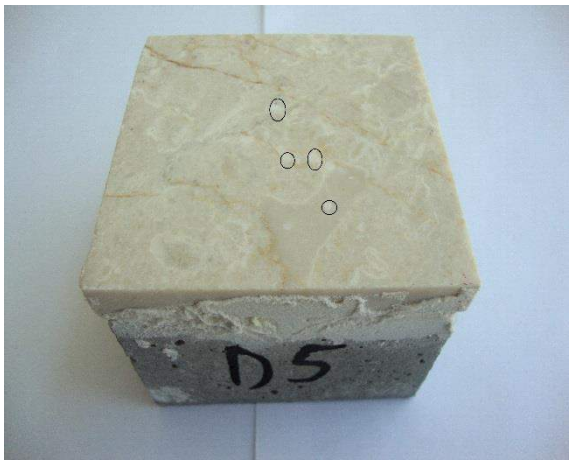
$$W_t = \sum_{J=1}^{n} Wj = m \times g \times \sum_{j=1}^{n} hj \quad (3)$$

2.2.1.2 Sıçrama katsayısı ölçümü ile çarpma dayanımı tayini

Kireçtaşı nihai ürünler TS EN ISO 10545–5 standardına göre sıçrama katsayısı ölçümü ile çarpma dayanımı tayini testleri gerçekleştirilmiştir. Doğal taş örnekler çarpma etkisi ile kopma enerjisi tayini deneyi oda sıcaklığında, don sonrası ve termal şok ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Örnekler çarpma dayanımı için hazırlanan örneklerle ile aynı şekilde hazırlanmıştır. Bilye düşürme cihazı; elektromıknatıs bağlanmış düşey

çelik çubuk, seviye ayar mekanizması ayarlanabilen ağır bir çelik taban, kılavuz borusu ve deney desteğinden oluşmaktadır (Şekil 3). Doğal taş örnekler P3 (75 × 75 × 50 mm) boyutundaki prizini almış beton bloğa epoksi reçine ile yapıştırılmıştır. Bilye düşürme cihazı, çelik çubuk tam düşey olacak şekilde mekanizma yardımıyla ayarlanmıştır. Elektromıknatısın bıraktığı çelik bilye (Kromlu Çelik Bilye, 19±0,05 mm çapında, B1 bilyenin ağırlığı 28 g, B2 biyenin ağırlığı 55 g), zemine sabitlenmiş olan P3 boyutundaki örneğin merkezine düşecek şekilde, elektromıknatısın altına deney örneği yerleştirilmiştir (Şekil 4). Çelik bilye 1 metre yüksekten serbest düşme yoluyla deney örneği üzerine çarpması sonucunda ±1 mm doğrulukla ölçülen sıçrama yüksekliğine bağlı olarak sıçrama katsayısı (e) cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. Her sıçrama deneyinden sonra bilyenin örnek üzerindeki her hangi bir darbe etkisi olup olmadığı 1 m yükseklikten sağlıklı gözle kontrol edilerek ve sıçrama katsayısındaki standart sapmanın 0,1'e yakın olması durumunda sonuçların ortalaması alınarak 5 adet deney örneğinde tekrarlanmıştır. Eşitlik (5)'in ve eşitlik (6)'ya oranı olan eşitlik (4) belirtilen sıçrama katsayısı formülü ile hesaplanmıştır.

Şekil 3. Sıçrama katsayısıyla çarpma dayanımı test cihazı



Şekil 4. Küp örneklerdeki zedelenmeler

Yatay duran bir yüzeye çarpan bilyenin sıçrama katsayısı (e):

$$e = v/u \quad (4)$$

e : Bilyenin sıçrama katsayısı,
v : Başlangıç hızı (geri sıçrama), (m/sn),
u : Yaklaşma hızı,(m/sn)

$$v = \sqrt{2gh_2} \quad (5)$$

$$u = \sqrt{2gh_1} \quad (6)$$

h_2 : Sıçrama yüksekliği,(m),
g : Yerçekimi ivmesi (9,806 m/s^2),
h_1 : Sıçrama yüksekliği,(m)

2.3. Karakterizasyon Testleri

Bu çalışmada Afyonkarahisar/İscehisar'da faaliyet gösteren firmaların ocaklarından temin edilmiş olan doğal taş örnekleri kullanılmıştır. Mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi için 5.0x5.0x1.0 cm ebadında alınan örneklerin ince kesitleri ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon marka mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Örneklerin mineral dağılımları ve kristal boyutları Clemex model görüntü analiz sistemiyle ölçülmüştür. Doğal taş örneklerinin mineralojik analizleri Maden Teknik Arama (MTA) Mineralojik-Petrografik Analiz Laboratuarında, kimyasal analizleri ise; Kanada'da bulunan ACME Analitik Laboratuarı'nda, XRF yöntemiyle yaptırılmıştır. Doğal taş örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinden özgül ağırlık ve porozite testi TS EN 1936 standardı, su

emme testi TS EN 13755 standardı, knoop sertliği testi TS EN 14205 standardı, basınç dayanımı testi TS EN 1926 standardı, eğilme dayanımı testi TS EN 13161 standardı ve darbe dayanımı testi TS 699 standardı dikkate alınarak, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuarlarında yapılmıştır. Doğal taş örneklerin boyutları 70.0x70.0x70.0 mm ve 30.0x50.0x180.0 mm olup, deneyler en az 6 adet örnekle yapılarak ortalamaları alınmıştır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1 Karakterizasyon Test Sonuçları

Çalışmada kullanılan 6 çeşit kireçtaşı örneğinin CaO oranı % 52,78 ile % 55,88 arasında olup, kalsit minerali oranı % 95'tir. Kimyasal analiz sonuçları aynı zamanda, bu çalışmada kullanılan örneklerin fiziksel-mekanik özellikleri, sırasıyla Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir. Çizelge 4'de TS EN 1467 ve TS EN 1469 standardına göre döşeme ve kaplama malzemesi doğal taşların sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerin sınır değerleri ile verilmiştir.

Çizelge 2. Kireçtaşı örneklerinin kimyasal özellikleri

Mineral Bileşen	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	Cr_2O_3 (%)	Kızdırma Kaybı (%)
K1	0.25	0.05	0.07	0.50	55.28	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.002	43.77
K2	0.76	0.10	0.07	0.24	55.53	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.002	43.24
K3	0.44	0.06	0.05	3.24	52.78	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.01	<0.002	43.38
K4	0.40	0.11	0.06	2.32	53.46	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.01	0.002	43.58
K5	2.68	0.34	0.19	0.47	53.51	<0.01	0.05	0.02	0.01	<0.01	<0.002	42.71
K6	0.10	<0.01	<0.04	0.43	55.88	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.003	43.49

Çizelge 3. Kireçtaşı örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Doğal Taş Örnekleri	Özgül Ağırlık (kg/cm^3)	Porozite (%)	Su Emme (%)	Knoop Sertlik	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Don Sonrası Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (MPa)
K1	2740	0,19	0,23	231,67	89,75	87,35	12,66	34,02
K2	2740	0,23	0,42	228,35	88,16	85,46	11,65	32,11
K3	2710	0,74	1,25	215,34	85,74	83,45	10,98	30,06
K4	2740	0,35	1,07	225,23	87,25	85,34	11,21	32,0
K5	2750	0,21	0,36	234,05	90,85	88,73	12,82	34,13
K6	2750	0,28	0,32	244,33	91,70	89,84	12,95	34,13

Çizelge 4. Doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin TS EN standartlarına göre karşılaştırılması

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Birim	TS EN 1467 TS EN 1469 TS 699 Standartlar
		Sınır Değerler
Özgül Ağırlık	(kg/m^3)	>2550
Su Emme	(%)	<1.75
Porozite	(%)	<2
Basınç Dayanımı	(MPa)	>30
Eğilme Dayanımı	(MPa)	>8.0
Darbe Dayanımı	(MPa)	>6.0

3.2 Kireçtaşı Plakalarının Çarpma Dayanımı Analizi ve Sınıflandırması

Çalışmada çarpma dayanımı deneylerinde kullanılan cilalı kireçtaşı plakaların zemin kaplamalarında çoğunlukla tercih edilen P1 ve P2 plaka boyutlarındaki çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerlerinin istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Doğal taş plakalarında çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerleri ile iki faktörlü varyans (ANOVA) analizi uygulanmıştır. Kireçtaşı plakalarında çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı bakımından $p<0.001$ anlamlılık düzeyinde plaka boyutları ve ortam koşulları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (Çizelge 5). Buna göre kireçtaşı plakalarının zemin kaplamalarında kullanımında plaka boyutları ve ortam koşullarının etkili olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. Kireçtaşı plakalarının boyutlarına ve ortama göre istatistiksel analizi

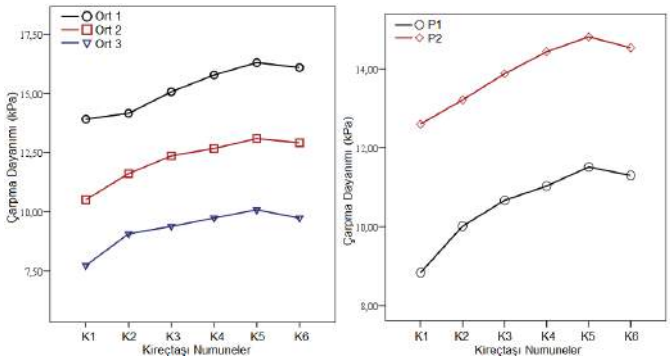
Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken (I)	Bağımsız Değişken (J)	Bağımsız Değişken Farkı(I-J)	Standart Hata	Anlamlılık Düzeyi	95% Güven Aralığı Alt Limit	Üst Limit
Çarpma Dayanımı	P1	P2	-3,349	0,059	<0,001	-3,465	-3,233
	P2	P1	3,349	0,059	<0,001	3,233	3,465
Kopma Enerjisi	P1	P2	-0,407	0,014	<0,001	-0,434	-0,379
	P2	P1	0,407	0,014	<0,001	0,379	0,434
Çarpma Dayanımı	Ort1	Ort2	3,028	0,072	<0,001	2,886	3,170
		Ort3	5,935	0,072	<0,001	5,793	6,077
	Ort2	Ort1	-3,028	0,072	<0,001	-3,170	-2,886
		Ort3	2,907	0,072	<0,001	2,765	3,049
	Ort3	Ort2	-5,935	0,072	<0,001	-6,077	-5,793
		Ort1	-2,907	0,072	<0,001	-3,049	-2,765
Kopma Enerjisi	Ort1	Ort2	0,482	0,017	<0,001	0,448	0,517
		Ort3	0,978	0,017	<0,001	0,944	1,012
	Ort2	Ort1	-0,482	0,017	<0,001	-0,517	-0,448
		Ort3	0,496	0,017	<0,001	0,462	0,530
	Ort3	Ort2	-0,978	0,017	<0,001	-1,012	-0,944
		Ort1	-0,496	0,017	<0,001	-0,530	-0,462
Sıçrama Katsayısı	Ort1	Ort2	0,0250	0,103	<0,001	0,0226	0,0274
		Ort3	0,0642	0,103	<0,001	0,0617	0,0666
	Ort2	Ort2	-0,0250	0,0103	<0,001	-0,0274	-0,0226
		Ort3	0,0392	0,0103	<0,001	0,0367	0,0416
	Ort3	Ort1	-0,0642	0,0103	<0,001	-0,0666	-0,0617
		Ort2	-0,0392	0,0103	<0,001	-0,0416	-0,0367

Kireçtaşı örneklerinin plaka boyutlarına ve ortam koşullarına göre çarpma dayanımı değerleri Şekil 5'de verilmiştir.

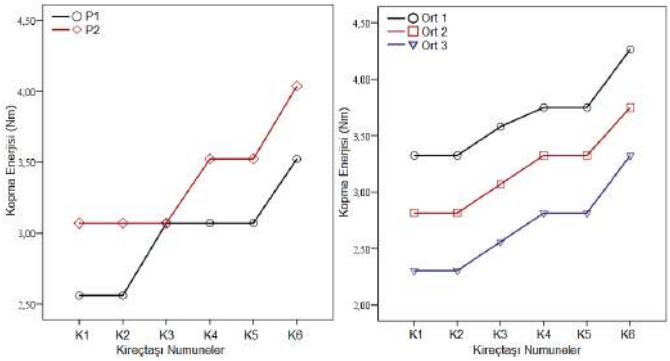
Çarpma dayanımı değeri düşük olan örneğin kırılma potansiyeli yüksek olmaktadır. P1 boyutunda olan K1 örneğinin çarpma dayanımlarının ortalaması 6,36 kPa olup, kırılma potansiyeli en yüksek olan kireçtaşıdır. P2 boyutu ve Ort1 ortamı için K5 örneğinin çarpma dayanımı 17,83 kPa ile en yüksek değerde olup, kırılma potansiyeli en düşük seviyede olduğu görülmektedir.

Kireçtaşı plakalarında Ort3 ortamında çarpma dayanımının en düşük, Ort1 ortamında en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Kireçtaşı örneklerinin kopma enerjisi değerleri plaka boyutları ve ortam koşullarına göre Şekil 6'da verilmiştir.



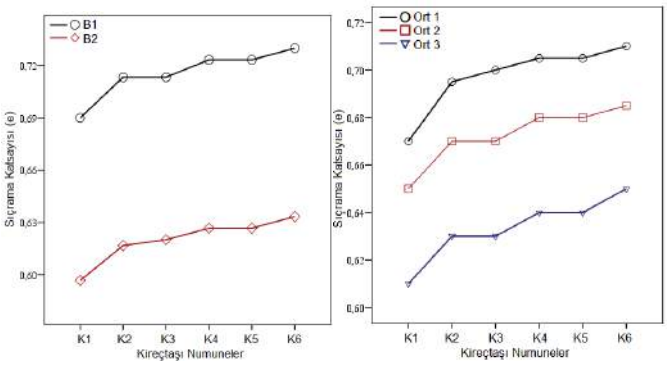
Şekil 5. Kireçtaşları örneklerinin plaka boyutlarına ve ortam koşullarına göre çarpma dayanımı değerleri



Şekil 6. Kireçtaşları örneklerinin plaka boyutları ve ortam koşullarına göre çarpma dayanımı değerleri

P1 boyutu ve Ort3 ortamındaki K1 ve K2 örneklerinin kopma enerjilerinin en düşük değerde oldukları görülmektedir. K1 ve K2 örneklerinin, P1 boyutundaki kopma enerjisi 2,05 Nm olup, örnekler içerisinde en düşük değere sahiptir. P2 boyutu ve Ort1 ortamındaki K6 örneğinin kopma enerjisi 4,61 Nm ile örnekler arasında en düşük değerde olan kireçtaşıdır. Kireçtaşı plakalarında Ort3 ortamında kopma enerjisinin en düşük, Ort1 ortamında en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Kireçtaşı örneklerinin bilye ağırlıkları ve ortam koşullarına göre sıçrama katsayısı değerlerinin değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kireçtaşları örneklerinin bilye ağırlıkları ve ortam koşullarına göre sıçrama katsayısı değerleri

K1 örneğinin, Ort3 ortamında ve B2 bilyesindeki en düşük sıçrama katsayısı değeri 0,57 olarak ölçülmüştür. K5 ve K6 örneklerinin Ort1 ortamında ve B1 bilyesinde ise en yüksek sıçrama katsayısı değeri 0,76 olarak belirlenmiştir. Ortam koşulları göz önüne alındığında K1 örneğinin Ort3 ortamında sıçrama katsayısı değeri 0,65 ve örnekler içerisinde en düşük değere sahiptir.

İstatistiksel analiz sonucunda doğal taş nihai ürünlerin çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerlerine göre kırılma potansiyeli sınıflandırılmıştır. Doğal taşların nihai ürünlerin kırılma potansiyeli sınıflandırması Çizelge 6'da verilmiştir. Kırılma potansiyeli sınıflandırması dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre hangi örneklerin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. Doğal taş nihai ürünlerin kırılma potansiyeli sınıflandırması (Sarışık vd. 2012)

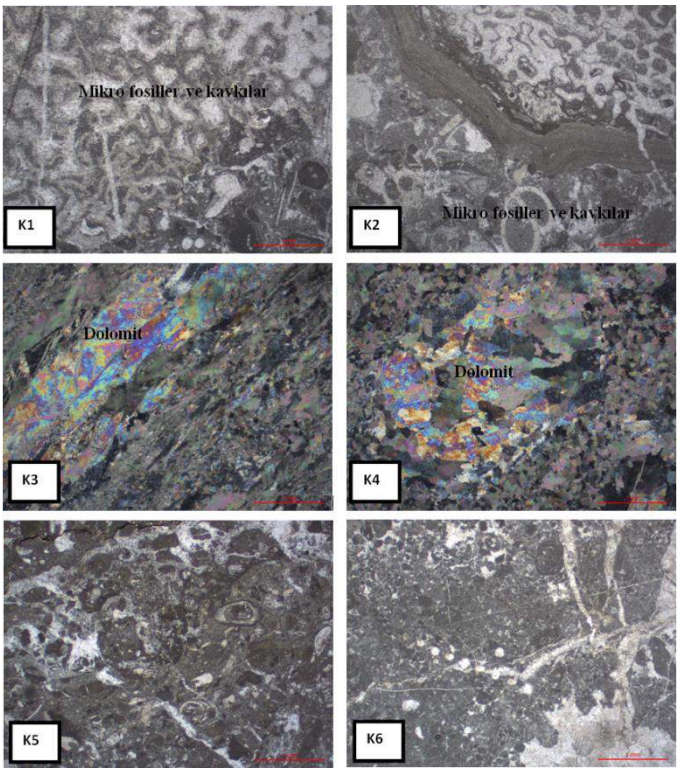
Çarpma Dayanımı (kPa)	Kopma Enerjisi (Nm)	Kırılma Potansiyeli	Sıçrama Katsayısı (e)	Çatlak ve Zedelenme
<6	<3	Yüksek (Y)	<0.5	Yüksek (Y)
6-12	3-3.5	Orta (O)	0.5-0.6	Orta (O)
12-18	3.5-4	Düşük (D)	0.6-0.7	Düşük (D)
>18	>4	Çok Düşük (ÇD)	>0.7	Çok Düşük (ÇD)

Çizelge 7. Kireçtaşlarının farklı ortam koşullarındaki çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerlerine göre sınıflandırılması

Doğal Taş Türü	Ortam Koşulları	Plaka Boyutu	P1			P2			P3	
		Örnekler	Çarpma Dayanımı(kPa)	Kopma Enerjisi(Nm)	Sınıf	Çarpma Dayanım(kPa)	Kopma Enerjisi(Nm)	Sınıf	Sıçrama Katsayısı	Sınıf
Kireçtaşı	Ort1	K1	11,13	3,07	O	16,70	3,58	D	0,72	ÇD
		K2	12,07	3,07	D	16,25	3,58	D	0,75	ÇD
		K3	13,83	3,58	D	16,31	3,58	D	0,75	ÇD
		K4	14,48	3,58	D	17,08	3,92	D	0,76	ÇD
		K5	14,87	3,58	D	17,83	3,92	D	0,76	ÇD
		K6	14,36	3,92	D	17,74	4,61	D	0,76	ÇD
	Ort2	K1	9,01	2,56	O	12,00	3,07	O	0,70	D
		K2	10,29	2,56	O	12,93	3,07	D	0,72	ÇD
		K3	10,86	3,07	O	13,86	3,07	D	0,72	ÇD
		K4	10,97	3,07	O	14,38	3,58	D	0,73	ÇD
		K5	11,32	3,07	O	14,86	3,58	D	0,73	ÇD
		K6	11,52	3,58	O	14,31	3,92	D	0,74	ÇD
	Ort3	K1	6,36	2,05	O	9,09	2,56	O	0,65	D
		K2	7,68	2,05	O	10,45	2,56	O	0,67	D
		K3	7,31	2,56	O	11,45	2,56	O	0,67	D
		K4	7,64	2,56	O	11,83	3,07	O	0,68	D
		K5	8,34	2,56	O	11,82	3,07	O	0,68	D
		K6	8,01	3,07	O	11,45	3,58	O	0,69	D

3.3 Kireçtaşı Örneklerinin Mineralojik ve Petrografik Özelliklerin Çarpma Dayanımına Etkisi

Çalışmada kullanılan kireçtaşı örneklerinin mineralojik ve petrografik özellikleri Şekil 8'de gösterilmiştir. K1 ve K2 kayaçları fosilli kireçtaşıdır. Dokusu mikrokristalin masif, ince taneli, boşluk ve çatlaklar bulunmaktadır. Kayaçların bileşenlerinde karboponat grubu mineraller, bol miktarda mikro fosil tane ve kavkıları (biyoklastlar), az miktarda intraklastlar ve epiklastik malzeme bulunmaktadır. K3 ve K4 kayaçları dolomitli kireçtaşıdır. Dokusu masif, hafif yönlü ve küçük tanelidir. Kataklastik ve yönlü dokulu kayacın birleşiminde karbonat grubu mineralleri (kalsit ve azdolomit) vardır. K5 ve K6 kayaçlarıda kireçtaşıdır. Dokusu masif, çok ince taneli kırıntılıdır. Tane büyüklüğü küçük – orta tanelidir. İnce taneli ve kırıntılı dokuya sahip kayacın bileşenlerinde, karbonat grubu mineraller (kalsit), karbonatlı taneler bulunmaktadır. Kireçtaşlarının mineralojik ve petrografik özelliklerinden kayacın dokusu, fosil içeriği, porozite tipi, çatlaklar ve mikro çatlaklar çrpma dayanımını etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil 8. Kireçtaşı örneklerinin ince kesit görünümü

K1 ve K2 kireçtaşı örneğindeki fosil ve kavkıların bol miktarda bulunması çarpma dayanımı değerlerini diğer kireçtaşı örneklerine göre daha düşük çıkmıştır. K3 ve K4 kireçtaşında dolomit mineralinin varlığı

çarpma dayanımını artırmıştır. K5 ve K6 kireçtaşında ise fosil ve kavkı içeriğinin az olması, ince tanelerin çok olması nedeniyle daha yüksek çarpma dayanımına sahiptir.

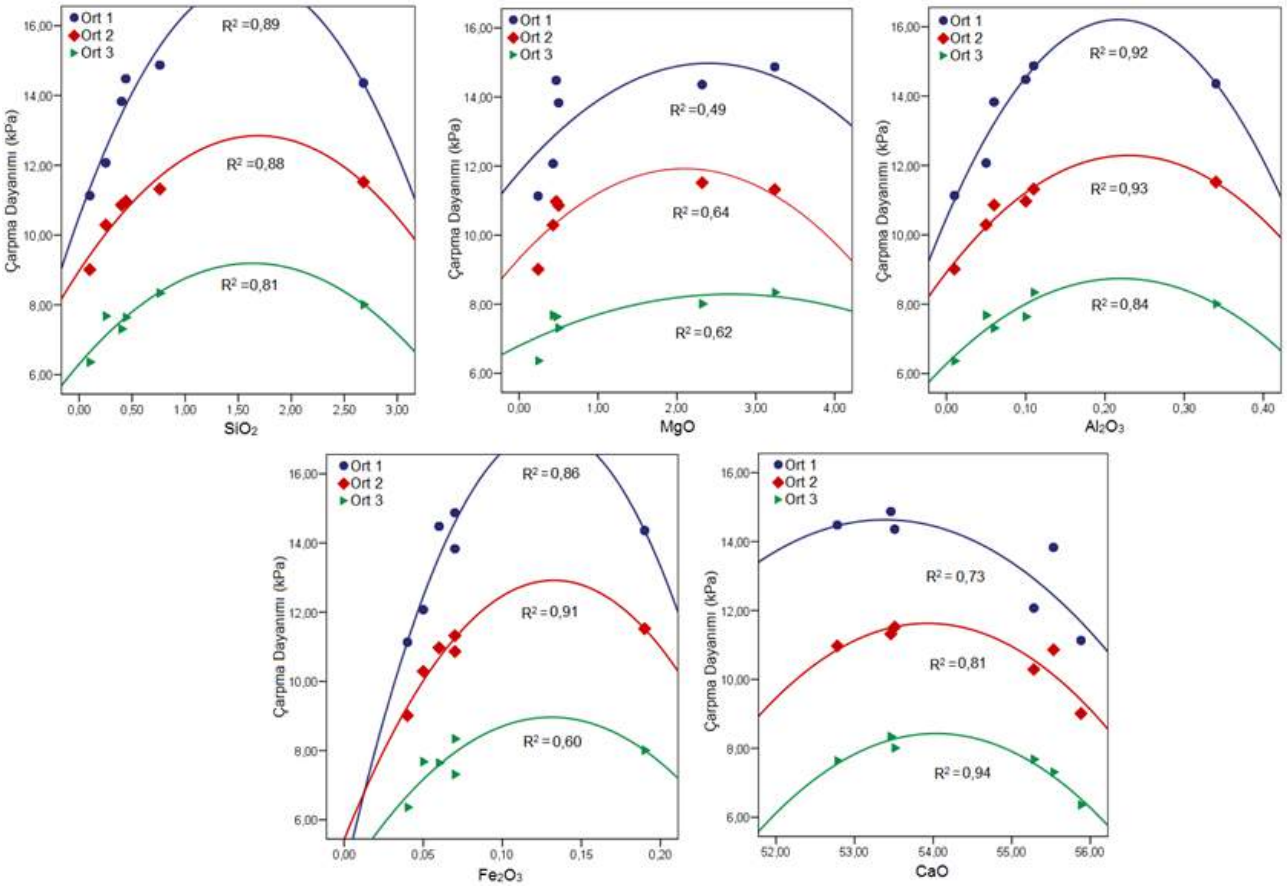
3.4 Kireçtaşı Örneklerinin Kimyasal Özelliklerin Çarpma Dayanımına Etkisi

Çalışmada kullanılan kireçtaşı örneklerinin kimyasal özelliklerinden SiO_2, MgO, Fe_2O_3, Al_2O_3 ve CaO mineral bileşenlerinin çarpma dayanımına olan etkileri basite regresyon analizi ile incelenmiştir. Şekil 9'da çarpma dayanımı ile kimyasal özelliklerin arasındaki basit regresyon analizi modeli sonuçları verilmiştir.

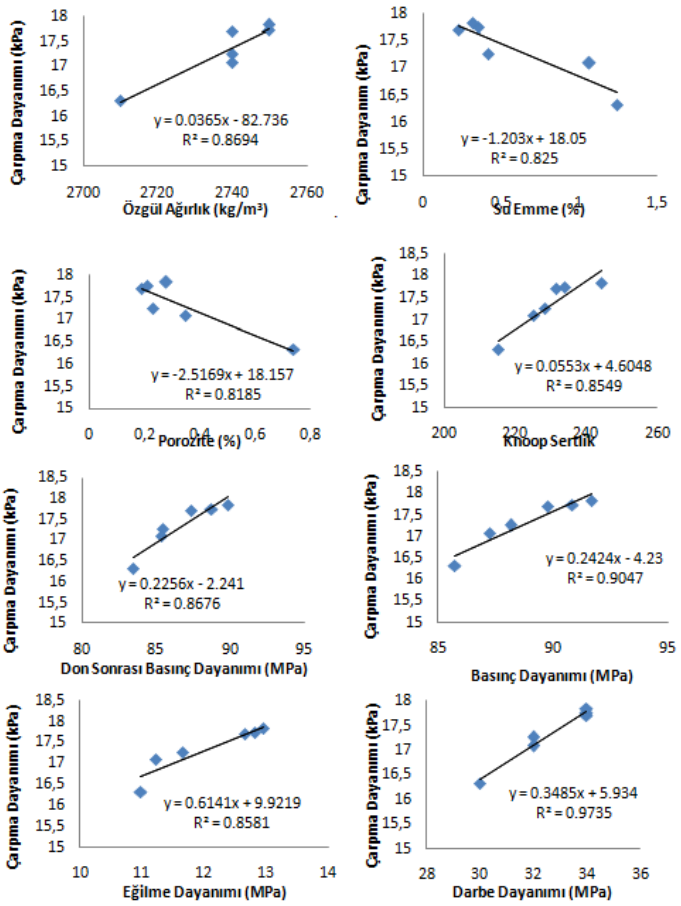
Yapılan analizlerde, kireçtaşı örneklerinin içinde bulunan minerallerin oranları ile çarpma dayanımları arasında korelasyon katsayısı (R^2) 0.49 - 0.94 arasındadır. Çarpma dayanımı ile SiO_2 mineral bileşeni arasında 0.81 - 0.89, MgO mineral bileşeni arasında 0.49 - 0.64, Fe_2O_3 mineral bileşeni arasında 0.60 - 0.91, Al_2O_3 mineral bileşeni arasında 0.84 - 0.92 ve CaO mineral bileşeni arasında 0.73 - 0.94 korelasyon katsayısı (R^2) 'na sahiptir. Korelasyon katsayısı (R^2) değerlerine göre SiO_2, Al_2O_3, MgO ve CaO mineral bileşenlerinin çarpma dayanımında etkili olduğu söylenebilir.

3.5 Kireçtaşı Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Çarpma Dayanımına Etkisi

Çalışmada kullanılan kireçtaşı örneklerinin fiziksel özelliklerinden özgül ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımının çarpma dayanımına olan etkileri basite regresyon analizi ile incelenmiştir. Çarpma dayanımı ile fiziksel ve mekanik özelliklerin arasındaki basit regresyon analizi modeli sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Kireçtaşlarının kimyasal özelliklerinin çarpma dayanımına etkisi

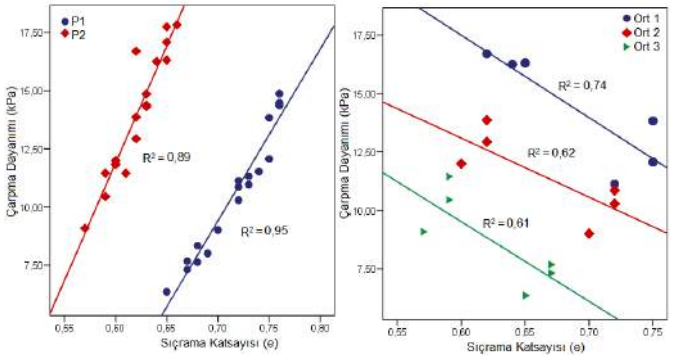


Şekil 10. Kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin çarpma dayanımına etkisi

Yapılan analizlerde, kireçtaşı örneklerinde korelasyon katsayısı (R^2) 0.81 - 0.97 arasında değerler elde edilmektedir. Bu değere göre çarpma dayanımı ile özgül ağırlık, porozite, su emme, knoop sertliği, basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre kireçtaşlarında porozite ve su emme oranı azaldıkça, çarpma dayanımı da artmakta, knoop sertliği, basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı oranı arttıkça, çarpma dayanımı da artmaktadır.

3.6. Çarpma Dayanımı ile Sıçrama Katsayısı Değerlerinin Karşılaştırılması

Kireçtaşı örneklerinin plaka boyutu ve ortam koşullarına göre çarpma dayanımı değerleri ile sıçrama katsayısı değerleri arasındaki ilişki basit regresyon analizi ile incelenmiş, Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Kireçtaşı örneklerinin plaka boyutları ve ortam koşullarına göre çarpma dayanımı ile sıçrama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Yapılan analizlerde, kireçtaşı örneklerinin Korelasyon katsayısı (R^2) P1 plaka boyutunda 0.95, P2 plaka boyutunda 0,89 olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre çarpma dayanımı ile sıçrama katsayısı arasında yüksek bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. Kireçtaşı örneklerinin R^2 katsayısı Ort1 ortam koşulunda 0.74, Ort2 ortam koşulunda 0,62 ve Ort3 ortam koşulunda 0,61 korelasyon katsayısına (R^2) sahiptir. Bu değerlere göre çarpma dayanımı ile sıçrama katsayısı arasında orta bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan 2 boyutta, 3 ortamda ve 6 farklı kireçtaşı örneği için çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı değerleri arasındaki örneklerin özellikleri ile ilişkileri ANNOVA testi ve korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlere göre 6 farklı kireçtaşının çarpma dayanımlarına göre kullanım alanları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları özetlenmiştir;

Kireçtaşı plakalarda çarpma dayanımı, kopma enerjisi ve sıçrama katsayısı bakımından ANNOVA testi sonuçlarına göre $p<0,001$ anlamlılık düzeyinde tüm boyutlar ve ortam koşulları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre kireçtaşı plakalarının zemin kaplamalarında kullanımında plaka boyutlarının (kalınlık) ve ortam koşulları etkili olduğu görülmektedir.

Kireçtaşlarının plaka kalınlıklarına bağlı olarak, çarpma dayanımı değerinin önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir. Buna göre plaka kalınlığı arttıkça (P2>P1)) kireçtaşların çarpma dayanımı da artmakta, kırılma potansiyeli düşmektedir.

Kireçtaşlarının farklı ortam koşullarına bağlı olarak, çarpma dayanımı değerinin önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir. Buna göre ortam koşullarına göre sırasıyla termal şok ortamında diğer ortamlara göre kireçtaşı örnekleri daha çok bozunmaya uğradığı için çarpma dayanımı azalmış ve kırılma potansiyeli yükselmiştir.

Mineralojik ve petrografik özellikler çarpma dayanımı belirleyen kayacın dokusu, fosil içeriği, porozite tipi, çatlaklar ve mikro çatlaklar çarpma dayanımını etkilediği tespit edilmiştir. K1 ve K2 kireçtaşı örneğindeki fosil ve kavkıların bol miktarda bulunması çarpma dayanımı değerleri diğer kireçtaşı örneklerine göre daha düşük çıkmıştır.

Kimyasal analizler sonucunda kireçtaşı örneklerinde çarpma dayanımı ile SiO_2, Al_2O_3, MgO ve CaO mineral bileşenleri arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.

Kireçtaşı örneklerinde çarpma dayanımı ile fiziksel-mekanik özellikleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Buna göre özgül ağırlık, knoop sertliği, basınç dayanımı, don sonrası basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı arttıkça çarpma dayanımı da artmaktadır. Su emme ve porozite değerlerinde ise azaldıkça çarpma dayanımı artmaktadır. Böylece kireçtaşının kırılma riski de azalmaktadır.

Kopma enerjisi değerleri dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre kireçtaşların yapılarda iç ve dış mekânlarda döşeme ve kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için kopma enerjisi değerinin 3 Nm'den yüksek olması önerilmektedir.

Sıçrama katsayısı değerleri dikkate alınarak, elde edilen değerlere kireçtaşların yapılarda iç ve dış mekânlarda döşeme ve kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için sıçrama katsayısı değerinin 0.5'den yüksek olması önerilmektedir.

Tüm kireçtaşı örneklerinde üç farklı ortam koşulunda da yapılarda iç ve dış mekânlarda döşeme ve kaplama malzemesi olarak kullanılabilir olduğu öngörülmüştür.

Çarpma dayanımı değerleri dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre üç farklı ortam koşulunda kireçtaşlarının kırılma potansiyeli sınıflaması içindeki konumları belirlenmiştir. P1 plaka boyutunda K1 örneği hariç diğer kireçtaşı örneklerinin termal şok ve don sonrası ortamlarında kırılma potansiyellerinin artmakta olduğu gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (proje numarası 12.FEN.BİL.35) tarafından desteklenmiştir. Katkıları için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Benavente D, Garcya del Cura MA, Garcya-Guinea J, Sanchez-Moral S, Ordonez S., (2004). Role of pore structre in salt crystallization in unsaturated porous Stone. Journal of Crystal Growth, 260:532-544.

Kulaksız S. (2007). Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Ankara.

Onargan T. , Köse H. ve Deliormanlı A. H. (2006). Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Rodriquez-Navarro C, Linares-Fernandez L, Doehne E, Sebastian-Pardo E. (2002). Effects of ferrocyanide ions on NaCl crystallition in porous stone. Journal of Crystal Growth, 243:503-516.

Sarıışık A. (1998). Kalsiyum Karbonat Kökenli Mermerlerin Çevre Etkileşimi ile Fiziko-Mekanik Özelliklerindeki Değişim Karakteristiği. Doktora Tezi, SDÜ Isparta, Türkiye.

Sarıışık G., (2007). Technical characteristics of some Turkish natural stones with calcium carbonate root and their usage fields on structure and restoration, M.Sc. thesis, AKU Afyon, Turkey; 169p.

Sarıışık A., Sarıışık G. (2010). Quality control of Turkish calcareous natural stone using the merkont system, Journal of Testing and Evaluation, 5: 1-13.

Sarıışık A., Küçük A., Sarıışık G., Polat E. (2010a). Quality control and standard compliance of the natural stone final products produced in marble machines, Turkey VII. Marble Symposium Proceedings; 399 p.

Sarıışık A., Sarıışık G., Senturk A. (2010b). Characterization of physical and mechanical properties of natural Stones affected by ground

water under different ambient conditions, Ekoloji, 77; 88-96.

Sarıışık A., Sarıışık G. (2011). Enviromental interaction properties of marble used in the restoration of historical monuments (Dalyan - Kaunos), Ekoloji, 79: 12-20.

Sarıışık G., (2011). Mermer nihai ürünlerinin kullanım alanlarındaki performanslarının belirlenmesi için yeni bir çarpma dayanımı deney yöntemi, 10. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu 2011, Ankara, Türkiye.

Sarıışık, G., (2012). Determining Performance of Marble Finished Products on Their Usage Areas by a New Impact Resist- ance Test Method, J. Test. Eval., Vol. 40, pp. 945–951.

Sarıışık G, Kundak, E., Akdaş, H., ve Özkan, E., (2012). Mermer Plakalarda Çarpma Dayanımı Deneyi ve Sınıflandırılması, 8. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi, Afyonkarahisar, Türkiye, 407-418.

Senturk A, Gunduz L, Tosun YL, Sarıısık A., (1996). Marble technology. Tugra Press; 242 p.

Sharma PK, Khandelwal M., Singh TN. (2007). Variation on physico-mechanical properties of Kota stone under different watery environments. Building and Environment, 42: 4117-3123.

Singh TN, Signh SK, Mishra A, Signh PK, Signh VK. (1999). Effect of acidic water on physico mechanical behaviour of rock. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 6: 66-72.

TS EN 1936, (2010). Doğal Taşlar-Deney yöntemleri-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk toplam ve açık gözeneklilik tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13755, 2009, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Atmosfer Basıncında Su Emme Tayin Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14205, 2004, Doğal Taşlar- Deney Metotları-Doğal Taş Deney Metotları – Knoop Sertliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1926, 2007, Doğal Taşlar- Deney Metotları-Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12371, 2003, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Dona Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13161, 2009, Doğal Taşlar-Deney Metotları-Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14066, 2004, Doğal Taşlar - Deney Metotları - Termal Şok Etkisiyle Yıpranmaya Direncin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14158, 2004, Doğal Taş Deney Metotları-Kopma Enerjisinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 10545-5, 2000, Seramik Karolar Bölüm 5: Çarpma Dayanımı Tayini- Geri Sıçrama Katsayısı Ölçümü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1467, 2005, Doğal Taşlar-Ham Bloklar-Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1469, 2006, Doğal Taş Mamulleri-Kaplamada Kullanılan Plâkalar-Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 699, Türk Standartları, 2009, Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.

Granit Numunelerin Yüksek Sıcaklıklarda Fiziko-Mekanik Özelliklerindeki Değişimin İncelenmesi

Investigation of Changes in Physico-Mechanical Properties of Granite Samples at High Temperatures

A. Sakcalı, H. Yavuz, H. Cevizci
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Kaya mühendisliği yapılarında sıcaklık değişimi kayaların fiziko-mekanik özelliğini ve bütünlüğünü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Sıcaklık artışıyla birlikte kayalarda meydana gelen ısıl artış yeni mikro çatlakların oluşumuna ve mevcut çatlakların ilerlemesine neden olur. Boşluk hacminde meydana gelen bu artışla, kaya mikro yapısında değişim meydana gelir. Termal kırılmanın etkisiyle kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim farklı mühendislik uygulamalarının önemli bir konusudur.

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda termal hasarın granit numunelerinin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Termal işlem numunelerin 24 saat 100, 200, 300, 400, 500°C sıcaklığa kadar maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Isıdan kaynaklı numunelerde meydana gelen fiziksel hasarları belirlemek için birim hacim ağırlık, görünür porozite, P-dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımı ölçümleri yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ayrıca, karbonatlı kayaçlar üzerinde daha önce gerçekleştirilmiş bir çalışmanın sonuçları ile granitin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Granit, fiziko-mekanik özellik, sıcaklık etkisi

ABSTRACT Temperature change is an important factor influencing the physico-mechanical properties and integrity of the rocks in the rock engineering structures. Heat increases occurring in rock with temperature rise cause to consist of new micro-fractures and to progress existing fractures. Changes occur in the rock micro structure with this increasing occurred in the void volume. Change in the physical and mechanical properties of the rock by the effect of thermal cracking is an important issue in different engineering applications.

In this study, the effect of thermal damage on the physico-mechanical properties of granite samples was investigated. Thermal processes was carried out by exposing the samples up to 100, 200, 300, 400, 500°C during 24 hours. To determine the physical damage occurred in the sample caused by heat, unit weight, apparent porosity, P-wave velocity, Schmidt hardness and compressive strength measurements were carried out and the results were analyzed. Additionally, changes in the physical and mechanical properties of granite were compared with the results of a study performed on carbonate rocks previously.

Keywords: Granite, physico-mechanical property, effect of temperature

1 GİRİŞ

Kayaların fiziksel özelliklerini belirleyen ana parametrelerden birisi de kayalardaki çatlak ve gözeneklerin boyut ve yoğunluklarıdır. Nükleer atık depoları, radyoaktif atıkların yerleştirildiği tünel ve açıklıklardan oluşan kazılmış yeraltı boşluklarıdır. Bu yeraltı boşluklarına yerleştirilen atıklar etrafa ısı yayarlar ve zamanla çevre kayaçta ısı artışı meydana gelir. Kayaçların farklı

sıcaklıklarda fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimlerin araştırılması, nükleer atıkların emniyetli olarak izolasyonunun sağlanması ve atık depolarının duraylılığı için çevre kayacın uygunluğunun değerlendirilmesi anlamında büyük önem taşımaktadır (Liang vd., 2006).

Araştırmacılar kayaçlardaki termal hasarları analiz etmek amacıyla farklı parametreler üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Jones vd. (1997) kayaçların fiziksel özelliklerinin değişiminde bazalt, mikrogabro ve mikrograniti oluşturan minerallerin anizotropik ısıl genleşmesinin etkisini araştırmak için termal çatlaklanma deneyleri yapmışlardır. Bazalt örneklerinde çoğu hasar 300°C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmiş ve 600°C sıcaklığa kadar hasarda hızlı bir artış olmuştur. Mikrogranitte 200°C mikrogabroda ise 600°C'de termal kırıklar nedeniyle geçirgenliğinde artış olmuştur. David vd. (1999) granit numunelerde oluşturulan termal kırıkların ve gerilme nedenli kırıkların fiziksel özelliklerdeki etkisini incelemişler ve meydana gelen hasar miktarıyla porozite, ultrases dalga hızı ve geçirgenlik gibi fiziksel özellikler arasında iyi bir korelasyon elde etmişlerdir. Darot ve Reuschle (2000) 510°C sıcaklıkta termal çatlakların oluştuğu granit numunelerinde farklı gözenek ve çevre basınçlarındaki basınç, dalga hızı ve geçirgenlikteki değişimleri incelemişler ve basınç artışı sırasında basınç dalgası hızında artışın, geçirgenliğinde ise azalmanın olduğunu belirlemişlerdir. Chaki vd. (2008) 600°C'ye kadar değişen sıcaklık değerlerinde granit kayacının fiziksel özellikleri üzerindeki termal hasar etkisini porozite, ultrasonik dalga hızı ve geçirgenlik ölçümleriyle değerlendirmişler ve ölçüm sonuçları arasında iyi bir uyum olduğunu bulmuşlardır. Dwivedi vd., (2008) çalışmalarında Hindistan graniti ve farklı granitlerde 160°C'ye kadar sıcaklık artışıyla çekme dayanımında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Granit dışında farklı kayaç türlerinde de termal etkinin kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar yapılmıştır. Fredrich ve Wong (1986) sıcaklığın granit, diyabaz ve kireçtaşları üzerindeki etkisini taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak araştırmışlardır. Al-Shayea vd. (2000) kireçtaşının belirli sıcaklık ve basınç altında kırılma tokluğunun etkisini incelemişlerdir. Ferrero ve Marini (2001) kireçtaşı ve mermerler numunelerinde 600°C'ye kadar sıcaklık değişimlerinin çatlak yoğunluğuna etkilerini mikroskobik analizlerle incelemişlerdir. Mao vd. (2009) kireçtaşlarında yaptıkları çalışmada 20°C'den 600°C'ye kadar sıcaklık değişiminde mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişler ve ampirik bir termal hasar denklemi önermişlerdir. Yavuz vd. (2010) kireçtaşı, traverten, bej ve mermer numunelerinde sıcaklık artışı ile P-dalga hızı değişimini incelemişler ve sıcaklık artışıyla P-dalga hızının önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında ayrıca test öncesi ve sonrası numunelerdeki fiziksel değişimi gözlemlemek için mikroskobik uygulamalardan faydalanmışlardır. Sengun (2013) 105°C ile 600°C arasında değişen sıcaklıklarda 6 farklı karbonatlı kayaçta fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Bu sıcaklık aralığında sıcaklık artışıyla birlikte kayaçların birim hacim ağırlığı, P-dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, Brazilian çekme dayanımı ve Shore sertliği değerlerinde azalma olurken, görünür gözeneklilik (porozite) değerlerinde artış gözlemlemiştir.

Bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda termal hasarın granit numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Termal işlem numunelerin 100, 200, 300, 400, 500°C'ye kadar 24 saat sıcaklığa maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Numunelerdeki ısıdan kaynaklanan fiziksel hasarları belirlemek için birim hacim ağırlık, görünür porozite, P-dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Laboratuvar Deneyleri

Kaya kalitesi ve termal hasarın tanımlanması için iyi bir temel oluşturduğundan, birim hacim ağırlık, görünür porozite, ultrasonik dalga hızı, schmidt sertliği ve basınç dayanımı gibi laboratuvar deneyleri termal işlem öncesi ve termal işleme tabi tutulmuş numuneler üzerinde yapılmıştır.

Birim hacim ağırlık ve porozite kayaların temel fiziksel özelliklerindendir. Porozite birim materyal içindeki iç yüzey alanını etkiler ve materyalin ısı, su nakil özellikleri ve dayanım özelliklerini belirler. Farklı ısı etkileri sonrası kaya porozitesindeki değişimin belirlenmesi spesifik bir kaya türünün termal gerilmelere duyarlılığının belirlenmesi için büyük önem teşkil eder. Birim hacim ağırlık ve görünür porozite TS 699 (2009) standardına göre belirlenmiştir.

Numunelerin P-dalga hızları oda şartlarında ultrasonik sinyal iletim tekniği ile belirlenmiştir. Bu hasarsız bir test tekniği olup numunede görünür hasar olmasa bile materyalde dayanım azalmasına neden olan toplam materyal hasarını belirleme potansiyeline sahiptir. Dalga hızı numunenin porozitesinden mikro çatlakların boyut, yoğunluk ve yöneliminden etkilenmektedir. Testlerde 54 kHz frekansa sahip PUNDIT cihazı kullanılmıştır. Diğer yöntemlere göre daha hassas bir yöntem olmasından dolayı direk yöntem tercih edilmiştir. Bir numunenin P-dalga hızı üç farklı yöndeki karşılıklı yüzeylerden belirlenmiş ve aritmetik ortalaması alınmıştır.

Schmidt sertliği ISRM (1981) tarafından önerilen test prosedürü takip edilerek belirlenmiştir. L-tipi ve 0.74 Nm darbe enerjisine sahip Schmidt çekici kullanılmıştır. Deneyler 70 mm kenar uzunluğuna sahip küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyindeki ölçüm esnasında çekiç düşey konumda her biri diğerinden en az piston çapı kadar uzak olacak şekilde 20 darbe uygulanmıştır. En yüksek on değer dikkate alınarak ortalama değer hesaplanmıştır.

Basınç dayanımı da 70 mm kenar uzunluğu olan küp numunelerle TS 699 (2009) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Numuneye uygulanan gerilmenin oranı düzenli olup 1-1,2 MPa/s sınırları içinde tutulmuştur.

2.2 Bergama Granitinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Bergama gri granit numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla termal işlem öncesi kayaç üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Termal işleme tabi tutulmamış kayacın birim hacim ağırlığı 2,659±0,005 g/cm^3, görünür porozitesi % 1,525±0,128, ağırlıkça su emme oranı % 0,573±0,049, P-dalga hızı 4417±158 m/s, Schmidt sertliği 47,03±1,38, tek eksenli basınç dayanımı 176,7±17,6 MPa olarak belirlenmiştir.

3 ANALİZLER

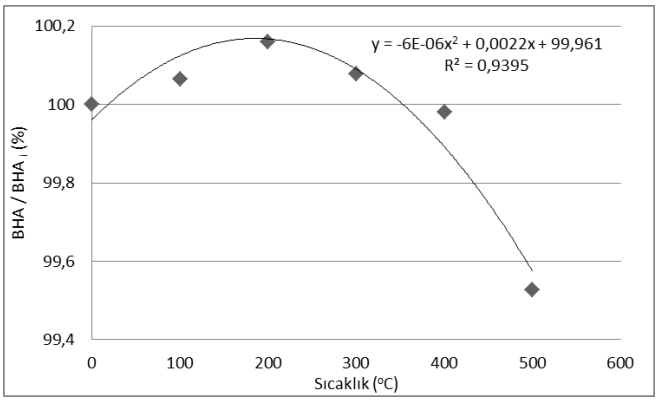
3.1 Termal İşleme Tabi Tutulan Bergama Granitinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimin Analizi

100, 200, 300, 400, 500 °C sıcaklığa kadar termal işlem gerçekleştirilen granit numunelerinde bu sıcaklıklardaki birim hacim ağırlık, görünür porozite, ağırlıkça su emme oranı, P-dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

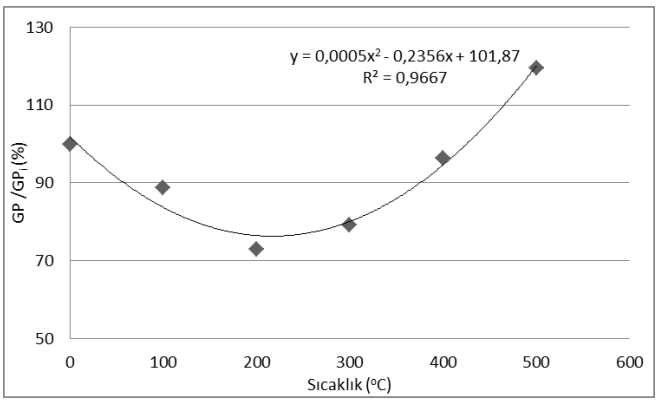
Çizelge 1. Bergama granitinin farklı sıcaklıklardaki fiziko-mekanik özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	Görünür Porozite (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	P-Dalga Hızı (m/s)	Schmidt Sertliği	Basınç Dayanımı (MPa)
100	2,661±0,005	1,354±0,174	0,509±0,066	4363±152	45,23±1,52	174,8±18,5
200	2,663±0,004	1,112±0,136	0,417±0,051	4157±156	44,64±2,39	166,4±18,8
300	2,661±0,004	1,206±0,111	0,453±0,042	3798±155	44,74±1,67	160,2±24,8
400	2,659±0,004	1,469±0,083	0,553±0,031	3181±110	40,31±1,93	143,2±18,2
500	2,647±0,005	1,823±0,089	0,689±0,033	2772±321	35,02±2,59	124,9±28,3

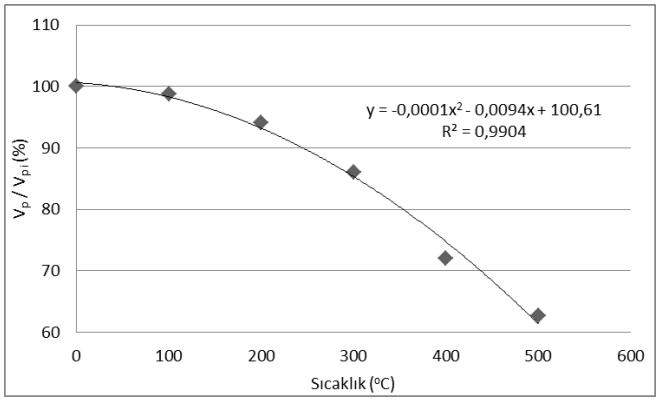
Kayanın oda sıcaklığındaki fiziksel ve mekanik özellikleri kayacın termal işlem öncesi özelliği olarak belirlenmiş ve değişen sıcaklık değerlerinde fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişim, değişim oranı olarak belirtilmiştir. Farklı termal etkilere maruz kalan kayanın değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak meydana gelen birim hacim ağırlık, görünür porozite, P-dalga hızı, Schmidt sertliği, tek eksenli basınç dayanımı değişim oranları sırasıyla Şekil 3.1 – Şekil 3.5 arasında gösterilmiştir.



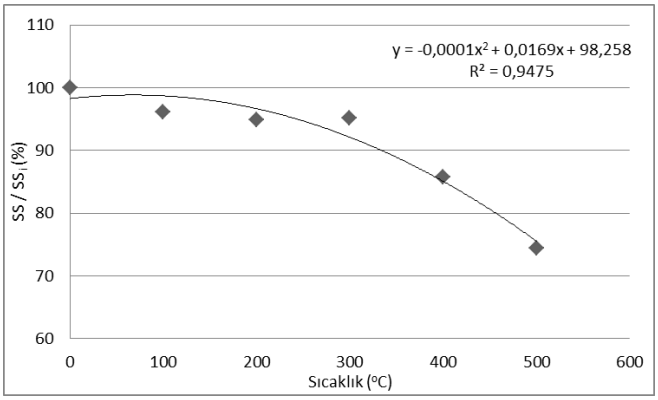
Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda BHA değişim oranı.



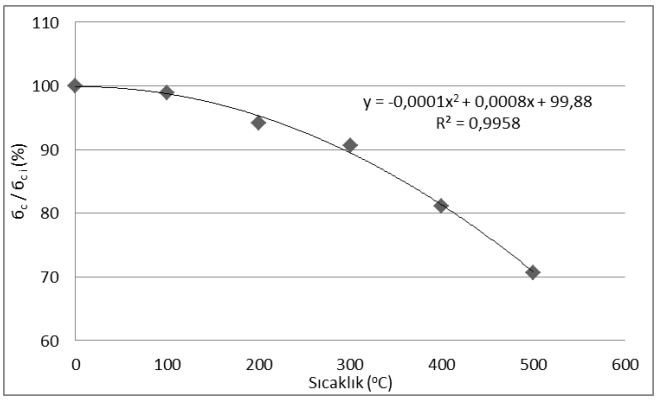
Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda görünür porozite değişim oranı.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda P-dalga hızı değişim oranı.



Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda Schmidt sertliği değişim oranı.



Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda tek eksenli basınç dayanımı değişim oranı.

Granit numunelerinde 200°C'ye kadar birim hacim ağırlığında artış gözlenmektedir. Kayacı oluşturan minerallerin genleşmesi sonucu kayaçta meydana gelen malzeme kompaksiyonundan dolayı böyle bir artış gözlenmiştir. 200°C'den sonra kayada oluşan termal kırılmalardan dolayı kayanın birim hacim ağırlığında değişim termal etkiye paralel olarak artmaktadır. Yine aynı şekilde mineral genleşmesi sonucu malzemenin kompaksiyonu ile granitin görünür porozitesi değişiminde 200°C'ye kadar azalma gözlenmiş ve bu sıcaklıktan sonra çatlaklanmanın etkisiyle görünür porozite değerinde artış meydana gelmiştir.

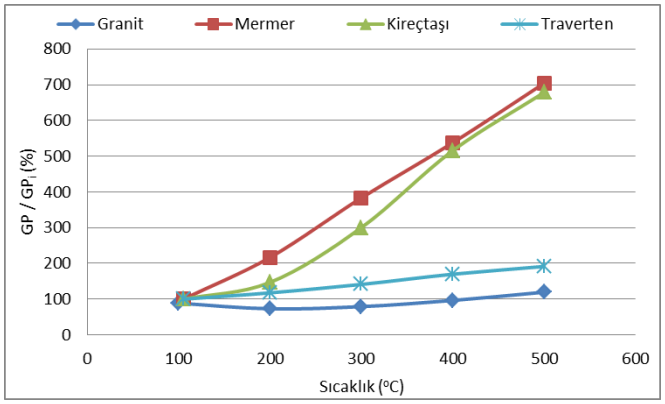
Granit numunelerinde P-dalga hızının değişim oranında parabolik olarak düşüş eğilimi gözlenmiştir. Termal etkiyle kayada meydana gelen kırılmalar nedeniyle sıcaklık artışı ile Schmidt sertliği ve basınç dayanımındaki değişimin oranında da parabolik bir azalma gözlenmiştir.

3.2 Karbonat Kökenli Kayaçlarla Bergama Granitinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimin Kıyaslanması

Termal işleme tabi tutulan granit numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim Sengun (2013) tarafından çalışılan karbonatlı kayaçlardaki (mermer, kireçtaşı ve traverten) değişimlerle karşılaştırılmıştır.

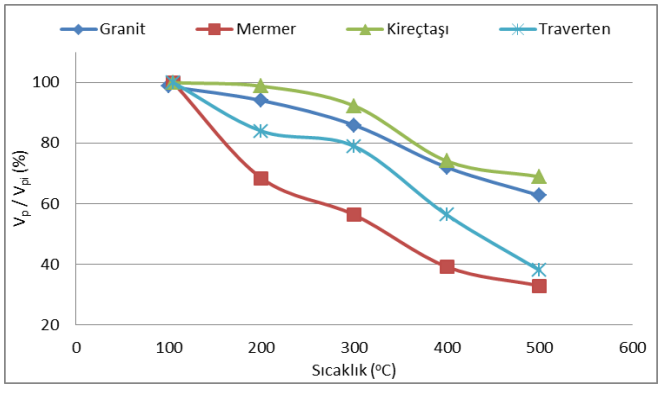
Sengun (2013) yaptığı çalışmada termal işleme tabi tutulan 6 farklı karbonatlı kayaçta 105°C ile 600°C arasında değişen sıcaklıklarda kaya numunelerinde meydana gelen fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimi incelemiştir. Çalıştığı kayaç türlerinden mermer (Afyon-İncehisar), kireçtaşı (Kayseri-Develi) ve traverten (Burdur-Bucak) türleri seçilerek kayaç numunelerinde termal işlem sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim granit numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Termal etki sonrası kayaç numunelerinin görünür porozitesindeki değişim incelenmiştir. 4 farklı kayaç türünde sıcaklık değişimi ile birim hacim ağırlığındaki değişim Şekil 3.6'da verilmiştir. Porozite değişimi en yüksek olan kayaç mermer iken granit numunelerinde termal etki sonucu görünür porozitesinde meydana gelen değişim karbonat kökenli kayaçlara göre çok düşüktür. Granitin magmatik kökenli bir kayaç türü olmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda porozitesindeki değişimin diğerlerine göre daha azdır.



Şekil 6. Granit ile Sengün (2013) tarafından çalışılan karbonatlı kayaçların farklı sıcaklıklarda görünür porozitesindeki değişimin karşılaştırılması.

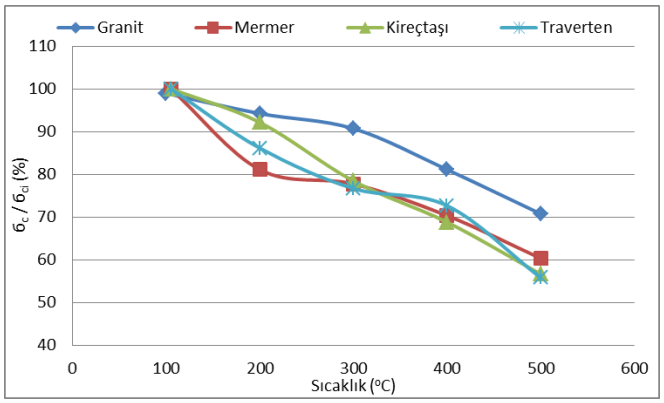
Termal etki sonucu kayada oluşan termal kırılmalar nedeniyle P-dalga hızında (V_p) azalmalar meydana gelmektedir. Kayaçların farklı sıcaklıklarda P-dalga hızlarındaki değişim Şekil 3.7'de verilmiştir. P-dalga hızında en fazla azalma mermer numunelerinde gözlenirken P-dalga hızındaki en düşük değişim granit ve kireçtaşı numunelerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 7. Granit ile Sengün (2013) tarafından çalışılan karbonatlı kayaçların farklı sıcaklıklarda P-dalga hızındaki değişimin karşılaştırılması.

Termal etkiye maruz kalan kayaçlarda oluşan termal kırıklar kayacın basınç

dayanımlarının düşmesine neden olmaktadır. Şekil 3.8'de kayaçlar için farklı sıcaklıklarda tek eksenli basınç dayanımı değişimleri verilmiştir. Traverten numunelerinde basınç dayanımındaki değişim en fazla iken kireçtaşı numunelerinde de buna yakın düzeyde bir değişim söz konusudur. Granit numunelerinde termal kırılma diğerlerine göre az olduğundan basınç dayanımındaki değişim de diğer kayaç türlerine nazaran daha azdır.



Şekil 8. Granit ile Sengün (2013) tarafından çalışılan karbonatlı kayaçların farklı sıcaklıklarda tek eksenli basınç dayanımındaki değişimin karşılaştırılması.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Granit numuneleri termal işleme tabi tutulmuş ve termal işlem sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Ayrıca, daha önceden karbonatlı kayaçlarda yapılan bir araştırma incelenmiş ve granit numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişim ile karbonatlı kayaçlardaki değişim karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerin sonucu aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Granitin birim hacim ağırlığı sıcaklık artışıyla başlangıçta artmakta (yaklaşık 200 ^{o}C'ye kadar) daha yüksek sıcaklıklara doğru giderek azalmaktadır. Birim hacim ağırlıktaki başlangıçtaki artış düşük sıcaklıkta kayacı oluşturan minerallerin genleşmesi dolayısıyla malzemenin kompaksiyonu, yüksek sıcaklıklarda ise mikro-çatlak yoğunluğundaki ve mevcut çatlakların boyutlarındaki artış ile açıklanabilir.
- Granitin porozitesi yaklaşık 200°C sıcaklığa kadar azalmıştır. Bunun nedeni daha öncede belirtildiği gibi mineral genleşmesi kaynaklı kompaksiyon ile açıklanabilir. Bu sıcaklık değerlerinden sonra porozite değeri artmaya başlamış granit yaklaşık 400°C sıcaklıkta orijinal porozite değerine ulaşmış daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelen ileri çatlaklanma neticesinde porozite değerlerinde artış olmuştur.
- Granit numunelerinde meydana gelen termal kırılmalar neticesinde kayada zayıflamalar meydana gelmiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte artan bu zayıflamalar kayanın P-dalga hızı, Schmidt sertliği ve basınç dayanımında azalmalara neden olmuştur.
- Granit numunelerinin fiziko-mekanik özelliklerindeki değişim karbonatlı kayaç türlerine göre daha az olarak gözlenmiştir. Bu da, termal etkiye maruz kalan granit türünün karbonatlı kayaç türlerine nazaran daha az etkilendiğinin göstergesidir.

KAYNAKLAR

Al-Shayea, N.A., Khan, K., Abduljauwad, S.N., 2000. Effects of confining pressure and temperature on mixed-mode (I-II) fracture toughness of a limestone rock, Int J Rock Mech Min Sci, 37, s. 629-643.

Chaki S., Takarli, M., Agbodjan W.P., 2008. Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions, Constructin and Building Materials, 22, s. 1456-1461.

Darot, M., Reuschle, T., 2000. Acoustic wave velocity and permeability evolution during pressure cycles on a thermally cracked granite, Int J Rock Mech Min Sci, 37, s. 1019-1026.

David, C., Menendez, B., Darot M., 1999. Influence of stress-induced and thermal cracking on physical properties and microstructure of La Peyratte granite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 36, s. 433-448.

Dwivedi, R.D, Goel, R.K., Prasad, V.V.R., Sinha, A., 2008. Thermo-mechanical properties of Indian and other granites, Int J Rock Mech Min Sci, 45, s. 303-315.

Ferrero, A.M., Marini, P., 2001. Experimental studies on the mechanical behaviour of two thermal cracked marbles, Rock Mech Rock Eng, 34 (1), s. 57-66.

Fredrich, J.T., Wong, T.F., 1986. Micromechanics of thermally induced cracking in three crustal rocks, J Geophys Res, 91 (12), s. 12743-12764.

International Society for Rock Mechanics, 1981. Rock characterisation, testing and monitoring, In: Brown ET, editor. ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon, 211 s.

Jones, C., Keaney, G., Meredith, P.G., Murrell, S.A.F., 1997. Acoustic emission and fluid permeability measurements on thermally cracked rocks, Phys Chem Earth, 22, s. 13-17.

Liang, W.G., Xu S.G., Zhao Y.S., 2006. Experimental study of temperature effects on physical and mechanical characteristics of salt rock, Rock Mech Rock Eng, 39 (1-2), s. 469-482.

Mao, X.B., Zhang, L.Y., Li, T.Z., Liu H.S., 2009. Properties of failure mode and thermal damage for limestone at high temperature, Min Sci Technol, 19, s. 290-294.

Sengun, 2013. Influence of thermal damage on the physical and mechanical properties of carbonate rocks, Arabian Journal of Geosci, 7 (2), s. 5543-5551.

TS 699, Mart 2009. Türk Standardı, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü.

Yavuz, H., Demirdag, S., Caran, S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks, Int J Rock Mech Min Sci, 47, s. 94-103.

Kapadokya (Nevşehir) Bölgesi Volkanik Tüf Tozları ile Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi

Production of Polymer Based Composite Material Using Volcanic Tuff Dust in Cappadocia (Nevsehir-Turkey)

İ. Çınar
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

C. Şensöğüt
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

M. Sınıksaran
TTK, Türkiye Taşkömürü Kurumu,Zonguldak

ÖZET Kapadokya (Nevşehir) bölgesinde bulunan volkanik tüf ocaklarından çıkan atıklar ekonomik kayıplara ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Volkanik tüf pasası tüfün ocakta kesim esnasında ve fabrikada makinelerde işlenmesi sırasında açığa çıkan atıktır. Bu atık malzemeyi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanmak mümkündür.

Bu çalışmada matriks malzeme olarak polyester, takviye malzemesi olarak volkanik tüf tozları ve mermer tozları kullanıldı. Polimer sertleştirici olarak metil etil keton peroksit ve reaksiyon hızlandırıcı olarak kobalt oktoat kullanıldı. Elde edilen malzemeler kalıplandı. Kalıplardan çıkarılan malzemeler önce oda şartlarında sonra açık havada kurutuldu. Kompozit malzeme üretiminde optimum sertleştirici, hızlandırıcı, polyester oranları tespit edilip bu oranlar sabit tutuldu. Volkanik tüf tozu/mermer tozu oranları parametrik olarak incelendi.

Anahtar Kelimeler: Volkanik tüf tozları, kompozit malzeme

ABSTRACT Wastes coming out of volcanic tuff quarries in the Cappadocia (Nevşehir) Region has caused economic losses and environmental pollution. Volcanic tuff waste is the waste that comes out during the cutting process in the quarry, and its processing in the machines in the factory. It is possible to use this waste in various industrial applications.

In this study, polyester is used as matrix material, and volcanic tuff and marble dusts are used as reinforcing materials. Methyl ethyl ketone peroxide is used as polymer hardener, and cobalt octoate is used as reaction accelerator. The obtained materials are molded. The extruded materials are dried first under room conditions, then open-air. In the production of composite material, optimum hardening, and accelerating polyester ratios are determined, and these ratios are fixed. Volcanic tuff and marble dust ratios are studied parametrically.

Keywords: Volcanic tuff, composite material

1 GİRİŞ

Kompozit malzeme tanımı, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemeleri belirtmek için kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler yeni bulunan bir malzeme grubu olmayıp, doğada var olan yapılardan hareketle, farklı özelliklere sahip

malzemelerin birleştirilmesi sonucu elde edilmektedirler (Gibson, 1994).

Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen malzeme matriks çelik çubuklar ile desteklenir. Bir diğer tanınmış kompozit ise kerpiçtir. Çamur ve samanın karıştırılması ile oluşturulan bu malzeme oldukça eskiden beri bilinen belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesidir.

Kompozit malzemeler özelliklerine ve içerdikleri bileşiklere göre pek çok sınıflandırma yöntemine tabi olabilirler. Yapılabilecek en genel sınıflandırma aşağıdaki gibidir (Shwwartz, 1997).

- Polimer matriksli kompozit malzemeler
- Seramik matriksli kompozit malzemeler
- Metal matriksli kompozit malzemeler

2 VOLKANİK TÜFLER

Volkanik tüfler, volkanik patlamalar sonucunda atmosfere atılan erimiş magma parçacıklarından oluşur. Anadolu toprakları birçok volkanik aktiviteye maruz kaldığından volkanik tüfler bakımından oldukça zengindir. Özellikle orta Anadolu yöresinde çok miktarda bulunan bu malzemelerin çimento üretiminde kullanılması ekonomik kazanımlar sağlayacaktır. Tüflerin kimyasal yapısı yöresel olarak farklılık gösterse de yakın kimyasal içeriklere sahiptirler (Liebig ve ark., 1998).

Volkanik tüfler bazen arazi üzerinde tabakalar halinde görülürler. Bu durum, zaman zaman ortaya çıkan püskürmeler sırasında volkandan çıkan maddelerin civarlarındaki göl veya denizlerin dibinde ya da yamaçlar üzerinde birikmesiyle oluşur. Bazen de tüfler içerisinde patlamalar esnasında volkan ağzından koparak fırlamış olan parçacıklar da bulunur. Tüfler, içindeki boşluklar nedeniyle hafif doğal yapı taşlarıdır (Arıcı, 1997).

Volkanik tüfler İç Anadolu Bölgesi basta olmak üzere Türkiye'nin birçok yerinde görülmektedir. Özellikle, Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Niğde, Nevşehir gibi şehirlerde çeşitli minerallere sahip volkanik tüfler bulunmaktadır (Duran, 2009).

2.1 Kapadokya (Nevşehir) Bölgesi Tüflerin Üretim Yöntemi

Kapadokya (Nevşehir) bölgesinde volkanik tüf doğal taş üretimi yapan maden firmalarının üretim yöntemleri benzerdir. Üretime başlamadan önce, örtü kazı faaliyetleri, saha sıyırma ve temizlik çalışmaları yapılır. Kesim yapılacak saha iş makineleri ile temizlendikten sonra saha üretime hazır hale gelmiş olur. Üretim, çift testereli makinelerle yapılmaktadır.

Nevşehir'de kırmızı renkli volkanik tüfün ocaklardaki üretimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1. Volkanik tüf taşı üretimi.

2.2 Kapadokya (Nevşehir) Bölgesi Tüflerin Uygulama Örnekleri

Volkanik tüfler, yapılarda; taşıyıcı duvarlarda, kapı ve pencere sövelerinde, iç ve dış cephe kaplamalarında, merdiven basamaklarında, tretuvarlarda, temel dolgularında, bahçe duvarlarında ve küpeştelerde sıkça kullanılmaktadır. Nevşehir bölgesinde üretilen volkanik tüf çeşitleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Nevşehir bölgesindeki volkanik tüf çeşitleri.

Volkanik tüf kullanılarak yapılmış müstakil konut, dış cephe ve bahçe duvarı uygulamaları Şekil 3a ve Şekil 3b'de gösterilmektedir.

Şekil 3a. Dış cephesi volkanik tüf ile kaplanmış müstakil konut (Avanos/Nevşehir).

Şekil 3b. Volkanik tüf kullanılarak yapılmış müstakil konut (Ürgüp/Nevşehir).

3 KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM YÖNTEMİ

Deneylerde kullanılan volkanik tüfler Nevşehir ilinde üretim yapan Saray Taş firmasının ocaklarından alınmıştır. Ocaklardan sarı ve kırmızı iki farklı renkte volkanik tüf tozu alınmıştır.

Nevşehir Bölgesi volkanik tüf tozları ile yapılan kompozit numunelerin üretiminde Şekil 4'de gösterilen akım şeması kullanılmıştır (Sınıksaran, 2012).

Deneylerde kullanılan sarı ve kırmızı renkteki volkanik tüf atıkları laboratuvarda öğütülmüştür. Öğütülen volkanik tüf tozlar elek analizine tabi tutulup sınıflandırılmıştır. Deneylerde kullanılan volkanik tüf tozlarının tane boyutu -200µ'dur.

Üretilen kompozit numunelerde kullanılan malzemeler, numune türleri ve karışımdaki malzeme miktarları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

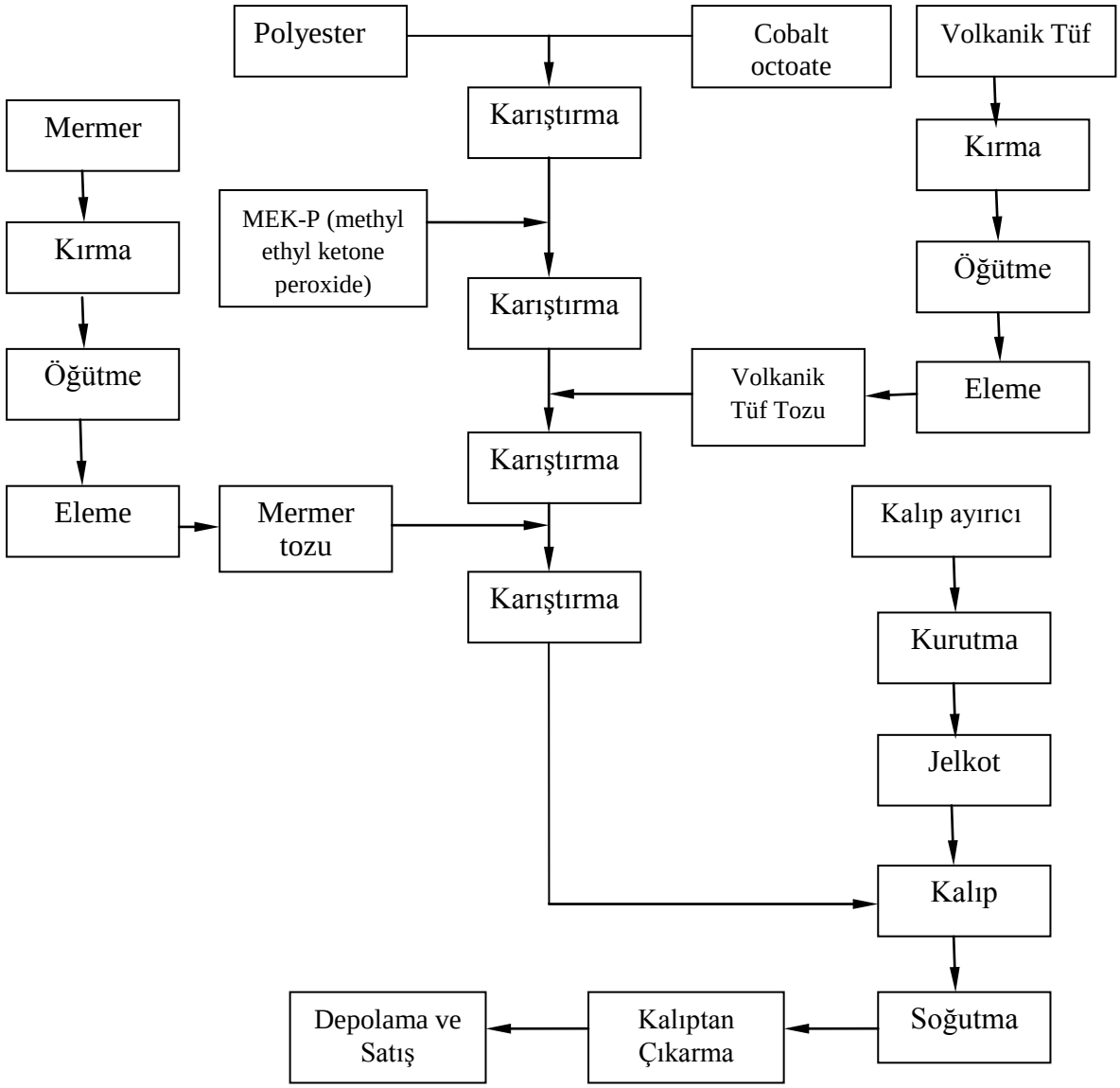
Çizelge 1. Üretilen numune türleri, kullanılan malzenik tüfmeler ve miktarları.

Numume kodu	Kullanılan malzeme ve miktarları (% hacim)				
	Polyester	Volkanik tüf	Mermer tozu	Kobalt	MEK-P
S-1	20	30	50	0,5	1
S-2	20	40	40	0,5	1
S-3	20	60	20	0,5	1
S-4	20	80	-	0,5	1
K-1	20	30	50	0,5	1
K-2	20	40	40	0,5	1
K-3	20	60	20	0,5	1
K-4	20	80	-	0,5	1

Değerler 125x80x25 mm ebatlarında üretilen numuneler için geçerlidir.
S: Sarı renkli volkanik tüf tozu
K: Kırmızı renkli volkanik tüf tozu

Karıştırma kabına öncelikle formülasyonlarına uygun olarak polyester konmuştur. Sonra hacimce %0,5 oranında kobalt oktoat ilave edilmiştir. Kobalt oktoatın harç içinde homojen olarak dağıldığından emin olana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Sonra metil etil keton peroksit hacimce %1 oranında karışıma ilave edilmiştir. MEK-P'in harç içinde homojen olarak dağıldığından emin olana kadar karıştırma işlemine devam

edilmiştir. Daha sonra harca, volkanik tüf tozları karışım formülasyonlarına uygun olarak ilave edilmiş ve karıştırma işlemine devam edilmiştir. Volkanik tüf tozlarının harç içinde homojen olarak dağıldığından emin olana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Son olarak mermer tozları harca, karışım formülasyonlarına uygun olarak ilave edilmiş ve karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma işlemi, harç homojen hale gelene kadar devam etmiştir.



Şekil 4. Kompozit numunelerin hazırlanma yöntemi akış diyagramı.

Döküm işlemi gerçekleştirdikten sonra sertleşmenin sağlanması için numuneler 24 saat süreyle kalıpta bırakılmıştır. Kalıplarda 24 saat bekleyen numuneler kalıplardan zarar görmeden çıkartılmıştır.

Numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra hem reaksiyonun tamamlanması için hem de zamanla yüzeyde değişiklikler olup olmadığını test etmek için 28 gün beklemeye alınmıştır. Bekleme süresini dolduran numuneler deneysel işlemlere tabi tutulmak için ebatlandırılmışlardır.

4 ÜRETİLEN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Üretilen kompozit numunelerin fiziksel (şekil bozukluğu, birim hacim ağırlık, su emme miktarı) ve mekanik (tek eksenli basma dayanımı, elastisite modülü, nokta yükü dayanım indeksi) özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

4.1 Fiziksel Özellikler

Kalıptan çıkarılan 125x80x20 mm ebatlarındaki deney örnekleri düz, temiz bir zeminde, 18–22°C sıcaklıkta oda şartlarında 28 gün bekletilmiştir. Bekletme işleminin sonunda numunelerin şekil ve yüzeylerinde herhangi bir bozulma ve değişim görülmemiştir.

Numuneler bekleme süresini doldurup reaksiyon tamamlandıktan sonra 0,01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Deney numunelerinin hacimleri, boyutlarından hesaplanarak bulunmuştur. Deney numunelerinin boyutlarının her biri, birbirine dik doğrultuda olmak üzere ikişer defa kumpas ile ölçülüp bunların aritmetik ortalamaları alınarak bulunmuştur. Bulunan ortalama boyutlardan deney numunelerin hacimleri hesaplanmıştır.

Su emme oranı için; oda şartlarında 14 gün, dış ortamda 14 gün olmak üzere toplam 28 gün bekletilen deney numuneleri, ±0.01 g duyarlıklı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra içinde +20±2ºC sıcaklıkta su bulunan uygun büyüklükte ve derinlikte kap içerisine örnekler su yüzünden 25mm aşağıda tutulmak suretiyle 24 saat süre ile suda bekletilmişlerdir. Deneyin başlangıcından itibaren 24 saat sonunda sudan çıkarılan deney numuneleri, ıslatılarak sıkılmış bir bezle silinerek üzerindeki su damlaları alındıktan sonra, beklemeksizin 0,01g hassasiyetle tartılmış ve su içindeki kütlesi bulunmuştur.

Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri ve Numunelerin ağırlıkça su emme oranları hesaplanıp Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Numunelerin birim hacim ağırlıkları ve ağırlıkça su emme oranları.

Numune	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça Su emme (%)
S-1	1,94	0,13
S-2	1,87	0,32
S-3	1,82	0,86
S-4	1,76	3,54
K-1	1,93	0,19
K-2	1,92	0,28
K-3	1,85	1,09
K-4	1,75	4,30

Birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek birim hacim ağırlık değeri, hacimce %30 volkanik tüf tozu, %50 mermer tozu içeren S-1 kodlu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek birim hacim ağırlık değeri, hacimce %30 volkanik tüf tozu, %50 mermer tozu içeren K-1 kodlu numunede görülmüştür.

Kompozit numunelerdeki volkanik tüf tozu oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinde düşüş görülmüştür.

Ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek ağırlıkça su emme değeri, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren S-4 nolu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek ağırlıkça su emme değeri, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren K-4 nolu numunede görülmüştür.

Ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozlarıyla üretilen numunelerdeki ve kırmızı renkli volkanik tüf tozlarıyla üretilen numunelerdeki volkanik tüf tozu oranları arttıkça numunelerin su emme değerleri de artmıştır.

4.2 Mekanik Özellikler

Numunelerin tek eksenli basınç dayanımları, boyu çapının 2 katı olan silindirik ve dikdörtgenler prizması şeklinde hazırlanmış deney numunelerinin tek eksenli preste yüklenmesi ile belirlenmiştir.

Kompozit numunelerin tek eksenli basınç dayanımları ve elastisite modülü ve nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve nokta yükü dayanım indeksi

Numune	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm^2)	Elastisite modülü (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi (kg/cm^2)
S-1	288	7200	28,5
S-2	351	9367	22,5
S-3	331	9468	35
S-4	199	4978	21
K-1	357	7928	39
K-2	263	5532	18
K-3	204	5443	28
K-4	189	5400	12

Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen S-1, S-2, S-3 ve S-4 kodlu numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ortalaması 292 kg/cm^2 dir. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları kullanılarak üretilen K-1, K-2, K-3 ve K-4 kodlu numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ortalaması 253 kg/cm^2'dir.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek basınç dayanımı, hacimce %40 volkanik tüf tozu, %40 mermer tozu içeren S-2 kodlu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek basınç dayanımı, hacimce %30 volkanik tüf tozu, %50 mermer tozu içeren K-1 kodlu numunede görülmüştür.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en düşük basınç dayanımı, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren S-4 kodlu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en düşük basınç dayanımı, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren K-4 kodlu numunede görülmüştür.

Nokta yükleme deneyi, iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneğinin kırılması esasına dayanır. Numune iki konik uç arasına yerleştirilir ve hidrolik olarak uygulanan yük alt kısımdaki konik ucu kaldırır. Üst kısım ise çerçeveye sabitlenmiştir. Bu çerçeve silindirik veya düzensiz numunelerin yerleştirilebileceği şekilde tasarlanmıştır. Uygulanan yük cihaz üzerindeki basınç göstergesinden belirlenebilir.

Numunelerin nokta yükü dayanımı, boyu çapının 2 katı olan dikdörtgenler prizması şeklinde hazırlanmış deney numunelerinin iki konik uç arasında yüklenmesi ile belirlenmiştir.

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen S-1, S-2, S-3 ve S-4 kodlu numunelerin nokta yükü dayanım indeksi ortalaması 26,75 kg/cm^2'dir. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları kullanılarak üretilen K-1, K-2, K-3 ve K-4 kodlu numunelerin nokta yükü dayanım indeksi ortalaması 24.25kg/cm^2'dir.

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek nokta yük dayanımı, hacimce %60 volkanik tüf tozu, %20 mermer tozu içeren S-3 kodlu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en yüksek nokta yük dayanımı, hacimce %30 volkanik tüf tozu, %50 mermer tozu içeren K-1 kodlu numunede görülmüştür.

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi sonuçlarına göre sarı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en düşük nokta yükü dayanımı, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren S-4 kodlu numunede görülmüştür. Kırmızı renkli volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde en düşük nokta yükü dayanımı, hacimce %80 volkanik tüf tozu içeren K-4 kodlu numunede görülmüştür.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Kapadokya (Nevşehir) bölgesi, ülkemizde volkanik tüf üretimi yapılan önemli bir bölgedir. Kapadokya bölgesinde volkanik tüf üretimi yapan ocakların ürettikleri doğal taşlar; çok katlı bina, camii, müstakil konut,

iç cephe kaplaması, dış cephe kaplaması gibi yapı sektöründe ve şömine, barbekü gibi dekoratif amaçlı kullanılmaktadır. Ocaklarda üretim esnasında ve fabrikada kesim sonrası farklı büyüklüklerde atık parçalar açığa çıkmaktadır.

Ocaklarda bulunan fay, çatlak, yarık gibi arızalar, blok üretimi sırasında; blok elde edilememesine, dolayısıyla da irili ufaklı kaya parçalarıın açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Ayıca volkanik tüf ocaklarının jeolojik yapısı ve kristal yapısına uygun üretim yönteminin seçilmemesi, ocakta tüf atıkların oluşumuna sebep olmaktadır.

Volkanik tüf tozları ve mermer tozlarının bir arada kullanılmasıyla elde edilen kompozit malzemelerde volkanik tüf tozu oranının artması mukavemetin ve sertliğin düşmesine neden olmuştur. Diğer yandan, volkanik tüf tozunu ve mermer tozunu bağlamakta kullanılacak olan polyester reçinenin de belirli bir değerde olması gerektiği görülmüştür. Gerektiğinden az miktarda polyester kullanımında, polyesterin takviye malzemelerini bağlamada yetersiz kaldığı, yüksek miktarda kullanımında ise polyesterin takviye malzemesine göre daha zayıf özelliğini malzemeye yansıttığı görülmüştür.

Kompozit malzemelerin üretiminde sarı ve kırmızı olmak üzere iki ayrı renkte volkanik tüf tozu kullanılmıştır. Karışımdaki volkanik tüf tozu oranı arttıkça iki farklı renkte üretilen numunelerde su emme miktarında artış görülmüştür. Volkanik tüf tozu oranı arttıkça numunelerin tek eksenli basınç dayanımında ve nokta yükü dayanımında düşüş görülmüştür.

5.2 Öneriler

Kalıplardan çıkarılan S-1, S-2, S-3, S-4, K-1, K-2, K-3, K-4 kodlu numuneler önce oda şartlarında sonra dış ortamda toplamda 28 gün bekletilmiş ve herhangi bir şekil bozukluğu görülmemiştir. Bu oranlarda üretilecek olan kompozit malzemeler binalarda dış cephede ve iç cephede kullanılabilir.

Volkanik tüf taşı ile daha önce yapılan çalışmalarda doğal volkanik tüf taşının ağırlıkça su emme oranının %23 civarında olduğu bilinmektedir. Volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde ağırlıkça su emme oranı %0,13'e kadar düşmüştür. Böylece S-1, S-2, K-1 ve K-2 kodlu kompozit malzemeler ıslak zeminlerde, mutfak tezgahlarında, lavabolarda, binaların su basmanında, havuz içi ve kenarlarında kullanılabilir.

Doğal volkanik tüf taşının tek eksenli basınç dayanımı daha önce yapılan çalışmalara göre 150 kg/cm^2 civarında olduğu bilinmektedir. Volkanik tüf tozları ile üretilen kompozit numunelerde K-1 numunesinin tek eksenli basınç dayanımı 357 kg/cm^2'dir. Yapılan bu çalışmadaki volkanik tüf tozu oranları ile üretilecek olan kompozit malzemeler doğal volkanik tüf taşının kullanıldığı alanlarda kullanılabilir.

Kompozit malzeme üretiminde titreşimli tezgah yada pres makinelerinden faydalanılmamıştır. Bu yüzden üretilen numunelerde küçük hava boşlukları tamamen kapanmamıştır. Bu küçük hava boşluklarının kapanması için titreşimli tezgah yada kalıptaki malzemeyi sıkıştıracak bir pres makinesi kullanılabilir.

Kompozit malzeme üretiminde Kapadokya bölgesindeki ocaklardan sarı ve kırmızı olmak üzere iki farklı renkte volkanik tüf tozu alınmış ve bu tozlarla kompozit numuneler üretilmiştir. Bölgede çok çeşitli renklerde volkanik tüf tozu bulunmaktadır. Volkanik tüf tozları ile kompozit malzeme üretiminde farklı renklerde tozlar tercih edilebilir, farklı renklerde ve özelliklerde kompozit malzemeler üretilebilir. Volkanik tüf tozlarının çok çeşitli renklerde olması ürün çeşidini de artırır.

KAYNAKLAR

Arıcı, E., 1997, Investigation of the effect of the volcanic tuff in Van region and of its usabelty as lightweight concrete aggregate, *MsC Thesis, The Graduate School of Naturel and Applied Sciences*, Firat University, Elazığ, p77.

Duran, F., 2009, Formation of the Erciyes volcanism, stratigraphy around Koçcağız village (Kayseri) and usage of tuffs as building - facing stone, *MsC Thesis, The Graduate School of*

Naturel and Applied Sciences, Cukurova University, Adana, p148.

Gibson, R.F., 1994, Principles of composite material mechanics, Mc Graw Hill, *Inc, Department Of Mechanical Engneering*, Wayne State University, Detroit, Michigan , pp135-139.

Liebig, E. and Althaus, E., 1998, Pozzolanic activity of volcanic tuff and suevite, effects of calcination, *Cement and Concrete Research*, Vol.28, pp567-575.

Shwwartz, M., 1997, Composite Materials, *Prentice Hall PTR*, New Jersey, pp1-15, 170-171.

Sınıksaran, M., 2012, Production of polymer based composite material using volcanic tuff dust, MsC Thesis, *The Graduate School of Naturel and Applied Sciences*, Selcuk University, Konya, p88.

Şahin, Y., 2000, Introduction to composite materials, *Gazi Kitabevi*, Ankara, p327.

Kireçtaşlarında Kayma Direnci ve Yüzey Pürüzlülüğünün Kayma Potansiyeline Olan Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect on Slip Potential of Slip Resistance and Surface Roughness in Limestone

G. Çoşkun
Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, Sivas

A. Sarıışık
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

G. Sarıışık
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar

H. Akdaş
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Bu çalışma, iç ve dış zemin döşemelerinde kullanılan beş farklı kireçtaşı üzerinde kayma potansiyellerinin incelenmesini ve değerlendirmesini içermektedir. Öncelikle, beş farklı kireçtaşı örneğinin her birine, doğal taş sektöründe yaygın olarak kullanılan dört farklı yüzey işleme (patinato, eskitme, honlu, cilalı) uygulanmıştır. Sonra DIN EN ISO 4287 standardı esas alınarak, bu yüzeyleri işlenmiş kireçtaşlarının yüzey pürüzlülük parametreleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda TS EN 14231 "Pandül Deney Donanımıyla Kayma Direncinin Tayini" standardı ile de bu numunelerin ıslak ve kuru ortamda kayma dirençleri belirlenmiştir. Kireçtaşı örneklerinin kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak korale edilmiştir. Kayma direnci ve yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, kireçtaşı örneklerinde yüzey pürüzlülüğü değerleri arttıkça, kayma direncinin arttığı görülmüştür. Dolayısıyla, kayma potansiyelinin de azaldığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, kayma potansiyeli incelemelerinde sadece yüzey pürüzlülüğü dikkate alınması yanıltıcı olabileceğinden, kullanma ortamı ile birlikte kayma direncinin de göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kireçtaşı, yüzey işleme teknikleri, kayma direnci, yüzey pürüzlülüğü, kayma emniyeti

ABSTRACT This study includes the investigation and evaluation of slip potentials on five different limestones which are used as interior and exterior floor pavement. First, four different surface treatment (polished, honed, tumbled, patinato) which are common used in natural stone industry have been applied to each of five different limestone samples. Then, surface roughness parameters of this surface treated limestone samples have been determined according to DIN EN ISO 4287 standard. Slip resistances of this same samples have been specified in wet and dry environment with respect to TS EN 14231 Standards "Determination of slip resistance by use of pendulum friction test equipment". The relationships between slip resistance and surface roughness of limestone samples were statistical correlated. When evaluating the values of slip resistance and surface roughness in limestone samples, it has been seen that the slip resistance increases while the values of surface roughness increase. Accordingly, slip potential decreases, too. Consequently, in evaluating the slip potentials, it is suggested that not only surface roughness but also slip resistance take into consideration associated with use different environment because of misleading use only surface roughness.

Keywords: Limestone, surface processing, slip resistance, surface roughness, Slip safety

1 GİRİŞ

Günümüzde işlenmiş doğal taşların, şehirlerarası terminaller, metrolar, alışveriş merkezleri, eğitim-öğretim kurumları, hastaneler gibi yayaların yoğun olduğu iç ve dış mekânların zemin kaplamalarında kullanımı gittikçe artmaktadır. Yine konut sektöründe de kaldırım döşemesi, merdiven, basamakları, banyo, mutfak gibi alanlarda yaygın tercih edilmektedir.

Zemin kaplama malzemesi olarak, doğal taşların kullanılmasından dolayı yayaların düşme ve kayma sonucu oluşabilecek kazalardan korunması ve daha emniyetli hareket edebilmeleri için, doğal taşların kayma potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir (Coşkun, G., 2013). Özellikle son dönemlerde çıkan yönetmelikler çerçevesinde zemin kaplamalarının kayma potansiyellerinin belirlenmesi ve kullanılacak yere göre uygun yüzey işleminin tespit edilmesi artık yasal bir zorunluluk olmuştur. Bu nedenle hem iş güvenliği, hem de yayaların emniyeti açısından doğal taşların zemin kaplama malzemesi olarak tasarımında ve kullanılmasında kayma direnci önem verilmesi gereken bir konu olarak ön plana çıkmaktadır (Grönqvist, 1995; Grönqvist vd, 1999; Rowlan vd, 1996; Kim, 1996; Chang, 1999; Chang and Matz, 2001; Mannig vd, 1998).

Kayma direnci, çıplak ayak ve/veya ayakkabı tabanı ile zemin kaplama malzemesi yüzeyinin etkileşimden kaynaklanırken, kayma direncini etkileyen faktörler deney ortamı, kirleticiler (su, yağ, donma, toz) gibi çevresel faktörler, zaman, sıcaklık ve yetersiz aydınlatma, ayakkabı ve zeminin özellikleri dâhil, bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanmaktadır (Kim 2001; 2004).

Bu araştırmada, zemin kaplama malzemesi olarak, ıslak ve kuru ortamlarda kullanılan dört farklı yüzey işlemi görmüş (patinato, eskitme, honlu ve cilalı) nihai ürün halindeki beş farklı kireçtaşı örneği kullanılmıştır.

Kayma direncini ölçmede günümüzde birçok test cihazı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kireçtaşı örneklerinin laboratuarda kayma dirençlerini belirlemek için TS EN 14231 standardına göre çalışan pandül test cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü tespit etmek için ise DIN EN ISO 4287 standardına göre çalışan Mitutoyo SJ – 400 test cihazı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçların inşaat ve mimaride uygulanabilirliği ve iş güvenliği uzmanlarına bu bilgilerin aktarılması sonucu, oluşabilecek yaralanma ve hatta ölümcül iş kazalarının önüne geçilebilmesine katkı sağlaması beklenmelidir. Bununla birlikte, son olarak kayma potansiyeli ile ilgili olarak doğal taşların kullanım alanlarının belirlenmesi için bir sınıflama önerilmiştir.

2 MATERYAL ve METOD

2.1 Malzeme

Laboratuar çalışmalarında farklı bölgelerden seçilen ve fabrikada direk üretimden çıkan nihai kireçtaşı örnekleri üzerinde test işlemleri yapılmış olup, kullanılan örneklerin ticari ismi, kodu ve yüzey işleme özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan kireçtaşı örnekleri ve kodlanması.

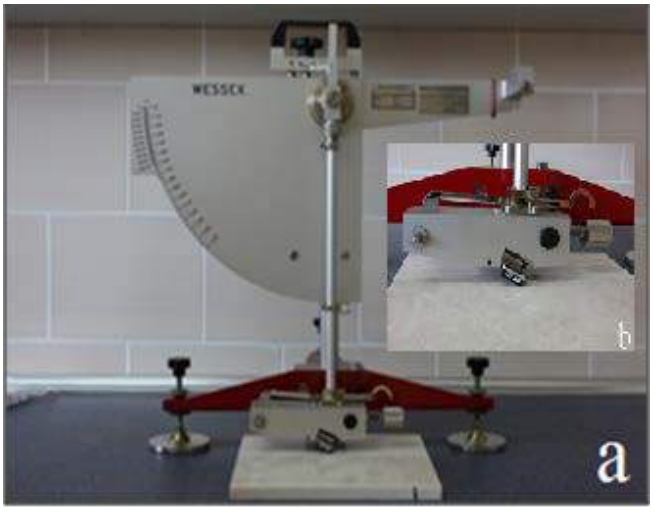
Numune Kodu	Ticari İsim	Yüzey İşleme Metodu	Plaka Boyutu (cm)
B 1	Şuayp Bej	Cilalı (Y1)	30.5x30.5x 1.0
B 2	Korkuteli Bej	Honlu (Y2)	
B 3	Krema Bej	Eskitme (Y3)	
B 4	Rustik Bej	Patinato(Y4)	
B 5	Bursa Bej		

2.2 Metot

2.2.1 Pandül test cihazı

Kireçtaşı örneklerinde sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için TS EN 14231 "Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini" standardına göre çalışan pandül test cihazı (WESSEX, S885 Model) kullanılmıştır. Bu cihaz, kaydırıcı ile deney yüzeyi arasındaki

sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere tasarlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Pandül test cihazı (WESSEX Kataloğ, 2012)

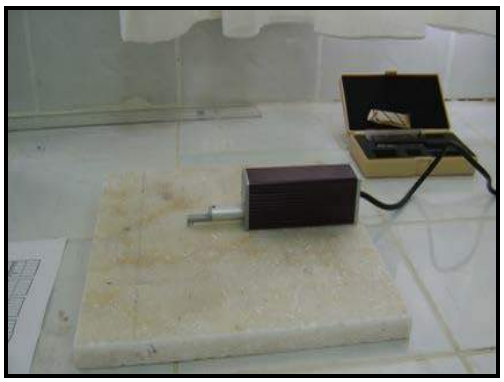
Testlerde ayakkabı altlığını temsilen 4S lastik kauçuk pençe pandül test cihazında kullanılmıştır. Test aşamasında; deney örneklerinin, mamulün tamamını veya birimin üst yüzeyini ihtiva edecek özellikte kesilmiş bir parçası olmalıdır. Her bir numune, 136x 86 mm bir deney alanı sağlamalıdır. Bu alan, skala üzerinde okumaların yapılacağı, 126 mm'lik kayma uzunluğunda ve 76 mm genişliğinde bir kaydırıcının kullanımıyla deneye tâbi tutulmalıdır. Bu çalışmada nihai ürün halindeki 30,5x30,5x1,0 cm plaka boyutunda kireçtaşı örnekleri kullanılmıştır. Elde edilen kayma direnci verilerinin kayma potansiyeline göre sınıflamasında ise Çizelge 2 dikkate alınmıştır.

Çizelge 2. Kayma potansiyelinin sınıflandırması (TS EN 14321, 2004; Bowman, 2004).

Sınıflama	Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli	Uygulama Alanı
Z	< 24	Çok Yüksek	Alışveriş merkezleri
Y	25-34	Yüksek	Banyo, depo, çamaşırhane
X	35-44	Orta	Alışveriş merkezleri yemek alanları, otel giriş salonları, ortak soyunma odaları, iç mekân basamakları
W	45-54	Düşük	Dış mekân yürüyüş yolları, yüzme havuzu çevresi, dış mekân basamaklar
V	> 54	Çok Düşük	Dış mekân eğimli alanlar

2.2.2 Yüzey pürüzlülüğü ve ölçümü

Çalışmada cilalı, honlu, eskitilmiş ve patinato yüzey işlemli kireçtaşı örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri Ra, Rmax, Rz, Rq ve Rt (µm) değerleri DIN EN ISO 4287 standardına göre çalışan Mitutoyo SJ – 400 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bu cihazın görüntüsü Şekil 2' de verilmektedir.



Şekil 2. Yüzey pürüzlülük test cihazı (MİTUTOYO SJ – 401, 2013)

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 12,5 mm'lik tarama boyu kullanılmıştır. Kireçtaşı örneklerinde, öncelikle yüzey üzerinde düşey olarak 12,5 mm mesafeli 36 ölçüm hattı belirlenmiştir. Her bir kireçtaşı örneği için, 2 adet aynı tür örnek üzerinde 36 tane yüzey pürüzlülük Ra, Rmax, Rz, Rq ve Rt parametreleri ölçülmüş ve toplamda 72 adet değerin aritmetik ortalaması alınarak, yüzeyi tek bir metotla işlenmiş kireçtaşı örneklerinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

Ra (aritmetik ortalama): Ra parametresi ölçülen uzunluktaki orta çizği üzerinde kalan düzensiz pürüzlüklerin mutlak ortalaması olarak tanımlanır.

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{1}|yi| \quad (1)$$

Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir. Bu parametre, aritmetik ortalama yüksekliği Ra değerine göre daha hassastır.

$$Rq = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{1} y_i^2\right]^{1/2} \quad (2)$$

Rz: Rz ortalama profil çizgisine paralel olup profili kesmeyen bir doğrudan, örnek uzunluk içinde ölçülen en yüksek beş adet çıkıntı ile en derin beş adet girinti arasındaki ortalama uzaklıktır.

$$Rz(DIN) = \frac{(R1+R3+R5+R7+R9)+(R2+R4+R6+R8+R10)}{5} \quad (3)$$

Rmax: Maximum yüzey pürüzlülüğü.

$$Rmax = (fn^2 / 8r) . 1000 \ (\mu m) \quad (4)$$

Yüzey pürüzlülük deneylerinden elde edilen parametrelerden sadece Rz (µm) parametresine göre bir sınıflama bulunmaktadır. Bu nedenle elde edilen Rz (µm) parametresine göre yapılacak olan kayma potansiyeli sınıflamasında Çizelge 3'de verilen sınıflama sistemi dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Islak ortamlarda yüzey pürüzlülük test sonuçlarının yorumlanması (Bowman, 2004; Carpenter vd, 2006).

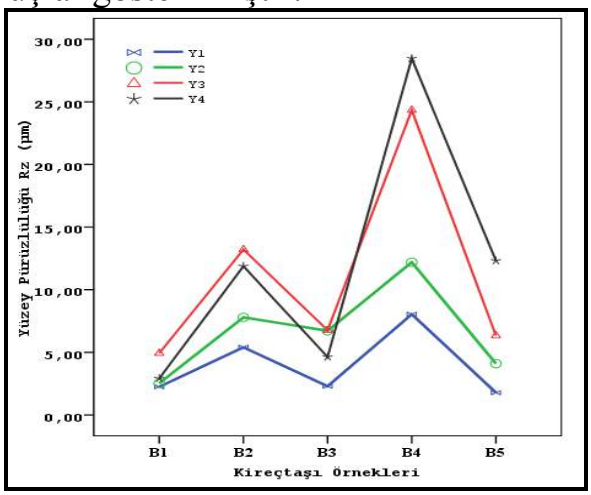
Yüzey Pürüzlülüğü, Rz (µm)	Kayma Potansiyeli
≤10	Yüksek (Y)
10 – 30	Orta (O)
20 – 30	Düşük (D)
>30	Çok düşük (ÇD)

** Su - ıslak, düşük aktivite yaya alanları için geçerli pürüzlülük değerleri*

3 DENEYLER ve VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Kireçtaşı örneklerinin yüzey pürüzlülük analizleri

Kireçtaşı örneklerinin farklı yüzey işlemlerinde yüzey pürüzlülük parametreleri Ra, Rmax, Rz, Rq ve Rt (µm) ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalamaları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Zemin yüzeylerinin ıslak ortamda kirlenmesi ile oluşan kayma direncinin belirlenmesinde önemli bir parametre olduğu kabul edilen yüzey pürüzlülük Rz (µm) değeri dikkate alınarak istatistiksel analizler yapılmış ve bunlarla ilgili veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 3). Islak ortamda elde edilen yüzey pürüzlülük Rz (µm) test sonuçlarının yorumlanmasında Çizelge 3 dikkate alınmış ve Çizelge 5'te sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 3. Kireçtaşı örneklerinin yüzey işlemlerine gore yüzey pürüzlülüğü Rz (µm) değerleri.

Çizelge 4. Kireçtaşı örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri.

Kireçtaşı Örnekleri	Yüzey İşlemi.	Ra (µm)	Rmax (µm)	Rz (µm)	Rq (µm)	Rt (µm)
B 1	Y 1	0.10	5.72	2.07	0.20	5.89
	Y 2	0.19	4.63	2.6	0.29	5.06
	Y 3	0.27	8.41	4.29	0.45	8.98
	Y 4	0.25	4.94	2.9	0.35	5.34
B 2	Y 1	0.29	11.28	5.05	0.52	11.74
	Y 2	0.65	18.22	8.63	1.02	17.65
	Y 3	0.93	26.3	13.12	1.62	30.73
	Y 4	1.55	16.57	10.42	1.97	17.52
B 3	Y 1	0.18	9.37	3.89	0.35	9.90
	Y 2	0.46	10.61	5.63	0.66	10.95
	Y 3	0.71	11.8	6.84	1.00	12.09
	Y 4	0.64	7.85	5.14	0.82	8.32
B 4	Y 1	0.58	20.13	9.29	1.29	20.43
	Y 2	1.13	18.56	11.2	1.65	20.51
	Y 3	4.10	37.67	24.11	5.17	40.41
	Y 4	4.76	49.65	30.85	6.19	52.06
B 5	Y 1	0.21	8.41	2.60	0.32	7.63
	Y 2	0.34	8.13	4.51	0.50	8.26
	Y 3	0.51	13.14	6.16	0.81	13.42
	Y 4	1.44	17.84	9.83	1.82	18.55

Kireçtaşı örneklerinin dört farklı yüzey üzerinde elde edilen yüzey pürüzlülük Rz (µm) değeri dikkate alınıp kayma potansiyeli açısından değerlendirildiğinde genel olarak yüksek kayma potansiyeline sahip oldukları görülmektedir. Sadece B2 örneğinin eskitme. patinato ile B4 örneğinin honlu yüzeylerinde kayma potansiyellerinin orta iken yine B4 örneğinin eskitme ve patinato yüzeylerinde ise düşük kayma potansiyelinin oldugu görülmektedir.

Kireçtaşı örneklerinde cilalı yüzeylerde Rz (µm) değeri daha düşük iken honlu, eskitilmiş ve patinato yüzeylerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Cilalama işlemi gittikçe azalan büyüklüğe sahip aşındırıcı tanelerin kireçtaşı örneklerinin yüzeyinden malzeme uzaklaştırması ve bunun sonucunda yüzeyin pürüzsüzleştirilmesi ve ışığı yansıtır hale getirilmesi prensibine dayandığından dolayı yüzey pürüzlülük değerleri çok düşük çıkmaktadır.

Çizelge 5. Kireçtaşı örneklerinin yüzey pürüzlülük Rz (µm) değerleri ve kayma potansiyelleri.

Kireçtaşı Örnekleri	Yüzey İşlemi	Rz (µm)	Kayma Potansiyeli
B 1	Y 1	2.07	Y
	Y 2	2.60	Y
	Y 3	4.29	Y
	Y 4	2.90	Y
B 2	Y 1	5.05	Y
	Y 2	8.63	Y
	Y 3	13.12	O
	Y 4	10.42	O
B 3	Y 1	3.89	Y
	Y 2	5.63	Y
	Y 3	6.84	Y
	Y 4	5.14	Y
B 4	Y 1	9.29	Y
	Y 2	11.20	O
	Y 3	24.11	D
	Y 4	30.85	CD
B 5	Y 1	2.60	Y
	Y 2	4.51	Y
	Y 3	6.16	Y
	Y 4	9.83	Y

Y1:*Cilalı Y2:Honlu Y3:Eskitme Y4:Patinato*

Genel olarak bakıldığında en yüksek Rz (µm) değeri patinato yüzeylerde elde edilmiştir B4 örneğinin honlu, eskitme ve patinato yüzeylerinde yüzey pürüzlülük parametresi Rz (µm)'nin yüksek çıkmaktadır Bunun sebebi, minerolojik ve petrografik (porozite oranı, porozite tipi, fosil içeriği, stiloyt formasyonu, iko-frisür ve çatlak) kayma direncinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Sarıışık vd, 2012) Kayma potansiyellerine göre büyükten küçüğe doğru olmak üzere cilalı>honlu>eskitme>patinato sıralaması yapılan analizler sonucunda elde edilmektedir

3.2 Kireçtaşı Örneklerinin Pandül Yöntemi ile Kayma Direnci Analizleri

Kireçtaşı örneklerinin, 4 farklı yüzeyde, 2 farklı ortamda (kuru ve ıslak), 6 pozisyon ve 2 adet nihai örnek üzerinde kayma direnci ölçümleri yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları Çizelge 6'da gösterilmiştir

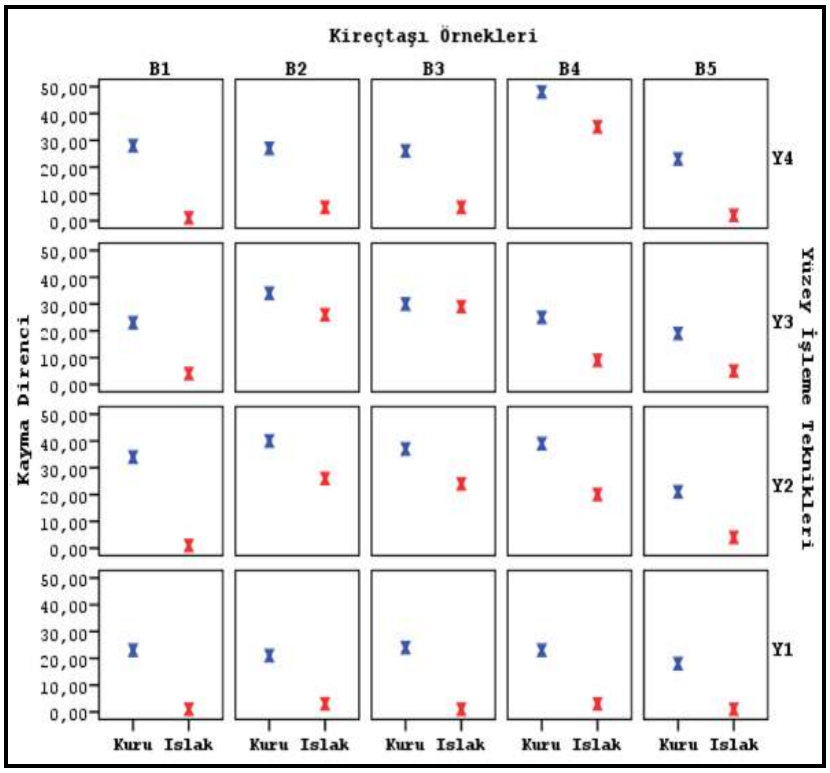
Çizelge 6 Kireçtaşı örneklerinin (4S) kayma direnci değerleri ve kayma potansiyeli

Kireçtaşı Örnekleri		Kd Değerleri		Kayma Potansiyeli	
		Kuru	Islak	Kuru	Islak
B 1	**Y 1**	23	1	Y	Y
	Y 2	34	1	O	Y
	Y 3	23	4	Y	Y
	Y 4	28	1	O	Y
B 2	**Y 1**	21	3	Y	Y
	Y 2	40	26	D	O
	Y 3	34	26	O	O
	Y 4	27	5	O	Y
B 3	**Y 1**	24	1	Y	Y
	Y 2	37	24	O	Y
	Y 3	30	29	O	O
	Y 4	26	5	O	Y
B 4	**Y 1**	23	3	Y	Y
	Y 2	39	20	O	Y
	Y 3	25	9	O	Y
	Y 4	48	35	D	D
B 5	**Y 1**	18	1	Y	Y
	Y 2	21	4	Y	Y
	Y 3	19	5	Y	Y
	Y 4	23	2	Y	Y

Yüzey işlemlerine göre yapılan istatistiksel analizler sonucunda, kuru ve ıslak ortamda tüm yüzeyler üzerinde elde edilen kayma direnci değerleri arasında anlamlı düzeyde bir farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Kireçtaşı örneklerinin kuru ve ıslak ortamda yüzey işlemlerine göre kayma direnci ikili karşılaştırılmaları Şekil 4'de gösterilirken cilalı, honlu, eskitme ve patinato yüzeylere sahip kireçtaşı örneklerinin kuru ortamda elde edilen kayma direnci değerlerinin, ıslak ortamda elde edilen kayma direnci değerlerinden beklenildiği gibi daha yüksek olduğu görülmektedir.

Kuru ortamda, cilalı yüzeylerde elde edilen kayma direnci değerlerinin, diğer yüzeylere göre daha düşük olduğu ve cilalı yüzeylerde B5 örneği 18 ortalama ile en düşük, B3 örneği 24 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini almaktadır.



Şekil 4 Kireçtaşı örneklerinin kuru ve ıslak ortamda yüzey işlemlerine göre kayma direnci ikili karşılaştırılmaları

Honlu yüzeyde, B5 örneği 21 ortalama ile en düşük, B2 örneği 40 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini alırken, eskitme yüzeyde ise B5 örneği 19 ortalama ile en düşük, B2 örneği 34 ortalama ile en yüksek kayma direncine sahiptir Patinato

yüzeyde B5 örneği 23 ortalama ile en düşük, B4 örneği 48 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini vermektedir B4 örneğinin yüksek kayma direnci değeri vermesinde mineralojik özelliklerinin yani fosilli yapısının etkili olduğu görülmektedir

Islak ortamda ise, cilalı yüzeylerde kayma direnci değerinin, çok düşük olduğu görülmektedir. Cilalı yüzeyde, B1, B3 ve B5 örnekleri 1 ortalama ile en düşük, B2 ve B4 örneği ise 3 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini vermektedir Honlu yüzeyde ise, B1 örneği 1 ortalama ile en düşük, B2 örneği 26 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini almaktadır Eskitme yüzeyde, B1 örneği 4 ortalama ile en düşük, B3 örneği 29 ortalama ile en yüksek kayma direnci değerini vermektedir Patinato yüzeyde, B1 örneği 1 ortalama ile en düşük, B4 örneği 35 ortalama ile en yüksek kayma direnci değeri almaktadır Kuru ortamda olduğu gibi ıslak ortamda da B4 örneği en yüksek kayma direnci değerini vermektedir

3.3 Kireçtaşı Örneklerinin Yüzey Pürüzlülüğü Rz (µm) ve Kayma Direnci Değerlerinin Karşılaştırılması

Kireçtaşı örneklerinin yüzey işlemlerine göre ıslak ortamda ölçülen yüzey pürüzlülük Rz (µm) ve kayma direnci değerlerinin kayma potansiyeline göre karşılaştırılması Çizelge 7'de gösterilerek aralarındaki uyumlulukları incelenmiştir Kireçtaşı örneklerinin yüzey işlemlerine göre yüzey pürüzlülük Rz (µm) değeri ile kayma direnci arasındaki ilişki ise Şekil 5'te gösterilmiştir.

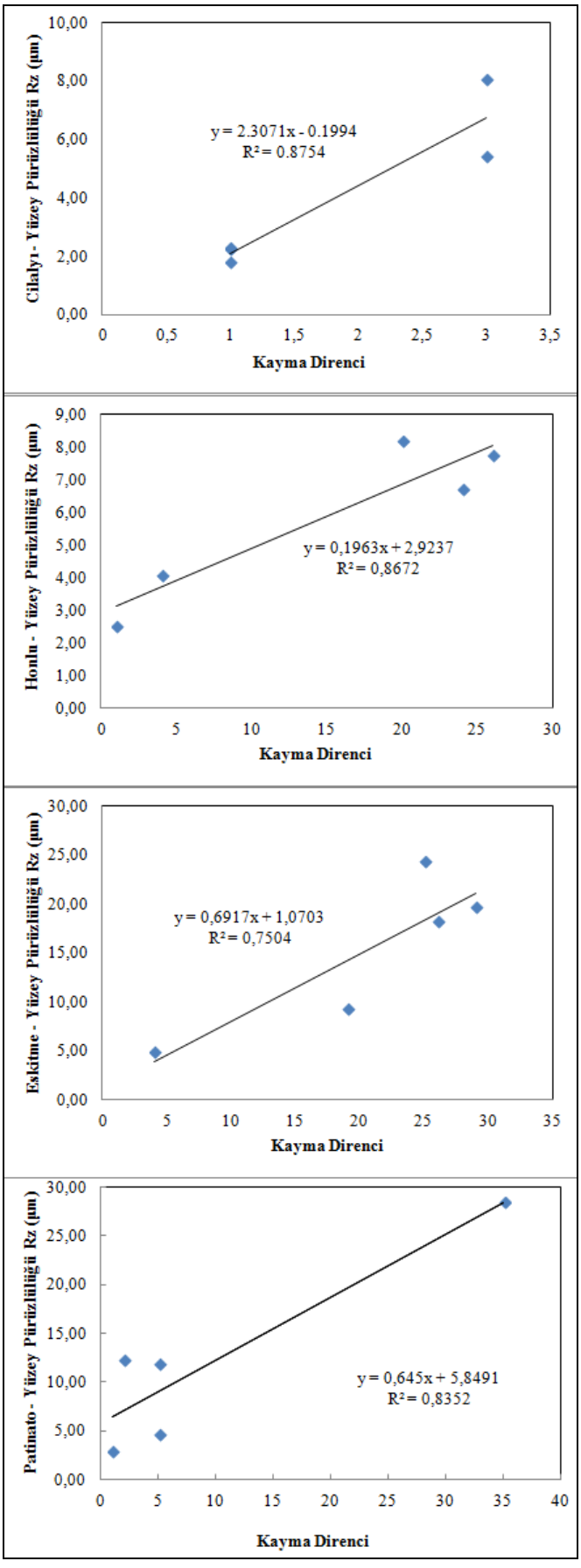
Genel olarak Çizelge 7' incelendiğinde kayma direnci ile yüzey pürüzlülük Rz (µm) değerleri arasında büyük oranda bir uyumluluk olduğu görülmektedir Kireçtaşı örneklerinde yüzey pürüzlülüğü Rz (µm) değeri arttıkça kayma direncinin de arttığı ve buna paralel olarakda kayma potansiyelinin düştüğü görülmektedir Sadece B2 örneği honlu yüzey, B3 örneği eskitme yüzey, B4 örneği honlu ve eskitme yüzeyde kayma direnci ile yüzey pürüzlülüğü Rz (µm) arasında bir uyum söz konusu değildir.

Çizelge 7 Islak ortamda yüzey pürüzlülük Rz (µm) ve kayma direnci karşılaştırılması

Kireçtaşı Örnekleri		Rz(µm) Kayma Pot	Kd Kayma Pot	Uyumluluk
B1	Y 1	Y	Y	EVET
	Y 2	Y	Y	EVET
	Y 3	Y	Y	EVET
	Y 4	Y	Y	EVET
B2	Y 1	Y	Y	EVET
	Y 2	Y	O	HAYIR
	Y 3	O	O	EVET
	Y 4	O	Y	HAYIR
B3	Y 1	Y	Y	EVET
	Y 2	Y	Y	EVET
	Y 3	Y	O	HAYIR
	Y 4	Y	Y	EVET
B4	Y 1	Y	Y	EVET
	Y 2	O	Y	HAYIR
	Y 3	D	Y	HAYIR
	Y 4	CD	D	EVET
B5	Y 1	Y	Y	EVET
	Y 2	Y	Y	EVET
	Y 3	Y	Y	EVET
	Y 4	Y	Y	EVET

3.4 Kireçtaşı Örneklerinin Kayma Direnci ve Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Sınıflandırılması

Kireçtaşı örneklerinin kuru ve ıslak ortamda yüzey işlemlerine göre hesaplanan kayma direnci değerleri Çizelge 2'de belirtilen sınıflandırmaya, yüzey pürüzlülük Rz değerlerine göre ise Çizelge 3'de belirtilen sınıflandırmaya uygun olarak örneklerin hangi sınıflar içinde yer aldıkları Çizelge 8'de verilmiştir.



Şekil 5 Kireçtaşı örneklerinin yüzey işlemlerine göre elde edilen kayma direnci ile yüzey pürüzlülüğü Rz (µm) karşılaştırılması

Kayma direncine gore, kuru ortamda cilalı yüzeyli B1, B2, B3, B4 ve B5 örneği ile honlu yüzeyde B5 örneği, eskitilmiş yüzeyde B1 ve B5 örneği ile patinato yüzeyde B5 örneği kayma direnci değeri 24' den küçük olduğu için Z sınıfında yer almaktadır Honlu yüzeyde B1 örneği, eskitme yüzeyde B2, B3 ve B4 ile patinato yüzeyde B1, B2 ve B3 örneği kayma direnci değeri 25' den büyük olduğu için Y sınıfında yer alırken, yine honlu yüzeyde B2, B3 ve B4 örneği kayma direnci 35'den büyük olduğu için X sınıfındadır Eskitilmiş yüzeyli B4 örneği kayma direnci değeri 45'den büyük olduğu için W sınıfında yer almaktadır

Islak ortamda ise, cilalı yüzeyli B1, B2,B3,B4 ve B5 örnekleri ile honlu yüzeyli B1, B3, B4, B5 örnekleri ve eskitilme yüzeyli B1, B4, B5 örneği ve patinato yüzeyli B1, B2, B3, B5 örneği kayma direnci değeri 24'den küçük olduğu için Z sınıfında yer almaktadır Honlu ve eskitme yüzeyde ise B3 örneği Y sınıfındadır Patinato yüzeyde B4 örneği kayma direnci değeri 35'den büyük olduğu için X sınıfında yer almaktadır X sınıflandırmasında yer alan kireçtaşları, ortak soyunma odaları, iç mekânlarda basamaklar ve otel girişlerinde kullanılmaktadır Y sınıfında yer alan kireçtaşı örnekleri banyo, depo ve çamaşırhanelerde, Z sınıfında yer alan kireçtaşları alışveriş merkezlerinde tercih edilebilirken, W sınıflandırmasında yer alan mermerler dış mekânda yürüyüş alanları, yüzme havuzu alanları ve dış mekân basamaklarında kullanılması önerilmektedir

Yüzey pürüzlülük değerlerine gore cilalı yüzeylerde yüzey pürüzlülük Rz (µm) değerleri 10 µm'den düşük olduğundan dolayı kayma potansiyeli çok yüksek seviyededir Honlu yüzeylerde de B1, B2, B3 ve B5 örneklerinin yüzey pürüzlülük Rz değerinin 10 µm'den düşük olduğu için kayma potansiyeli çok yüksek iken B4 örneğinin yüzey pürüzlülük Rz (µm) değeri 1219 µm olup kayma potansiyeli ise orta seviyededir Eskitme yüzeyli B1, B3 ve B5 örneklerinin Rz (µm) değeri 10 µm'den küçük olduğu için kayma potansiyeli çok yüksektir B4 örneği Rz (µm) değeri ise 2434 µm olduğundan kayma potansiyeli düşük seviyededir Patinato yüzeyli B1 ve B3 örneklerinin Rz (µm) değeri

10 µm'den küçük olduğu için kayma potansiyeli çok yüksek iken, B2, B3 ve B5 örneklerinin kayma potansiyeli orta seviyedir B4 örneğinin ise Rz (µm) değeri 2846 µm olduğundan kayma potansiyeli düşük seviyededir.

Çizelge 8 Kireçtaşı örneklerinin kayma direnci ve yüzey pürüzlülük değerlerine göre sınıflandırılması

Kayma Direnci		B 1		B 2		B 3		B 4		B 5	
		Kd	Sınıf	Kd	Sınıf	Kd	Sınıf	Kd	Sınıf	Kd	Sınıf
Kuru Ortam	Y 1	23	Z	21	Z	24	Z	23	Z	18	Z
	Y 2	34	Y	40	X	37	X	39	X	21	Z
	Y 3	23	Z	34	Y	30	Y	25	Y	19	Z
	Y 4	28	Y	27	Y	26	Y	48	W	23	Z
Islak Ortam	Y 1	1	Z	3	Z	1	Z	3	Z	1	Z
	Y 2	1	Z	26	Y	24	Z	20	Z	4	Z
	Y 3	4	Z	26	Y	29	Y	9	Z	5	Z
	Y 4	1	Z	5	Z	5	Z	35	X	2	Z
Yüzey Pürüzlülüğü		**Rz (µm)**	**Sınıf**	**Rz (µm)**	**Sınıf**	**Rz (µm)**	**Sınıf**	**Rz (µm)**	**Sınıf**	**Rz (µm)**	**Sınıf**
Islak Ortam	Y 1	2.07	Y	5.05	Y	3.89	Y	9.29	Y	2.6	Y
	Y 2	2.6	Y	8.63	Y	5.63	Y	11.22	O	4.51	O
	Y 3	4.29	Y	13.12	O	6.84	Y	24.11	D	6.16	D
	Y 4	2.9	Y	10.42	O	5.14	Y	30.85	D	9.83	D

Kd: Kayma direnci Rz:Yüzey Pürüzlülüğü (µm)

4 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kireçtaşı örneklerinin kayma potansiyellerinin belirlenmesinde yüzey pürüzlülük Rz (µm) parametresi ile kayma direncinin önemli bir rol oynadığı görülmektedir Fakat tek başına yüzey pürüzlülüğü Rz (µm)'nin değerlendirmeye alınmasının yeterli olmayacağı, bu nedenle her iki parametrenin de değerlendirmeye alınmasının daha uygun olacağı önerilmektedir

Yüzey işlemlerine göre ıslak ortamda elde edilen yüzey pürüzlülük Rz (µm) değerlerine bakıldığında, genel olarak yüksek kayma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir Yapılan testler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük parametresi Rz (µm) değeri dikkate alınarak kayma potansiyellerine göre küçükten büyüğe doğru olmak üzere cilalı<honlu<eskitme<patinato sıralaması yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir Kireçtaşı örneklerinde yüzey pürüzlülüğü Rz (µm) değeri arttıkça, kayma direncinin de arttığı ve buna paralel olarak da kayma potansiyelinin düştüğü görülmektedir

Kireçtaşı örneklerinin hem yüzey işlemlerine bağlı olarak, hem de yüzeyin ıslak/kuru durumuna göre kayma dirençleri önemli ölçüde değişmektedir Kayma direnci değerlerinin, kayma potansiyeline göre sıralaması yapıldığında kuru ortamda küçükten büyüğe doğru olmak üzere cilalı<eskitme<patinato<honlu,ıslak ortamda ise cilalı<patinato<eskitme<honlu sıralaması elde edilmektedir Bunun sonucunda; kuru ve ıslak ortamlarda honlu yüzeye sahip kireçtaşı örneklerinin tercih edilmesi gerektiği önerilmektedir Fakat, bu önerilerin yanında mutlaka çevresel faktörlerinde göz önüne alınması gerekmektedir

Islak ortamda kireçtaşı örneklerinin, kayma direnci ve yüzey pürüzlülük Rz (µm) değerlerinin kayma potansiyeline göre karşılaştırmaları yapıldığında büyük oranda bir uyumluluk olduğu görülürken, çok azda olsa bazı örneklerin bazı yüzeylerinde bir uyumluluk olmadığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'nun 30042010 tarih ve 14 sayılı kararı ile (proje numarası 201015016) tarafından desteklenmiştir Katkıları için teşekkür ederiz

KAYNAKLAR

Bowman R (2004) Practical Aspects of Slip Resistance of Stone, see http://wwwdiscoveringstonecom (accessed 29/05/ 2011)

Carpenter J, Lazarus D and Perkins C (2006) Safer Surfaces to Walk on Reducing the Risk of Slipping Construction Industry Research and Information Association, London, UK, pp 45–57

Coşkun, G, 2013; "Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüzey İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri", Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstirüsü, 2013

Chang, WR, 1999; "The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance", International Journal of Industrial Ergonomics, 24, 299–313

Chang WR and Matz S (2001) The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters Applied Ergonomics 32(6): 540–558

Deutsche Standards (1997) DIN EN ISO 4287: Geometrical product specifications (GPS) – surface texture: profile method – terms, definitions and surface texture parameters Deutsche Standards, Cologne, Germany, pp 1–7

Grönqvist, R, 1995; "Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear sales on contaminated metals", Ergonomics, 38, 224–41

Grönqvist, R, Hirvonen, M, Tohv, A, 1999; "Evaluation of three portable flor slipperiness testers", International Journal of Industrial Ergonomics 25, 85–95

Kim, IJ, 2001; "Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics", International Journal of Industrial Ergonomics, 28, 17-29

Kim I (2004) Development of a new analyzing model for quantifying pedestrian slip resistance characteristics Part I basic concepts and theories International Journal of Industrial Ergonomics 33(5): 395–401

Leclercq, S, 1999; "The prevention of slipping accidents: a review and discussion of work related to the methodology of measuring slip resistance", Safety Science, 31, 95–125

Manning, DP, Jones, C, Rowland ,FJ, Roff, M, 1998; "The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces", Journal of Safety Research, 29, 275–283

Rowland, FJ, Jones C, Manning DP, 1996;"Surface roughness of footwear soling materials: Relevance to slip resistance", Journal of Testing and Evaluation, 24 (6),368–376

Sarıışık, A, Sarıışık, G, Akdaş, H, 2012; Slip Analysis of Surface Processed Limestones, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials, 165(5), 279 –296

TS EN 14321, 2004; "Doğal taşlar - Deney metotları - Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini", Türk Standartları Enstitüsü

WESSEX Catalog, 2010; "Pendulum Test Equipment"

Kolemanit Atıklarının Mekanik Hücre, Flotasyon Kolonu ve Jameson Hücresiyle Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması

Investigation of the Beneficiation of Colemanite Tailings Utilizing Mechanical Cell, Froth Column and Jameson Cell

A.Ucar, O. Sahbaz
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü 43270 Kütahya, Turkey

B.Öteyaka
Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26100 Eskişehir, Turkey

ÖZET Bu çalışmada; Emet –Espey konsantratör tesisi artık barajında bulunan bor minerallerini kazanabilmek amacıyla mekanik flotasyon hücresi, flotasyon kolonu ve Jameson flotasyon hücresi kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmış ve verim ve tenör üzerine parametrelerin etkileri araştırılarak en iyi performansa sahip flotasyon yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Flotasyon çalışmaları için numunenin tane boyutu 150 μm'nin altına indirilmiştir. Ayrıca flotasyonda şlamın olumsuz etkisi nedeniylede %34.32 oranındaki %11.08 B_2O_3 içerikli 38 μm boyut grubu numuneden uzaklaştırılmıştır. Yapılan flotasyon deneyleri sonucunda her üç flotasyon aletinde de yaklaşık olarak %99 zenginleştirme verimi ile %46 B_2O_3 tenörlü konsantresi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit atıkları, mekanik flotasyon, kolon flotasyonu, Jameson hücre

ABSTRACT In this study, three different flotation devices, namely, the Jameson cell, mechanical flotation cell and flotation column were used to beneficiate the colemanite tailing from the tailing pond of the Emet-Espey Boron Concentrator. The comparisons of the devices were investigated in terms of recovery and grade achieved by the devices. The size of the flotation feed is reduced to 150 μm. Later, -38 μm was removed to get rid of the negative effect of slime, with 11.08% B_2O_3 and amounting to 34.32% of the feed. It was found that, all devices showed similar performance in terms of recovery and grade as 99% and 46% B_2O_3 respectively.

Keywords: Colemanite tailings, mechanical flotation, column flotation, Jameson cell

1 GENEL BİLGİLER

Bor cevheri, ülkemizin sahip olduğu en önemli stratejik doğal hammaddelerden biridir. Dünya genelinde 250'nin üzerinde kullanım alanına sahip olan bor ve bileşikleri, gelişen teknoloji ile birlikte gün geçtikçe dünya ekonomisinde önemi artan, vazgeçilmez endüstriyel maddedir.

Dünya bor rezervlerinin %70'inden fazlası Kütahya, Eskişehir, Balıkesir ve Bursa bölgelerinde bulunmaktadır. Bütün bu yataklarda bulunan bor mineralleri (Kolemanit, üleksit, boraks vb.) killer ve karbonatlı minerallerle beraber bulunmaktadır (Veeramasuneni 1996, Çelik 2002, Koca 2004, Köse 1989). Bor minerallerini zenginleştirmek için genelde konvansiyonel yöntemler; boyut küçültme, takiben yıkama ile kil minerallerini dağıtma ve sonrasında sınıflandırma uygulanmaktadır. (Sönmez 1996, Veeramasuneni 1996, Gül 2004, 2006, Çelik 2002, Koca 2004). Bu zenginleştirme işlemleri sonucunda önemli oranlarda bor

içeren kaba ve ince atıklar ortaya çıkmakta ve büyük barajlarda ve alanlarda depolanmaktadır. Bu durum çevre ve görüntü kirliliğine, ayrıca ekonomik olarak önemli kayıplara sebep olmaktadır. (Sönmez 1996, Erkal 1992, Yarar 1971). Kullanım alanı oldukça fazla ve ekonomik değeri yüksek olan bor minerallerinin bu olumsuz durum için uygun zenginleştirme yöntemleri ve performansı yüksek zenginleştirme aletleri kullanılmalıdır.

Bor cevherinin zenginleştirildiği ve önemli oranda bor içeren atık oluşan tesislerden biri de Kütahya-Emet-Espey bölgesi Kolemanit cevheri zenginleştirme tesisidir. Bu tesiste yılda -3 mm tane boyutlu 150 bin ton artık da Espey atık barajına atılmaktadır. Kolemanitin kırılgan bir yapıya sahip olması nedeni ile zenginleştirme sırasında kil ile beraber kolemanit de ince boyuta geçmekte ve atıktaki B_2O_3 tenörü %26'lara kadar çıkmaktadır. (Gül 2004, 2006). Böylece tesiste ortaya çıkan bu kayıp barajda her geçen gün artarak değerlendirilmeyi bekleyen önemli bir potansiyel oluşturmuştur. Barajın gittikçe büyümesi hem baraj inşaat maliyetleri, depolama sorunları ve tesis kaybı nedenleriyle büyük ekonomik giderlere hem de çevre kirliliğine yol açmaktadır. Sonuç olarak bor artıkları çevresel ve ekonomik açıdan çözüm bekleyen önemli bir problemdir.

Bu sorunlara çözüm bulabilmek için kolemanit artıklarına, kil dağıtma + sınıflandırma, ısıl işlem, elektrostatik ayırma, manyetik ayırma, ultrasonik dağıtma ya da bunlardan birkaçının kombinezonu şeklinde zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır (Sönmez 1996, Gül 2004, Erkal 1992, Özkan 2004, Özkan 1994, Özdağ 1988, Yamık 2004). Bu çalışmalardan bir kısmı kolemanit artıklarının flotasyonu (Köse 1989, Gül 2006, Yarar 1971, Özkan 1996) ile ilgili olmasına rağmen sorunu çözecek bir yöntem olamamıştır. Ayrıca çeşitli bor yataklarından alınan numunelerden kolemanit mineralini kazanmak için flotasyon çalışmaları da yapılmış (Veeramasuneni 1996, Çelik 2002, Koca 2004, Köse 1989, Nalaskowski 1998), fakat bu çalışmalarda da yeterli başarı elde edilememiştir.

Kolemanit hem anyonik (genellikle sülfonatlar) hem de katyonik (aminler) toplayıcılarla kolaylıkla yüzdürülebilir (Çelik 2002, Çelik 1998, Koca 2003, Koca 2004, Gül 2006, Yarar 1971). Fakat kolemanit flotasyonundaki en önemli sorun şlam (kil) kaplamadır. Şlamın çok az miktarı bile flotasyonu engellemeye yeterlidir (Çelik 2002, Çelik 1998, Köse 1989, Özkan 1994, Koca 2003). Bu nedenle birçok araştırmacı flotasyondan önce 0,01 ile 0,075 mm boyutları arasında bir boyutun altını şlam olarak uzaklaştırmıştır (Özkan 2004, Özkan 1994, Özkan 1993, Çelik 1998).

Bu çalışma; Emet-Espey tesis atıklarının mekanik hücre, flotasyon kolonu ve Jameson hücresi ile zenginleştirme çalışmalarının (Uçar vd 2008, Uçar ve Yargan 2009, Uçar vd 2013, Ucar vd 2014) bir karşılaştırmasını içermektedir. Böylece çalışılan şartlarda en uygun flotasyon metodu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme

Deneylerde Kütahya-Emet bölgesinde faaliyet gösteren Emet Etibor Genel Müdürlüğü, Espey Konsantratör tesisi atık barajından alınan numuneler kullanılmıştır. Atık barajının değişik noktalarından alınan temsili numuneler, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Numune, içinde bulunan nemin uzaklaştırılması için laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Daha sonra numuneden; numune bölücü ve konileme-dörtleme ile elek analizi, kimyasal analiz, mineralojik analiz ve zenginleştirme deneyleri için temsili örnekler alınmış ve torbalanmıştır.

Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi Emet Etibor Genel Müdürlüğünde ARL Brand 8680^+ model X-Işınları Floresans (XRF) cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Numunenin tane boyut analizi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1 Numunenin kimyasal analizi.

İçerik	Miktar,%	İçerik	Miktar, %
B_2O_3	26.3	SO_3	0.953
CO_2	11.3	K_2O	2.38
Na_2O	0.191	CaO	13
MgO	6.29	Fe_2O_3	2.85
Al_2O_3	8.3	As_2O_3	0.448
SiO_2	25.7	SrO	0.612
P_2O_5	0.128		

Çizelge 2 Emet Espey atık barajından alınan numunenin tane boyutuna bağlı tenörü.

Elek Boyutu, µm	Kümülatif elek altı, %	B_2O_3, %
-3000+1000	100	40.64
-1000+500	97.14	40.96
-500+425	89.56	41.97
-425+250	80.78	39.27
-250+212	63.21	42.39
-212+180	58.72	40.83
-180+150	50.72	37.88
-150+125	45.52	35.07
-125+106	42.41	28.13
-106+75	39.7	31.28
-75+53	36.34	36.35
-53+38	33.38	31.5
-38	32.58	9.3
Toplam	-	**26.3**

Şimdiye kadar mekanik hücre ile yapılan araştırmalara göre (Yargan 2007, Koca 2003, Çelik 1998, Köse 1989, Çelik 2002) kolemanit flotasyonu için en uygun tane boyutunun 150 µm olduğunu bildirdikleri için, bu boyut referans alınarak flotasyon deneyleri bu boyutta yapılmıştır. Bu nedenle numune bu boyutun altına öğütülmüştür. Öğütülen numunenin elek analizi Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3 -150 µm'ye öğütülmüş numunenin elek analizi.

Elek boyutu, µm	Kümülatif elek altı, %	B_2O_3, %
-150+106	100	35.20
-106+75	61.17	36.90
-75+53	44.20	35.20
-53+38	36.65	34.10
-38	34.32	12.87
Toplam		27.79

Ayrıca kolemanit yüzeyine şlam kaplama nedeniyle flotasyonun engellendiği de daha önce yapılmış çalışmalarda (Çelik 2002, Çelik 1998, Köse 1989, Özkan 1994, Koca 2003, Yargan 2007) ortaya konmuştur. Bu nedenle 38 µm'nin altı atılarak elde edilen -150+38 µm boyut grubunda flotasyon çalışmaları yapılmıştır. Şlam uzaklaştırıldıktan sonra artığın B_2O_3 içeriği %26.3'ten %36.8'e yükselmiştir.

Flotasyon deneylerinde bastırıcı olarak ticari mısır nişastası, toplayıcı olarak Cytec firması tarafından üretilen sülfanat tipi R801 (%1'lik) toplayıcısı, köpürtücü olarak MIBC ve şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmalardaki bütün B_2O_3 analizlerinde titrimetrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Kolemanit yaklaşık olarak pH 9±0.4'de tampon özelliği gösterdiği (Yarar 1971, Çelik 2002) için deneyler doğal pH da yürütülmüştür.

2.2 Yöntem

2.2.1 Mekanik hücre

Kolemanit minerali flotasyon deneyleri 1 lt'lik laboratuvar tip Denver flotasyon hücresi (Şek. 1) ile 1250 d/d'lık pervane devir hızında yapılmıştır. Klasik mekanik flotasyon hücresinde yapılan deneylerin şartları aşağıda verilmiştir (Uçar 2008);

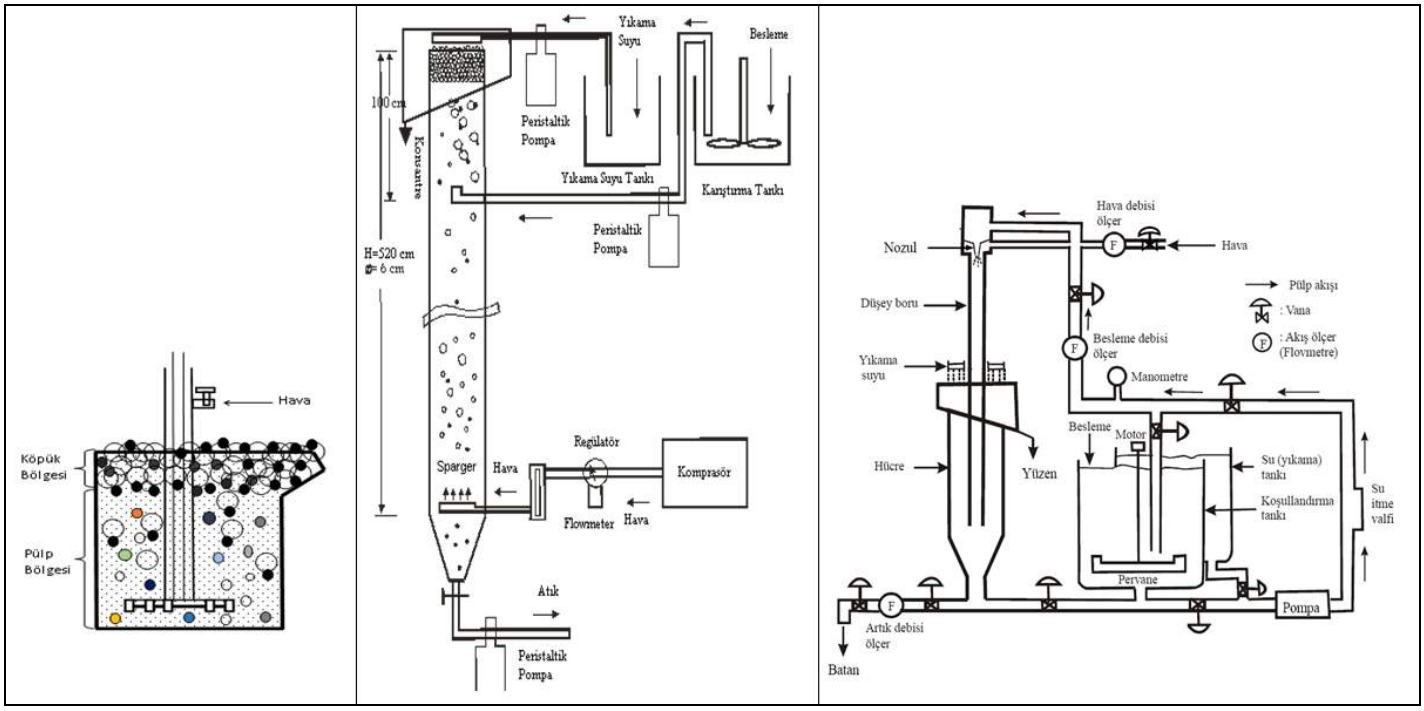
Karıştırma hızı (d/d)	: 1250
Katı oranı (%K)	: 20, 25, 30
pH	: 8.83 (Ortam pH'sı)
Toplayıcı miktarı (Q_t) (g/t)	: 2500
Bastırıcı miktarı (Q_b) (g/t	: 350, 500, 650, 800
Koşullandırma süresi (dk)	: 2+5

2.2.2 Klasik flotasyon kolonu

Kolemanit mineralini flotasyon kolon tekniği ile kazanabilmek için flotasyon deneyleri Şekil 1'deki kolon flotasyonu ile yapılmıştır. Flotasyon kolonu pleksiglastan yapılmış olup, 6 cm çapında, 5.20 m uzunluğundadır. Kabarcık üreteci ise paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Kullanılan flotasyon kolonundaki tüm debiler, debimetrelerce ölçülerek kontrol edilmiştir (Şek. 1).

Kolon flotasyon çalışma parametreleri ve değerleri aşağıda verilmiştir (Uçar 2013);

Köpürtücü miktarı (Q_K)	:	60 - 90 ppm
Bastırıcı miktarı (Q_{bas})	:	600 g/t
Toplayıcı miktarı (Q_T)	:	2500 g/t
Katı oranı (%K)	:	10
Koşullandırma süresi	:	2+5 dk.
Yüzeysel artık hızı (J_a)	:	1,02 cm/sn
Yüzeysel besleme hızı (J_b)	:	1 cm/sn
Yüzeysel hava hızı (J_h)	:	0.5,1,1.5,1.75 cm/sn
Yüzeysel yıkama suyu hızı (J_{ys})	:	0.2,0.3,0.4 cm/sn
Bias faktörü (J_B)	:	0.1, 0.2, 0.3, 0.9



Şekil 1. Deneylerde kullanıla mekhanik hücre, klasik kolon ve Jameson hücresi şekli.

2.2.3 Jameson flotasyon hücresi

Flotasyon çalışmaları Şekil 1'de verilen ve 2004 yılında tasarımını Prof. Dr. Graeme Jameson'ın yardımlarıyla Prof. Dr. Bahri Öteyaka'nın yaptığı Jameson flotasyon hücresinde yapılmıştır. Sistemde; koşullandırma tankından pülpün düşeyboruya yüksek basınç (90- 150 kPa) altında besleyebilmek için santrifüj tipi bir pompa, yıkama suyu için peristaltik pompa, besleme basıncını ölçmek için manometre, besleme-atık debimetreleri ve giren hava miktarının ölçülebilmesi için hava debimetresi (anemometresi) bulunmaktadır.

Deneysel çalışmalardaki uygun çalışma parametreleri (Uçar 2014);

Kıvam zamanı (t_k)	:	2+5 dak
Pülp debisi	:	11.4 l/dak
Yıkama suyu debisi (Q_{ys})	:	1.9 l/dak
Katı oranı (%K)	:	%2.5
Hava hızı (V_h)	:	27 cm/sn
Köpürtücü miktarı (Q_K)	:	60 ppm
Toplayıcı miktarı (Q_T)	:	3500 g/t
Jet uzunluğu (L_j)	:	2-9 cm
Dalma derinliği (d_h)	:	20-50 cm

Bütün flotasyon çalışmaları tek kademe ve açık devre olarak yapılmıştır.

3 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

3.1 Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyu Analizleri

Emet-Espey atık barajından alınan numunenin kimyasal analizleri incelendiğinde (Çiz. 1) atık tenörünün %26,3 B_2O_3 olduğu görülür. Bu tenör başka ülkeler için tesis giriş tenörüdür. Ayrıca konsantrede istenmeyen As_2O_3 oranı da %0,448'dir.

Atık barajı numunesi ile yapılan mineralojik analizlere göre, atık barajı numunesinde daha çok kolemanit, montmorillonit, illit ve kuvars bulunmakta Daha az olarak da kalsit, dolomit ve sanidin bulunmaktadır. Bu sonuçlar kimyasal analizle uyumludur. Ayrıca kimyasal analizde arsenik olması ve numunenin gözle ve mikroskopla incelenmesi sonucunda bu numunenin içerisinde realgar ve orpiment minerallerinin olduğu tespit edilmiştir (Uçar 2009).

Tane boyutu analizine göre de numunenin -3 mm boyutunda olduğu Çizelge 2'den görülmektedir.

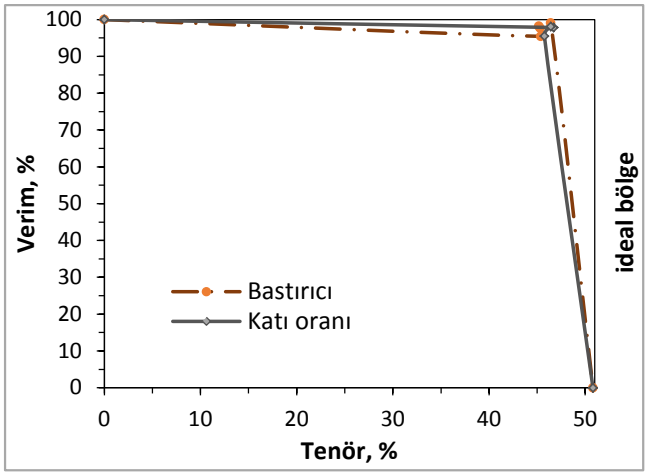
3.2 Kolemanit Flotasyonu

Flotasyon genellikle düşük tenörlü ve ince boyutta serbestleşen, diğer yöntemlerle ekonomik olarak zenginleştirilemeyen minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılan kompleks bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon tekniğinin başarısı, uygun çalışma parametrelerinin yanında kullanılan cihazlara da bağlıdır. Tane boyutuna göre flotasyon verimleri açısından bu cihazların birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Kolemanitin mekanik hücrede flotasyonu ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen (Uçar 2009, Gül 2006, Köse 1989, Kaytaz 1986, Yarar 1973, Doğan 1997, Özkan 1994, Özkan 1993, Yegül 2007) şimdiye kadar kolon flotasyonu ve Jameson hücresi ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır **(**Uçar vd 2013, Ucar vd 2014, Ucar vd 2012**).**

Flotasyon işleminin başarısının en önemli göstergelerinden biri Halbich, Fuerstenau eğrileri gibi ideal zenginleştirme (upgrading) eğrileridir (Duchnowska ve Drzymala 2012). Bu çalışmada da üç ayrı flotasyon cihazının karşılaştırılması Halbich zenginleştirme eğrileri kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1 Klasik mekanik hücre

Yukarıda verilen deneysel şartlarda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen optimum şartlarda tenör ve verimdeki değişimde bastırıcı miktarı ve katı oranındaki değişime bağlı olarak önemli bir farklılık olmamıştır. Fakat tenörün %46 B_2O_3 civarına kadar verimin yaklaşık %99'larda seyrettiği görülmektedir.



Şekil 2. Mekanik hücrede yapılan deneylerde değişik parametrelere bağlı olarak verim-tenör değişimi.

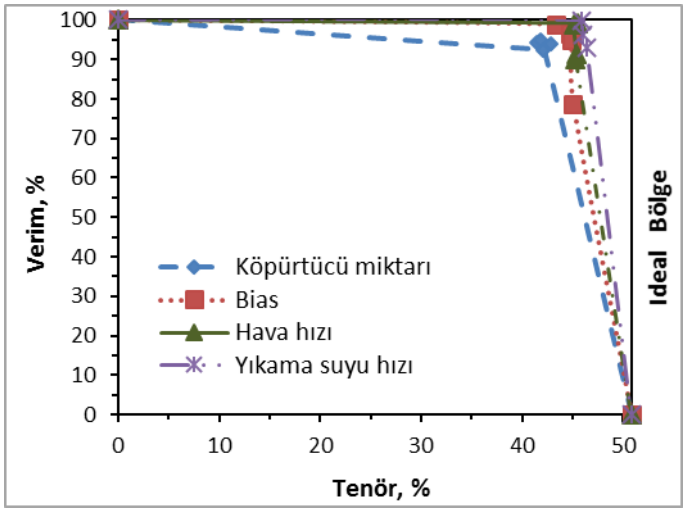
3.2.2 Klasik kolon

Tasarımı ve çalışma şartları bakımından flotasyon kolonlarında mekanik karıştırıcının bulunmaması flotasyon hücrelerine göre en önemli farkı oluşturur. Bu nedenle flotasyon kolonlarında daha az türbülans olayı vardır (sadece hava kabarcıklarının yarattığı mikro türbülans) Ayrıca mekanik sürüklenme çok az veya hiç yoktur (Uçar 2013, Öteyaka ve Soto 1995).

Yukarıdaki şartlarda yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre (Şek. 3), yıkama suyu hızının, biasın ve hava hızının verim ve tenör üzerinde büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Burada çalışma parametrelerinde verildiği gibi hava hızının

yükselmesiyle ve bias faktörün artmasıyla verimde önemli oranlarda düşüşler elde edilmiştir. Hava hızının artmasıyla hem kabarcık boyutu hemde türbülans arttığı için verimde düşüş olmuştur.

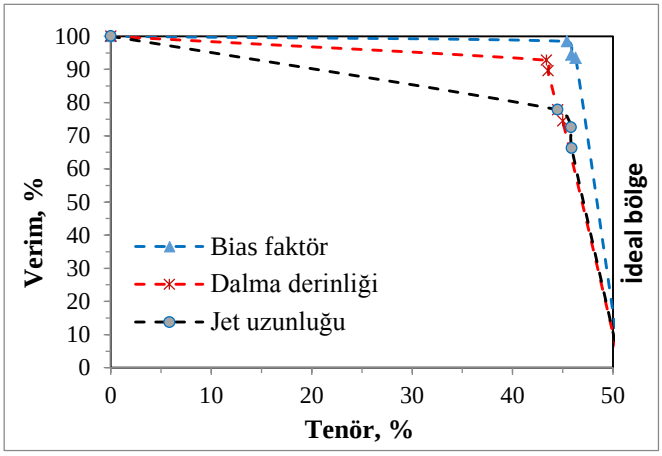
Buna göre yaklaşık %46 B_2O_3 içerikli konsantre yaklaşık %99 verimle elde edilmiştir.



Şekil 3. Kolonda değişik parametrelere bağlı olarak verim-tenör eğrileri.

3.2.3 Jameson flotasyon hücresi

Jameson flotasyon hücresi alanındaki gelişmeler, laboratuar boyutunda donanımlı Jameson Flotasyon hücresinin dizayn edilmesi, bu alanda oldukça deneyime sahip olunması, aletin yüksek kapasite ve verim durumu bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Yukarıda belirlenen flotasyon koşullarında Jameson flotasyon hücresi kullanılarak kolemanit mineralinin tesis artıklardan kazanımı araştırılmıştır. Ayrıca yüzdürülecek tane boyutuna bağlı olarak değeri değişen ve verimi doğrudan etkileyen bias değerinin (negatif veya genellikle pozitif bias) flotasyon verimi üzerine etkisi incelenmiştir (Ucar 2014).



Şekil 4. Jameson hücresinde değişik parametrelere bağlı olarak verim-tenör eğrileri.

Yapılan deneylere göre en önemli parametrenin bias faktör olduğu Şekil 4'den görülmektedir.

Buna göre bu çalışmada da beslemeye göre yaklaşık %46 B_2O_3 tenörlü konsantre %99 civarında bir verimle elde edilmiştir.

4 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kütahya'da bulunan Emet-Espey Konsantratör Tesisi atık barajından alınan numuneler üzerinde yapılan kimyasal analizler ve üç farklı flotasyon cihazıyla yapılan flotasyon çalışmalarının sonuçlarına göre;

- Atık barajı numunesi (-3 mm) yapılan mineralojik çalışmalara göre kolemanit, montmorillonit, muskovit, kuvars, kalsit, dolomit, illit, sanidin, orpiment ve realgar minerallerinden oluşmaktadır. Kimyasal çalışmalara göre ise, %26.3 oranında B_2O_3 ve %0.448 oranında istenmeyen As_2O_3 içermektedir. Deneylerde numunenin –150 + 38 µm boyut fraksiyonu kullanılmış olup B_2O_3 içeriği ise yaklaşık %36.8 dir.
- Her üç flotasyon cihazında da benzer tenör (%46 B_2O_3) ve verimde (%99) konsantreler elde edilmiştir.
- Bu sonuçlara göre Artıklardan kolemanitin oldukça yüksek oranlardaki tenör ve verimlerle elde edilebileceği söylenebilir.

- Flotasyon verimine, bias faktörünün ve hava hızının önemli derecede etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.

Öneriler;

- Şlam içerisindeki kolemaniti kazanmak için de çalışmalar yapılmalı ya da bu kısmın uygun sektörlerde değerlendirilebilme olanakları araştırılmalıdır.
- Elde edilen çok az B_2O_3 içerikli atıkların seramik, tuğla, çimento gibi sektörlerde kullanım olanakları araştırılmalıdır.
- Kurulum ve bakım masrafları düşük olan flotasyon aletleri ileride kurulacak bir atık değerlendirme tesisi için düşünülmelidir.
- Patent aşamasında olan yeni jet difüzör flotasyon kolonunun da bu alanda denenmesinde ve deneylerin yapılmasında yarar vardır (Öteyaka vd 2014a, Öteyaka vd 2014b).

KAYNAKLAR

Çelik, M.S., Elma, İ., Hançer, M. & Miller, J.D., 1998, Effect of İn-situ Ultrasonic Treatment on Floatability of Slime Coated Colemanite, Innovations in Mineral and Coal Processing, Atak, Önal & Çelik (eds), Balkema, *7th İnternational Mineral Processing Symposium*, İstanbul/Türkiye.

Çelik, M.S., Hançer, M. and Miller, J.D., 2002, Flotation Chemistry of Boron Minerals, Journal of Colloid and İnterface Science 256, 121-131.

Doğan, M. Z., Kaytaz, Y., Önal, G., Perek, K. T., 1997, Bigadiç ve Kestelek Bor Artıklarının Isıl İşlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon ile Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması, *II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,* 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye, 76-84.

Duchnowska, M. and Drzymala, J., 2012, Self-similarity of upgrading parameters used for evaluation of separation results, *International Journal of Mineral Processing,* Vs. 106 -109pp. 50-57.

Erkal, F. İ. & Girgin, İ., 1992, Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Kaba Atıklarının Konsantre Üretimi Amacıyla Değerlendirilmesi, *4th İnternational Mineral Processing Symposium, Proceeding Volume 2*, G. Özbayoğlu (eds), Antalya/Türkiye.

Gül, A., Kaytaz, Y., Önal, G., 2004, Beneficiation of Bigadiç (Turkey) Boron Tailings, Proceedings of *Xth International Mineral Processing Symposium*, Çeşme/Türkiye.

Gül, A., Kaytaz, Y., Önal, G., 2006, Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation, *Minerals Engineering*, 19, 368-369.

Kaytaz, Y., Önal G., Güney A., 1986, Bigadiç kolemanit artıklarının değerlendirilmesi, *1. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, cilt 1*, İzmir, 237-249.

Koca, S., Koca, H., Savaş, M., 2003, Flotation of Colemanite from Realgar, *Minerals Engineering* 16, 479-482.

Koca, S., Savaş, M., 2004, Contact Angle Measurements at the Colemanite and Realgar Surface, *Applied Surface Science* 225, 347-355.

Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M. ve Öztoprak, M., 1989, Emet Konsantratör Atık Barajındaki Arsenik ve Kolemanitleri Seçimli Olarak Kazanma İmkanları, *11. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi*, 24-28 Nisan, Ankara, 407-415

Nalaskowski, J., Veeramasuneni, S. & Miller, J. D., 1998, Interaction Forces In The Flotation Of Colemanite As Measured By Atomic Force Microscopy, Innovations in Mineral and Coal Processing, Atak, Önal & Çelik (eds), Balkema, *7th İnternational Mineral Processing Symposium*, İstanbul/Türkiye.

Öteyaka, B. ve Soto, H., 1995, Modelling of Negative Bias for Column Coarse Particles Flotation, *Mineral Engineering*, Vol.8, 91-100.

Öteyaka, B,. O. Şahbaz, A. Uçar, K. Bilir, H. Gürsoy, 2014a, Design Of Jet Diffuser Flotation Column, *Proceedıngs Of 14th Internatıonal Mıneral Processıng Symposıum*, October 15 - 17, Kuşadası – Turkey

Öteyaka, B., O. Şahbaz, A. Uçar, K. Bilir, H. Gürsoy, 2014b, Design of jet difuser flotation column in pilot scale (electronic proceedings), *XXVII. International Mineral Processing Congress*, October 20-24, Santiago, Chile.

Özdağ, H., Bozkurt, R. &Uçar, A., 1988, The Recovery of Boron From Kestelek Boron washing Tailings, *Proceedings of 1st İnternational Mineral Processing Symposium*, 282-288, İzmir,Turkey.

Özkan, Ş. G., Alp, M.S. & Veasey, T. J., 1993, Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları, *Türkiye 13.Madencilik Kongresi*, 10-14 Mayıs, İstanbul/Türkiye, 453-458.

Özkan, Ş. G. & Veasey, T. J., 1994, The Effect of Slime Coatings on Colemanit Flotation, Progress In Mineral Processing Technology, Demirel & Ersayın (eds), Balkema, *5th İnternational Mineral Processing Symposium*, 6-8 Eylül, Cappodocia/Türkiye, 205-210.

Özkan, Ş. G. & Veasey, T. J., 1996, Effect of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Colemanit Flotation, Changing Scopes in Mineral Processing, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu

(eds), Balkema, *6th İnternational Mineral Processing Symposium*, Kuşadası/Türkiye.

Özkan, Ş. G. & Acar, A., 2004, Investigation of İmpact of Water Type on Borate Ore Flotation, *Water Research* 38, 1773-1778.

Sönmez, E., Özdağ, H. & Savaş, M., 1996, Benefication of Emet Tailings by Water Absorption + Mechanical Attrition + Magnetic Separation, Changing Scopes in Mineral Processing, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu (eds), Balkema, *6th İnternational Mineral Processing Symposium*, Kuşadası/Türkiye.

Uçar, A., O. Şahbaz, M. Yargan, M. Savaş, 2008, "Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Artıklarının Flotasyonla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması", *2. Ulusal Bor Çalıştayı*, 673-681, Ankara.

Uçar, A., Yargan, M., 2009, Selective separation of boron values from the tailing of a colemanite processing plant, *Separation and Purification Technology*, Volume 68, 1-8.

Ucar A., O. Şahbaz, S. Kerenciler and B. Öteyaka, 2012, "Effect of Bias Factor on Colemanite Recovery in Jameson Cell", *XIII. International Mineral Processing Symposium*, 1003-1008, Bodrum, October.

Uçar, A., O. Şahbaz and O. Ö. Taş, 2013, "Effects of Some Reactive Parameters For Column Flotation Of Colemanite From Tailing", *Proceeding of the XV Balkan Mineral Processing Congress*, Sozopol, Bulgaria, June 12-16, 345-348.

Ucar A., O. Sahbaz, S. Kerenciler, B. Oteyaka, 2014, Recycling of colemanite tailings using the Jameson flotation technology, *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 50(2), 645-655.

Veeramasuneni, S., Yalamanchili, M. R., Miller, J. D. & Çelik, M.,S., 1996, Adsorption of Model Collector Colloids at the Surface of Colemanite as Characterized by Optical and Atomic Force Microscopy, Changing Scopes in Mineral Processing, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu (eds), Balkema, *6th İnternational Mineral Processing Symposium*, Kuşadası/Türkiye.

Yarar, B., 1971, Kolemanit mineralinin Flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu*, Proje no 228, Ankara, Türkiye.

Yamık, A., Uçar, A., Şahbaz, O. ve Demir, U., 2004, Emet Espey konsantratörü -25 mm bor atıklarının Hidrosiklon ile zenginleştirilmesi, DPÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, Türkiye 23-25 Eylül.

Yargan, M., 2007, Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Y. Lisans Tezi*, Kütahya.

Yegül, E., E, 2007, Bor Zenginleştirme Tesislerinde Ara Ürün Tenörlerinin Arttırılması İçin Yöntemlerin İncelenmesi, *Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, Türkiye, 137s.

Mermer İçeren Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Concrete Marble

H. Sarıkaya
Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksek Okulu, Uşak

ÖZET Doğaltaş bakımından, jeolojik yapısı itibarıyla zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bugünkü verilere göre 4 milyar m^3 işletilebilir mermer, 2,8 milyar m^3 işletilebilir traverten, 1 milyar m^3 granit rezervi bulunmaktadır. Türkiye genelinde, 1500 civarında mermer ocağı, 1100 civarında mermer üreten şirket bulunmaktadır. Bu ocaklardan mermer üretilirken bir çok atık madde ve doğa kirliliği de oluşmaktadır. Bu çalışmada, Burdur bölgesinden temin edilen atık mermer ağırlıkça farklı oranlarda kullanılarak betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda su, çimento sabit tutularak normal agrega yerine ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25 oranlarında atık mermer kullanılmıştır. Üretilen betonların yoğunlukları, su emmesi, basınç dayanımları, ultrases hızları, schmidt sertlikleri, aşınma kayıpları ve ısı iletkenlikleri belirlenmiştir. Atık mermer oranı arttıkça beton dayanımlarında bir düşüş görülmekte fakat hedeflenen basınç dayanımlarına ulaşıldığı görülmektedir. Atık mermerlerin beton sektöründe değerlendirilmesi ekonomiye ve çevreye olumlu katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Beton, atık mermer

ABSTRACT In our country that has a rich potential in respect to its geological structure and natural stone there exists 4 billion m^3 of processed travertine and 1 billion m^3 of granite reserves according to today's data. Around Turkey there are about 1500 marble quarries and there are around 1100 marble producing companies. This is a very waste and pollution while generating nature is composed of marble from the quarries. In this study, by using waste marble obtained from Burdur and its environment in different rates in weight concrete has been produced. Produced concrete in water, 5% by weight of cement kept constant normal aggregate, 10, 15, 20, waste marble was used in 25 rates. The produced concrete density, water absorption, compressive strength, pulse velocity, Schmidt hardness, wear loss and thermal conductivity were determined. Seen a decline in the rate of waste marble concrete strength increases, but the targeted compressive strength has been achieved. Evaluation of waste concrete marble sector will contribute to the economy and the environment.

Keywords: Concrete, marble waste

1 GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan bu yana yeme içme ihtiyacından sonra ikincil temel ihtiyacı barınma olmuştur. Böylece yapı sektörü hep gündemde kalmış ve her an daha güzel, pratik yöntemler geliştirmeye yönelik çalışmalar devam etmiştir. Günümüz dünyasında ise her alanda olduğu gibi bu alanda da temel gaye, en kısa zamanda en az harcama ile çözüme ulaşmaktır. Günümüzde kullanımda ortaya çıkan ihtiyaçlar nedeni ile, çeşitli özelikleri geliştirilmiş veya üretim ve uygulama teknikleri farklı bazı özel betonlar yaygın biçimde kullanılmaktadır. Üretilen betonların kullanım amacına yönelik olarak tasarımının yapılması ve ekonomik olması çok önemlidir (Sarıkaya, 2014).

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde

edilen, başlangıçta akışkan olduğu için istenilen kalıbın şeklini kolayca alan, sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli dayanımı sağlayabilen yapay bir yapı malzemesidir. Beton henüz yeni karıldığında taze beton adını alırken, katılaşıp sertleşince sertleşmiş beton adını alır (Neville, 1993). Betonda bileşime giren malzemeler özel olarak oranlandığı zaman karışım herhangi bir yere dökülebilir ve ebadı ile kalıpların şeklini alabilen plastik bir kütle meydana getirir (Baradan, 1997).

Doğal kaynaklar ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Günümüzde ekonomik kalkınma o ülkenin sahip olduğu maden kaynakları miktarı ve maden ürünlerinin tüketimi ile paralellik göstermektedir. Ülkemizde ve yurt dışında mermere olan talep hızla artmakta ve bunun sonucu olarak mermer sektörü ile uğraşan işletmelerin de sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu işletmelerin büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak çamur ve parça mermer atıklar açığa çıkmaktadır. Mermer atıklarının kullanılabilir tarım arazilerine boşaltılması çevre sağlık ve doğal görünüme bozucu etki yapmakta ve çevrecilik açısından olumsuz bir tepki oluşturmaktadır. Bununla birlikte, ocak ve işletmelerde yapılan üretime göre oluşan atıkların miktarları % 75' lere ulaşmaktadır. Bu nedenle mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek seçenekler, mermer fabrika işletmecilerine, ülke ekonomisine, çevre ve ekolojiye önemli katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Mermer, blok veya kesilmiş parlatılmış olarak ihraç edilmektedir. Doğaltaş ihracatında katma değeri en yüksek ürün, işlenmiş mermer ve işlenmiş travertendir. Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir. 2003-2012 arasında doğaltaş ihracatımız % 246 artışla 1,5 milyon tondan 5,2 milyon tona yükselmiştir. Dünya doğaltaş ihracat sıralamasında daha birkaç yıl öncesine kadar sekizinci sırada yer alan Türkiye doğaltaş sektörü, 2006 yılı itibari ile beşinci sıraya yükselmiştir. Özellikle mermer ve traverten ihracatında 2009 yılında da Çin, İtalya ve İspanya'yı geride bırakarak en fazla ihracat gerçekleştiren ülke olmuştur.

İşletmelerden açığa çıkan parça atıklar (işlenmiş kırık mermer parçası), kısmen döşeme ve dolgu malzemesi olarak kullanılsa da genellikle fabrika çevresinde görünümü bozuk büyük yığınlar oluşturmaktadır. Bazı büyük ölçekli fabrikalarda bu atıklar kırıcılardan geçirilerek dolgu malzemesi şeklinde maliyetine satılmaktadır (Uğur, 1996).

Küçük boyutlu parça artıklar, kırıcılardan kırılarak yol inşaatında alt temel, temel tabakası olarak ve betonda agrega malzemesi olarak kullanılmak üzere, istenilen boyutlarda malzemeler elde edilebilir. Kimyasal bileşimlerin genel olarak yol inşaatında kullanılan malzemelerin özelliklerine (kalkerli yapıya) sahip oldukları görülmektedir. Bu artıkların büyük miktarlarda kullanımı ile geri kazanım artırılacak, görüntü kirliliği nispeten önlenecek ve arazilerin olumsuz yönde kullanımı azaltılacaktır (Ceylan, 2000).

Bu çalışmada, Burdur ve yöresinde işletilen mermer ocaklarından ve fabrikalarından elde edilen mermer atıkları, ağırlıkça belirli oranlarda agrega yerine konularak betonlar üretilmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyaller

Çalışmada, beton üretiminde Aydın ili Söke ilçesi Çorapçı Boğazı merkezinden elde edilen Karakaşlar kum çakıl ocağından temin edilen agrega ve Burdur bölgesinden çıkan bej mermer atıkları kullanılmıştır. Burdur bölgesinden çıkan bej mermer atıkları çeneli kırıcılarda kırıldıktan sonra agrega haline getirilmiştir. Karışımlarda % 40' ı ince agrega (0–4 mm) ve % 60' ı kaba agrega (4–16 mm) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda suya ilave katkı olarak Draco Yapı Kimyasalları' nın ürettiği Levelcon 1200 yüksek performanslı beton üretiminde kıvam korumalı ve yüksek oranda su azaltan kimyasal katkı kullanılmıştır. Çimento olarak Burdur Bucak'ta bulunan As Çimento Fabrikası'nda üretilmiş CEM I 42,5 R

çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento, normal agrega ve atık mermerin kimyasal özellikleri Çizelge 1' de ve çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.' de verilmiştir.

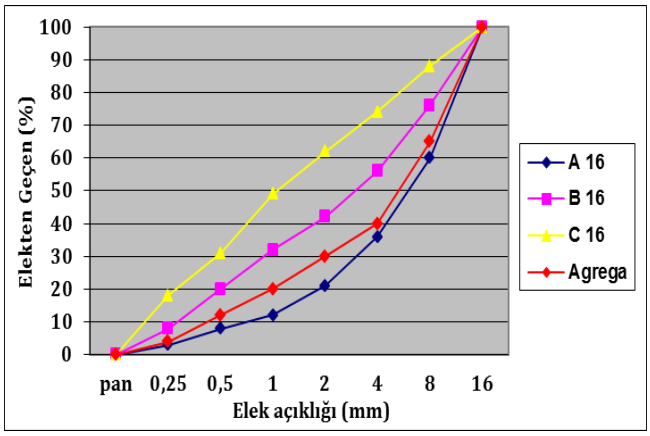
Çizelge 1. Betonda kullanılan çimento, agrega ve atık mermerin kimyasal özelikleri

Bileşen	CEM I 42,5 R (%)	Normal Agrega (%)	Atık Mermer (%)
SiO_2	20,02	2,75	0,38
Fe_2O_3	3,52	1,29	0,06
Al_2O_3	5,16	-	-
CaO	63,46	0,2	53,85
MgO	1,03	2,8	0,34
SO_3	2,74	-	-
Kızdırma Kaybı	2,35	-	-

Çizelge 2. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özelikleri (As Çimento, 2010)

Bileşen	PÇ 42,5
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,124
Donma Başlangıcı (dakika)	180
Donma Sonu (dakika)	280
Hacim Genleşmesi (mm)	1,10
7 günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	26,60
28 günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	49,60

Beton bileşimlerinde normal agrega kullanılarak TS EN 206-1' e göre C35 betonları üretilmesi hedeflenmiştir. C35 betonu için w/c (Su/Çimento) oranı 0,40 alınmış ve üretilecek betonun kuru plastik kıvamda ve maksimum dane çapı 16 mm olacak şekilde TS 802' deki birim hacim ağırlık yöntemine göre yapılmıştır. İyileştirilmiş ve beton yapımında kullanılacak olan normal agrega ve atık mermerin granülometri eğrisi ise Şekil 1' de verilmiştir. Üretilen betonların yapımında kullanılan agrega kodları ise Çizelge 3' de, karışıma giren atık mermerli betonların 1 m^3 beton bileşenleri ise Çizelge 4.' de verilmiştir.



Şekil 1.İyileştirilmiş ve beton yapımında kullanılacak olan normal agrega ve atık mermerin granülometri eğrisi

2.2. Deneyler

Betonların üretimi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kazı ve Doğaltaşlar Teknolojisi Laboratuarında, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında ve Aydın As Beton Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 12 farklı beton üretilmiştir. Bunlar 6' sı, katkısız 6' sı katkılı beton gruplarıdır.

Çizelge 3. Üretilen atık mermerli betonların karışım yüzdeleri

Kodu	Normal Agrega (%)	Atık Mermer(%)	Kodu	Normal Agrega (%)	Atık Mermer (%
N35	100	0	NK35	100	0
N35-5	95	5	NK35-5	95	5
N35-10	90	10	NK35-10	90	10
N35-15	85	15	NK35-15	85	15
N35-20	80	20	NK35-20	80	20
N35-25	75	25	NK35-25	75	25

Çizelge 4. Karışıma giren atık mermerli betonların 1 m^3 beton bileşenleri (kg/m^3)

Beton kodu	Su	Çimento	Katkı	Normal İnce Agrega	Normal Kaba Agrega	İnce Atık Mermer	Kaba Atık Mermer
N35	158	450	-	706	1088	-	-
N35-5			-	671	1034	35	54
N35-10			-	635	979	71	109
N35-15			-	600	925	106	163
N35-20			-	565	870	141	218
N35-25			-	530	816	176	272
NK35			3,6	706	1088	-	-
NK35-5			3,6	671	1034	35	54
NK35-10			3,6	635	979	71	109
NK35-15			3,6	600	925	106	163
NK35-20			3,6	565	870	141	218
NK35-25			3,6	530	816	176	272

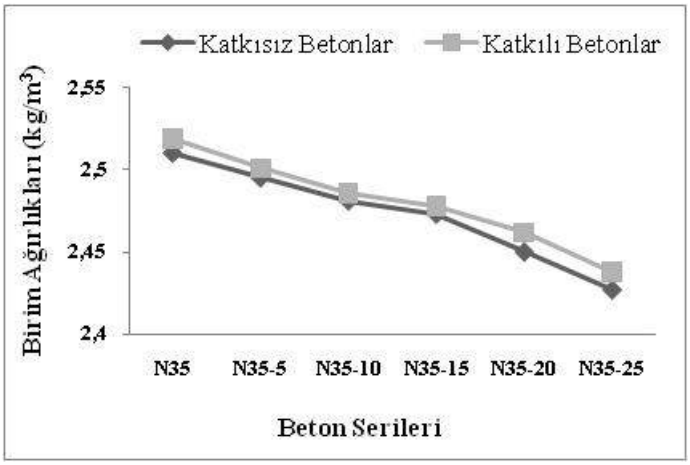
Karışıma giren agrega, mermer, su ve çimento üretilecek betonun koduna göre önceden tartılıp hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi (Özel 2007)'deki gibi 30 s kuru (iri agrega, ince agraga, bağlayıcı madde), 90 s (ilk bir dakika su ilavesi), 60 s dinlenme ve 120 s karışım olmak üzere toplam 300 s'de (5 dk) yapılmıştır. Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere sarsma tablası üzerindeki 10×10×10 cm boyutlu küp kalıplara harç üç aşamada konmuş ve her aşamada 10 saniye sarsma tablası aleti ile sarsılmıştır. Numunelerin üstü ıslak keten örtü ile örtülerek 24 saat kalıp içinde bırakılmış, bu sürenin sonunda lastik takozlar yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Beton numuneler kalıptan çıkarılarak 20±3 °C ve 90±5 bağıl nem ortamında deneylerin yapılacağı zamana kadar kür edilmiştir. Hazırlanan beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının ölçümü "Hot Wire" yönteminden yararlanılarak geliştirilen Shotherm QTM-D_2 cihazı ile yapılmıştır. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları beton dayanım test cihazında TS EN 12390-3 standartlarına göre yükleme hızı saniyede 0,35 MPa olacak şekilde yapılmıştır. Ultrases hız ölçümü ise 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli Ultrases ölçme aleti ile yapılmıştır. Schmidt çekici sertlik deneyinde N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Aşınma deneyi için TS EN 14157'ye göre 71 mm ebatlarında küp numuneler önce 105 °C de kurutularak tartılmış daha sonra Böhme yüzey aşındırma aletinde yüzey aşındırma deneyine tabi tutulmuştur.

3 BULGULAR

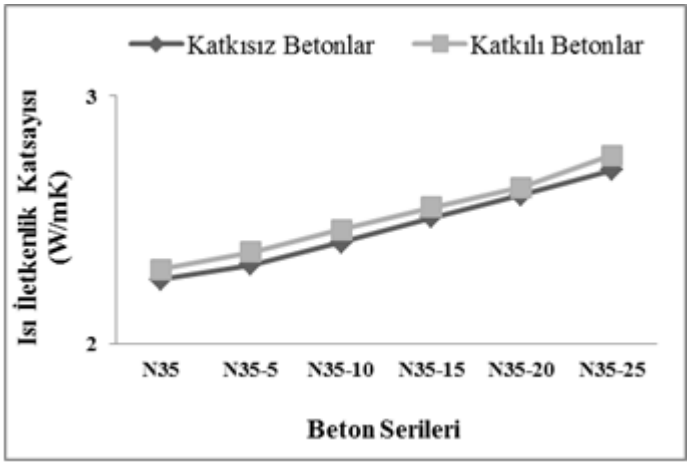
Atık mermerli betonların birim ağırlıkları, su emmeleri, basınç dayanımları, ultrases hızları, schmidt sertlikleri, aşınma kaybı ve ısı iletkenlik katsayısı sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

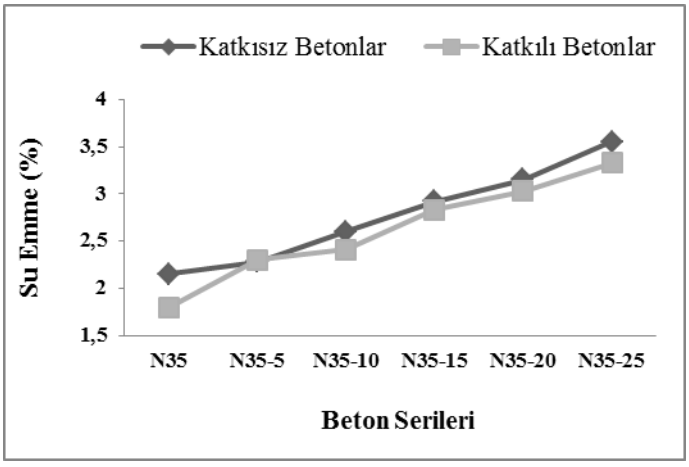
Beton Serisi	Birim Ağırlıkları (kg/m^3)	Su Emme (%)	Basınç Dayanımı (MPa)			Ultrases Hızları (km/s)	Schmidt Sertlikleri	Böhme Yüzey Aşınma Kaybı ($cm^3 50cm^2$)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
			7 günlük	28 günlük	90 günlük				
N35	2,510	2,15	54,16	56,33	61,12	4,88	36,60	21,62	2,26
N35-5	2,495	2,28	52,26	53,24	58,33	5,05	34,60	21,16	2,32
N35-10	2,481	2,60	49,69	52,11	55,41	5,09	29,80	20,02	2,41
N35-15	2,473	2,92	43,63	50,50	54,13	5,17	32,00	19,54	2,51
N35-20	2,450	3,15	41,09	47,67	50,08	4,91	32,00	19,46	2,60
N35-25	2,427	3,55	40,54	43,21	44,14	5,09	32,80	18,90	2,70
NK35	2,519	1,80	55,58	57,23	62,48	4,99	36,80	20,36	2,30
NK35-5	2,501	2,30	57,42	54,85	58,91	5,06	35,80	19,38	2,37
NK35-10	2,486	2,41	52,40	54,80	58,01	5,18	31,20	18,82	2,46
NK35-15	2,478	2,83	48,47	54,15	56,08	5,22	32,20	18,34	2,55
NK35-20	2,462	3,03	45,58	52,31	55,95	5,24	32,40	18,29	2,63
NK35-25	2,438	3,33	46,61	48,91	48,95	5,28	32,80	17,66	2,76



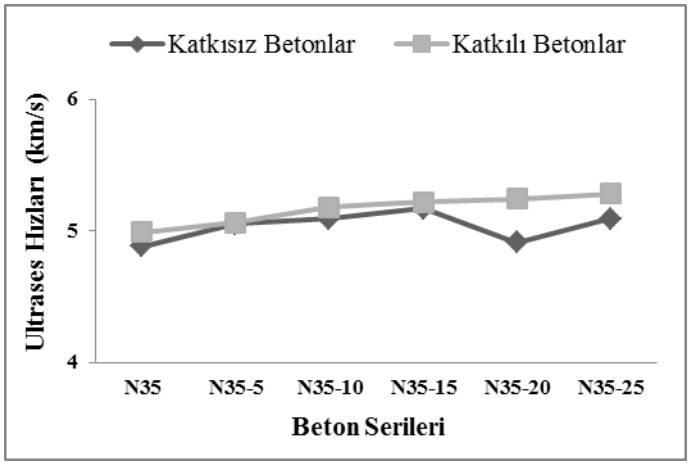
Şekil 2. Üretilen betonların birim ağırlıkları



Şekil 4. Üretilen betonların ısı iletkenlik katsayısı

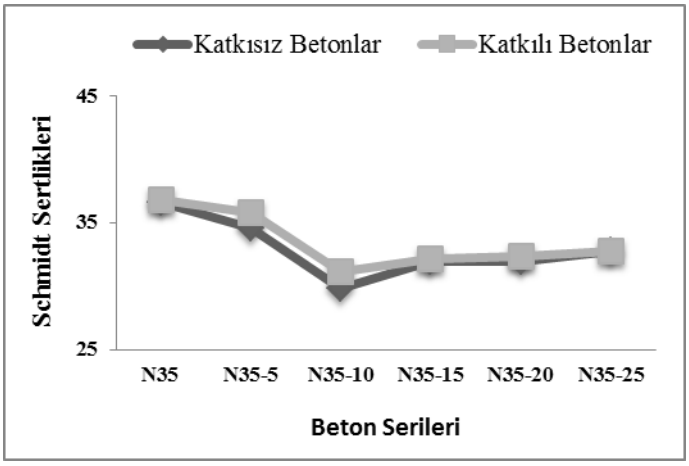


Şekil 3. Üretilen betonların su emmesi

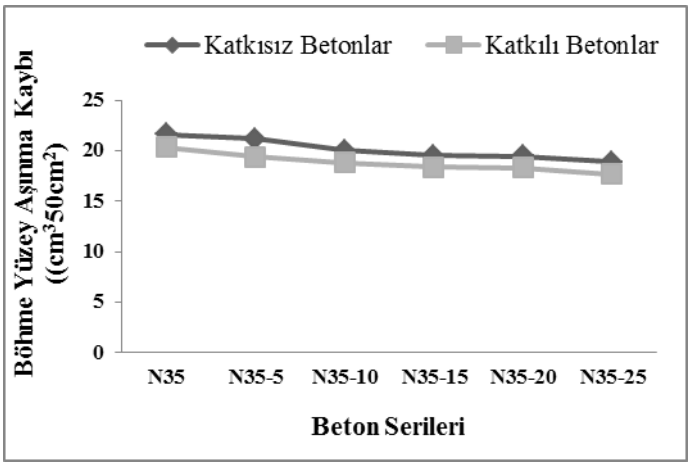


Şekil 5. Üretilen betonların ultrases hızları

Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan atık mermer oranı arttıkça beton numunelerinin birim ağırlık değerlerinde azalma gözlenmekte iken, su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayılarında ise artış görülmektedir (Şekil 2-4). Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan atık mermer oranı arttıkça beton numunelerinin ultrases hızlarının arttığı görülmektedir (Şekil 5). Üretilen beton numunelerde atık mermer oranı arttıkça schmidt sertlikleri ve yüzey aşınmalarında bir düşüş görülmektedir (Şekil 6-7).

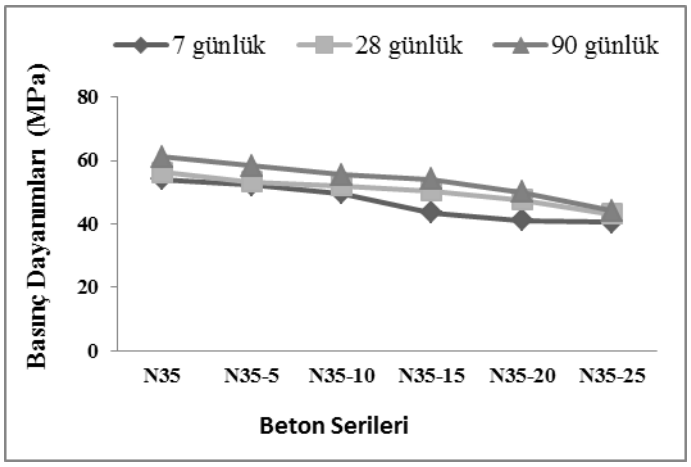


Şekil 6. Üretilen betonların schmidt sertlikleri

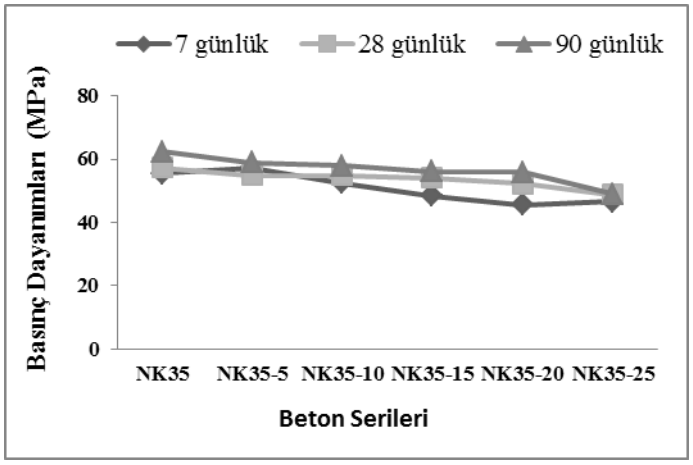


Şekil 7. Üretilen betonların böhme yüzey aşınma kaybı

Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan atık mermer oranı arttıkça beton numunelerinin basınç dayanımlarında azda olsa bir düşüş görülmektedir ancak hedeflenen basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir. Ayrıca katkılı betonların basınç dayanımlarını katkısız betona göre daha yüksek çıktığı görülmektedir (Şekil 8-9).



Şekil 8. Üretilen katkısız betonların basınç dayanımları



Şekil 9. Üretilen katkılı betonların basınç dayanımları

4 SONUÇLAR

Agrega yerine kullanılan atık mermer oranı arttıkça betonların basınç dayanımlarında azda olsa bir düşüş görülmekte ancak hedeflenen basınç dayanımlarına ulaştıkları görülmektedir. Katkı kullanılmasının atık mermerli betonlarda basınç dayanımına önemli bir katkı sağladığı görülmektedir. Agrega yerine kullanılan atık mermer oranı arttıkça beton numunelerinin birim ağırlık değerlerinde azalma gözlenmekte iken, su emme oranı, ultrases hızları ve ısı iletkenlik katsayılarında ise artış görülmektedir. Mermerlerin ısıl iletkenlik katsayısının normal betona göre yüksek olması bu sonucu doğurmuştur. Üretilen beton numunelerinde agrega yerine kullanılan atık mermer oranı

arttıkça beton numunelerinin ultrases hızlarının arttığı, schmidt sertlikleri ve yüzey aşınma kayıpları ise azaldıkları görülmektedir

Sonuç olarak; kulanılan agreganın %25'i oranına kadar atık mermer kullanımıyla istenilen standartlarda katkılı beton üretilebileceği görülmüştür. Atık mermerlerin beton içinde kullanılması ile ülkemizde hızla artış gösteren mermer sektörünün atık sorununa ve çevre kirliliği sorunlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

As Çimento, 2010. CEM I 42,5 R Çimentosunun Kimyasal Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, As Çimento Fabrikası, Bucak-Burdur.

Baradan, B., 1997. Yapı Malzemesi II Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

Ceylan, H., 2000. Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Neville, A.M., 1993. Properties of Concrete, ISBN 0-582-23070-5, 3rd edition London.

Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özeliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Doktora Tezi, Isparta.

Sarıkaya, H., 2014. Bor Katkılı Özellikli Beton Üretimi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, Isparta.

Uğur, İ., 1996. Parça Mermer Atıklarının Değerlendirilebilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

TS EN 206-1, Beton-Bölüm 1:Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 68 s., Nisan, Ankara.

TS 802, 1985. Beton Karışım Hesapları. Türk Standartları Enstitüsü, Nisan, Ankara.

TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14157, Doğaltaş – Aşınma Direncinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Mermer, Bej ve Traverten Bloklarında Plaka Veriminin Ultrasonik Ölçümlerle Analizi

Analysis of Plate Efficiency by Ultrasonic Measurement on Marble, Beige and Travertine Blocks

A. Sakcalı, H. Yavuz
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

Ş. Şahin
Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Mermer ocaklarında üretilen doğal taş blokları plaka ve fayans boyutunda nihai ürün elde etmek amacıyla fabrikalara taşınmaktadır. Doğal taş blokları fabrikalardaki ST ve katraklarda endüstrinin talebi doğrultusunda farklı boyut ve kalınlıkta plakalar halinde kesilmekte, boyutlandırılmakta ve yüzey işleme işlemine tabi tutulmaktadır. Doğal taş bloklarındaki süreksizliklerden dolayı kesim sırasında kırılma ve çatlamalar meydana gelmekte ve elde edilen plaka sayısının azalmasına neden olmaktadır. Blok kesiminden sonra elde edilecek plaka sayısı doğal taş bloklarının yüzeyindeki süreksizliklere bakılarak gözlemsel olarak tahmin edilmekte fakat yüzeydeki süreksizliklerin devamlılığı tahmin edilemediği için kesin sonuçlar alınamamaktadır. Bu amaç doğrultusunda doğal taş bloklarındaki süreksizliklerin tahmin edilmesi için ultrasonik yöntem kullanılabilmektedir.

Bu çalışmayla, ultrasonik ölçümlerden elde edilecek veriler kullanılarak plaka veriminin tahmin edilebileceği belirlenmiş olup bu yöntemin doğal taş endüstrisinde kalite kontrolün gerçekleştirilmesinde gözleme dayalı yöntemin yerini alacağı düşünülmektedir. 15 mermer, 15 bej, 16 traverten bloğu olmak üzere toplamda 46 blokta analizler gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, bej, traverten, ultrasonik ölçüm

ABSTRACT Natural stone blocks produced in the marble quarries are transported to the factory in order to obtain the final product in slabs and tiles size. Natural stone blocks are cut into slabs of different sizes and thickness at ST and gang saws in the factory, and then slabs are subjected to sizing and surface treatment in accordance with the demands of the industry. While cutting, breakage or cracking occurs because of discontinuity in the natural stone blocks. And this causes a decrease the number of obtained plates. The number of plate to be obtained after cutting block are estimated as observational by looking for discontinuities in the surface of natural stone block. For this purpose, ultrasonic methods can be used to estimate the discontinuity of natural stones.

In this study, it was determined that plate efficiency of a block can be estimated using data obtained from ultrasonic measurements. It is expected that this method will replace to the method based on the observation. Analyzes were performed on total 46 blocks including 15 marbles, 15 beige, 16 travertine blocks.

Keywords: Marble, beige, travertine, ultrasonic measurement

1 GİRİŞ

1.1 Kalite Kontrol Sürecinin Önemi

Mermer fabrikalarında mermer bloklarından plaka (levha) üretiminde plaka kaybının az olması arzu edilir. Bu amaç doğrultusunda enerji sarfiyatının da optimum seviyede tutularak bloktan maksimum kazanç sağlanması hedeflenmektedir. Homojen ve izotropik bir kayaçta bu kazanç maksimum olacakken çoğu sert taşlar hariç doğal taşlar renk, doku ve yapı bakımından homojen değildir. Bu nedenle, bu kayıpların tespit edilmesi satış planlamasında maksimum kar elde ettirecektir. Sağlam ve çatlaksız, düzgün yüzeyli ve geometrik şekildeki bloklardan maksimum kazanç elde edileceği için bloğun kalite kontörlü ocak işletmesinde başlar (Akçakoca vd., 2003). Bu nedenle kalite kontrol sürecinde kesime girecek bloğun seçimi büyük önem taşımaktadır. Mermercilikte önemli bir parametre olan kalite kontrolü çeşitli yöntemlerle yapmak mümkündür.

Homojenlik aynı blokta çoğu zaman farklılıklar gösterir. Bu nedenle, doğal taş cinsinin genel karakteristik özelliklerine göre blok kalite kontrolü yapılmalıdır. Bloğun kusursuz olması (kırık ve çatlak içermemesi) doğal taş kesme makinalarının verimliliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bloklardaki süreksizlikler (kırık, çatlak, fissür ve mikro fissürler) blok kalite kontrolünde son derece önemlidir. Kalite kontrol sürecinde bloklardaki kırık ve çatlaklıklar diğerlerinden daha büyük önem arz etmektedir. Mermer, makina-ekipmanlar ve maliyetler arasındaki ilişki kadar, bloğun homojenliği de ürünün devamlılığı ve temini açısından da son derece önemlidir (Karaca, 2003).

1.2 Doğal Taşların Kalitesinin Tespitinde Ultrasonik Yöntemin Kullanılması

İnşaat, tıp, elektronik, metal, vb. birçok alanda ultrasonik yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, tarihi yapılardaki doğal yapı taşlarında çatlak derinliğinin ultrasonik yöntemle belirlenebileceği (Christaras, 2003) ve kaya kalitesi sınıflamada ultrasonik yöntemin kullanılabileceği (Topal ve Doyuran, 1996) vurgulanmıştır.

Dearman vd. (1987), King vd. (1995), Sarpün (1998), Kahraman (2002), Prassianakis ve Prassianakis (2004), Sarpün (2004), Leucci ve De Giorgi (2006), Kahraman (2007), Toprak (2009) yaptıkları çalışmalarda kaya kütlesinde ultrasonik yöntemi kullanmışlardır.

Ayrıca, büyük boyutlardaki doğal taş bloklarında ultrasonik yöntem kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalara Keskin (1994), Onur ve Bakraç (1997), Bramanti ve Bozzi (2001), Kahraman vd. (2007) örnek olarak verilebilir..

Bu çalışmada, 3 farklı türdeki doğal taş bloklarında plaka veriminin ultrasonik ölçümlerle tespit edilebilirliği araştırılmıştır. Bloklardan elde edilen plakaların verimi belirlenerek ultrasonik hızlarla ilişkisi ortaya konmuştur.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Düz Testereli Makineler (Katraklar)

Mermer ocak işletmesinde farklı yöntemlerle üretilen doğal taş blokları istenilen kalınlıkta levhalara ayrılmaları testere, tel veya kemer kesim sistemine sahip makinelerle yapılır. Bunlardan düz testere sistemiyle çalışan makinelere katrak (cut rock, gang saw, frame saw veya gang saw mill) adı verilmektedir. Katraklar kesme cinsine, yöntemine ve yönüne göre farklı şekillerde isimlendirilirler (Kulaksız, 2007). Çalışmanın yapıldığı bloklarda kesimi gerçekleştiren katrak lamalar arası mesafeye göre adlandırılmış 3'lük kasalı katraktır. Şekil 1'de katrağın kesim anından bir görüntü verilmiştir.

Şekil 1. Kesimi gerçekleştiren katraktan bir görünüm.

Katrak motorunun dönüş hızı motor akımı ayarlanarak gerçekleşir. Kesim hızı kesilecek doğal taş türüne göre farklılıklar gösterir. Sert doğal taş bloklarında kesim hızı düşük olacağından motor akımı artırarak devir sayısı artırılırken kesimi kolay olan doğal taş bloğunda akımı azaltarak devir sayısı azaltılmaktadır. Yani akım kontrolü ile katrağın kesim hızı ayarlanmaktadır. Çizelge 1'de çalışılan doğal taş türünde katrağın devir sayısı ve kesim hızları verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışılan doğal taşların kesimi gerçekleştirilirken katrağın kesim hızları.

Doğal taş türü	Katrak devir sayısı (d/dk)	Katrak kesim hızı (cm/h)
Hakiki mermer	18-25	15-20
Bej	15-20	20-25
Traverten	35-40	30-35

2.2 Plaka Veriminin Hesaplanması

Doğal taş bloklarından katrak kesimi sonunda teorik olarak elde edilmesi gereken plaka sayısı Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n_t=M/(s+w) \quad (2.1)$$

Burada; n_t: Teorik plaka sayısı, M: Bloğun katrak kesim yönüne dik yöndeki uzunluğu (cm), s: Lamalar arası mesafe (cm), w: Soket kalınlığı (cm)'dır.

Bir bloğun plaka verimini, katraktan çıkan sağlam plaka sayısının Eşitlik 2.1'den hesaplanan teorik plaka sayısına oranı olarak tanımlayabiliriz. Bir bloktan elde edilen plaka verimi Eşitlik 2.2'den hesaplanmıştır.

$$PV=(n_ç/n_t) \times 100 \quad (2.2)$$

Burada; PV: Plaka verimi (%), $n_ç$: Bloktan elde edilen sağlam plaka sayısı, n_t: Teorik plaka sayısıdır.

2.3 Doğal Taşların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çalışmalar Elazığ Vişne Hakiki Mermer, Aksu Nordik Bej, Aksaray Traverten cinsi doğal taş bloklarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri TS EN 14579, TS 699 (2009) standartlarına göre belirlenmiştir. Standartlarda belirtilen şekilde yapılan laboratuvar deneyleri ile belirlenen fiziko-mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir (Sakcalı, 2013).

Çizelge 2. Çalışılan doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri.

Doğal taş	Birim hacim ağırlık (d_h) (g/cm^3)	Görünen porozite (P_g) (%)	Kütlece su emme oranı (S_k) (%)	Numune P-dalga hızı (V_{pn}) (m/s)	Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) (MPa)	Schmidt sertliği
Elazığ Vişne Mermer	2,651±0,019	1,428±0,272	0,539±0,105	5389±560	53,2±3,8	37,19±0,61
Aksu Nordik Bej	2,711±0,005	0,359±0,046	0,132±0,017	6164±307	105,7±12,1	32,65±1,06
Aksaray Traverten	2,304±0,038	7,978±0,850	3,468±0,419	4100±148	36,8±6,4	15,22±0,15

2.4 Bloklarda Ultrasonik P-dalga Hızının Ölçümü

Pundit 7 marka ultasonik P-dalga geçiş süresi ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik boyuna gerilme dalgalarının darbe yayılma hızını ölçmek için Pundit (Taşınabilir Dijital Ultrasonik Tahribatsız Belirteç Cihazı) kullanılabilir.

UPV (Ultrasonik dalga hızı) test metodu kayaçlar için ASTM (1994), ISRM (1981),

ve TS EN 14579 standartlara göre yapılır. Test yöntemi, tahribatsız bir yöntem olup aynı noktadaki UPV değişikliklerini belirlemek için deneyleri aynı noktalarda gerçekleştirmek mümkündür.

Ultrasonik sinyal bir sinyal verici prob vasıtasıyla doğal taşın bir yüzeyinden (jel veya gres yağı tarafından verici ve doğal taş arasında boşluk kalmayacak şekilde) gönderilir. Sinyal doğal taşı geçer ve doğal taşın diğer yüzeyinden alıcı prob vasıtasıyla alınır. Sinyalin geçiş süresi gönderilen ve alınan sinyal arasındaki zaman farkı ile cihaz tarafından belirlenir (Germann Inst., 2012). Şekil 2'de ölçümlerin gerçekleştirildiği cihaz gösterilmiştir.

Şekil.2. P-dalga hızı ölçüm cihazı.

P-dalga hızının belirlenmesi için zaman (t_{prob}) bileşeninin yanı sıra yol (x_{prob}) bileşeni gereklidir. Problar arası mesafe ölçülmüş ve Eşitlik 2.3 kullanılarak bloğun P-dalga hızı hesaplanmıştır.

$$V_{pb} = (x_{prob} / t_{prob}) \times 10^4 \qquad (2.3)$$

Burada; V_{pb}: Bloğun P-dalga hızı (m/s), x_{prob}: Problar arası mesafe (cm), t_{prob}: Sinyal geçiş süresi (μs)'dir.

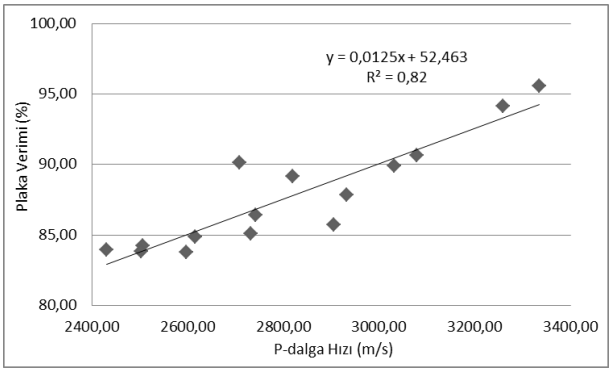
Bloklar üzerinde gerçekleştirilen P-dalga hızı ölçümleri; standartlarda belirtildiği gibi direkt ve yarıdirekt yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. 6 farklı ölçüm şekliyle (boyuna direkt, enine direkt, boyuna çapraz, enine çapraz, sabit yarıdirekt, uzaktan yakına yarıdirekt) ölçümler yapılmıştır. Bloklar üzerindeki iki ölçüm noktası arasındaki mesafe blok yüzeyinin durumuna göre 15-50 cm arasında seçilmiştir (Sakcalı, 2013).

3 DEĞERLENDİRMELER

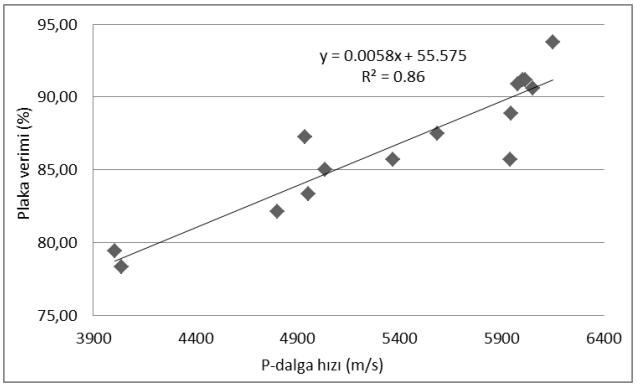
Çalışmada katrak kesimi yapılan doğal taş bloklarının plaka veriminin bloklarda yapılan P-dalga hızı ölçümleri ile tahmin edilebilirliği incelenmiştir. Çalışmalar 2 aşamada gerçekleştirilmiş olup; birinci aşamada katrak kesimine girecek blokta ultrasonik P-dalga hızları ölçülmüş, ikinci aşamada ise bloğun plaka verimi hesaplanmıştır.

Blokların P-dalga hızları 6 farklı ölçüm yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve bloğun ortalama P-dalga hızı analizlerde kullanılmıştır.

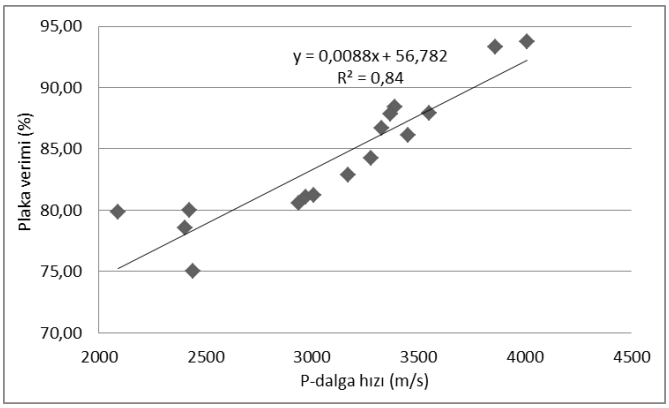
15 hakiki mermer (Elazığ Vişne Mermer), 15 bej (Aksu Nordik Bej), 16 traverten (Aksaray Traverten) bloğunda ölçümler gerçekleştirilmiş olup 3 farklı doğal taş türünde P-dalga hızı ile bloğun plaka verimi arasında lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Şekil 3'de Elazığ Vişne Mermer, Şekil 4'de Aksu Nordik Bej, Şekil 5'te ise Aksaray Traverten bloklarında P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 3. Elazığ Vişne Mermer bloklarında P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişki.



Şekil 4. Aksu Nordik Bej bloklarında P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişki.



Şekil 5. Aksaray Traverten bloklarında P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişki.

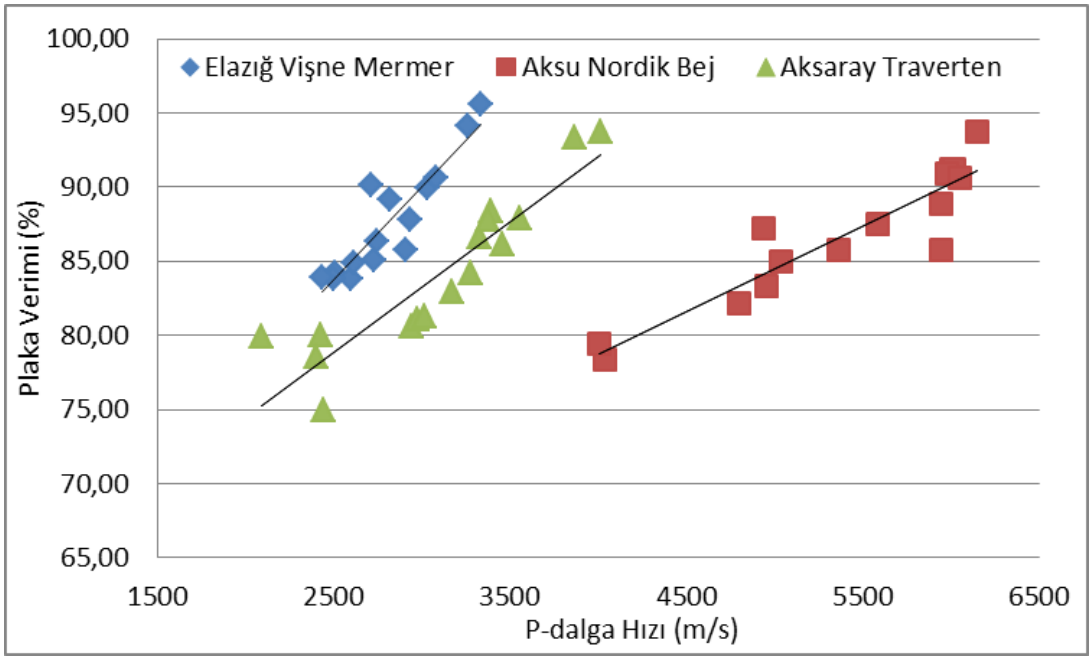
Her tür kendi içerisinde değerlendirildiği zaman lineer bir ilişkiden bahsedilebileceği 3 farklı tür birlikte değerlendirildiğinde bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Şekil 6'te Elazığ Vişne Mermer, Aksu Nordik Bej, Aksaray Traverten, bloklarının P-dalga hızı ile plaka verimi ilişkisi gösterilmiştir.

Elazığ Vişne Mermer, Aksu Nordik Bej, Aksaray Traverten bloklarında gerçekleştirilen çalışma ile P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişkiler Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. Çalışılan doğal taşların P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişkiler

Kayaç	**Lineer Denklem**	**Korelasyon Katsayısı (r)**
Elazığ Vişne Mermer	y=0,0125x+52,463	0,93
Aksu Nordik Bej	y=0,0058x+55,575	0,93
Aksaray Traverten	y=0,0088x+56,782	0,91

Mermer ocaklarından mermer, bej, traverten blok alımı gerçekleştirecek fabrikalar; ön ölçüm değerlendirmelerinden sonra, o türden alacağı bloğun plaka verimini P-dalga hızı ile ocak işletmesinde belirleyebilir ve dolayısıyla verimi önceden tahmin ederek maliyeti hesaplayabilir.



Şekil 6. Elazığ Vişne Mermer, Aksu Nordik Bej, Aksaray Traverten bloklarında P-dalga hızı plaka verimi arasındaki ilişki

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mermer, bej ve traverten bloklarının plaka verimliliği ultrasonik P-dalga hızı verileri kullanılarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bulguları şu şekilde özetlemek mümkündür.

- Bir bloğun plaka verimi tahribatsız bir yöntem olan ultrasonik yöntemle tespit edilebilir.
- Kalite değerlendirmesine dolayısıyla maliyet analizine ocak işletmesinde başlanabilir.

- Her tür kendi içerisinde değerlendirildiğinde, mermer, bej ve traverten bloklarının plaka verimi ile P-dalga hızı arasında lineer bir ilişkiden bahsedilebilir.
- Bir ocak işletmesinden doğal taş bloğu alacak fabrika işletmecisi ön incelemeler gerçekleştirdikten sonra alacağı bloğun plaka verimini ultrasonik yöntemi kullanarak tahmin edebilir.

KAYNAKLAR

ASTM, 1994. Annual Book of ASTM Standarts-Construction: Soil and Rock, ASTM Publications, 4 (8), 978.

Akçakoca, H., Uysal, Ö., Topal, İ., 2003. Mermerlerin Kalite Kontrol Süreci Açısından Tekno-Mekanik Özelliklerinin Önemi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 475-495.

Bramanti, M., Bozzi, E., 2001. A Procedure to Detect Flaws Inside Large Sized Marble Blocks by Ultrasound, Subsurface Sensing Technologies and Applications, 2 (1), 1-13.

Christaras, B., 2003. P-Wave Velocity and Quality of Building Materials, Proceedings of International Symposium on "Industrial Minerals and Building Stones", 295-300.

Dearman, W.R., Turk, N., Irfan, Y., Rowshanei, H., 1987. Detection of Rock Material Variation by Sonic Velocity Zoning, Bulletin of International Association Engineering Geology, 35, 3–8.

Germann Instruments, 2012, Erişim Tarihi: 22.07.2012.www.germann.org/TestSystems/PUNDIT/PUNDIT.pdf

ISRM, 1981. Rock Characterisation, Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods, Pergamon, Oxford, 211.

Kahraman S., 2002. The Effects of Fracture Roughness on P-wave Velocity, Engineering Geology, 63, 347-350.

Kahraman, S., 2007. The Correlations Between the Saturated and Dry P-wave Velocity of Rocks, Ultrasonics, 46, 341-348.

Kahraman, S., Ulker, U., Delibalta, M.S., 2007. A Quality Classification of Building Stones from P-wave Velocity and Its Application to Stone Cutting with Gang Saw, The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, 107, 427-430.

Karaca, Z., 2003. Mermer Blok Kalite Kontrolü, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 497-503.

Keskin, N., 1994. Ultrases ile Mermerlerde Süreksizlik Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 93s.

King, M.S., Chaudhry N.A., Shakeel A., 1995. Experimental ultrasonic velocities and permeability for sandstones with aligned cracks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 32 (8), 155-163.

Kulaksız, S., 2007. Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 634s. Ankara.

Leucci, G., De Giorgi, L., 2006. Experimental Studies on the Effects of Fracture on the P and S-wave Velocity Propagation in Sedimentary Rock ("Calcarenite del Salento"), Engineering Geology, 84, 130-142.

Onur, A.H., Bakraç, S., 1997. Mermer Bloklarında Mevcut Çatlak ve Kırıkların Pundit Cihazı ile Tespiti, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 19-29.

Prassianakis, I.N., Prassianakis, N.I., 2004. Ultrasonic Testing of Non-metallic Materials: Concrete and Marble, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 42, 191-198.

Sakcalı, A., 2013. Mermer blok kalitesinin ultrasonik yöntemle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 116s.

Sarpün, İ.H., 1998. Ultrases ile Mermer Blokların İç Yapısının ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 68s.

Sarpün, İ.H., 2004. Ultrases Yöntemi ile Çeşitli Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 130s,.

Topal, T. and Doyuran V., 1996. Ultrasonic Testing of Artificially Weathered Cappadocian Tuff, Proceedings of the Congress LCP '95: Preservation and Restoration of Cultural Heritage, Montreux, Switzerland, 205-211.

Toprak, H., 2009. Bazı Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Ultrasonik Metotlarla Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 88s.

TS EN 14579, Doğal taşlar - Deney metotları - Ses hızı ilerlemesinin tayini.

TS 699, Mart 2009. Türk Standardı, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri.

Mikrodalga ile Isıtma, Toplayıcı ve Köpürtücünün Düşük Ranklı Kömür Flotasyonuna Etkisinin İstatistiksel Analizi

Statistical Analyse of Effects of Microwave Pretreatment, Collector and Frother on Low Rank Coal Flotation

O.Yılmaz, O. Şahbaz, A.Uçar
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya-Türkiye

M. Çınar
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Çanakkale-Türkiye

ÖZET Sunulan bu çalışmanın amacı; büyük bir çoğunluğu linyit olan ülkemiz kömürlerinin fiziksel ve fiziko-kimyasal yöntemler kullanarak kül içeriklerini azaltmak suretiyle kalitesini artırarak kullanım alanlarını geliştirmektir. Böylece özellikle termik santraller ve çok az miktarda da ısınma amaçlı kullanılabilen ülkemiz linyitlerinin katma değeri yüksek alanlarda kullanıma uygun seviyeye getirilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada Kütahya-Tunçbilek'ten getirtilen düşük kalitede kömür (linyit) numunesi kullanılmıştır. Bu linyit numunesinin kül içeriği %24.17'dir. Çalışmada toplayıcı ve köpürtücü miktarlarının etkileri mikrodalga ile ön ısıtma ile birlikte tam faktöriyel deney tasarımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde Tunçbilek numunesinin kül içeriği %77 yanabilir verimle %20'lere düşürülmüştür. Mikrodalga ile ön ısıtmanın Tunçbilek kömüründe önemli etkisi ortaya çıkmış olup en büyük etki toplayıcı miktarında olmuştur.

Anahtar kelimeler: Kömür flotasyonu, toplayıcı, köpürtücü, düşük rank, Tunçbilek

ABSTRACT The present study is to performed for providing an improvement on low rank coal by the use of physical and physico-chemical methods. Thus, It was thought that the usage area of the low rank coal could be widened. Therefore; low rank coal, lignite, were used in the study from Kütahya-Tunçbilek. The ash content of the sample was 24.17%. In the study, the effects of collector, forther and microwave pretreatment were investigated in terms of flotation performance by using the full factorial design of experiment method. According to results, the ash content of the Tuncbilek was reduced to about 20% with the combustible matter recovery of 77%. As results, microwave pretreatment was significantly effective on Tuncbilek sample, while the most effective parameter was found as collector.

Keywords: Coal flotation, collector, frother, low rank, Tunçbilek

1 GİRİŞ

Enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanmasında temiz kömür teknolojilerinin önemli bir yer tuttuğu yadsınamaz bir gerçektir. Diğer enerji kaynaklarının rezervleriyle karşılaştırıldığında oldukça büyük rezervlere sahip olunan kömür, ekonomikliği, teminindeki güvenirlik, fiyat istikrarı gibi nedenlerden ötürü gelecekte de önemini devam ettirecektir. 2000'li yıllara girildiğinde dünya taşkömürü ve linyit üretimi 5 milyar ton seviyelerindeyken toplam kömür ticaretinin 550 milyon ton olması ve Avrupa Birliği'ndeki 2020 yılı enerji talep projeksiyonunda enerji kaynakları payındaki en büyük artışın kömür de olması bu fosil yakıtın önemini ortaya koyan örneklerdendir (DPT, 8. Beş yıllık kalkınma planı). Kömürün bu önemini

önümüzdeki yüzyılda da sürdüreceği yapılan araştırmalarda ortaya çıkmaktadır.

Dünya'dakinin aksine ülkemiz kömürleri genelde düşük kalorifik değerli ve/veya alt-bitümlü kömür kategorisine girmektedir. Kömür rezervlerindeki büyük payı 12 milyar ton (MTA, 2013) ile linyitler almaktadır. Ülkemizde üretilen linyitlerin ise %80'i termik santrallerde, %20'si ise ısınma ve sanayide tüketilmektedir. Bu kömürlerin daha verimli kullanılması için bunların koklaştırma, briketleme, gazlaştırma vb. gerekmekte olup, bunun için de kömür ile birlikte bulunan kül yapıcı maddelerin uzaklaştırılması ve kömürdeki meserallerin birbirlerinden ayrılması gerekmektedir. Bu ayrım için yeni yöntemlerin geliştirilip etkinliklerinin araştırılması, mevcut bazı bilimsel çalışmaların ülkemiz kömürlerine uygulanması hem ekonomik hem de bilimsel açıdan bir gerekliliktir.

İnce boyutlu kömürden istenmeyen safsızlıkların uzaklaştırılmasında en önemli yöntemlerden biri olan flotasyon, uzun zamandır araştırmacıların çalışma konusu olmuştur (Aktaş ve Woodburn, 1995; Ateşok et al., 2001; Cebeci, 2002; Polat vd., 200; Ahmed ve Drzymala, 2004; Özbayoğlu ve Kemal, 2014;). Toplayıcı, tane boyutu, köpürtücü, bastırıcı, pH vb. parametrelerin flotasyon verimi ve kül uzaklaştırmadaki etkileri araştırılarak optimum flotasyon koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca son dönemde yapılan çalışmalara göre ise ısıl aktivasyon da kömür flotasyonunu olumlu yönde etkileyen önemli bir parametredir (Çelik ve Seyhan, 1995; Çınar, 2009; Özbayoğlu vd. , 2009). Mikrodalga ile ısıl aktivasyon ise son dönemde araştırmacıların üzerinde durmaya başladığı bir konudur (Özbayoğlu vd. , 2009; Xia vd., 2013; Weil vd., 2011).Araştırmacılar, özellikle oksitlenmiş kömürlerin mikrodalga ile ısıl aktivasyonu sonrasında flotasyon verimlerinin arttığını belirtmişlerdir (Özbayoğlu vd. , 2009; Xia vd., 2013).

Birçok araştırmacı, optimum flotasyon şartlarının belirlenmesinde istatistiksel yöntemleri de kullanmaktadırlar (Naik vd., 2003 ve 2005; Kelebek vd., 2007; Vapur vd., 2010; Şahbaz, 2013). İstatistiksel deney tasarım metotları özellikle parametrelerin ana etkileri yanında birbirleriyle olan ikili ve üçlü etkileşimlerinin flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma üzerindeki etkisini ortaya çıkarması açısından oldukça önemli sonuçlar vermektedir. Birçok araştırmacıya göre gerçek optimum değerlere ulaşmak istatistiksel yöntemler kullanmadan sadece klasik yöntemlerle pek mümkün değildir.

Bu çalışmanın amacı; ülkemiz önemli linyit yataklarından bir olan Tunçbilek Linyitlerinin mekanik hücrede flotasyonunu istatistiksel yöntemler kullanarak analiz etmektir. Böylece, flotasyona etkili olan parametreler belirlenerek optimizasyon için de bir alt yapı oluşturulacaktır. Bunun için numune üzerinde ilk defa faktöriyel deney tasarımı uygulanarak seçilen parametrelerin (toplayıcı, köpürtücü ve mikrodalga ile ısıl aktivasyon) flotasyon verimi ve kül uzaklaştırma üzerindeki ana ve ikili etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan linyit numunesi Kütahya-Tunçbilek bölgesinden temin edilmiştir. Dumlupınar Üniversitesi Cevher Hazırlama Laboratuarına getirilen numune öncelikle çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılarak boyut küçültme işlemine tabi tutulup boyutu 1 mm altına indirilmiştir. Ardından numune bölme yöntemleriyle eşit parçalara bölünerek 500'er g'lık poşetlerde derin dondurucuda oksitlenmeyi önlemek amacıyla depolanmıştır. Flotasyon çalışmaları öncesi 500 g'lık temsili numuneler derin dondurucudan alınarak sırası geldikçe flotasyon ve ısıl işlem+flotasyon testlerine tabi tutulmuştur. Flotasyon deneyleri öncesi numune boyutu bilyeli değirmende 70 dev/dak'lık (değirmen kritik hızının %70'i) değirmen dönüş hızında boyutu (d_{80}) 245 mikrometre olacak şekilde öğütülmüştür. Numunelerin ortalama kül oranı %24 civarındadır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Mikrodalga işlemi

Mikro dalga işlemiyle linyit kömürünün içerdiği nemin uzaklaştırılarak hidrofobisitesinin artırılıp flotasyon işlemleri üzerine olan etkisinin araştırılması amacıyla flotasyon deneyleri öncesi linyit numunesi 1200 W ve 2450 MHz'lik mikrodalga fırında sırasıyla 1 ve 2 dakika mikrodalgaya maruz bırakılmıştır.

2.2.2 Flotasyon testleri

Flotasyon çalışmaları mekanik flotasyon hücresinde (1 L kapasiteli) %10 katı oranında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda toplayıcı olarak gaz yağı, köpürtücü olarak ise Amerikan Cytec firmasının AF65 kodlu poliglikol tipi köpürtücü reaktifi kullanılmıştır.

Bu çalışmada mikro dalga ile ısıl işlemin etkilerini belirlemenin yanında toplayıcı ve köpürtücünün flotasyon testlerine ana etkilerini görebilmek ve bu üç parametrenin birbirleriyle olan etkileşimlerini saptayabilmek amacıyla istatistiksel deney tasarımı kullanılmıştır.

İstatistiksel Deney Tasarımı: Klasik deney tasarımı ile farklı olarak istatistiksel deney tasarımı yöntemi farklı parametrelerin eş zamanlı olarak ana etkilerini ve birbirleriyle etkileşimlerinin bulunmasını sağlamaktadır.

Çalışmalarda üç farklı parametrenin yanabilir verim ve kül üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu parametreler; toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve mikro dalga ile numunelerin ön ısıtma süresidir. Burada üç farklı parametre için aşağıdaki tabloda verildiği şekilde bir deney tasarımı uygulanmıştır (Tablo 1) .

2.2.3 İstatistiksel deney tasarımı

Deneysel çalışmalarda parametrelerin etkilerini belirleyebilmek için 2^3 tam faktöriyel deney tasarım uygulanmıştır. Seçilen üç parametrenin düzeyleri Tablo 1'de verildiği gibidir. Tablo 1'deki -1, 0 ve +1 sırasıyla parametrelerin düşük, orta ve yüksek düzeylerini ifade etmektedir. Deney tasarımı oluşturulurken her bir parametrenin üç düzeyi de dikkate alınarak flotasyon testleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Parametreler ve düzeyleri

Parametreler	Kod	Düzey		
		-1	0	+1
Toplayıcı (gaz yağı), gr/t	X1	390	2340	4290
Köpürtücü (AF65) , ppm	X2	10	20	30
Mikrodalga süresi , dk	X3	0	1	2

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tunçbilek linyit numunesi üzerinde istatistiksel deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyleri ve sonuçları Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2. Deney sonuçları

Deney	X1	X2	X3	Verim	Kül
1	-1	-1	-1	45	19.81
2	+1	-1	-1	54	22.34
3	-1	+1	-1	54	20.33
4	+1	+1	-1	57	21.5
5	-1	-1	+1	43	21.54
6	+1	-1	+1	77	22.82
7	-1	+1	+1	46	19.24
8	+1	+1	+1	66	21.42
9	0	0	0	70	22.7
10	0	0	0	72	22.59
11	0	0	0	70	22.99
12	0	0	0	71	22.49

Parametrelerin ana etkileri ve parametreler arası etkileşimi görmek amacıyla gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları aşağıda verildiği gibidir (Tablo 3).

Tablo 3'te hem verim hem de kül için F ve p değerleri görülmektedir. Parametreler için F değeri ne kadar yüksekse bağımlı değişken olan verim ve kül üzerindeki etkisi de o kadar büyük olmaktadır. p-değerinin ise 0.05'ten küçük olması o parametrenin istatistiksel olarak bağımlı değişken üzerinde anlamlı yani güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Box vd., 1978).

Tablo 3.Varyans analizi sonuçları

	Kül		Verim	
	F-değeri	p-değeri	F-değeri	p-değeri
X_1	137.25	0.0013	719.6	0.0001
X_2	43.26	0.0071	2.6	0.2025
X_3	2.90	0.1874	79.96	0.0030
X_1X_2	0.57	0.5063	66.1	0.0039
X_1X_3	0.15	0.7208	291.4	0.0004
X_2X_3	30.58	0.0116	66.1	0.0039
$X_1X_2X_3$	13.67	0.0343	10.6	0.0474

Buna göre; Tunçbilek numunesi üzerinde gerçekleştirilen flotasyon çalışmasında yanabilir verim üzerinde toplayıcının ve mikro dalga ısıtmanın etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır (büyüktür). Ayrıca parametrelerin ikili ve üçlü etkileri de yanabilir verim üzerinde istatistiksel olarak güçlüdür. Verim üzerinde etkisi en büyük parametre X_1 yani toplayıcıdır. Parametrelerin birlikte etkisi ise verim üzerinde en az etkiye sahip değişken olarak belirlenmiştir.

Tunçbilek numunesi üzerinde yanabilir verim için yapılan regresyon analizi Eşitlik 1'de verildiği gibidir.

$$Y=55.25+8.25X_1+2.75X_3-2.5X_1X_2+5.25X_1X_3-2.5X_2X_3-1X_1X_2X_3 \qquad (1)$$

Eşitlik 1'e göre tüm parametrelerin yanabilir verim üzerindeki ana etkileri pozitif iken, parametrelerin üçlü etkisi negatiftir. Toplayıcı miktarının arttırılmasıyla kömür tanelerinin hidrofobisiteleri artmakta ve dolayısıyla verim değeri artmaktadır. Gaz yağının hidrofobik etkileşim ile yüzeye adsorbe olduğu ve hidrofobluğu artırdığı bilinmektedir (Naik vd., 2005; Şahbaz, 2013). Mikrodalga ile ısıtma yapılmasıyla da verim artmıştır. Bunun nedeninin de numunedeki suyun selektif olarak uzaklaştırılarak hidrofobisitenin artması olarak yorumlanabilir (Çelik ve Seyhan, 1995; Özbayoğlu vd. 2009). Toplayıcı ile köpürtücünün birlikte etkisi negatif olup bu durum iki reaktifin birbirlerini olumsuz etkilemeleri olarak yorumlanabilir. Köpürtücünün etkisi toplayıcı varlığında düşebilmektedir ve her bir parametrenin birlikte etkileri negatifken ana etkileri pozitif olabilmektedir (Naik vd., 2003) Toplayıcı olarak kullanılan gaz yağının köpük yapısını olumsuz etkilediği bilinmektedir (Rao vd., 1982). Kömür yüzeyine adsorbe olmuş olan gaz yağının köpürtücüleri emülsifiye ettiği ve köpük oluşumunu sağlayacak köpürtücü miktarını azalttığı daha önceki çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır (Naik vd. 2005, Rao vd., 1982).

Tunçbilek kömür numunesi kullanılarak yapılan flotasyon çalışmalarına göre; yüzen üründeki kül miktarı üzerinde en etkili parametre toplayıcı olarak bulunmuştur (Tablo 3). Yüzen üründeki kül miktarına toplayıcı miktarı ve köpürtücü miktarı etkileri oldukça büyük çıkarken, mikrodalga ile ön ısıtmanın ana etkisi %95 güven aralığında istatistiksel olarak yüksek bir değerde çıkmamıştır. Fakat Tablo 3'ten de görüleceği üzere köpürtücü ve mikrodalga ısıtmanın ikili etkileşimi ve parametrelerin üçlü etkileşimi de kül uzaklaştırma üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler.

Tunçbilek linyit numunesi ile yapılan flotasyon çalışmasında yüzen üründeki kül miktarı için yapılan regresyon analizi Eşitlik 2'de verildiği gibidir.

$$Y=21.13+0.89X_1-0.5X_2-0.42X_2X_3+0.28X_1X_2X_3 \qquad (2)$$

Toplayıcı miktarının artmasıyla yüzen üründeki kül miktarının artması bağlı tanelerin de yüzdürülmesiyle ilgilidir. Toplayıcı miktarının artırılmasıyla bağlı tanelerle birlikte bazı kül yapıcıların (killer) da köpük bölgesinden alınmasına sebep olmuş ve bu da yüzen üründeki kül miktarını arttırmıştır. Bunun nedeni muhtemelen köpürtücü miktarının artırılmasıyla flotasyon için daha uygun bir kabarcık yapısı oluşturulmuş olmasındandır. Özellikle flotasyonun mikro olaylarından çarpışma olasılığı köpürtücü miktarının artmasıyla artmıştır ki bunun en önemli nedeni kabarcık çapının küçülmesidir (Schulze, 1989). Bu durumda da daha fazla karbon içeren tanenin yüzdürülmesi ile yüzen üründeki kül miktarı oransal olarak azalmıştır. Köpürtücü ile mikrodalga ısıtmanın birlikte etkisi de büyük ve negatif olarak bulunmuştur. Köpürtücünün burada baskın parametre

olduğu aşikâr olup mikrodalga ile ön ısıtma sonucu gerçekleştirilen hızlı ve selektif kurutmanın numunenin hidrofobluğunu bir miktar arttırdığı düşünülebilir (Özbayoğlu vd., 2009). Parametrelerin üçlü etkisinin pozitif çıkmasında özellikle gaz yağı miktarının baskın olmasıyla ilgisi bulunmaktadır.

Numune üzerinde Design Expert programı kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmalarına göre; en yüksek verimi elde etmek için mikrodalga ile ön ısıtma yapılması ve toplayıcının da maksimum konsantrasyonda olması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Köpürtücü miktarının ise minimum düzeyde seçilmesi uygun çıkmaktadır. Kül miktarının en düşük olabilmesi için ise yine mikrodalga ile ön ısıtmanın yapılması ve yüksek miktarda köpürtücü kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yine yazılımdan elde edilen sonuca göre; düşük küllü bir ürün için kullanılacak toplayıcı miktarının minimum düzeyde olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Design expert programın kullanarak yapılan optimizasyon çalışmasına göre; verim ile kül miktarının optimum olduğu durum yani verimin olabildiğince yüksek ve kül miktarının olabildiğince düşük olduğu şart, yüksek miktarda köpürtücü miktarının kullanıldığı, mikrodalga ile ön ısıtmanın yapıldığı ve orta düzeyde toplayıcı kullanıldığında elde edilmektedir.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan bu çalışmada Kütahya Tunçbilek Bölgesi'nden getirilen kömür numunelerinin flotasyonunda etkili olan parametreler faktöriyel deney tasarımı yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca mikrodalga ile ön ısıtmanın numunenin flotasyonuna etkisi araştırılmıştır. İstatistiksel deney tasarımı kullanılarak klasik yöntemle belirlenebilecek parametrelerin yanabilir verim ve kül uzaklaştırma üzerindeki ana etkileri

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre;

- Yanabilir verim üzerinde en etkin parametre toplayıcıdır. İkinci etkin parametre ise mikrodalga ile ön ısıtma olarak bulunmuştur.
- Yanabilir verim üzerinde parametrelerin ikili ve üçlü etkileri de istatistiksel olarak büyüktür.
- Kül uzaklaştırmada en etkin parametre yine toplayıcı olarak bulunmuştur. Toplayıcının yanı sıra köpürtücü de yüzen üründeki kül miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
- Mikrodalga ile ısıtmanın kül miktarı üzerinde ciddi bir etkisi olmadığı ortaya çıkmasına rağmen, köpürtücü ile ısıl aktivasyonun birlikte etkileri istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.
- Kül uzaklaştırmada parametrelerin üçlü etkileri de önemli olup pozitiftir.

Yapılan bu çalışma sonucuna göre %20 küllü yüzen ürün; köpürtücünün yüksek düzeyde kullanıldığı (30 ppm), mikrodalga ile ön ısıtma yapılan (2 dk) ve yaklaşık orta düzeyde toplayıcının kullanıldığı (2660 gr/t) şartlarda elde edilmiştir.

Mikro dalga ile ısıl aktivasyonun kömür flotasyonu üzerinde etkin bir parametre olduğu fakat bu etkinin reaktifler kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Daha düşük ranklı kömürlerde bu etkinin daha da azalabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla ısıl aktivasyonun daha yüksek küllü kömürlere uygulanması önerilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dumlupınar Ünversitesi tarafından desteklenen 2013-34 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Ahmed, H.A.M. ve Drzymala, J.,2004. Effect of flotatıon procedure and composıtıon of reagents on yıeld of a dıfficult-to-float coal, *Physicochemical Problems of Mineral Processing,*Cilt 38, 53-63.

Aktaş, Z. ve Woodburn, E.T., 1995. The effect of non-ionic reagent adsorption on the froth structure and flotation performance of two low rank British coals, *Powder Technology,* Cilt 83, Sayı 2, 149-158.

Ateşok, G., Boylu, F. ve Çelik, M.S., 2001, Carrier flotation for desulfurization and deashing

of difficult-to-float coals, *Minerals Engineering*, Cilt 14, Sayı 6, 661-670.

Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter J.S., 1978. Statistics for Experiments.*Wiley*, New York.

Cebeci, Y., 2002. The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayrıdam lignite using various collectors, *Fuel*, Cilt 81, Sayı 3, 281-289.

Celik, M.S. ve Seyhan, K., 1995. Effect of heat treatment on the flotation of Turkish lignites, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, Cilt 16, 65–79.

Devlet Planlama Teşkilatı 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı

G. Özbayoglu, T. Depci, N. Ataman, 2009.Effect of microwave radiation on coal flotation, *Energy Sources Part A—Recovery Utilization And Environmental Effects*, 31 (6), 492–499.

Kelebek, Ş., Demir,U., Sahbaz, O., Ucar, A, Cinar, M. Karaguzel, C. Oteyaka, B., 2008. The effects of dodecylamine, kerosene and pH on batch flotation of Turkey's Tunc¸bilek coal, *International Journal of Mineral Processing*, Cilt 88, Sayı 3-4, 65-71.

M. Cinar, 2009.Floatability and desulfurization of a low-rank (Turkish) coal by low-temperature heat treatment, *Fuel Processing Technology*, 90 (10), 1300–1304.

Özbayoğlu, G ve Kemal, M, Eds. Güven Önal, Gündüz Ateşok ve Tahsin Perek, 2014, Cevher Hazırlma El Kitabı, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları*, İstanbul.

Polat, M., Polat, H. ve Chander, S., 2003. Physical and chemical interactions in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Cilt 72, Sayı 1-4, 199-213.

Rao, T.C., Pillai, K.J., Vanangamudi, M., 1982. Statistical analysis of coal flotation—a prelude to process optimization. *IX International Coal Preparation Congress*, New Delhi, 1982, pp. c2-1 –c2-12. (Naik vd. 2005 makalesinden).

Şahbaz, O., 2013. Determının optımal condıtıons for lıgnıte flotatıon by desıgn of experıments and the halbıch upgradıng curve, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*,Cilt 49, Sayı 2 535-546.

Schulze, H.J., 1989. Investigations of the collision process between particles and gas bubbles in flotation — A theoretical analysis, *International Journal of Mineral Processing*, Cilt 27, Sayı 3-4, 263-278.

Xia, W., Yang, J. ve Liang, C., 2013. Effect of microwave pretreatment on oxidized coal flotation, *Powder Technology*, Cilt 233, 186-189.

Vapur H., Bayat O., Uçurum M.,, 2010. Coal flotation optimization using modified flotation parameters and combustible matter recovery in a Jameson cell. *Energy Conservation and Management*, 51, 1891–1897.

Wei, Z., Fusheng, Y., Yuangang, L., Jianlin, Q., Anning, Z., 2011. Influence of microwave treatment under a hydrogen or methane atmosphere on the flotability of the macerals in Shenfu coals, *Mining Science and Technology*, Cilt 21, 761-766.

Renk Parametreleri (L*,a*,b*) Kullanılarak Mikronize Öğütme Tesisinin İstatistiksel Proses Kontrolü

*Statistical Process Control of Micronized Grinding Plant using Color parameters (L *, a *, b *)*

M. Uçurum
Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, BAYBURT

ÖZET Kalsit, mikronize boyutlara (d_{50}=1-100 μm) öğütüldükten sonra dolgu minerali olarak sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Kalsit ürünlerinin değerlendirilmesinde, tane irilik dağılımı ve renk değerleri (L*,a*,b*) en önemli parametrelerdir. CIEL*a*b* renk sisteminde; *L** siyah-beyaz (siyah için *L**=0, beyaz için *L**=100) ekseninde, *a** kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, *b** ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. Günümüzde matematik esaslı İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) teknikleri, üretim faaliyetlerinin istenilen kalitede yapılmasını sağlayan önemli bir metottur. Bu çalışmada; dik karıştırmalı bilyeli değirmende mikronize boyutlara öğütülen kalsitten otuz üç gün süreyle numuneler alınarak L*, a* ve b* değerleri üzerinden İPK analizleri yapılmıştır. Söz konusu istatistiksel çalışma, ürünlerin renk parametreleri açısından üniform olduğunu ve mikronize öğütme tesisin kendi spesifikasyonları dâhilinde üretim gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Renk parametreleri, Mikronize öğütme tesisi, İstatistiksel process kontrolü (İPK)

ABSTRACT Calcite is used as a filler mineral in many areas of industry after grinding micronized size (d_{50}=1 to 100 μm). In the evaluation of calcite products, particle size distribution and color values (L*, a*, b*) are the most important parameters. Commission on Illumination (CIEL*a*b*) defines a color space (L*a*b*) in which L* represents, L* a black-and-white (L*=0 for black, white, L*=100) axis, a* represents the chromaticity coordinate for red-green (+a* is the red direction and –a* is the green direction), and b* represents the chromaticity coordinate for yellow-blue (+b* is the yellow direction and –b* is the blue direction). Nowadays, Statistical Process Control (SPC) techniques, mathematical based, is an important method to provide desired quality production operations. In this study; micronized calcite samples were taken throughout thirty-three days from stirred ball mill, then, SPC analyzes were performed by using L*, a* and b* values. The statistical studies showed that micronized grinding plant has uniform products in terms of color parameters and it is working within its specifications.

Keywords: Color parameters, Micronized grinding plant, Statistical process control (SPC)

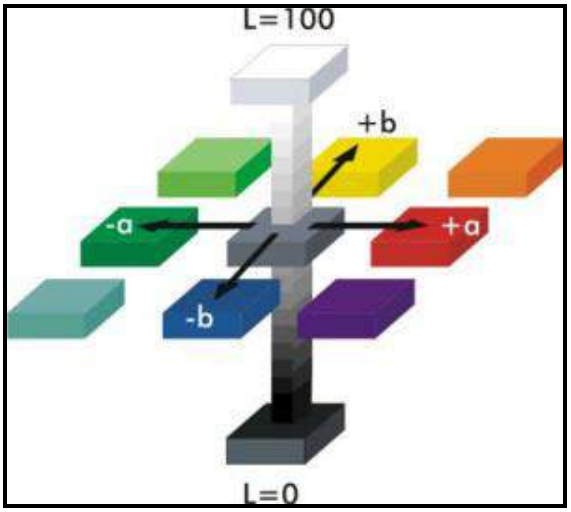
1 GİRİŞ

Kalsit, birçok sanayinin ana girdisi olup titanyum dioksit gibi çok pahalı pigmentlerin daha az kullanılmasını sağladığı için gerek ekonomik gerekse çevre sağlığı açısından kullanımı yaygın bir maddedir (Megep, 2008). Türkiye kalsitleri, kalitesi ve rezervleri bakımından çok iyi olup bilinen rezervlerin toplamı yüz milyonlarca ton ile ifade edilebilmektedir. Bunların dikkat

çeken en önemli özellikleri ise, yüksek $CaCO_3$ yüzdesi, safsızlıklardan silis ve demir oranının çok düşük olmasıdır. Türkiye'nin en beyaz oluşumlarını ise Niğde Bölgesinin kalsit rezervleri teşkil etmektedir. Mikronize kalsitte hemen hemen her türlü ürünün ülkemizde yüksek kalitede üretilebilir olması özellikle boya, kâğıt, plastik vb. birçok sanayi dalı için çok önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır (DPT, 2001).

Endüstriyel ölçekte kalsitin mikronize boyutlarda öğütülmesinde iki temel öğütme teknolojisi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kuru olarak çalıştırılan konvansiyonel bilyeli değirmenler ikincisi ise karıştırmalı bilyeli değirmenlerdir (stirred mill). Söz konusu değirmenler havalı bir seperatörle kapalı devre çalıştırılarak ince/çok ince boyutlarda kalsit ürünleri üretilmektedir. Alınan ürünler farklı sanayi dallarına direkt kullanılabildiği gibi özellikle karıştırmalı bilyeli değirmen ürünleri bir yüzey modifikasyonu (kaplama) işlemi sonrasında pazarlanabilmektedir (Uçurum, 2014).

Günümüzde hemen hemen tüm modern renk ölçümü, renk spesifikasyonu, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun) sistemine dayanmaktadır. Bu sistem, 1931'de oluşturulmuş olup, buna rağmen temel yapı ve prensiplerde değişiklik yapılmaksızın bu tarihten itibaren yeni eklemeler ve düzeltmeler yapılmıştır. CIE sistemi, renk algılama teorilerinden ziyade deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Renk ölçümünde, ışık kaynağı, gözlemci ve yüzey daima göz önünde tutulmalıdır (McDonald, 1997). X, Y ve Z tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade edebilmekle birlikte renk hakkında bilgi vermemektedir. Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere 1976 yılında CIE, X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanan L*, a* ve b* şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIELab sistemi olarak adlandırılan bir sistemi tanımlamıştır. Bu parametrelerdeki "*" işareti, daha önce geliştirilmiş farklı renk sistemlerindeki benzer formüllerinden CIE formüllerini ayırt edebilmek için kullanılmaktadır (Yeşil, 2010). CIEL*a*b* renk sisteminde; renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri *L*,a*,b** renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, *L** siyah-beyaz (siyah için *L**=0, beyaz için *L**=100) ekseninde, *a** kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, *b** ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır (Oliver vd., 1992;. McGuire, 1992). *CIEL*a*b** renk alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. CIEL*a*b* renk düzlemi (Özcan, 2008)

İstatistiksel Proses Kontrolünün (İPK) amacı, değişimin özel nedenlerini ortadan kaldırarak prosesi kontrol altında tutmaktır. Kontrol altındaki bir proses, değişimin özel nedenleri ortadan kaldırıldığında sürekli olarak kendi doğal spesifikasyonu içinde parçalar üretmektedir. Değişkenliğin nedenleri kalite kontrol bakımından genel nedenler ve özel nedenler olarak ifade edilmektedir. Değişkenliğin genel nedenleri birçok küçük kaynaktan oluşan ve her proseste rassal olarak önceden tahmin edilebilen değişkenliklerdir. Genel nedenler, prosesteki özel nedenler ortadan kaldırıldıktan sonra, zamanla sabit bir dağılım gösterdiğinden bu nedenlerin azaltılması yoluna gidilmelidir. Değişkenliğin özel nedenleri ise belirsiz bir kaynaktan oluşurlar, önceden tahmin edilemez ve düzenli değildirler. Önlem alınmadıkça tekrar ederler. Özel nedenlerin ortaya ne zaman çıktığı bilinirse kolaylıkla tespit edilebilir ve düzeltilebilirler. İPK metodolojisinde istatistik, bir bütünün

tamamını kontrol etmek yerine bütünden örnekler alarak sonuçlara göre bütün hakkında tahminde bulunmak için kullanılan araçları ifade eder. Proses, bir ürün veya hizmetin önceden belirlenen nitelikte elde edilebilmesi için kullanılan makine, alet, metot, malzeme ve insan gücünün bütününü içerir. Kontrol, prosesteki verilerin ölçümünde ve analizinde istatistiksel tekniklerin uygulanması anlamını taşır. Değişkenlik, kısaca gerçek değerden sapmalar olarak tanımlanır. Bütün prosesler, makine, takım, malzeme, operatör, bakım ve çevre koşullarından kaynaklanan değişime uğrarlar (Durman ve Pakdil 2010).

Değişken şemaları ürünün kalitesini belirleyen bir özelliğinin ölçülmesi ve kalitenin bu şekilde takip edilmesi için kullanılır. Bu amaçla literatürde en yaygın olarak bulunan şemalar ve bunlarla ilgili kısa bir değerlendirme Çizelge 1'de özetlenmiştir. Bazı proseslerde veri toplaması alt gruplar halinde yapılamaz. Herhangi bir anda prosesten sadece bir tek gözlem alınabilir. Bu durumda $\bar{X}-R$ şeması kullanılamaz. Böyle durumlarda bireyler için kontrol şemaları kullanılabilir. Bireysel gözlemler için kullanılan bir *X* şemasıyla kalite karakteristiğinin değişkenliği kontrol edilir. Hareketli aralıklardan oluşturulan bir *mR* şeması ile süreç değişkenliği kontrol edilir. Bu iki şema birlikte kısaca *XmR* şemaları olarak bilinir (Özdemir, 2003).

Çizelge 1. Sürekli değişkenler için kontrol şemaları (Özdemir, 2003)

Grafik Tipi	Artıları	Eksileri
$\bar{X}$-R	Uygunsuz üretimi önlemeye ve sürecin etkin kontrolünü sağlamaya yarar	Veri toplamak zor ve masraflıdır
XmR	Verileri alt gruplar halinde değil de tek tek gözlemler olarak elde edebiliyorsanız bu kolay ve geçerli bir yöntemdir	Nitelik değişkenleri için kullanıldığı zaman 1. ve 2. tür hata olasılıklarını artırır. Alt grupların değişkenliği belirlenemez
c ve u	Sorunları belirlemek için iyi, çünkü özel kusur türleri izlenebilir. Veri toplaması kolay	Sorun önleyici değeri az
p ve np	Genel bir yönetim aracı olarak yararlı	Sorun belirleme veya önleme değeri az

Proses yeterlilik analizinin amacı; proses ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirerek prosesin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; proses ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde, mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır. (Montgomery, 2001).

Bu çalışmada; dik karıştırmalı bilyeli değirmende mikronize boyutlara öğütülen kalsitten otuz üç gün süreyle numuneler alınarak renk parametrelerinden L*, a* ve b* değerleri üzerinden İPK analizleri yapılmıştır. Analizlerde X*m*R grafiklerinden ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanılmıştır.

2 MALZEME-YÖNTEM

2.1 Malzeme

Bu çalışma, Niğde bölgesinde mikronize kalsit üretimi yapan Niğtaş Firmasına ait dik karıştırmalı bilyeli değirmen tesisinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda otuz üç gün süreyle tesisten elde edilen mikronize kalsit ürünlerinin Datacolor Elrepho 450x beyazlık ölçüm cihazında renk ölçümleri yapılarak elde edilen L*,a* ve b* değerleri ile (Çizelge 2) istatistiki proses kontrol çalışmalarında kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

Gerçekleştirilen bu çalışmada; XmR kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanılmıştır. X kontrol grafikleri ortalama değerden sapmayı gösterirken, mR kontrol grafikleri ise homojenlikten ayrılma değerlerini belirlemek için kullanılmıştır.

Kontrol grafiklerinin çizilmesinde üç (3) adet sınır değeri hesaplanmıştır. Bunlar; Alt Kontrol Sınır değeri (AKL), Üst Kontrol Sınır değeri (ÜKL) ve Orta Değerdir (OD). Bu değerlerin hesaplanması için kullanılan formüller ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. XmR Kontrol grafikler limitlerinin hesaplama formülleri (Özdemir, 2003)

Grafik Türü	Merkez Hattı (Orta Değer, (OD)	Alt Kontrol Limiti (AKL)	Üst Kontrol Limiti (ÜKL)
Ortalama ($\bar{X}$)	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}$-2,66*$\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}$+2,66*$\bar{R}$
Değişim Aralığı (mR)	$\bar{R}$	0	3,27*$\bar{R}$

Söz konusu formüllerde;

$\bar{\bar{X}}=(X_1+X_2+X_3+\ldots\ldots X_n)/n$

$\bar{R}=(R_1+R_2+R_3+\ldots\ldots R_n)/n$

Çizelge 2. Mikronize kalsit ürünlerine ait L*,a* ve b* değerleri

Gün	L*	a*	b*	Gün	L*	a*	b*	Gün	L*	a*	b*
1	98,56	0,04	0,95	12	98,30	0,04	1,05	23	98,60	0,08	0,95
2	98,13	0,90	1,36	13	98,13	0,04	1,14	24	98,45	0,08	1,16
3	98,66	0,05	0,89	14	98,09	0,04	1,05	25	98,36	0,08	1,17
4	98,60	0,07	1,03	15	98,18	0,07	1,19	26	98,63	0,04	0,88
5	98,47	0,08	1,04	16	98,34	0,04	0,96	27	98,69	0,05	0,86
6	98,55	0,07	0,98	17	98,28	0,07	1,11	28	98,52	0,05	0,89
7	98,52	0,05	1,06	18	98,35	0,04	1,09	29	98,43	0,05	1,00
8	98,39	0,04	1,09	19	98,41	0,02	1,00	30	98,37	0,09	1,22
9	98,56	0,03	0,96	20	98,16	0,03	1,10	31	98,57	0,05	0,96
10	98,51	0,07	1,09	21	98,51	0,01	0,84	32	98,52	0,04	0,98
11	98,53	0,05	0,95	22	98,29	0,03	0,96	33	98,48	0,08	0,99

X-R grafiklerinin değerlendirilmesi aşağıda verilen ilkeler kullanılarak yapılmıştır.

i) Noktaların üçte ikisi orta değerin (OD) üzerinde veya yakınında olmalı

ii) Alt ve üst kontrol limitlerinin yakınında bulunan noktaların sayısı minimum olmalı

iii) Noktalar orta değer çizgisinin aşağısına ve yukarısına rastgele ve dengeli dağılmış olmalı

iv) Alt ve üst kontrol limitlerinin dışında hiçbir nokta olmamalı (İpek ve ark. 1999).

Proses yeterlilik analizinde proses yeterlilik indeksleri, histogram, normal olasılık işaretlemesi ve kontrol grafiği yaklaşımları kullanılabilmektedir. Süreç yeterliliği, istatistiksel bir ölçüt olup müşteri beklentilerine (şartname limitleri spesifikasyonlar) göre bir sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetler. Bu aşamada dikkate alınan parametreler Cp ve Cpk indisleridir. Cp indisi, şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Cpk indisi ise, proses ortalamasının hedef değere göre konumunu ve spesifikasyon limitleri arasındaki durumunu gösterir (Montgomery, 2001). Cp ve Cpk

değeri ile çok benzer bir hesaplama mantığına sahip olmakla beraber Cpk'nin farkı süreç verilerindeki kaymayı da göz önünde bulundurmasıdır. Cp ve Cpk değerinin hesaplanması için aşağıdaki formülasyonlar kullanılmaktadır.

$Cp=[(ÜSL-ASL)/6\sigma]$

$C_{pk}=\min[(ÜSL-\mu)/3\sigma ; (\mu-ASL)/ 3\sigma]$

Yukarıdaki formüllerde ÜSL-üst spesifikasyon limitini, ASL-alt spesifikasyon limitini, σ standart sapmayı, μ ise aritmetik ortalamayı temsil etmektedir (http://www.kurumsalkalite.com). Tesise ait spesifikasyonlar ise Çizelge 4'de verilmiştir.

Cp ve Cpk değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Çizelge 5'de verilen değerler kullanılır (Zeyveli ve Selalmaz, 2008).

Çizelge 4. Tesise ait renk spesifikasyonları

	L*	a*	b*
ÜSL	100	0,1	1,50
ASL	95,00	0,00	0,00

Çizelge 5. Cp ve Cpk indislerinin karar noktaları (Işığıçok, 2004)

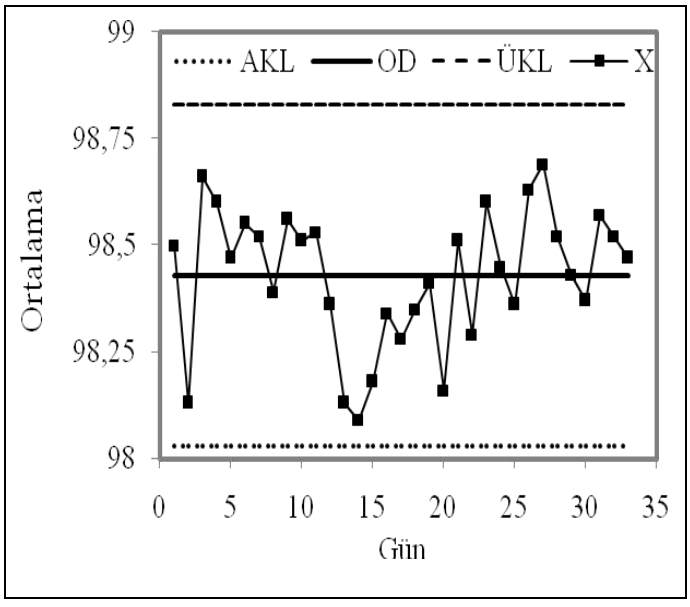
Cp>1,33	Proses spesifikasyonları karşılar.
1<Cp<1,33	Proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir.
Cp<1	Proses yetersiz. İyileştirmeler yapılmalıdır.
Cpk = 1	Verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşır.
Cpk>1	Verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşer.
0<Cpk<1	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının içindedir.
Cpk = 0	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının birine eşittir.
Cpk<0	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının dışındadır.

3 BULGULAR

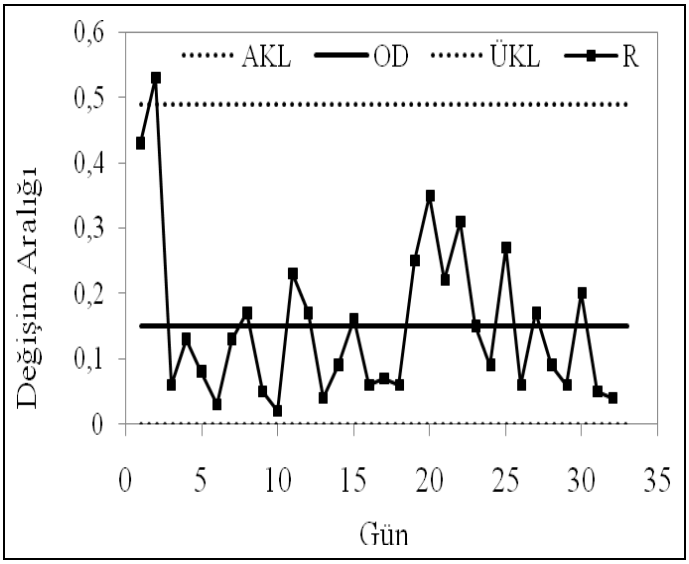
Tesisten elde edilen otuz üç günlük veriler kullanılarak L* parametresi için hesaplanan X ve mR'ye ait Alt Kontrol Limiti (AKL), Orta Değer (OD) ve Üst Kontrol Limiti (ÜKL) değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bu hesaplamalar baz alınarak çizilen X ve mR grafikleri ise Şekil 2 ve 3'de sunulmuştur. X grafiğinin bütün noktaları alt ve üst kontrol limit sınırları içinde seyretmiş olup orta değer çizgisinin etrafında rastgele ve dengeli bir dağılım göstermiştir. mR kontrol grafiğinde ise sadece bir nokta üst kontrol limit çizgisinin dışında bulunurken diğer noktalar ise orta değer çizgisinin etrafında dağılım göstermektedir.

Çizelge 6. L* için X ve mR'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL=98,43-2,66*0,151= 98,03 OD=98,43 ÜKL= 98,43+2,66*0,151= 98,83
mR	AKL=0 OD=0,151 ÜKL=3,27*0,151=0,49



Şekil 2. L* parametresi için X grafiği

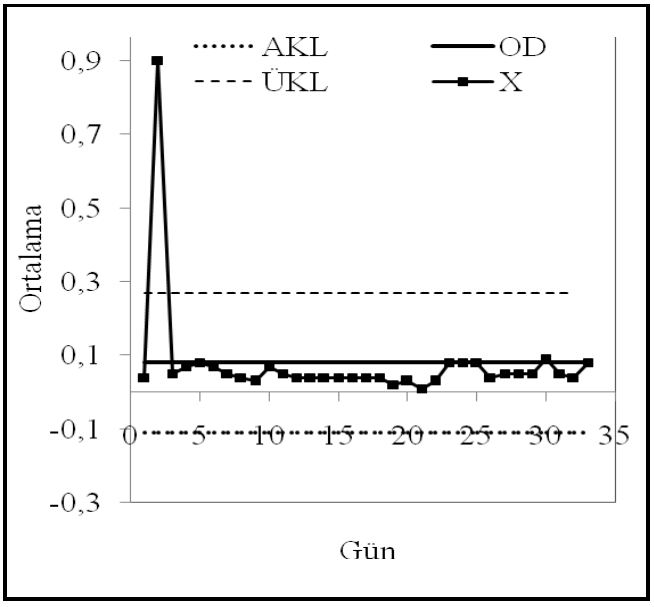


Şekil 3. L* parametresi için mR grafiği

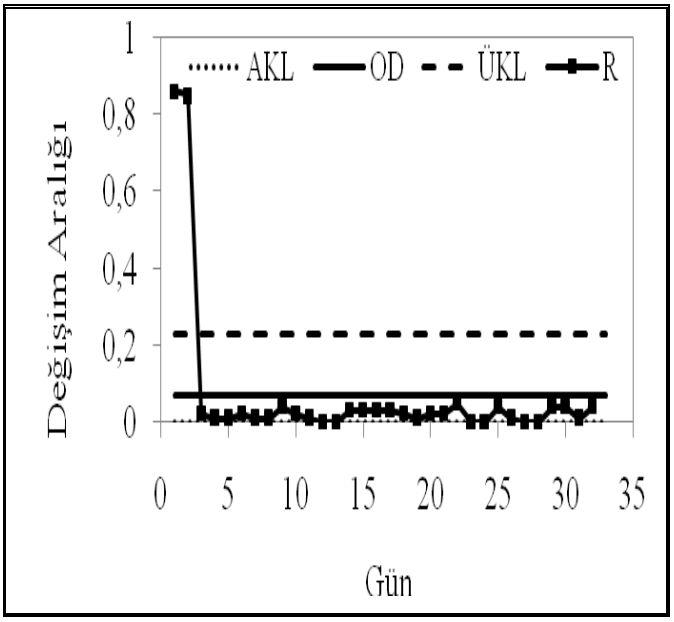
Tesisten elde edilen veriler kullanılarak a* parametresi için hesaplanan X ve mR'nin AKL, OD ve ÜKL değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Bu hesaplamalar kullanılmak sureti ile elde edilen X ve mR grafikleri ise Şekil 4 ve 5'de sırası ile sunulmuştur. X kontrol grafiğinin bir noktası hariç bütün noktaları orta değer ve alt kontrol limit çizgisi arasında seyretmiş olduğu görülmektedir. mR kontrol grafiğinde ise sadece bir nokta üst kontrol limit çizgisinin dışında bulunurken diğer noktalar ise orta değer çizgisinin etrafında dağılım göstermektedir.

Çizelge 7. a* için X ve mR' ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL=0,08-2,66*0,07= -0,11 OD=0,08 ÜKL=0,08+2,66*0,07= 0,26
mR	AKL=0 OD=0,07 ÜKL=3,27*0,07=0,23



Şekil 4. a* parametresi için X grafiği



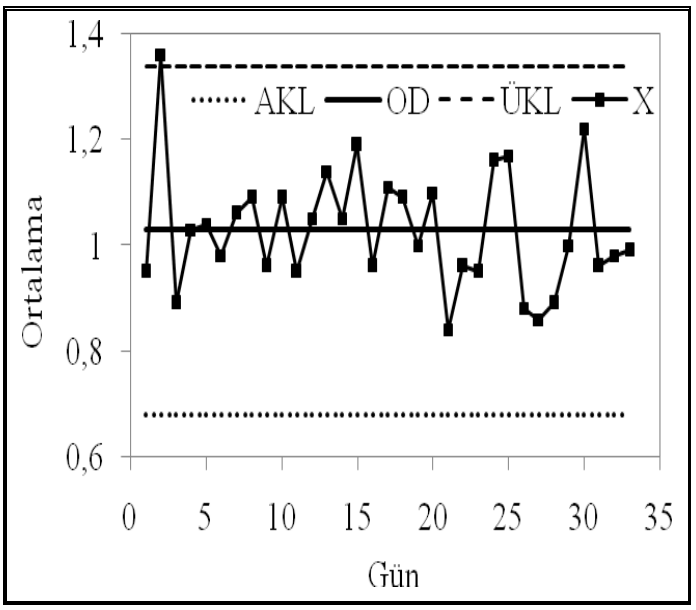
Şekil 5. a* parametresi için mR grafiği

Mikronize kalsit ürünleri için L* değerinden sonra en önemli parametre olan sarılık göstergesi b* için hesaplanan X ve mR'ye ait Alt Kontrol Limiti (AKL), Orta Değer (OD) ve Üst Kontrol Limiti (ÜKL) değerleri Çizelge 8'de, bu hesaplamalar kullanılarak elde edilen X ve mR grafikleri ise Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. X grafiğinin bir noktası hariç diğer noktaları alt ve üst kontrol limit sınırları içinde yer almış olup orta değer çizgisinin etrafında rastgele ve dengeli bir dağılım izlemişlerdir. mR kontrol grafiğinde ise sadece bir nokta üst kontrol limit çizgisinin dışında bulunurken diğer noktalar

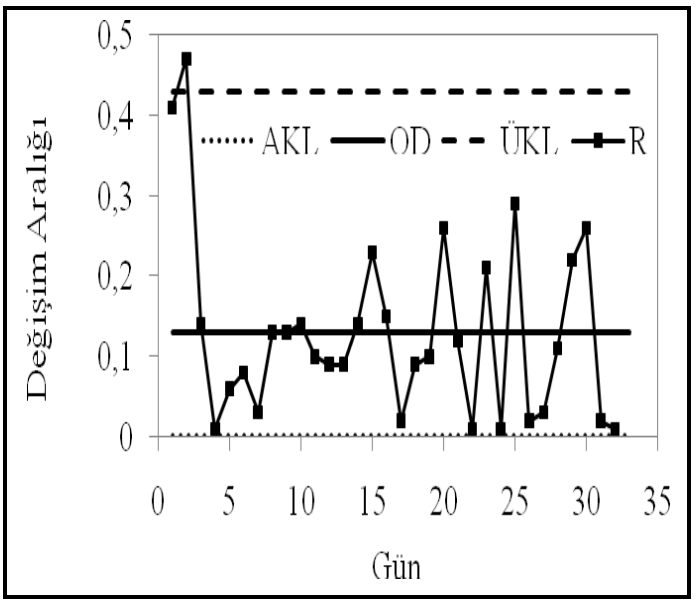
ise orta değer çizgisinin etrafında yer almaktadır.

Çizelge 8. b* için X ve mR'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL=1,03-2,66*0,13= 0,68 OD =1,03 ÜKL= 1,03+2,66*0,13= 1,38
mR	AKL=0 OD=0,13 ÜKL=3,27*0,13=0,43



Şekil 6. b* parametresi için X grafiği



Şekil 7. b* parametresi için mR grafiği

Proses yeterlilik analizi, proses ortalaması ve standart sapmasını, toleranslar ile ilişkilendirerek prosesin alıcı isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini ortaya koymak ve ürün gerekliliklerinin veya spesifikasyonların üretim prosesi içerisinde sağlanma derecesini test etmek için kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan mikronize öğütme tesisi proses yeterlilik analizi, Cp ve Cpk indisleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve L*, a* ve b* renk parametreleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda söz konusu parametreler için standart sapma (σ) sırası ile 0,16-0,15 ve 0,11 olarak bulunmuştur. Ayrıca ortalama değerler (μ) ise L* için 98,83, a* için 0,08 ve b* için ise 1,03 olarak elde edilmiştir. Proses Yeterlilik analiz hesaplama sonuçları ise Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Cp ve Cpk değerleri

	L*	a*	b*
USL	100,00	0,1	1,50
ASL	95,00	0,00	0,00
Cp	5,21	0,11	2,27
Cpk_1	2,44	0,04	1,42
Cpk_2	7,98	0,18	3,12

Renk parametrelerinden en önemlisi olan L* için Cp değeri 5,21 - Cpk_1 değeri 2,44 ve Cpk_2 değeri ise 7,98 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde L*'den sonra mikronize kalsit için önem arz eden b* için ise söz konusu değerler sırası ile 2,27-1,42-3,12 olarak bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 5 baz alınarak değerlendirildiğinde proses yeterlidir yani tesis kendi spesifikasyonları dahilinde çalışmaktadır.

4 SONUÇ

Mikronize kalsit öğütme tesislerinde, temel kalite parametresi tane irilik dağılımı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte ürün kalitesi adına takip edilmesi gereken bir diğer önemli parametre de beyazlık değeridir. Zira L* parametresi bazında beyazlığın mikronize kalsit ürünlerinde en az 95, b* yani sarılık göstergesinin de 1 civarında olması genel kabul görmektedir.

Bu nedenle gerek konvansiyonel bilyeli değirmen gerekse karıştırmalı bilyeli değirmen ürünlerinin ürün kalitesinin belirlenmesinde renk parametreleri de büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda Niğde ilinde kalsit sektöründe faaliyet gösteren NİĞTAŞ firmasına ait dik karıştırmalı bilyeli değirmen ürünlerinin kalitesi renk parametrelerinden L*,a* ve b* değerleri kullanılarak istatistiksel proses kontrolü çalışmaları ile irdelenmiştir. Bu istatistiki çalışmada; XmR grafikleri ve proses yeterlilik analizleri kullanılmıştır. L* ve b* için çizilen XmR grafikleri söz konusu tesisin kontrol çizgileri dâhilinde çalıştığını ve üretim sürecinde kayda değer bir sıkıntının olmadığını göstermektedir. Ayrıca, proses yeterlilik analizinin değerlendirilmesi sonrasında, tesisin renk parametreleri açısından kendi spesifikasyonları dahilinde üretim yaptığı anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte elde edilen sonuçlar, tesise beslenen tüvenan kalsit cevherinin kalitesinin de yorumlanabilmesine imkân tanımaktadır. Zira tüvenan cevherin renk değerleri nihai mikronize ürünlere direkt olarak yansımaktadır. Bu nedenle, söz konusu tesise hammadde sağlayan ocaklardan üretilen cevherlerin de, Niğde bölgesi kalsit cevherinin karakteristik özelliği olan, yüksek beyazlık özelliğini de taşıdığını göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, Niğtaş Mikronize Kalsit San. ve Tic. Ltd. Şti. yetkililerine ve Kimya Mühendisi Eda Malgır'a çok teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Megep, 2008. *Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi Polimer Kavramları ve Özellikleri*, Ankara.

DPT, 2001. *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I, (Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu)* 2618 - ÖİK: 629 Ankara.

Uçurum, M., 2004. Kaplı Kalsit Üretimi ve Ürün Özellikleri, *MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi*, Yıl:3 Sayı:6 Temmuz s.1-10.

McDonald, R., 1997. *Colour Physics for Industry, Society of Dyers and Colourists*, ISBN 0901956708, Second Edition, England.

Yeşil, Y., 2010, *Melanj elyaf karışımlarında renk değerlerinin yeni bir algoritma geliştirilerek tahmin edilmesi*, Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi.

Oliver, J. R., Blakeney, A. B., Allen, H. M.,1992, Measurement of flour color in color space parameters: *Cereal Chem*, 69, 546-551.

McGuire, R. G., 1992. Reporting of objective color measurements: *HortScience*, 27, 1254-1255.

Özcan, A., 2008, Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün L*a*b* Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi *Fen Bilimleri Dergisi*, 14, 53-61.

Durman, B., Pakdil F., 2010. İstatistikî Proses Kontrol Uygulamaları İçin Bir Sistem Tasarımı, *Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*, 06530, Bağlıca, Ankara.

Özdemir, T., 2003. İstatistikî Süreç Kontrolü, İS 432 "*İstatistikî Kalite Denetimi Dersi*" notu.

Montgomery, D., 2001. *Introduction To Statistical Quality Control*, New York, John Wiley & Sons, cop, Fourth Edition.

Ipek, H., Ankara H., Özdağ H., 1999. The Application of Statistical Process Control, *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 7, pp. 827-835.

http://www.kurumsalkalite.com/surec-yeterlilik-indeksi-2-cpk-ppk, Alınma tarihi: 15 Kasım 2014.

Zeyveli, M., Selalmaz, E., 2008. İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Zincir İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.

Işığıçok, E., 2004. Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Proses Kontrol, sayfa 130-132,231.

Serçeören Vollastoniti ve Üretim Yönteminin Ekonomik Analizi

Serçeören Wollastonite and the Economic Analysis of Its Production Process

B. Haner
Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

S. Haner
Süleyman Demirel Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Isparta

Ö. Elitok
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Vollastonit, dünyadaki ulusal ekonomilerin çeşitli dallarında birçok kullanım alanına sahip bir metasilikat mineralidir. 1970'li yıllara kadar dekoratif bir kayaç olarak kullanılan bu hammadde, 1980'lerden bu yana ürünlerdeki asbestin yerini de alarak seramik, plastik, kauçuk, boya, kaplama, metalürji gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Kendine özgü dilinim özelliklerinden dolayı, kırma ve öğütme esnasında levhamsı ya da iğnemsi kırılma gösterir. Bu tanecik morfolojisinin yapıya yüksek mukavemet katması, onu birçok pazarda aranan bir hammadde olmasına neden olmuştur. Ancak Türkiye'de de bulunan bu hammaddenin günümüzde üretimi yapılmamaktadır. Vollastonitin, MTA'nın kayıtlarına göre Balıkesir-Serçeören bölgesinde 500000 ton mümkün rezervi bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Serçeören (Balıkesir) vollastonitinin petrografik, XRD, XRF, fiziksel ve mekaniksel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca Serçeören sahasından ocak teslimi üretim maliyeti belirlenmiş, şu anda ithal edilmekte olan vollastonit fiyatlarından oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel hammaddeler, vollastonit, ekonomik analiz

ABSTRACT Wollastonite is an inosilicate mineral, which is used in the different branches of the national economies in the world. Until 1970s wollastonite had been used as a decorative graywacke; however, from 1980s wollastonite has started to be used in many industries such as ceramics, plastic, rubber, paint, coating, metallurgy by taking the place of the aspestos in the products. Because of its unique cleavage properties, wollastonite breaks down during crushing and grinding into lathlike or needleshaped particles of varying acicularity. This particle morphology imparts high strength, making it of considerable importance in many markets. Due to a lack of interest, wollastonite mining have not been done in Turkey. Mineral Research and Exploration Institute (in Turkey) reported that, there are possibly 500000 t wollastonite reserves in Serçeören area of Balıkesir.

In this study, their characterizations were carried out with the determination of petrographic, physical, mechanical and chemical composition, and by XRD. In addition the cost of the pit delivery is determined from the field of Serçeören, and it appears to be quite lower than the cost of wollastonite which is imported at the moment.

Keywords: Industrial raw materials, wollastonite, economic analysis

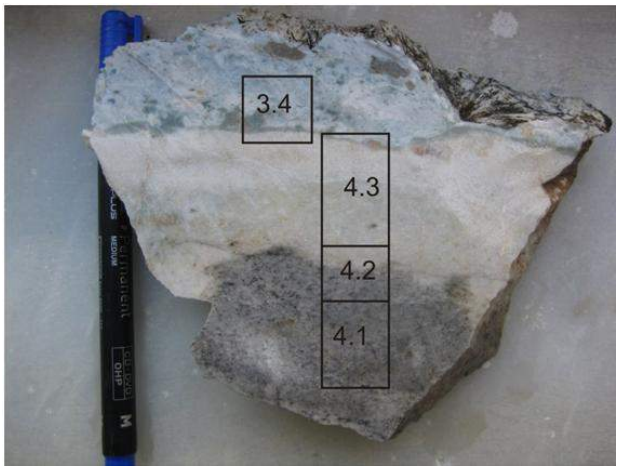
1 GİRİŞ

Vollastonit doğal olarak oluşmuş bir kalsiyum metasilikattır ($CaSiO_3$). Metalik olmayan, iğnemsi (iğne uçlu) kristal yapıya sahip, alkalin (pH 9.8), beyaz renkli bir mineraldir. Vollastonitin ticari olarak kullanımını ortaya çıkartan ana sebep, kristal yapısı ve kimyasıdır (Ciullo 1996, Kogel vd. 2006). Vollastonitin çok sayıdaki kendine özgü özellikleri, gün geçtikçe artan birçok uygulama alanında kullanımına yol açmıştır. Bu özellikleri sayesinde seramiklerde, plastikler ve boyalar için dolgu malzemesi olarak, termal ve elektriksel yalıtkanlarda, sırlar için ergitici ile ıslatma ajanı ve metal ergitici olarak kullanılmaktadır (Springer 1994).

Vollastonit madenciliği, muhtemelen ilk kez 1933 yılında, mineral yün üretiminde kullanılmak için Kaliforniya'da (ABD) yapılmıştır. Önemli miktarda ticari üretimine 1950'lerde ABD'nin Willsboro yatağında başlanmıştır. O zamandan beri özellikle seramik endüstrisinde büyük ölçüde kullanılmaktadır (Anonim 1997). Çoğu vollastonit madeninde istenmeyen mineralleri uzaklaştırmak için yaş proses, yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ve/veya ağır ortam ayırması gibi zenginleştirme yöntemleri uygulanarak yüksek saflıkta, ticari kalitede vollastonit elde edilebilmektedir. Dünya vollastonit üretimi ve satışı birbirine yakın seyretmektedir. 2010 yılı işlenmiş vollastonit satışı tahmini olarak 490000 ton civarındadır (Virta 2011, Haner ve Çuhadaroğlu 2013).

2 SERÇEÖREN VOLLASTONİTİNİN ÖZELLİKLERİ

Granit içerisinde vollastonit ile granit arasındaki petrografik ilişkiyi incelemek amacıyla granit-vollastonit dokanağından bir örnek alınarak dokanak boyunca farklı kesimlerden incekesitler yapılarak (Şek. 1) bunların petrografik incelemeleri yapılmıştır. Şekil 1, hazırlanan ince kesitlere ve X-Işını kırınım (XRD) analizlerine dayanılarak yorumlanmıştır. Şekil 1'de *4.1* ile gösterilen granitik alanın çoğunlukla kuvars, ortoklas içerdiği (~% 80 den fazla), daha az oranda plajiyoklas, biyotit minerallerini içerdiği gözlenmiştir. Kuvars mineralleri ortoklas kristalleri içerisinde kapanım halinde bulunabilmekte ve hatta kuvars mineralleri ortoklas kristalleri içerisine körfezler şeklinde girişim yapmıştır. Buna göre kayaç genel olarak alkali feldspat granit bileşimindedir. Makro örnek üzerinde *4.2* ile gösterilen alanda koyu olan alttaki kısım genelde kuvars, ortoklas ve daha az oranda plajiyoklos, biyotit içermekte ve yine alkali feldspat granit bileşimi sunarken daha üstteki açık beyaz olan kesimde kuvars mineral oranı azalarak ortoklaslar hakim duruma gelmiştir. Hatta kuvarsların tekrar kuvarslar içerisine körfezler şeklinde girişim yaptığı gözlenmektedir. Makro örnek üzerinde *4.3* ve *3.4* ile gösterilen alanların beyaz bej olan alt kısmının çoğunlukla ortoklas kristallerinden oluştuğu gözlenmekte, bunlar ile en üstteki mavimsi yeşil olan vollastonit seviyesi ile arada kalan ince gri alanın çoğunlukla ince taneli feldspat, skapolit, granattan oluştuğu ve daha üst seviye olan mavimsi yeşil alanın çoğunlukla prizmatik, levhamsı vollastonit minerallerinden oluştuğu gözlenmektedir.



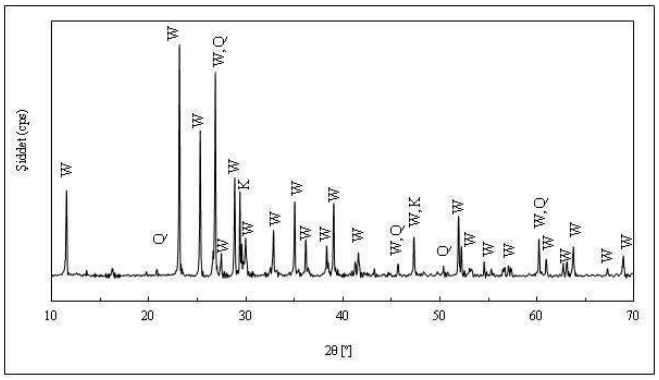
Şekil 1. Granit-vollastonit dokanağından alınan örnek ve incekesit yerleri.

Vollastonit numunesinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. Vollastonit numunesinin alkali ve toprak alkali oksit toplamının % 43 civarında, safsızlıklar olan demir, titan ve mangan toplamının ise % 4 civarında olduğu görülmektedir. Vollastonit numunesinde demir (% 3.53) ve mangan (% 0.45) içeriği yüksektir.

Çizelge 1. Vollastonitin kimyasal kompozisyonu.

	OKSİT KOMPOZİSYONU (Ağırlıkça %)										
HAMMADDE ADI	**SiO_2**	**CaO**	**Fe_2O_3**	**MnO**	**TiO_2**	**MgO**	**Na_2O**	**Al_2O_3**	**K_2O**	**SO_3**	**K.K.**
Serçeören Vollastoniti	**51.09**	**39.98**	**3.53**	**0.45**	**0.07**	**1.83**	**1.37**	**0.44**	**0.12**	**0.25**	**0.87**

Serçeören vollastonitinin mineral içeriği, X-Işını kırınım (XRD) yöntemi ile incelenmiştir. Philips X'Pert PRO MPD marka ve model X ışını kırınım cihazında; 2θ=5-70°, Cu K-α, 2 derece/dakika tarama hızında çekime tabi tutulmuşlardır. Serçeören bölgesindeki terk edilmiş vollastonit ocaklarından alınan örneklerin mineralojik analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. XRD analizine göre malzeme; vollastonit, kuvars ve kalsitten oluşmaktadır.



Şekil 2. Vollastonitinin XRD analizi (W: Vollastonit, Q: Kuvars, K: Kalsit).

Alınan kaya numunelerinde dayanım ve kayaların diğer fiziksel özelliklerinin tespiti için numuneler 7x7x7 cm ebadından küp olarak TS 699 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. TS 699 standartlarına uygun olarak hazırlanan deney numunelerinde birim hacim ağırlık tayini, su emme ve porozite tayini, özgül ağırlık tayini gibi fiziksel testler ve tek eksenli basınç deneyi gibi mekanik testler yapılmıştır. Deney sonuçlarından, birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarının standart sapması 0.302, atmosfer basıncında ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarının standart sapması 0.102, atmosfer basıncında hacimce su emme deneyi sonuçlarının standart sapması 0.331, kaynar suda ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarının standart sapması 0.139, kaynar suda hacimce su emme deney sonuçlarının standart sapması ise 0.373 olarak hesaplanmıştır.

Vollastonitin birim hacim ağırlığının 3.127 gr/cm^3, atmosfer basıncında ağırlıkça su emmenin % 0.294, atmosfer basıncında hacimce su emmenin % 0.918, kaynar suda ağırlıkça su emmenin % 0.346, kaynar suda hacimce su emmenin % 1.052 olduğu belirlenmiştir.

Kayaçların doluluk oranları ve porozite değerleri, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Özgül ağırlık deney sonuçlarının standart sapması 0.0195 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde vollastonitin ölçülmüş özgül ağırlığı 2.87-3.09 gr/cm^3 olarak verilmektedir. Serçeören bölgesi vollastonitinin özgül ağırlık değeri 3.17 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Kayacın özgül ağırlık değerinin literatür bilgisine göre farklı çıkmasının bir nedeni, kristal kafesinin bozulması ve kalsiyum yerine az miktarda alüminyum, demir, magnezyum, manganez, potasyum ve sodyum gibi çeşitli iyon safsızlıklarının geçmesine bağlı olabilir. Bir diğer neden ise kalsit (2.70-2.95 gr/cm^3), garnet (3.50-3.80 gr/cm^3), diyopsit (3.20-3.30 gr/cm^3) vs. gibi safsızlık minerallerini içermesi de özgül ağırlık değerini etkileyebilmektedir (URL 2012). Ayrıca kayacın doluluk oranı 98.63, porozitesi de % 1.37 hesaplanmıştır.

Vollastonitin tek eksenli basınç dayanımı 154.0 MPa dolayındadır. Bu dayanım değerlerine göre vollastonit örnekleri Deere ve Miller (1966)'ya göre yüksek dirençli kaya sınıfı grubuna girmektedir. Deney sonuçlarının standart sapması 4.9 olarak hesaplanmıştır.

3 YAPILACAK İŞLETMENİN YERİ VE GEÇMİŞİ

İşletmenin yapılacağı yerin merkez ilçesi olan Kepsut, Balıkesir iline 29 km mesafede; işletmenin yakınında bulunan Serçeören Köyü Kepsut ilçesine 27 km uzaklıkta olup, koordinatları 39.824° enlem, 28.304° boylamında olup, yükseklik 730 m'dir. Bölgede bulunan vollastonit zuhuru, granit-kireçtaşı dokanağında bir skarn oluşumudur. Çevredeki bütün yatak ve zuhurların rezervi yaklaşık 500000 tondur. Bu bölgede vollastonit sadece Çanakkale Seramik tarafından üretilmiştir. Planlanan Yıllık Üretim yılda 10000 tondu; üretim talebe uygun olarak gerçekleştirilmiş ancak, birtakım sorunlar yüzünden 1988'de durmuştur.

3.1 İşletilecek Rezervin Durumu

Balıkesir-Kepsut-Serçeören civarındaki 40 km^2'lik alandan daha önce işletmecilik yapılarak açılmış olan sahaların bitişiğindeki ruhsat sahası içindeki proje alanında (ÇED alanı), yılda 24000 ton olmak üzere 10 yılda 240000 tonluk bir üretim yapılması mümkün görülmektedir. Alanda raporlarla belirlenmiş olan 500000 ton (%50 tüvenan) rezervin şimdiye kadar 100000 ton kadarlık bir kısmının çıkartıldığı düşünülürse, geri kalan rezervin daha uzun bir süre talebi karşılayacağı açıktır.

3.2 Madenin Üretimi Esnasında Yapılacak İşlemler

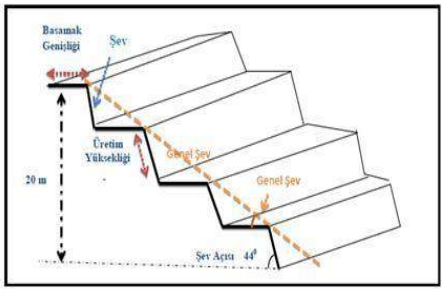
Arazide detaylı etüd çalışmalarını takiben arama ruhsatını takiben işletme ruhsatı işlemleri ile ilgili gerekli izinlerin alınması, ÇED raporunun hazırlanması gerekmektedir. Sahada daha önce Çanakkale Seramik A.Ş. tarafından çeşitli noktalardan yarmalar açmak suretiyle vollastonit üretimi yapılmıştır. Arazinin hazırlanması aşamasında çalışma alanının sınırları içinde yeri belirlenmiş olan sahalara yüzeyden sıyrılan humuslu bitkisel toprağın konulup muhafaza edildiği yerin belirlenmesi, daha sonra cevheri alınan yere serilmek üzere korunması gerekmektedir. Saha, daha önce vollastonit bulunmuş zuhurların açıldığı yarmaları ve aynı jeoloji ve kontakt zonlarını içeren yapılarla diğer oluşumlardan ayrılmaktadır.

3.3 Uygulanacak Açık İşletme Yöntemi

İlgili sahada uygulanacak en uygun işletme yöntemi, basamaklar üzerinde delik delme düzeni oluşturup, delme-patlatma yöntemiyle kaya serbestleştirmesini sağlayan yöntemdir. Yan kayaçla en az karışmayı sağlayarak, triyajla cevher zenginleştirmesi ocak içinde mümkün olacaktır. İğne ve bıçak şekilli kristal agregalarından oluşan yapısı nedeniyle gözle yantaştan ayrılabilen cevher, triyaja tabi tutulup zenginleştirilerek ocaktan teslim şartıyla piyasaya arzedilebilecektir.

3.4 Arazinin Hazırlanması

Projenin uygulanacağı alan, şahıs, tarım ve orman arazilerinden oluşmaktadır. İlgili mevzuatlar kapsamında gerekli izinler alındıktan sonra arazi hazırlık çalışmalarına başlanacaktır. Çalışma yapılacak alandaki ağaç kesimleri ilgili kurum bilgisinde gerçekleştirilecek ve proje alanının çevresi çit ile çevrilecektir. Daha sonra bitkisel toprağın sıyrılması ve depolanması aşaması uygulanacaktır. Sıyrılan bitkisel toprak peyzaj çalışmalarında ve rekreasyon alanlarının bitkisel peyzaj düzenlemesinde değerlendirilmek üzere, uygun bir şekilde depolanacaktır. Basamak tasarımı ise, basamaklı yöntem uygulanarak üretim faaliyeti gerçekleştirilecektir. Basamak şev açısı ortalama olarak 44° olacak şekilde tasarımlanacaktır. Basamak yükseklikleri 5'er m'lik dilimler halinde toplam olarak 20 m olacak şekilde planlanmıştır. Belirtilen rakamlar işletme sırasında değişebilecektir (Şek. 3).



Şekil 3. Basamak tasarımı.

3.5 Patlatma Tekniği ve Detayları

Patlatma dizaynı; alınacak malzemenin miktarına, basamakların durumuna, kalınlığına, çatlak sisteminin ve gevşetilecek bloğun durumuna, patlatma alanı çevresinde bulunan hassas yapıların (bina, köprü vb.) uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. Açık ocak patlatmalarının büyük bir kısmı basamak patlatması şeklinde yapılmaktadır. Serbest yüzeye (aynaya) paralel olarak açılan dik veya dike yakın patlatma, patlatma deliklerinin patlayıcı ile şarj edilerek patlatılması basamak patlatması olarak adlandırılır. Basamak patlatma verimini etkileyen birçok parametre vardır. Bir kısım parametreler kontrol edilebilir. Bu parametreler değiştirilerek patlatma performansına etki edebilir. Bazı parametreler ise kontrol edilemezler. Kontrol edilemeyen parametrelerin değiştirilmesi mümkün değildir.

Kontrol edilemeyen parametreler;

· Kayacın jeolojik yapısı
· Patlatma deliğinin yapısı
· Kullanılan patlayıcı maddenin özellikleri
· Patlatma alanının fiziksel koşulları
· Su seviyesidir.

Kontrol edilebilen parametreler ise aşağıda projeye uygun olarak tasarlanmıştır. Faaliyet alanında yapılacak delme-patlatma işlemi sırasıyla; Wagon-Drill ile deliklerin delinmesi, ANFO'nun hazırlanması, sıkılanması ve patlatılması aşamalarından oluşmaktadır. Ocak sahasında gerçekleştirilecek patlatmalar uzman kişiler (belgeli ateşleyiciler/lisanslı firmalar) tarafından polis/jandarma nezaretinde yapılacaktır. Patlatma esnasında her türlü çevre emniyeti alınacak, tüm saha çevresine gerekli ikaz levhaları asılacak ve patlatma yapılmadan önce siren ile uyarı yapılacaktır. İşletmede 24/12/1973 tarih ve 14752 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Parlayıcı, Patlayıcı, Tehlikeli ve Zararlı Maddelerle Çalışılan İşyerlerinde ve İşlerde Alınacak Tedbirler" hakkındaki tüzük hükümlerine uyulacaktır. Patlayıcı madde kullanımı "Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi Ve Benzerlerinin Üretim İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esasları"na ilişkin 12/11/2004 tarih ve 25641 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Tüzük hükümlerine uygun olarak yapılacaktır. Faaliyet alanında patlayıcı madde olarak ANFO (% 94 amonyumnitrat, % 6 fuel oil karışımı) diye adlandırılan Amonyum Nitrat ve Motorin karışımından oluşan madde kullanılacaktır. Bu patlayıcı jelatinit tipi dinamit ve milisaniye gecikmeli kapsüller yardımıyla patlatılacaktır. Patlatma işlemleri sırasında kullanılacak olan patlayıcılar patlatma işleminin yapılacağı zamanlarda ve bir patlatma için gerekli olacak miktarda temin edilecek olup, faaliyet sahası sınırları içerisinde patlayıcı madde depolanmayacaktır.

3.5.1 Patlatma

Üretim faaliyetleri sırasında cevher ve yantaş malzemesi alandan patlatma yöntemi kullanılarak sökülecektir. Patlatma yöntemi olarak gevşetme patlatması seçilecek olup, bu yöntem cevherli malzemenin diğer yapıdaki kayaçlarla karışmasını engellemek için tercih edilmiştir. Basamak madenciliğinde üretimin ilk adımı sahanın belirlenen yükseklik, genişlik ve eğimde basamaklara ayrılmasıdır. Üretimin başlayacağı basamağa planlanan örüntü, ön yük ölçüleri ve delik sayısı kadar delik delinir. Açılacak deliklerin aralığı ve dilim kalınlıkları, delik derinlikleri, elde edilecek malzemenin kullanım amacına uygun olarak belirlenir. Bu ölçüleri belirlemekteki amaç, üretilmek istenen cevher miktarını elde edebilmektir. Faaliyet alanında gerçekleştirilecek delme-patlatma işlemi; wagon-drill ile deliklerin delinmesi, ANFO'nun hazırlanması, sıkılanması ve patlatılması sırasıyla yapılacaktır. Bu işlemler uzman personeller eşliğinde gerçekleştirilir. Patlatma işlemi sırasında proje alanında ilave hacim yaratacak şekilde 102 mm (4") çapında delinecek deliklerin arasındaki mesafe 3.2 m, dilim kalınlığı 2.8 m olacak şekilde delik düzeni oluşturulacaktır. ANFO tipi patlayıcı madde kullanılacak ve delikler sıkılanacaktır. Patlayıcı maddelerin ve patlatma için

yardımcı elemanların yerleştirilmesinden sonra patlatma işlemi gerçekleştirilecektir. ANFO'nun dar hacimde yanmasını sağlayarak meydana gelen gazların itici-koparıcı tesir yapmasına neden olacak patlatıcı madde olarak bir tanesi 30 mm çapında, 125 g ağırlığında olan 2 lokum dinamit jelatinit; dinamit jelatinitin de alevlenerek patlamasını sağlayacak kapsül, 8 no'lu kapsül olup, 45 mm uzunluğunda ve 6.85 mm çapındadır. Deliklerin sıkılanmasını sağlayan madde etrafta bolca bulunan, aynı zamanda kaya fırlamasının ve tozlanmanın en aza indirilmesine yarayan kireçtaşı olacaktır. Bu süreçten önce patlatma esnasında meydana gelecek tozu azaltmak amacıyla su püskürtülerek ıslatma yapılacaktır.

3.5.2 Patlayıcı maliyetinin hesaplanması

Patlayıcı maddenin konulacağı delikle ilgili boyutlar, (l_S=Sıkılama kolonu uzunluğu; l_p=Patlayıcı maddeler kolonu uzunluğu; l_a=Kademe altı kolonu - ek delik uzunluğu) Hino Formülü kullanılarak bulunabilir. Dilim kalınlığı Y=2.8 m basamak yüksekliği K=5 m alınacaktır (Şek. 4). Buna göre;

$$l_s = 1.1 \times Y \times (K/(2 \times Y)) \quad (1)$$
$$l_s = 1.1 \times 2.8 \times (5/(2 \times 2.8)) = 2.75 \text{ m}$$

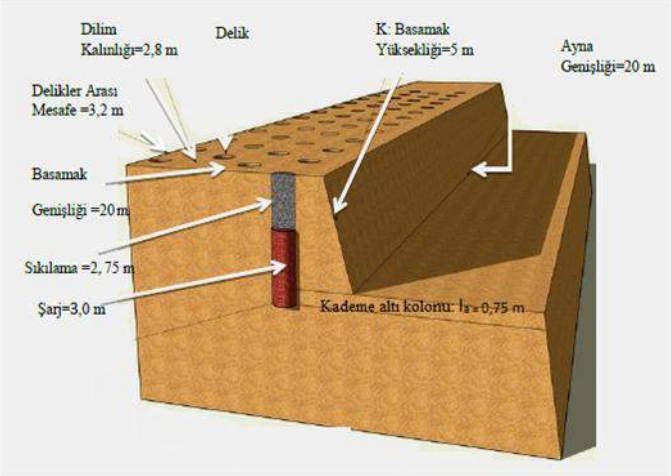
$$l_a = 0.3 \times Y \times (K/(2 \times Y)) \quad (2)$$
$$l_a = 0.3 \times 2.8 \times (5/(2 \times 2.8)) = 0.75 \text{ m}$$

(Delikler arası tırnak oluşumuna engel olmak için açılır)

$$l_p = (K + l_a) - l_S \quad (3)$$
$$l_p = (5 + 0.75) - 2.75 = 3.00 \text{ m}$$

Patlayıcı madde (ANFO) şarj miktarı, G_p anfonun delik içinde olması gereken yoğunluğu olup (1 t/m^3 alınır) ve d delik çapı (m) olmak üzere (M_p) :

$$M_p = (1/4) \times \pi \times d^2 \times l_p \times G_p \quad (4)$$
$$M_p = (1/4) \times \pi \times 0.102^2 \times 3 \times 1$$
$$M_p = 0.0245 \text{ ton} = 24.5 \text{ kg}$$



Şekil 4. Basamaklarda delik delme düzeni ve boyutlandırma.

1 kg ANFO'nun MKE satış fiyatı 2.10 TL olduğuna göre 20 delik için ANFO tutarı:
$$20(\text{delik}) \times 24.5(\text{kg/delik}) \times 2.1(\text{TL/kg}) = 1029.00 \text{ TL}$$
ANFO için gerekli motorin miktarı, anfonun % 6'sı alınarak bulunan, M_m :
$$M_m = 0.06 \times 24.5 = 1.47 \text{ kg/delik}$$

20 delik için toplam motorin maliyeti, motorin kg fiyatı 4.65 TL/kg olduğuna göre:
$$\Sigma M_m = 20(\text{delik}) \times 1.47(\text{kg/delik}) \times 4.65(\text{TL/kg})$$
$$\Sigma M_m = 136.71 \text{ TL}$$

Delik başına 1 adet gecikmeli kapsül kullanıldığına ve 1 kapsül fiyatı 2.45 TL olduğuna göre toplam kapsül maliyeti, ΣM_k :
$$\Sigma M_k = 20(\text{delik}) \times 2.45(\text{TL/kapsül}) \times 1(\text{kapsül/delik})$$
$$\Sigma M_k = 49.00 \text{ TL}$$

Ateşleme teli olarak kullanılan PVC kaplı elektrolitik bakır telin 1 m'sinin fiyatı 0.25 TL/m olduğuna ve bir delik için 2 boy ateşleme teli kullanıldığına göre, maliyeti:
$$\Sigma M_{at} = 0.25(\text{TL/m}) \times 2(\text{boy/delik}) \times (1.5 + 2.75 + 3.2)(\text{m/boy}) \times 20(\text{delik}) + 0.25(\text{TL/m}) \times 100(\text{m})$$
$$\Sigma M_{at} = 99.50 \text{ TL}$$

Bir deliğe 2 adet 125 g'lık dinamit jelatinit lokumu konulduğuna ve dinamitin kg'ı 7.28 TL olduğuna göre, toplam dinamit maliyeti:
$$\Sigma M_d = 20(\text{delik}) \times 2(\text{adet/delik}) \times 0.125(\text{kg/adet}) \times 7.28(\text{TL/kg})$$

$\Sigma M_d = 36.40$ TL

O halde toplam P.M. ve ateşleme için gerekli malzeme tutarı, ΣM_{pm}:

$\Sigma M_{pm} = 1029.00 + 136.71 + 49.00 + 99.50 + 36.40$

$\Sigma M_{pm} = 1350.61$ TL

Yapılan patlama işlemi sonucu serbestleşecek cevherli kitle hacmi, V_s; X, delikler arası mesafe (m); Y, dilim kalınlığı (m); H, istenen basamak yüksekliği (m) olmak üzere:

$V_S = X \times Y \times H$ (5)

$V_S = 3.2(m) \times 2.8(m) \times 5(m)$

$V_S = 44.80\ m^3$

Yan taş olan kireçtaşının yoğunluğu 2.50 t/m^3; vollastonitin yoğunluğu ise 3.127 t/m^3'tür ve serbestleşecek yantaşın oranını %50, vollastoniti %50 şeklinde alacak olursak, ortalama yoğunluk G_c, 2.81 t/m^3 olacaktır. Buna göre serbestleşecek kitlenin miktarı, M_s ton olarak bulunur:

$M_S = V_S(m^3) \times G_c(t/m^3)$ (6)

$M_S = 44.80(m^3) \times 2.81(t/m^3)$

$M_S \cong 126$ t

20 delik ateşlendiğine göre toplam serbestleşmiş tüvenan miktarı, ΣM_t:

$\Sigma M_t = 20 \times 126 = 2520$ ton

Bu miktarın yarısı olan 1260 ton, ocak içi triyajla ayrılması düşünülen vollastonittir. Ocak başı teslimde 18 tonluk kamyonlarla ayıklanmış cevherin alınması düşünülürse kamyon sayısı N:

$N = 1260/18 = 70$ kamyon

Ayıklanmış vollastonit miktarı ΣM_{tr}, 1260 ton olduğuna göre, 1 ton vollastonite düşen patlayıcı madde maliyeti (M_{PMT}):

$$M_{PMT} = \frac{\Sigma M_{pm}}{\Sigma M_{tr}} = \frac{1350.61(TL)}{1260(ton)} = 1.07\ TL/t$$

3.6 Tüm Personel Giderlerinin Maliyete Etkisi

Yıllık planlanan üretimleri bulmak için önce işletme süresi olarak alınan 10 yıl boyunca hedeflenen üretimin belirtilmesi gerekir. Bu miktar, 240000 ton vollastonittir. Yantaşı ile birlikte serbestleştirilecek kitle bu duruma göre 480000 tonu bulmaktadır. Buna göre yıl başına düşen tonaj, 48000 tondur. Bunun çalışma saatine şarjı bulunursa yılda 10 ay, 260 gün/yıl, 26 gün/ay ve 1 günde 8 saat çalışıldığına göre toplam çalışma süresi yılda saat olarak 2080 saattir. Triyajcı işçilerin 1 saat dinlenme-yemek molasını da gözönünde bulundurursak toplam fiili çalışma süresi:

$\Sigma t = 2080 - 260 = 1820$ saat

Bu sürede yukarda belirtilen tonajın üretimi gerekecektir. Delme, patlatma, triyaj, yükleme gibi faaliyetler sonucu saat başına düşen ortalama üretim tonajı, $M_{SÜ}$:

$$M_{SÜ} = \frac{48000(ton)}{1820(saat)} = 26\ ton/saat$$

Çizelge 2'de nezaret kademesinde çalışanlar ve ödenecek toplam ücret verilmiştir.

Çizelge 2. Nezaret kademesinde çalışanlar ve ödenecek toplam ücret.

Kadrosu	Adet	Brüt Maaş (TL)	Net Maaş (TL)
Mühendis	1	4735	3717
Tekniker	1	2692	2114
Başçavuş	1	2247	1764
Çavuş	1	1988	1561
Toplam	4	11662	9156
Yıllık Toplam	8	139944	10987 2

Her işçinin saatte 1 ton triyaj yapıp yüklediği düşünülürse, 26 triyaj işçisine ihtiyaç olduğu görülür. Temmuz 2014'te vasıfsız işçi için asgari ücret brüt 1134 TL/ay; net olarak 891.04 TL/ay olduğuna göre 12 ay hesabıyla triyaj işçilerine 1 yılda ödenecek toplam brüt ücret, C_V:

$\Sigma C_V = 1134(TL/ay) \times 12(ay/yıl) \times 26(işçilik, birimsiz)$

$\Sigma C_V = 353808$ TL/yıl

Bu değerin yapılan 1 ton vollastonit üretimine şarjı:

$$M_{Tİ} = \frac{\Sigma C_V(TL/yıl)}{24000(ton\ vollastonit/yıl)}$$

$$M_{Tİ} = \frac{353808(TL/yıl)}{24000(\text{ton vollastonit/yıl})}$$
$$M_{Tİ} = 14.74\ TL/\text{ton}$$

Çizelge 3'de diğer işçilikler ve ödenecek aylık/yıllık toplam ücretler verilmiştir. Buna göre tüm personel giderleri toplamı:

Nezaret + Triyaj İşçiliği + Diğer İşçilikler = 139944 + 353808 + 185856 = 679608 TL/yıl

Yıllık 1 ton vollastonit üretimine şarjı, $M_İ$:

$$M_İ = \frac{679608(TL/yıl)}{24000(\text{ton vollastonit/yıl})}$$
$$M_İ = 28.32\ TL/\text{ton}$$

Çizelge 3. Diğer işçilikler ve ödenecek aylık/yıllık toplam ücretler.

Kadrosu	Adet	Brüt Maaş (TL)	Net Maaş (TL)	Toplam
Loder Operatörü	1	1910	1500	1910
Loder Yağcısı	1	1134	891	1134
Vagon-Drill Operatörü	1	1910	1500	1910
VagonDrill Yağcısı	1	1134	891	1134
Kamyon Şöförü	2	1592	1250	3184
Barutçu	1	2356	1850	2356
Yardımcı İşçilik	2	1134	891	2268
Pikap Şöförü	1	1592	1250	1592
Toplam	10			15488
Yıllık Toplam				185856

3.7 Makine ve Araç Giderleri

Çizelge 4 ve 5'te sırasıyla, kullanılan makinaların yakıt giderleri belirlenmiş, iş hacmine göre makine ve araç giderleri verilmiştir.

Çizelge 4. Kullanılan makinaların yakıt giderleri.

Makine veya Aracın Cinsi, Özelliği	Günlük Harcama (l/gün)	Yakıtın Birim Fiyatı (TL/l)	Toplam Yakıt Gideri (TL/gün)	Üretime Şarjı M_Y (TL/ton)
Vagon Drill (Paletli)	25	4.29	107.25	0.59
Loder (Lastik Tekerlekli)	25	4.29	107.25	0.59
Kamyon (6 m^3 hacimli, damperli)	25	4.29	107.25	0.59
Pikap	5	4.29	21.45	0,12
Toplam	60		343.20	1.89

Çizelge 5. Belirlenmiş iş hacmine göre makine ve araç giderleri.

Makine veya Aracın Cinsi (Özelliği)	Adet	Birim Fiyatı ($ ve TL)	Amortisman Süresi (Yıl, Fiili Saat)	Amortisman Payı (M_{AP}) (TL/saat,TL/ton)	Ortalama Yatırım (TL/saat)	İlk Yatırım Faizi (TL/saat,TL/ton) ($M_{İYF}$) (KKDF:%15;BSMV:%5)
Vagon Drill (Paletli)	1	86000 $ 181004 TL	10 yıl 18200 saat	9.95 TL/saat 0.75 TL/ton	5.47 TL/saat	1.09 TL/saat 0.042 TL/ton
Loder (Lastik Tekerlekli)	1	138729 $ 291983 TL	10 yıl 18200 saat	16.04 TL/saat 1.22 TL/ton	8.82 TL/saat	1.76 TL/saat 0.068 TL/ton
Kamyon (6 m^3 hacimli, damperli)	2	60135 $ 126567 TL	10 yıl 18200 saat	13.90 TL/saat 1.05 TL/ton	3.82 TL/saat	0.76 TL/saat 0.029 TL/ton
Pikap	1	25775 $ 54250 TL	10 yıl 18200 saat	2.98 TL/saat 0.23 TL/ton	1.64 TL/saat	0.33 TL/saat 0.013 TL/ton
Toplam	5	370774 $ 780371 TL	10 yıl 18200 saat	42.87 TL/saat 3.25 TL/ton	19.75 TL/saat	3.94 TL/saat 0.15 TL/ton

1 ABD Doları ($) : 2.10470043 TL olarak alınmıştır (02/05/2014).

3.8 Toplam Maliyet ve 1 Ton Vollastonite Şarjı

Yukardaki çizelgeler gözönünde bulundurularak ve ocakta kullanılan araçların tamir- bakım gideri olarak (M_{TB}), amortisman payının % 10'u oranında bir masrafı da hesaba katarsak, 1 ton vollastonit elde edilmesi için gerekli ilk yatırım ve işletme harcamaları ($M_{İŞ}$) bulunabilir:

$$M_{İŞ} = M_{PMT} + M_{İ} + M_{AP} + M_{İYF} + M_{Y} + M_{TB} \quad (7)$$

$$M_{İŞ} = 1.07 + 28.32 + 3.25 + 0.15 + 1.89 + 0.32 = 35.00 \text{ TL/ton}$$

Triyaj işlemi ile 5-30 cm arası ayıklama düşünüldüğüne göre, eğer bu boyuttaki ayıklanmış malzeme ince toz halinde öğütülmek ve torba ürün haline getirilmek istenirse kurulacak tesis ve işletmeciliği için % 17.5 daha fazla bir yatırım yapılması gerekmektedir. Buna göre kırma eleme tesisi de düşünülürse maliyeti M_{KE}:

$$M_{KE} = 0.175 \times 35.00(\text{TL/ton})$$
$$M_{KE} = 6.12 \text{ TL/ton}$$

Toplam maliyet (ΣM) ise;

$$\Sigma M = M_{İŞ} + M_{KE} = 35.00 + 6.12$$
$$\Sigma M \cong \mathbf{41.12\ TL/ton} \cong \mathbf{19.54\ \$/ton}$$

(Fiyatlar, Temmuz 2014 baz alınarak belirlenmiştir) (Haner ve Haner 2013, Haner ve Haner 2014)

4 SONUÇLAR

Serçeören vollastonitinin işletilme maliyet analizi sonucu, Çin'in Limanda Bordoya teslim fiyatı (FOB) ile kıyaslandığında (200 mesh vollastonit için) yaklaşık 4 kat daha ucuza üretilebileceği görülmüştür.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde ve dünyadaki kullanım alanları düşünüldüğünde vollastonit cevherinin ülke ekonomisine katkısı umulurki en kısa sürede anlaşılabilinir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı TÜBİTAK'a (113Y036 nolu proje) teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

Anonim, 1997. *World Health Organization/ International Agency for Research on Cancer*. "IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans", http://monographs.iarc.fr/, Son erişim tarihi: 05 Haziran 2013.

Ciullo, P.A. 1996. *Industrial Minerals and Their Uses*. New Jersey: Noyes Publications.

Deere, DU., Miller, RP. 1966. "*Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock"*. Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, 101.

Haner, S., Çuhadaroğlu, D., Vollastonit: Bir Gözden Geçirme, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37 (1), 63-82, 2013.

Haner, S., Haner, B., Serçeören (Balıkesir) Bölgesi Kalsiyum Metasilikatının Sağlık Gereçlerinde Kullanımı Üzerine Araştırmalar, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (45), 35-45, 2013.

Haner, S., Haner, B., The Features of Wollastonite in Balikesir and its Use in Ceramic Materials as an Alternative Raw Material, *International Ceramic Review*, 63 (7-8), 352-357, 2014.

Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowski, S.T. 2006. *Industrial Minerals & Rocks* (7th Edition). Colorado: Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Springer, J. 1994. "Ontario Wollastonite: Uses, Markets and Ontario's Potential as a Future Producer", *Industrial Mineral Background*, 17, 22.

URL, 2012. *NYCO*. http://nycominerals.com/, Son erişim tarihi: 02 Temmuz 2013.

Virta, R.L. 2011. U.S. Geological Survey. "Wollastonite*", In Minerals yearbook*. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vollastonite/myb1-2010-wolla.pdf, Son erişim tarihi: 10 Haziran 2013.

Trabzon İli Araklı İlçesi Kaymaklı Köyünden Alınan Kireçtaşı Örneklerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of Usability as Concrete Aggregate of Limestone Samples were Taken from Trabzon Province Arakli District Kaymakli Village

A.O. Yılmaz
KTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

E. Koç
Atatürk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum

D.D. Şahin
Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

ÖZET Çalışmada, Trabzon ili, Araklı ilçesi Kaymaklı köyünde bulunan kireçtaşı örneklerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Laboratuvara getirilen numunelerin deneylere hazırlanması için kayaçlar silindirik ve kübik şekillerde kesilmiş, geri kalan kısımlar ise kırılarak mıcır haline getirilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk-birim hacim ağırlık, su emme ve donma çözünmeye karşı direnç deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tek eksenli basınç dayanımı, Micro-Deval aşınma dayanımı, kırılganlık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan kırma taş numunelerine elek analizi yapılarak beton karışım hesapları oluşturulmuştur. Son aşamada ise beton numuneleri dökülmüş ve yirmi sekiz günlük kür süresine sahip dayanımları bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan beton numunelerine ait dayanım değerlerinin C16/20 dayanım sınıfında oldukları fakat incelenen kireçtaşı örneklerinin TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen beton agregası standartlarını sağlamadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğaltaş, agrega, beton

ABSTRACT In this study, limestone samples were taken from Trabzon province Arakli district Kaymakli village were investigated of usability as concrete aggregate. Some of the samples were cut to cylindrical and cubical shapes and; the rest of the samples were crushed into stone chips for further analysis in the laboratory. Density-bulk density, water adsorption, freeze-thraw resistance test were carried out to determine the physical properties of the samples and; uniaxial compression strength, Micro-Deval abrasion resistance, brittleness test were also carried out to determine the mechanical properties of the samples. In addition, sieve analysis was performed on the crushed samples and concrete mix designs were established. In the last stage, concrete samples were poured and the strength was determined for curing a period of 28 days. The results showed that, concrete prepared using limestone was in the strength class C16/20 but investigated limestone samples weren't providing TS 706 EN 12620+A1 standard of aggregates for concrete.

Keywords: Natural Stone, aggregate, concrete

1 GİRİŞ

Trabzon ili Araklı İlçesi Kaymaklı Köyü'nde yapılan arazi çalışmaları sonucunda tespit edilen kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile bölgeden alınan kireçtaşı numuneleri KTÜ Maden Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir.

Deneylerde kullanılabilmesi amacıyla, kayaçların bir kısmı silindir ve küp şeklinde kesilmiş, geri kalan kısımlar ise kırma taş numunesi haline getirilmiştir.

Numunelere temel agrega deneyleri yapılarak fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca incelenen kireçtaşları kullanılarak beton dökümleri yapılmış ve 28 günlük kür süresine sahip dayanımları belirlenmiştir.

1.1 Agrega

Mineral kökenli, 100 mm'ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl, kırmataş veya curuf gibi malzemelere agrega denir (Özkul vd., 1999). Diğer bir ifade şekli ile agrega, betonun %60-80' ini oluşturan mineral kökenli, taneli yapıdaki malzemedir (Arıoğlu vd., 2006).

Betonun önemli özellikleri beton üretiminde kullanılan agreganın yapısal karakteristiklerine bağlıdır. Agregaların betonun büyük bir bölümünü oluşturduğu düşünüldüğünde, agreganın bütün özelliklerinin bilinmesinin ne denli önemli olduğu da görülmektedir.

Agregalar, sert, sağlam, aşınmaya ve donma çözünmeye karşı dayanıklı olmalıdır. Su ve çevresel etkilerle yumuşamamalı ve dağılmamalıdır. Şekli ve yüzey dokusu iyi olmalıdır. Özellikle betonda kullanılacak agregalar çimento bileşenleriyle betona zarar verici bir tepkimeye girmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir (Güner ve Süme, 2000).

Agrega, sahip olduğu yapısal özelliklerini meydana geldiği kayaçtan almaktadır. Bu nedenle agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı, rengi gibi çeşitli özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla agregaların özellikleri belirlenirken oluşum kayacından yararlanılabilmektedir. Ancak agregalar taneli yapıda olduklarından tane şekli, boyutları ve boyut dağılımları, yüzey yapısı, boşluk oranı ve su emmesi gibi özellikleri ayrıca incelenmelidir.

1.2 Beton

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddeleri karıştırılarak elde edilen yapı malzemesine beton denir.

Agregalar betonun yaklaşık %75'ini oluştursa da herhangi bir bağlayıcılık özelliğine sahip değildirler. Beton içerisindeki agregayı bir arada tutabilmek için karışıma çimento ilave edilmelidir. Çimentonun da hidratasyonu sağlayabilmesi için ortama su eklenmelidir.

Normal beton 160-250 kg/cm^2'lik bir basınç dayanımına sahip olacak şeklinde üretilirken özellikleri geliştirilerek 2000 kg/cm^2 yük taşıyabilen yapılar haline de getirilebilmektedir (Güner ve Süme, 2000).

Betonların dayanımları, sağlamlıkları ve diğer özellikleri karışım içerisindeki malzemelerin oranına, karışım şekline, sıkıştırma yöntemine ve kürüne bağlıdır (Tutmaz, 2009).

Kaliteli betonda öncelikli olarak iki temel özelliğe bakılmalıdır. Bu özelliklerden ilki taze halde iken kolay işlenebilme, ikincisi ise sertleştiğinde yüksek dayanım vermedir (Koç, 2014).

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

Numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk-birim hacim ağırlık, su emme ve donma çözünmeye karşı direnç deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tek eksenli basınç dayanımı, Micro-Deval aşınma dayanımı, kırılganlık deneyleri yapılmıştır. Ayrıca hazırlanan kırma taş numunelerine elek analizi yapılarak beton karışım hesapları oluşturulmuştur. Son aşamada ise beton numuneleri dökülmüş ve yirmi sekiz günlük kür süresine sahip dayanımları bulunmuştur.

Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan kireçtaşı örneklerine ait miktarlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneyler için hazırlanan numune miktarları.

Yapılan Deneyler	Numune Şekli	Numune Miktarı
Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık	Karot NX	5 Adet
Su Emme	Kırma taş	500 gr
Donma Çözünme Direnci	Karot NX	5 Adet
Tek Eksenli Basınç Day.	Karot NX	5 Adet
Micro-Deval Aşınma Day.	Kırma taş	2 kg
Kırılganlık Day.	Kırma taş	500 gr

*Silindirik numuneler ort. 10,9 cm uzunluğundadır.

2.1 Fiziksel Özellik Deneyleri

Yoğunluk-Birim hacim ağırlık tayini için ISRM (1981) tarafından belirlenen yöntem kullanılmıştır.

Su emme tayini için TS EN 1097-6 standardında belirtilen yöntem kullanılmıştır.

Donma çözünme direncinin belirlenmesi için ASTM D5313-92 standartlarında belirtilen yöntem kullanılmıştır.

İncelenen kireçtaşı numunelerine ait fiziksel özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kireçtaşı numunelerinin fiziksel özellikleri.

Yapılan Deneyler	Deney Sonuçları
Yoğunluk	2,35 gr/cm^3
Birim Hacim Ağırlık	23 kN/m^3
Su Emme	% 1,52
Donma Çözünme Direnci	% 1,92

2.2 Mekanik Özellik Deneyleri

Tek eksenli basınç dayanımı tayini için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

Micro-Deval aşınma dayanımı tayini için TS EN 1097-1 standardında belirtilen yöntem kullanılmıştır.

Kırılganlık dayanımı (parçalanma direnci) tayini için TS EN 1097-2 standardında belirtilen yöntem kullanılmıştır.

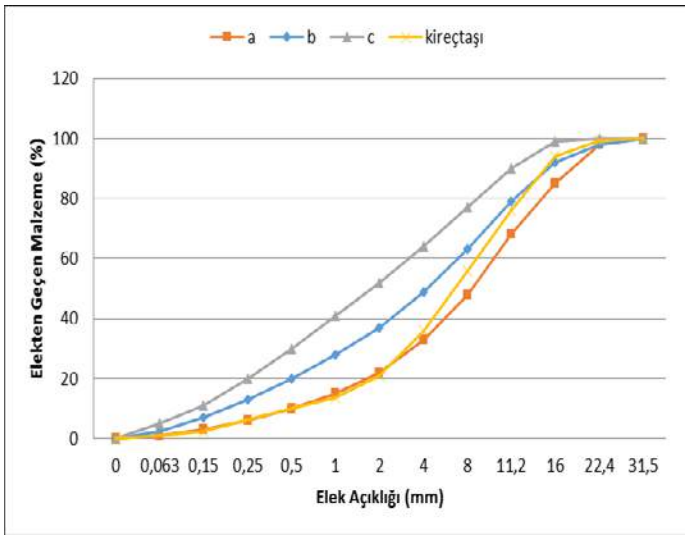
İncelenen kireçtaşı numunelerine ait mekanik özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kireçtaşı numunelerinin mekanik özellikleri.

Yapılan Deneyler	Deney Sonuçları
Tek Eksenli Basınç Day.	31,37 MPa
Micro-Deval Aşınma Day.	8,1 M_{DE}
Kırılganlık Day. (S_z)	% 42,75

2.3 Karışım Tasarımı

Karışım tasarımını oluşturmak üzere kırıcılarda kırılan kireçtaşı numunelerine elek analizi yapılmıştır. Tane boyut dağılımının belirlenmesinde TS 706 EN 12620 standardında belirlenen yöntem kullanılmıştır. Kireçtaşı kırma taş numunesine ait elek analizi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



*a: alt sınır, b: ideal granülometri, c: üst sınır (TSE)

Şekil 1. Kireçtaşı kırma taş numunesi elek analizi.

Kırma taş haline getirilen ve elek analizleri yapılan numuneler beton dökümlerinde kullanılmak üzere karışım haline getirilerek hazırlanmıştır. İstenilen niteliklerde beton elde edebilmek için karışım agregaların uygun granülometriye sahip olmaları gerekir.

Kayaçlardan elde edilen kırma taş numuneleri üzerinde yapılan elek analizi sonuçlarına göre kayaçların granülometrisinin TS 706 EN 12620'de belirtilen sınır değerleri sağlamadığı görülmüştür. Beton dökümlerinde kullanılabilmesi ideal granülometriyi elde edebilmek amacıyla eksik kalan tane boyu fraksiyonları aynı fraksiyondan malzeme ile takviye edilmiştir.

Oluşturulan beton karışımı için hedeflenen dayanım sınıfı C18/22 olarak belirlenmiştir. Hedef dayanım için deneyde kullanılan karışım oranı %13,42 çimento, %8,26 su ve %78,31 agrega olacak şekilde tasarlanmıştır.

Karışım oranlarına uygun olarak hazırlanan beton karışımları karıştırıcı ile karılarak homojen bir şekilde hazırlanmaları sağlanmıştır. Oluşturulan beton harçları 0,5 Çap/Boy oranına sahip silindirik kalıplara doldurularak kaplar sıkılaştırılmış ve serleşmeleri için 24 saat bekletilmiştir. Yeterince sertleşen numuneler 28 günlük kür sürelerine erişmeleri için kür havuzuna yerleştirilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan beton numuneleri kür havuzundan çıkartılarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

2.4 Beton Deneyi

28 günlük kür süresine sahip 0,5 Çap/Boy oranına sahip silindirik numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, TS 500'de belirtilen sınıflar uygulanmıştır. Deney için 3 adet numune kullanılmıştır. Deneyde TS EN 12390-3 standardı uygulanmıştır. Hazırlanan beton numunelerine ait 28 günlük kür süresi sonucundaki ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri 16,98 MPa olarak ölçülmüştür.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Fiziksel Özellikler

Yapılan deneyler sonucunda incelenen kireçtaşı numunelerinin fiziksel özellikleri bakımından TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını sağladıkları ve hafif agrega sınıfında oldukları görülmüştür.

3.2 Mekanik Özellikler

Yapılan deneyler sonucunda incelenen kireçtaşı numunelerinin Micro-Deval aşınma dayanımlarının TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını sağladıkları görülmüştür.

İncelenen numunelerin parçalanma direncinin (kırılganlık) TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen sınır değeri aştığı görülmüştür.

Dolayısıyla incelenen numunelerin mekanik özellikler bakımından agrega olarak kullanımı uygun değildir.

3.3 Elek Analizi ve Beton Deneyi

Yapılan elek analizleri sonucunda incelenen numunelere ait tane boyut dağılımının TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen sınır değerleri sağlamadığı görülmüştür. Dolayısıyla incelenen kireçtaşı numuneleri doğadan alındıkları haliyle ve kayaçlara sadece kırma işlemi uygulanarak beton agregası olarak kullanılamazlar. İstenilen standartlarda ve kalitede bir beton elde edilebilmesi için kayaçlardan elde edilen kırma taşların (mıcır) karışım tasarımları yapılmalı ve ideal tane boyut dağılımında olmaları sağlanmalıdır.

Kayaçlardan elde edilen 28 günlük kür süresine sahip beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı sonuçları bakımından beton karışım hesaplarında hedeflenen C18/22 dayanım sınıfı değerlerini sağlamadığı görülmüştür.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Araziden alınan kireçtaşı numuneleri üzerinde yapılan agrega deneyleri sonuçlarına göre fiziksel özellikleri bakımından TS 706 EN 12620+A1'de belirlenen agrega standartlarını sağladıkları fakat mekanik özellikleri bakımından bu standartların dışında kaldıkları görülmüştür. Ayrıca, hazırlanılan beton numunelerinin hedef dayanım değerini sağlamaması dolayısıyla, incelenen kireçtaşı numunelerinin beton agregası olarak kullanımı uygun görülmemiştir.

KAYNAKLAR

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A., O., 2006. *Beton Agregaları Çözümlü Problemleri,* Evrim Yayınevi, İstanbul, 297s.

Güner, M., S. ve Süme, V., 2000. *Yapı Malzemesi ve Beton.* Aktif Yayınevi, Erzurum, 335s.

I.S.R.M., 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, 211s.

Koç, E., 2014. Trabzon İli ve Çevresinden Alınan Doğal Taşların Agrega Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 84s.

Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Briliği, İstanbul, 117s.

T.S.E., 2009. Beton Agregaları. TS 706 EN 12620+A1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 35s.

Tutmaz, Ş., İ., 2009. Tokat İli Merkez İlçesindeki Agrega Kaynaklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 74s.

Türkiye'deki Mermer Sektörü Sorunlarının Tespit Edilip Analitik Hiyararşi Prosesi Yöntemi İle Önceliklendirilmesi

Determinig of Marble Industry Problems for Turkey and Prioritizing Them by Using Analytic Hierarchic Process

E. B. Baylan
İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Türkiye'de mermer sektörü madencilik endüstrisinin en önemli dallarında birisidir. Görünür ve muhtemel rezerv bakımında Türkiye dünyanın bu sektördeki lider ülkeler arasındadır. Aynı zamanda bu sektörün yaptığı ihracat GSMH'ya önemli katkıda bulunmaktadır. İstanbul Madenler ve Metaller İhracatçı Birlikleri'nin verilerine göre Türkiye mermer ve traverten ihracatı, dünya mermer ve traverten ihracatının 2000 yılında yaklaşık %9'u iken 2010 yılına gelindiğinde yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Mermer dünyada ve Türkiye'de inşaat, süs eşyası, döşeme, heykelcilik ve mezarcılık alanlarında hammadde olarak kullanılmaktadır. Fakat Türkiye'de birçok sektörün sorunları olduğu gibi mermer sektörünün de sorunları vardır. Bu sorunlar maliyet, ürün kalitesi, finans, müşteriye ürün tedarik süresi ve risk konusunda dezavantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada mermer sektörünün merkezi yönetim ve yerel yönetimin çözümünde rol alabileceği sorunları mermer sektöründe çalışan uzmanlara danışarak tespit edip daha sonra bu sorunları analitik hiyerarşi prosesine göre önceliklendirme işlemi yapılmıştır. Sorunların mermer sektöründe çalışan firmalara maliyet, ürün kalitesi, finans, müşteriye ürün tedarik süresi ve risk konularında zarar verdiği kabul edilip sektör sorunları değer zinciri analizine göre sınıflandırılıp yukarıda saydığımız kriterlere göre önceliklendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer, analitik hiyerarşi prosesi

ABSTRACT: Marble industry is one of the most important branches of mining industry in Turkey. This country is among the leader countries in terms of marble industry. Besides that this industry has significant contrubution for GNP. According to İMMİB data as marble and travertine export of Turkey was %9 of total marble export of World at 2010 it includes %25 of World marble export. Marble is used in construction industry, ornaments, sculptures, florings and graves as raw materials in Turkey and all over the World. But, such as every industry has, marble industry has problems, either. Those problems cause disadvantages on cost, product quality, finance, lead time to customer and risk management in industry environment. In our study, marble industry problems which are suitable to be solved by local government and central government are determined by the contrubitions of experts who are working for marble industry then those problems are prioritized by using analytic network process. First, it is assumed that problems damage marble sector firms in points of cost, product quality, finance, lead time to customer and risk management second value chain analysis is also used for classifying the detailed problems and the last step is prioritizing the problems according to criterias that we mentioned above.

Keywords: Marble, analytic hierarchic process

1 GİRİŞ

Madencilik sektörünün bir alt dalı olan mermer sektörü Türkiyenin jeolojik yapısı sebebiyle çok avantajlı bir konumdadır. Akdenizin kuzeyinde yeralan mermer ve doğal taş bakımından zengin bir jeolojik kuşak üzerindedi. Kaynaklarda birinden farklı oranlara rastlamamıza rağmen Türkiyenin dünya mermer rezervlerinin yarısına yakınına sahip olduğunu bilmekteyiz. Bu büyük miktardaki mermer rezervi 650'ye yakın renk ve dokudadır.

Çizelge 1. Türkiye'deki Mermer Rezervi (Elazığ Mermer Raporu, 2011)

TÜRKİYE'DEKİ MERMER REZERVLERİ	**m^3**	**Ton**
Bilinen Rezerv	589.000.000	1.590.000.000
Muhtemel Rezerv	1.545.000.000	4.171.000.000
Mümkün Rezerv	3.027.000.000	8.172.000.000
Toplam Potansiyel	5.161.000.000	13.934.000.000 (Elazığ mermer raporu)

En önemli rezervler Batı Anadolu'da İzmir, Tire, Torbalı, Selçuk, Afyon, Eskişehir, Uşak, Muğla ilindeki Milas, Yatağan ve Kavaklıdere çevresinde; Trakya Bölgesi'nde Kırklareli, Dereköy ve Kafçaz'da; Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise Bitlis ve Elazığ çevresinde kaliteli mermer ve granit yatakları bulunmaktadır(Elazığ mermer raporu).

Mermer, gelişmiş ülkelerin inşaat endüstrisinde sıklıkla kullanılan iç ve dış yapı malzemesi olduğu için ihracatı mümkün ve karlı olan bir üründür. Türkiye'nin mermer ihracat rakamları da yıldan yıla artmaktadır. Günümüzde mermer endüstrisi temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi mermer ocakçılığı ikincisi ise mermer işleme ve şekil verme fabrikalarıdır. Mermer ocakçılığı kısmında doğada yeraltında bulunan mermer rezervini tespit edip madencilik yöntemleri ile yeryüzüne çıkarmaktır.

Çizelge 2. Türkiye'deki MermerÇeşitliliği (Elazığ Mermer Raporu, 2011)

TÜRKİYE'DE BULUNAN BAZI MERMER ÇEŞİTLERİ		
Afyon Beyaz	Diyarbakır Bej	Elazığ Siyah İnci
Kaplan Postu	Ege Bordo	Gölpazarı Bej
Menekşe	Ege Kahve	Hazar Pembe
Akhisar Beji	Ege Füme	Karacabey Siyahı
Akhisar Siyah	Ege Vişne	Karaburun Bej
Bartın Bej	Efes Güneşi	Kırşehir Beyazı
Gül Kurusu	Elazığ Vişne	Kırşehir Siyahı
Burdur Kahverengi Bej	Elazığ Petrol Yeşili	Kastamonu Eflani
Denizli Pembe	Elazığ Sunta	Kastamonu Bej
Kumru Türü	Osmaniye Vişne	Limon
Leopar	Sazara Sedef	Kavaklıdere
Afrodit	Saracakaya Bej	Teos Yeşil
Salome	Sivas Beji	Teos Ateş
Süpren	Sivrihisar Bej	Toros Siyah
Manyas Beyazı	Söğüt Bej	Toros Bej
Muğla Pembesi	New York	Vize Pembesi
Marmara Beyazı	Milas Leylak	Uşak Yeşil
Muğla Beyazı	Sedef	Uşak Beyaz

Bu mühendislik faaliyetlerinde kaya mermerin blok bütünlüğünü bozmayacak yöntemler kullanılır. Mermer blokları yer altında çıkarıldıktan sonra işlenmesi ve şekil verilmesi amacı ile mermer fabrikalarına gönderilir. Bu tesislerde mermer kesme makineleri kullanılarak şekillendirilir ve

sonra cilalanarak parlatılır. Müşteri taleplerine göre işlenmiş şekilde pazarlanır.
Ancak Türkiye'de, kabaca anlattığımız bu değer zinciri sürecinde sorunlar olmaktadır. Bizim çalışmamız gelecekteki çalışmalara ışık tutacak şekilde Türkiye madencilik sektörünün belirlenmesi ve analitik bir yöntemle önceliklendirilmesidir. Çalışmamızın diğer bölümleri bu basamaklardan oluşmaktadır.

2 TÜRKİYE'DE MERMER SEKTÖRÜNÜN SORUNLARI

Türkiye'de mermer sektörünün sorunları madenciliğin diğer sorunlarına benzemektedir. Türkiye, mermer rezervleri konusunda dünyanın önde gelen ülkelerinden biri olduğu için bu sorunlar daha fazla önemsenmelidir. Mermer sektörünün sorunları ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında kalkınma ajanslarının ve ticaret odalarının konuyla ilgili olduğu görülmektedir. Kalkınma ajanslarının bölgesel analizlerinde bölgenin madencilik faaliyetleri ve potansiyeli analiz edildiğinde mermer konusuna da yer verilmiştir. Fakat hiçbir çalışmada mermer sektörünün sorunları analitik bir yöntemle önceliklendirilmemiştir. Mermer sektörünün sorunlarının analiz edildiği bazı çalışmalara bakacak olursak; Elazığ mermer raporunda buna iyi bir örnek olabilir. Bu rapor Fırat Kalkınma Ajansının talebi üzerine yapılmıştır. Dünyada ve Türkiye'de mermer sektörünün analizini içermektedir. Daha sonra Elâzığ mermer sektörünün SWOT analizi yapılmış ve sorunlar tespit edilmiştir. Bu sorunlar mevzuatla ilgili sorunlar, lojistik ve nakliye sorunları, finansal sorunlar, maliyetle ilgili sorunlar, fiyatlandırma ile ilgili sorunlar, pazarlama ile sorunlar, ar-ge ve yapılanmaya ilişkin sorunlar ve niteliksiz işgücü sorunu olarak sınıflandırılmıştır (Kişman ve Kan, 2011). Yine 2011 yılında mermer ve traverten sektörü ile ilgili küresel ve bölgesel ölçekte bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada mermer ve traverten sektörü bölgesel ve küresel çapta incelenmiştir. Bölge olarak ege bölgesini ele almıştır. Mermer ve traverten sektörünün sorunlarını eğitimli ve nitelikli insan gücünün eksikliği, pazarlama ve tanıtım eksikliği, teşviklerin yetersizliği, mevzuattan kaynaklanan sorunlar, sektörün uluslararası rekabet gücü eksikliği, yüksek hammadde maliyeti sorunu, sermaye ve finansman sorunu, nakliye sorunları ve mermer atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaması olarak belirtilmiştir(Erkek ve Özdemir, 2011). Türkiye'de kalkınma ajansı desteğiyle hazırlanan diğer bir rapor ise "Tokat İli Mermer Endüstrisi Sektör Araştırması ve Rekabetçilik Analizi" dir. Bu proje Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı tarafından desteklenmiştir. Raporda diğer raporlara benzer olarak dünyada ve Türkiye'de mermer endüstrisinin genel analizi yapılmıştır. Bu bilgilere ek olarak Tokat ilinin mermer ve benzeri doğal taş potansiyeli araştırılmıştır. Şehir ilçeler bazında ele alınmış ve coğrafi olarak doğal taş potansiyeli analiz edilmiştir. Daha sonra "Elmas Modeli" kullanılarak şehrin rekabetçilik analizi yapılmıştır. Bu modelin faktör koşulları işgücü kaynakları, bilgi kaynakları, hammadde kaynakları, enerji kaynakları, finansman kaynakları, coğrafi konum ve lojistik, fiziki altyapı, makine parkı ve lojistik altyapı olarak belirlenmiştir. Analizde belirlenen sorunlar aşağıda tablolarda belirtilmiştir.

Çizelge 3. Faktör Şartları Sorunları

FAKTÖR ŞARTLARI
1. Nitelikli işgücü eksikliği
2. Profesyonel yönetici eksikliği
3. Çalışma koşulları
4. Üniversitede ve meslek liselerinde ilgili bölümün bulunmaması
5. İstatistikî bilgi birikiminin düşük olması (kamu ve STK)
6. Mermer rezervi ile ilgili yeni tarihli çalışma olmaması
7. Mermer rezervini kaliteli ve yüksek oluşu
8. Mermerin ocaklardan nakliye maliyetleri
9. Yüksek enerji maliyetleri elektrik ve yakıt
10. Sermaye yetersizliği
11. Limana ve uzaklık
12. Samsun limanının çalışmaması
13. Turhal'da Mermercilik sektörüne yönelik hizmet vermesi planlanan OSB'nin tercih edilmemesi
14. Atölyelerin KSS yanında özel arazide faaliyet yapmaları
15. Fiziki iş alanlarının yetersizliği
16. Eski ve yetersiz makine parkı

Çizelge 4: Devletin Çözebileceği Sorunlar

DEVLET
1. Kamu kurumlarının sektörün gelişmesi için bir gayret içerisinde olması
2. Kalkınma Ajansı, KOSGEB vb kuruluşların varlığı
3. Üniversite sektör işbirliğinin sağlanamaması
4. Bürokratik engeller
5. Devlet desteğinin az olması
6. Bölgede yer alan teşvik ve destekler
7. Yüksek vergi vb yükümlülükler

Çizelge 5. Destekeyici Sektör Sorunları

İLİŞKİLİ VE DESTEKLEYİCİ SEKTÖRLER
1. 2008 krizinden dolayı gerileyen inşaat sektörünün hızlı bir ivme göstererek büyümesi
2. Mermer ocaklarındaki yüksek işletme maliyetleri
3. Tokat ilindeki mermer rezervlerinin yatırım eksikliğinden çıkartılamaması
4. Mermer ocaklarındaki teknolojik alt yapının yetersizliği
5. Mermer sektörü ile ilgili STK'nın kurulmuş olmasına rağmen etkin olmaması

Çizelge 6. Talebi Etkileyen Sorunlar

TALEP KOŞULLARI
1. Blok mermer satışı
2. Kış aylarında hammadde temin edememe
3. Kamu yatırımlarında bölge taşı kullanılmaması
4. İhracat ile ilgili istatistiki verilerin sağlıklı olmaması
5. 2008-2009 yılında İnşaat sektörünün küresel krizden dolayı yurt içinde ve yurt dışında gerilemesi
6. Talebin ilişkili sektörlere ve dönemsel olarak dalgalı olması

Çizelge 7. Rekabeti Etkileyen Sorunlar

FİRMA STRATEJİSİ VE REKABET
1. KOBİ'lerden oluşması ve ölçek ekonomilerinden faydalanamaması
2. İşletmelerin kurumsallaşamaması
3. Bölgedeki toplam kapasitenin düşük olması ve özellikle ihracatta müşterini talep ettiği miktarı yakalayamama
4. Girişimcilik kültürünün düşük olması
5. Ortaklık kültürünün düşük olması
6. Firmalar arası işbirliği kültürünün düşük olması
7. Çalışanların iş disiplinin düşük olması
8. Rekabetin bölge işletmeleri değil ulusal ve uluslararası işletmelerle gerçekleşmesi
9. Son yıllarda mermer işletmelerinin nerdeyse yarısının sektörden çekilmesi
10. Maliyet hesaplarını doğru yapılamasından yanlış fiyat stratejisi ile fiyatların aşağıya çekilmesi ve zarar edilmesi
11. İhracatın işletmeler tarafından değil büyük şehirlerdeki dış ticaret şirketleri aracılığı ile yapılması

Analiz sonucunda çıkan strateji yol haritasında altı stratejik amaç belirlenmiştir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- İş yapma kültürünün ve çalışma ortamının geliştirilmesi
- İnsan kaynaklarının geliştirilmesi
- İş alanlarının geliştirilmesi
- Finansa erişimin sağlanması ve finansal yapının güçlendirilmesi
- Sektörün pazarlama kabiliyetinin geliştirilmesi
- Sektörün küme potansiyelinin geliştirilmesi(Ertaş ve diğerleri, 2011).

Bu stratejik amaçlara ulaşmak için raporda projeler ve faaliyetler de belirlenmiştir. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansını yaptırdığı bu çalışma son yıllarda mermer endüstrisi için yapılmış en kapsamlı çalışmalardan biridir. Adıyaman şehrinin de mermer sektörü konusunda yapılan çalışmalar bakımından zengin bir şehir olduğunu görmekteyiz. "Mermer Kenti Adıyaman Projesi" isimli çalışmada bu şehrin mermer sektörü araştırılmıştır. Bu raporun ilk kısımlarında Türkiye'de ve dünyada mermer ticareti ve ekonomideki yerinden bahsedilmiştir. Adıyaman ili mermer sektörünün SWOT analizi yapılmıştır. Raporun takip eden kısımlarında sektörün sorunları belirlenmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. İkinci ve son kısımda ise mermer konusunda ithalat-ihracat bazında Pazar analizi yapılmış ve Türkiye'nin bu pazardaki yeri ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Bizim çalışmamızı ilgilendiren mermer sektörünün sorunları olarak tespit edilen başlıklar ise aşağıdaki gibidir.

- mermer rezervlerinin belirlenmesi sorunu,
- ulaşım ve altyapı ile ilgili sorunlar,
- ruhsatlandırma işlemleri ile ilgili sorunlar,
- finansman sorunları,
- pazarlama sorunları,
- kurumsallaşma sorunu,
- nitelikli işgücü sorunu,
- tanıtım sorunu,
- mermer işletmelerinin örgütlenme sorunu,
- danışmanlık hizmetlerinin eksikliği sorunu,

- mermer işletmeciliği konusundaki teşviklerin yetersizliği
- organize sanayi bölgesi eksikliğidir(Dadak ve Gül, 2012).

Bu sorunlar Adıyaman şehri için belirlenmiştir fakat Türkiye genelinde de benzer sorunlar yaşanmaktadır. 2013 yılında bu şehir için mermer sektörü ile ilgili daha güncel bir çalışma yapılmıştır. "Adıyaman Mermer Endüstrisi Rekabetçilik Analizi ve Stratejik Yol Haritası" isimli bu çalışma İpekyolu Kalkınma Ajansı tarafından desteklenmiştir. Bu projenin raporunda dünyada ve Türkiye'de mermer sektörü, bölgesel yoğunlaşmalar, Adıyaman ili mermer endüstrisi SWOT analizi ve stratejik yol haritası bulunmaktadır. Yapılan bu SWOT analizinin zayıf yönler ve tehditler kısmından Adıyaman ili mermer sektörünün sorunlarını görebilmekteyiz. Bu yaklaşıma göre sorunlar aşağıdaki gibidir.

- Endüstriyel altyapısı tamamlanmamış yatırım alanları olması
- Mermer işleyecek fabrika ve tesislerin az sayıda oluşu
- Kalifiye işgücü sıkıntısı
- Demiryolu ulaşımının olmaması
- İldeki mermer rezervlerinin ve envanter çeşitliliğinin çıkarılmamış olması
- Mermerin hammadde olarak satışı nedeniyle, işlenmiş ürün piyasasının Çin gibi ülkelere kaptırılma riski
- Irak başta olmak üzere gelişmekte olan ülkelere kalitesiz ürün satabilmenin mümkün olması nedeniyle marka imajının yara alması(Sevsay, 2013)

Yakın zamanda yapılmış mermer sektörünün sorunlarını analiz eden çalışmalara baktığımızda, sorunlar tespit edilmiş fakat önem sırasına göre önceliklendirilmemiştir. Yapılan bu çalışma mermer sektörünün sorunlarını ana kriterler ve alt kriterlere göre tespit edip analitik hiyerarşi prosesi kullanarak önceliklendirmiştir.

Mermer sektörü genel olarak mermer ocakçılığı ve mermer fabrikası işletmeciliğinden oluşmaktadır. Bazı firmalar hem ocak hem de fabrika sahibidir. Bazıları ise sadece ocak veya sadece fabrika sahibidir. Bu çalışmada mermer sektörü değer zinciri bir bütün olarak kabul edilerek ocakçılığın ve fabrika işletmesinin sorunları birlikte ele alınmıştır. Sorunlar sektörel düzeyde değer zinciri analizi şablonuna göre tespit edilmiştir. Bu sorunların belirlenmesi İstanbul Ticaret Odası Madencilik ve Mermercilik meslek komitesinde bulunan, mermer endüstrisinde uzman kişilerle yapılan toplantılar sonucunda belirlenmiştir. Bu sorunların belirlenmesinin ardından Analitik hiyerarşi süreci yöntemine göre önem sırasına koyulmuştur. Bu yöntemi uygulamak için doldurulması gereken ikili karşılaştırma tabloları yine mermer sektöründeki uzman kişiler tarafından doldurulmuştur.

Değer Zinciri Analizine göre belirlenmiş sorunlar ve kısa açıklamaları aşağıdadır. (Değer Zinciri Analizi ve Analitik Hiyerarşi Süreci üçüncü ve dördüncü bölümlerde açıklanmıştır.)

Giriş ve çıkış lojistiği için belirlenen sorunlar;

- Türkiye'de deniz yolu ve demiryolu taşımacılığının gelişmemiş olması

Üretim süreçlerini etkileyen sorunlar;

- Abrasiv, epoksy, kesiciler ve bunun gibi yardımcı malzemelerin maliyeti
- Ocak ruhsatı alma süresi
- Türkiye'deki mermer teknolojisinin verimsiz olması

Pazarlamayı etkileyen sorunlar;

- Doğal mermerin kalitesinin bilinmemesi
- Alternatif ürünlerin mermer yerine kullanılması
- Mermer firmalarını pazarlama kabiliyetinin zayıflığı ve yeni pazarların araştırılmaması
- Çin ve İtalya'nın yarattığı rekabet
- Nakliye maliyetleri

Şirket altyapısını etkileyen sorunlar; Bu sorunlar sektördeki firmaların genel yönetim, mali işler ve planlama bölümlerini etkilemektedir.

- İşçilik maliyetleri
- Enerji maliyetleri
- Yasal ödemeler
- Abrasiv, epoksy, kesiciler vb. yardımcı malzemelerin maliyeti
- Kredi maliyetleri

- Bölgesel teşviklerin yetersizliği

İnsan kaynakları yönetimini etkileyen sorunlar; Bu sorunlar sektördeki firmaların işe alma, eğitim verme ve iş güvenliği faaliyetlerini etkileyen sorunlardır.

- İş güvenliği sorunları
- Mermer konusunda eğitim veren ve araştırma yapan kurumların yetersizliği
- İşçilerin vasıflı olmamaları

Teknoloji yönetimi sorunları;

- Mermer konusunda eğitim veren ve araştırma yapan kurumların yetersizliği
- Türkiye'deki mermer teknolojisinin yetersiz olması

Tedarik sorunları; Bu sorunlar sektördeki firmaların hammadde, makine-donanım ve işletme malzemelerini tedarik faaliyetlerini etkileyen sorunlardır.

- Abrasiv, epoksy, kesiciler vb. yardımcı malzemelerin maliyeti
- Nakliye maliyetleri

3 DEĞER ZİNCİRİ ANALİZİ

İktisadi dünyada bütün endüstriyel sistemler müşteriye değer yaratmak amacı ile kurulmuştur. Katma değer yaratmayan bir endüstriyel sistemin yaşamına devam etmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebepten dolayı firmaların ve sektörlerin ne kadar değer yarattığını analiz edecek şablonlar tasarlanmıştır. 1985 Michael Porter tarafından firma içini analiz etmek amacıyla tasarlanan değer zinciri analizi bu analiz yöntemlerinden biridir. Değer zinciri analizine göre bir endüstriye sistem temel iki şekilde değer yaratır. Bunlardan birincisi süreçlerini farklılaştırarak nihai ürüne daha fazla kalite ve farklılık katmak ve süreçlerinin maliyetlerini düşürerek nihai ürününde maliyetini düşürüp fiyat rekabeti konusunda kuvvet kazanıp daha fazla satış yapabilmektir. Değer zinciri analizi temel süreçler ve destek süreçleri topluluğundan oluşur. Temel süreçler müşteriye doğrudan değer yaratan süreçlerdir. Bu süreçlerin iyi planlanması ve yönetilmesi firmanın rekabet gücünü doğrudan artırır. Üretilen ürün veya hizmet bu süreçlerin içinde hareket eder, maliyeti ve kalitesi belirlenir. Destek süreçleri ise temel süreçlerin başarıyla yürütülmesi için geliştirilmiş süreçler topluluğudur. Bu süreçler üretilen ürün veya hizmete dolaylı olarak etki eder ve daha çok rutin faaliyetlerden oluşur.

Çizelge 8. Değer Zinciri Analizi

Şekilden anlaşılabileceği üzere esas faaliyetler temel süreçleri temsil etmektedir. Temel süreçlerin tanımlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Giriş ve çıkış lojistiği tedarik zinciri yönetiminin başlangıç ve bitiş aşamalarıdır. Bu süreçler bazen firmanın kendisi tarafından bazen de tedarikçi veya müşteri firma tarafından

üstlenilir. Lojistik süreçlerinde maliyet ve risklerin en aza indirilmesi önemlidir. Ayı zamanda teslim süreleri de bu süreçlerde hesaba katılması gereken önemli etmenler arasındadır. Yapılan kontratlar lojistik sürecinin karlılığını artırabilir.

- Üretim Süreçleri hizmet firmalarının ve imalat firmalarının kalbi sayılmaktadır. Operasyonel süreçlerin kalitesi müşteriyi en fazla ilgilendiren etmendir. Bu süreçlerde çok fazla değişken bulunur. Hammadde, personel, makine ve ekipmanlar, enerji, ürün tasarımı, tesis tasarımı üretim sürecinde etkin rol oynamakla birlikte maliyet, kalite ve stok yönetimi konusunda da önemlidirler. Üretim süreçlerin yukarıda saydığımız girdiler etkin olarak kullanılmalıdır. Aksi takdirde diğer süreçleri de olumsuz etkileyebilirler.
- Pazarlama ve satış süreçleri firmaların gelir elde edip finansal katkı sağladıkları süreçlerdir. Pazarlama süreçlerinin satış faaliyetlerinden farkı fonksiyonel strateji gerektiren bir süreç olmasıdır. Reklamcılık, ürün tutundurma faaliyetleri yaratıcı stratejiler gerektiren görevlerdir. Başarılı yönetilmiş pazarlama süreçleri firmanın marka değerini yükseltir ve doğrudan katma değer yaratır.
- Satış sonrası hizmetler firmanın itibarını ve güvenilirliğini artıran faaliyetlerdir. Müşterilerin en fazla önemsedikleri parametrelerden biri satın aldıkları ürünün sürekliliği ve güvenilirliğidir. Ürün bir arıza çıkardığında tamirat ve bakım süreçleri çalışmaya başlar. Bu süreçlerin başarılı olması müşterilerin ürün tercihini artırır.

Değer zinciri analizindeki destek süreçlerini de aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Şirketin yönetim alt yapısı yaşanan her türlü gelişmenin kontrol altında olmasını sağlar. Muhasebe bölümü firmanın bütün ticari kayıtlarını tutar ve finansal stratejiler geliştirmek için veri sağlar. stratejik planlama bölümü de firmanın geleceğine yön vermek için planlar yapar.
- İnsan kaynakları bölümü bir firmanın en önemli iki kaynağından biri olan personelin verimli bir şekilde kullanılması konusu ile ilgilenir. Bu bölüm insan kaynakları planlaması, yeni personelin işe alımı ve doğru konumlara yerleştirilmesi, personelin eğitilmesi ve sürekli olarak geliştirilmesi, çalışanların performanslarının düzenli olarak doğru kriterlere göre değerlendirilmesi ve primlerinin ve maaşlarının belirlenmesi ile ilgilenir. İnsan kaynağını etkin kullanmayan kurumlarda hatalar, disiplinsizlik, istifalar ve işten çıkarılmalar olur. Bu gibi sorunlar firmanın rekabet gücünü olumsuz şekilde etkiler.
- Teknoloji yönetimi firmanın insan kaynaklarından sonra gelen ikinci önemli kaynağıdır. Teknoloji (otomasyon kullanan) yoğun sektörlerde bu kaynak daha büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin bir firmada iki boyutu vardır. Birincisi ürettiği ürünün sahip olduğu teknoloji ikincisi ise üretim teknolojisidir. Her ikisinin de verimli kullanılması firmaya büyük rekabet avantajı sağlar. Ürün teknolojisini geliştirmek başarılı ar-ge projeleriyle daha fazla mümkün olmaktadır. Teknoloji kaynağının etkin kullanılması üretim temel sürecinin katma değerini arttırmaktadır.
- Makine, donanım, hammadde ve diğer işletme malzemelerinin satın alma süreçlerinin başarılı işlemesi giriş lojistiği temel sürecine katma değer yaratmaktadır.

4 ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Analitik Hiyerarşi süreci en çok kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem 1980 yılında Thomas Saaty tarafından tasarlanmıştır. AHP yöntemi özet olarak çok sayıda karar alternatifini çok sayıda kritere ve alt kriterlere göre değerlendirebilen insan

yargılarının da katılabildiği matematiksel bir karar verme yöntemidir. Bu yöntemde karar problemi belli bir alternatifi seçmek veya bu alternatifleri önem derecelerine göre sıralandırmak olarak tasarlanır. Amaç belirlendikten sonra problem hiyerarşik olarak modellenir. Hiyerarşinin tepesinde problemin amacı alt katmanlarda alternatifleri değerlendireceğimiz kriterler ve alt kriterler bulunur. En alt kademede ise önceliklendireceğimiz karar alternatifleri bulunur. Kriterler ve karar seçenekleri modelde bulundukları hiyerarşi düzeyinin üstündeki düzeye göre ikili karşılaştırmalar yoluyla önem sırasına koyulur. İkili karşılaştırmalar matrisinde karşılaştırması yapılan satır elemanı karşılaştırması yapılan sütun elemanından karşılaştırma kriterine göre daha önemli ise matriste bulunan bu iki elemanın kesişim hücresine önem derecesine göre 0 ile 9 arasında bir sayı verilir. Eğer ikili karşılaştırmalar matrisinde karşılaştırması yapılan sütun elemanı karşılaştırması yapılan satır elemanından karşılaştırma kriterine göre daha önemli ise matriste bulunan bu iki elemanın kesişim hücresine önem derecesine göre 0 ile 1/9 arasında bir sayı verilir. Daha sonra elde edilen bu kare matrislerin en büyük özdeğerlerine denk gelen özvektörler bulunur ve CR=((λmax– n)/(n–1))/RI formülünden faydalanarak yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılıkları hesaplanır. RI değeri matrisin boyutuna göre tesadüfilik derecesini gösteren bir değerdir. AHP'de tutarlık konusu önemlidir çünkü ikili karşılaştırma tablolarını dolduran uzman kişilerin gerçekçi olması gerekir.

Çizelge 9. AHP tabloları için tutarlılık değerleri

Tesadüfilik Matris Boyutu														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tesadüfilik Göstergesi														
0.0	0.0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

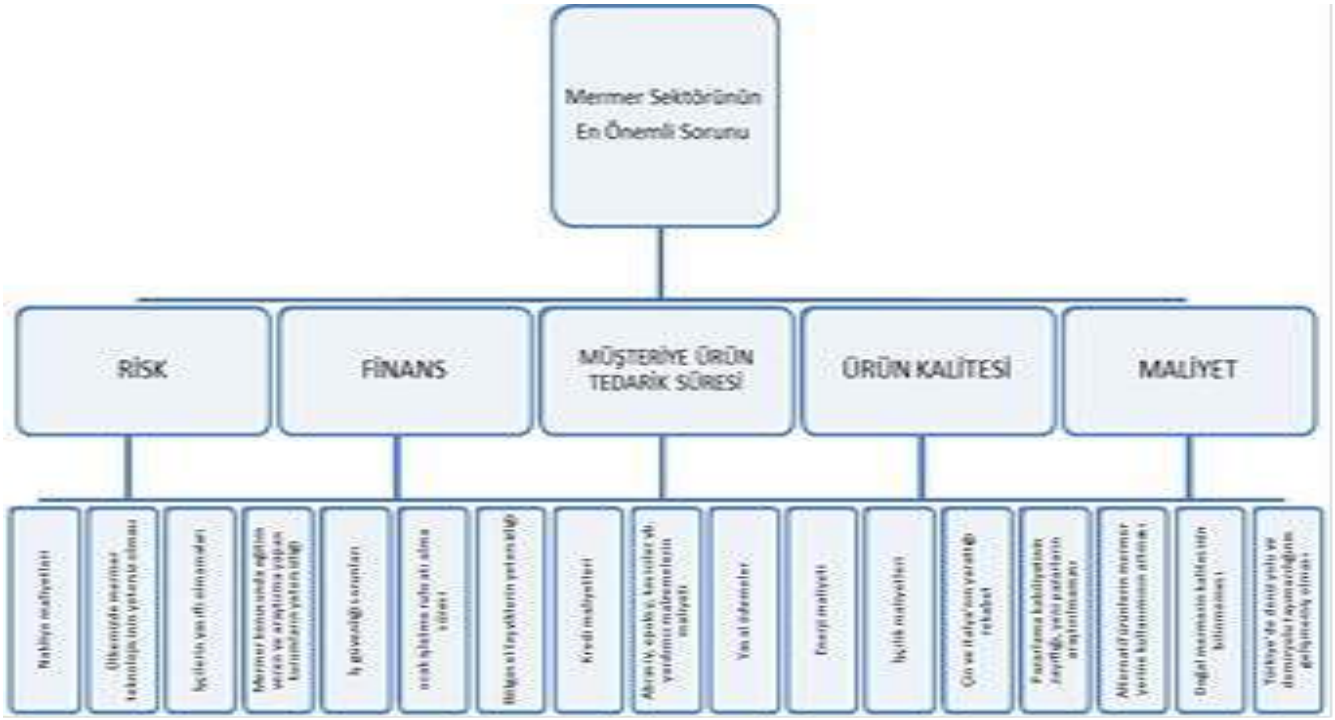
Tutarsızlık durumunda ikili karşılaştırmalar tutarlılık bütün ikili karşılaştırma tablolarını aynı işlemden geçirdikten sonra hesaplanan özvektör değerleri bir matriste konsolide edilip bir üst düzeyde bulunan bağlı bulunduğu matrisin özvektörüyle çarpılır. Böylece üst hiyarşideki ağırlık değerleri alt hiyerarşide bulunan ilgili sütun vektörüne yansıtılır. Bu işlem devam bütün tablolar için devam ettirilerek karar problemi çözülmüş olur. Çalışmamızın beşinci bölümünde AHP yöntemi ile mermer sektörünün sorunları önceliklendirilecektir. Bu bölümde AHP'nin çalışma prensibi örnek üzerinden yeniden açıklanacaktır.

5 UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışması yukarıda da belirtildiği gibi mermer sektörü sorunlarını değer zinciri analizi yöntemi ile tespit edip analitik hiyerarşi sürecine göre sınıflandırmaktır. Çalışmada konu alan mermer sektörü sorunları İstanbul Ticaret Odasına bağlı mermer işletmesi sahipleri tarafından belirlenmiş ve ikili karşılaştırmalar yine bu kişiler tarafından yapılmıştır.

Analitik Hiyerarşi Sürecinin klasik kullanım alanı en iyi alternatifi seçmektir. Ancak alternatifleri en önemliden en önemsize doğru ağırlıklandırarak sıralar. Bu yüzden sıralama yöntemi olarak da kullanılabilir.

Uygulama sonuçlarına baktığımızda katılımcıların net bir şekilde maliyet sorunlarını diğer sorunlara göre daha fazla önemsediğini görmekteyiz.



Şekil 1. Mermer Sektörü Sorunlarının Analitik Hiyerarşi Modeli

Çizelge 10. Kriterlerin ikili karşılaştırılması

SORUNLARIN ANA KRİTERLERİ	MALİYET	ÜRÜN KALİTESİ	FİNANS	MÜŞTERİYE ÜRÜN TEDARİK SÜRESİ	RİSK
MALİYET	1	8	6	5	7
ÜRÜN KALİTESİ		1	-2	-1	3
FİNANS			1	1	1
MÜŞTERİYE ÜRÜN TEDARİK SÜRESİ				1	2
RİSK					1

Bu tabloyu analiz ettiğimizde katılımcıların maliyet sorunlarını %60, finans sorunlarını %11,5, müşteriye ürün tedarik süresi sorunlarını %11,2, ürün kalitesi sorunlarını %10,5, risk sorunlarını ise %6,8 oranında önemsemektedir. (Bu tablonun tutarlılık oranı %6 dır.

Mermer sektörünün sorunları AHP kullanılarak kriterlere göre değerlendirildiğinde aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır.

Çizelge. 11 Mermer sektörü sorunları

MERMER SEKTÖRÜNÜN SORUNLARI	ÖNCELİK DEĞERİ
İŞÇİLİK MALİYETLERİ	14,2%
ENERJİ MALİYETİ	11,7%
ABRASİF, EPOKSY, KESİCİLER,VB, YARDIMCI MALZEMELERİN MALİYETİ	9,2%
ÜLKEMİZDE MERMER TEKNOLOJİSİNİN YETERSİZ OLMASI	8,0%
TÜRKİYEDE DENİZ VE DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞININ GELİŞMEMİŞ OLMASI	7,7%
NAKİYE MALİYETLERİ	7,6%
KREDİ MALİYETLERİ	5,6%
İŞÇİLERİN VASIFKI OLMAMALARI	5,6%
YASAL ÖDEMELER	4,4%
ÇİN VE İTALYANIN YARATTIĞI REKABET	4,4%
BÖLGESEL TEŞVİKLERİN YETERSİZLİĞİ	4,2%
MERMER KONUSUNDAKİ ARAŞTIRMALARIN YETERSİZLİĞİ	3,6%
ALTERNATİF ÜRÜNLERİN MERMER YERİNE KULLANILMASININ ARTMASI	3,5%
DOĞAL MERMER KALİTESİNİN BİLİNMEMESİ	2,9%
OCAK İŞLETME RUHSATI ALMA SÜRESİ	2,8%
PAZARLAMA KABİLİYETİNİN ZAYIFLIĞI	2,3%
İŞ GÜVENLİĞİ SORUNLARI	2,3%

AHP analizi sonuçlarına bakıldığında maliyetle ilgili sorunların öncelik taşıdığını görmekteyiz. Katılımcılar en önemli sorunun işçilik maliyetleri olduğunu düşünmekteler. En az önemli gördükleri sorun ise iş güvenliği ve pazarlama kabiliyetti sorunudur. Genel olarak maliyet ile ilgili sorunların ön plana çıkmasının sebebi kriter olarak maliyet sorununun fazla önemsenmesidir. (AHP deki sorunların kriterlere göre değerlendirildiği tablolara bakıldığında tutarlılık katsayıları; maliyet kriterine göre değerlendirme tablosu için 0,057, ürün kalitesi kriterine göre değerlendirme tablosu için 0,04, finans kriterine göre değerlendirme tablosu için 0,068, müşteriye ürün tedarik süresi kriterine göre değerlendirme tablosu için 0,04, risk kriterine göre değerlendirme tablosu için 0,094 dür. Tablolardaki uyum katsayıları 0,1 den küçük olduğu için uyumsuzluk sorunu yoktur.)

Bu araştırmada tespit edilen sorunların çözümleri için stratejiler üretip bunları sınıflandırmak gelecekte mermer sektörü ile ilgili araştırma yapmak isteyen araştırmacılara tavsiye edilebilir.

TEŞEKKÜR

Araştırma sürecindeki katkılarından dolayı ÖKSİTAŞ Granit ve Mermer ticaret limited şirketine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Dadak, M. Gül, M. 2013. *Adıyaman İli Mermer Sektörü Araştırma Raporu,* Kalkınma Projeleri Akademisi Derneği, Adıyaman, 40 s.

Erkek, D. Özdemir, S *Mermer Araştırma Raporu* 2011.

Ertaş, F. Döven, M. Özyer, K. 2011, *Tokat İli Mermer Endüstrisi Sektör Araştırması ve Rekabetçilik Analizi,* Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı Proje Raporu, Tokat, 90 s,

Hanieh, A. AbdElall, S. Hasan, A. 2013. Sustainable development of stone and marble sector in Palestine, Journal of Cleaner Production, s.1-8

Kişman, Z.A. Kan, Ö.D, 2011. *Elazığ Mermer Raporu, Sektörel Araştırmalar Serisi* 2,Fırat Kalkınma Ajansı, Elazığ,

Sevsay, H. 2013, *Adıyaman Mermer Endüstrisi Rekabetçilik Analizi ve Stratejik Yol Haritası,* SMART Danışmanlık, Adıyaman, s.60

Orta Karadeniz Bölümü Çimento Hammadde Potansiyelinin Araştırılması

Survey of the Central Black Sea Region Cement Raw Materials Potential

A.V. Korkmaz
KAVÇİM Çimento Sanayi A.Ş., Kavak/Samsun

H.Hacıfazlıoğlu
İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü,Avcılar/İSTANBUL

ÖZET Çimento, çeşitli hammaddelerin öğütülüp ısıl işlem uygulanması ve elde edilen klinkerin, katkı maddeleri ile tekrar öğütülmesi sonucunda elde edilen bir yapı malzemesidir. Çimento üretiminde en yaygın kullanılan hammaddeler; kalker,Marn, kil, alçıtaşı ve trastır. Mevcut halde yıllık 7 milyon ton çimento üretim kapasitesi bulunan Orta Karadeniz Bölümünde mevcut üretim kapasitelerinin arttırılması ve yeni çimento fabrikalarının kurulabilmesi için yeni hammadde sahalarının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, söz konusu bölge içerisinde kalan Samsun, Amasya, Tokat, Çorum illerini kapsayan geniş bir alanda kalker, kil, alçıtaşı, tras ve demir madeni rezerv araştırmaları ve kalite çalışmaları yapılmıştır. Alınan numuneler üzerinde kimyasal analizler yapılarak çimento hammaddesi olarak kullanılıp kullanılamayacakları konusunda detaylı incelemeler yapılmıştır. Hammadde araştırmaları sonucunda Orta Karadeniz bölümünün çimento üretim kapasitesinin mevcut kaynaklarla 2 katına çıkarılabileceği ön görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Orta Karadeniz Bölgesi, kimyasal analizler

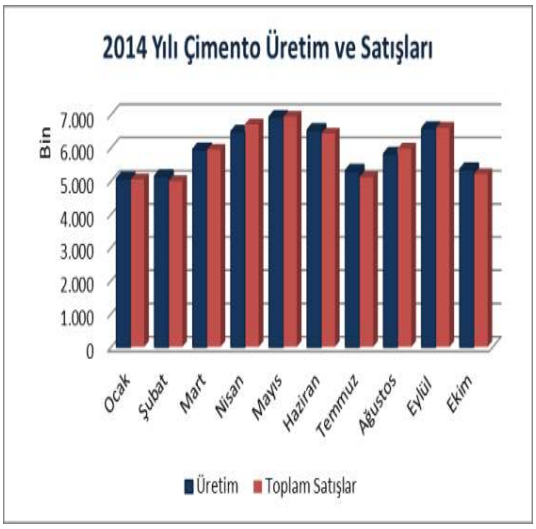
ABSTRACT Cement is produced by calcination of various raw materials such as limestone, clay, gypsum and pozzolan. Although nearly 7 million tons of cement is produced in Central Black Sea region, the current production amount is not enough to meet consumer needs. This is mainly due to low quality of raw materials that exist in explored areas so far outside of production regions. In this study, new regions sustaining good quality raw materials for cement production are explored in neighboring regions including Samsun, Amasya and Çorum. Obtained samples are studied and their chemical analyses have also been conducted. The results of the quality control analyses indicate that the newly discovered areas have good quality raw materials for cement production and they can easily double the current production capacity of the cement in Central Black Sea region.

Keywords: Cement, Central Black Sea Region, chemical analyses

1 GİRİŞ

Çimento, çağımızda kullanılan temel inşaat malzemelerinin en önemlilerinden biridir. İnsanoğlunun geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte de en fazla kullanacağı yapı malzemesi olarak görülmektedir. Ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde, çimento yapımına elverişli hammaddeler bulmak mümkündür. Türkiye'nin jeolojik yapısı buna uygundur. Özellikle kalker sahaları ülkemizde yaygın olarak bulunmaktadır (Baytin ve Gökhan, 1979).

Türk çimento sektörü, 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darıca'da üretime başlamıştır. Daha sonra bu fabrika 1923 yılında tevsi edilerek kapasitesi 40.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir. 1950'li yıllara kadar Ankara, Zeytinburnu (İstanbul), Kartal (İstanbul) ve Sivas'ta 4 yeni fabrika kurulmuş ve toplam kapasite 370.000 ton/yıl'a ulaşmıştır. 1950'den sonra Türkiye Çimento Sanayisi T.A.Ş.'nin (ÇİSAN) kurulmasıyla üretim artışı sağlanmasına rağmen 1970'lere dek talebin yeterli derecede karşılanamaması nedeniyle çimento ithalatı devam etmiştir. Günümüzde sektör, hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmektedir. İthalattaki payı az olan çimento sektörü, ihracattaki payını her geçen gün arttırmakta ve dünyanın 90 ülkesine satış yapmaktadır.



Şekil 1. 2014 Yılı Yurtiçi bazında çimento üretimi ve Satışı (2014 Çimento sektörü raporu)

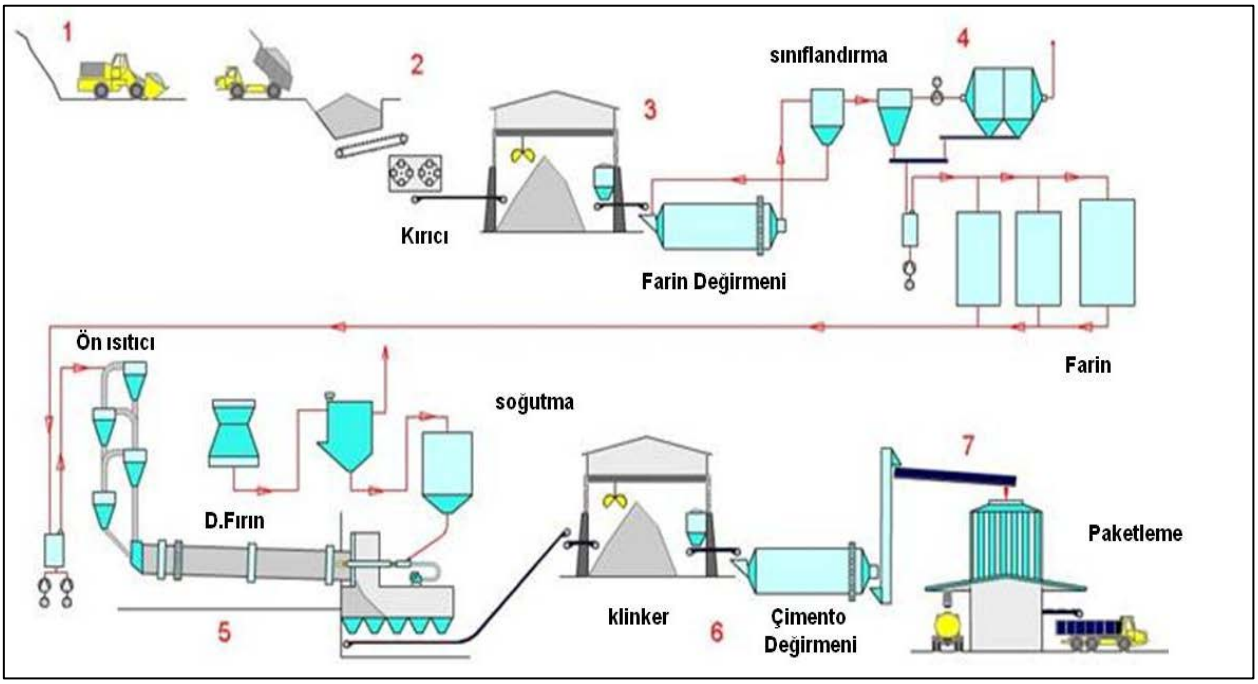
2013 yılı itibariyle, Türk Çimento sektöründe 48 adet entegre tesis, 20 adet öğütme-paketleme tesisi olmak üzere toplam 68 çimento fabrikası bulunmaktadır (TÇMB,2014). Karadeniz bölgesinde toplam 11 çimento fabrikası olup, bunlardan 4 tanesi Orta Karadeniz bölümünde bulunmaktadır. Orta Karadeniz bölümünde çimento fabrikası bulunan iller, Tokat, Çorum, Samsun ve Ordu'dur. 2013 yılı verilerine göre, Karadeniz bölgesinin çimento üretiminin %80'ini karşılayan Orta Karadeniz bölümü, Ülkemizin %10'luk çimento üretimini karşılamaktadır.

2 ÇİMENTONUN TANIMI VE ÜRETİMİ

Çimento başlıca silisyum, kalsiyum, aluminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddeleri karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar ısıl işlem uygulanması ile elde edilen "klinkerin" bir veya daha fazla cins katkı maddesi (alçıtaşı, tras,cüruf vb.) ile öğütülmesi suretiyle elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır.

Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayaçlar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan CaO için kalker (kireçtaşı); SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır.Şekil 2'den takip edileceği üzere, çimento üretiminde kullanılan hammaddeler, hammadde ocaklarından genellikle sert oldukları için patlayıcı maddeler yardımıyla çıkarılır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırılmak üzere konkasörlere taşınırlar (1). Hammaddeler (kalker, kil ve demir cevheri) konkasörlerde kırıldıktan sonra stokholde stoklanır (2). Besleme sistemi yardımıyla stokholden alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınarak öğütülürler (3). "Farin" adını alan karışım pişirilmek üzere hazır olarak farin stoklarında stoklanır (4). Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400-1450 derece sıcaklıkta pişirilir (5). Döner fırından klinker olarak çıkan yarı mamül ürün soğutmada soğutularak klinker stokholünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla (Cüruf, kül vb. gibi) çimento değirmenlerinde öğütülür (6). Çimento cinslerine göre ayrı ayrı

silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur (7).



Şekil 2. Çimento üretim genel akım şeması (BSTB,2013).

2.1 Çimento Hammaddeleri ve Kimyasal Özellikleri

Çimento üretimi için çeşitli kimyasal bileşimdeki kayaçlar kullanılır. Başlıca kullanılan çimento hammaddeleri kireçtaşı, marn, kil, kiltaşı, şeyl, killi şistden ibarettir. Bunların dışında hammaddelerin karışımını düzenlemek için demir cevheri, pirit külü, silisli kum, kumtaşı, boksit, diyasporit, alüvyon kili gibi maddeler kullanılır.Ayrıca kireçtaşının öğütülmesi sırasında alçıtaşı (jips) pozolanik maddeler ve tras ile yapay olarak elde edilen yüksek fırın curufu, uçucu killer kullanılır.

2.1.1 Kalker

Kalker, detrital, organik veya kimyasal orjinli bir sedimenter kayaçtır. Çimento klinkerinin elde edilmesinde, $CaCO_3$'ın bütün jeolojik oluşumları kullanılabilmektedir. Portland Çimentolarda kullanılan kireçtaşlarının kimyasal özelliklerini gösteren Çizelge 1 de verilmiştir. Kalkerler tabiatta saf olarak bulunmazlar. Bünyelerinde bulunan düşük miktarlardaki SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 gibi yabancı maddeler, kalkerlerin saflığını ve rengini etkiler. Kalker; kalsit ve aragonit diye bilinen iki mineral halinde bulunur.

Çizelge 1. Portland çimentosunda kullanılan kireçtaşlarının kimyasal kompozisyonları (Duda, 1985)

	1	2	3	4
% İçeriği	Kalker	Kalker	Kalker	Kalker
SiO_2	3.76	6.75	4.91	4.74
Al_2O_3	1.1	0.71	1.28	2
Fe_2O_3	0.66	1.47	0.66	0.36
CaO	52.46	49.8	51.55	51.3
MgO	1.23	1.48	0.63	0.3
K_2O	0.18	Çok az	Çok az	0.16
Na_2O	0.22	Çok az	Çok az	0.28
SO_3	0.01	1.1	0.21	-
Kızdırma Kaybı	40.38	39.65	40.76	40.86
Toplam	100	99.96	100	100

2.1.2 Kil

Kil teriminin geniş bir anlamı vardır. Hem bir kayaç terimi olarak, hem de tane boyu terimi olarak kullanılmaktadır. Kayaç olarak bozunma ürünleri yada hidrotermal olaylarla oluşmuş çökeller için kullanılan bir terimdir. Killerin kimyasal analizleri; silisyum, alüminyum ve sudan oluştuklarını göstermektedir. Demir, alkaliler ve alkali topraklarda değişik miktarlarda yer almaktadır.

Kil terimi; kayaç olarak doğal, topraklı, ince taneli ve su ile karıştıklarında plastik özellikleri gelişen materyalleri içine almaktadır. Genellikle kristalin formda ve küçük partiküller halinde oluşmaktadırlar. Killer içinde feldispat, kuvars, mika ve turmolin gibi maddeler bulunabilir. Kilin rengini içerisinde bulunan maddeler oluşturur. Kırmızı killerde demir oksit miktarı yüksektir. Mavimsi ve sarımsı killerde organik maddeler, sarı killerde alüminyum oksitleri bulunur.

Çizelge 2. $CaCO_3$ % lerine göre hammaddelere verilen adlar (Duda, 1985)

Hammaddelerdeki $CaCO_3$ % si	Madde Adı
	Kil
2-10	Marnlı kil
10-40	Killi marn
41-75	Marn
76-90	Kalkerli marn
91-98	Marnlı kalker
99-100	Kalker

2.1.3 Alçı Taşı

Çimentonun üretimi sırasında çimentonun diğer bileşenlerine, prizi kontrol etmek için az miktarda ilave edilen yardımcı bir maddedir.Alçıtaşı, kuru iklim şartlarında deniz suyunun buharlaşması neticesinde çökelerek meydana gelmiş sedimanter kayaçtır.Çökelmiş bir mineral olduğu için asitlerde kolayca çözünmez. Formülü, $CaSO_4,2H_2O$ dır. 120 °C de bir miktar suyunu kaybederek dehidratasyona uğrar. Özgül ağırlığı 2,3 gr/cm^3 ve sertlik derecesi 2.0-2.5 dir. Alçıtaşı, çimentonun öğütülmesi sırasında % 3-5 oranında katılabilmektedir.

2.1.4 Puzzolanik Hammaddeler

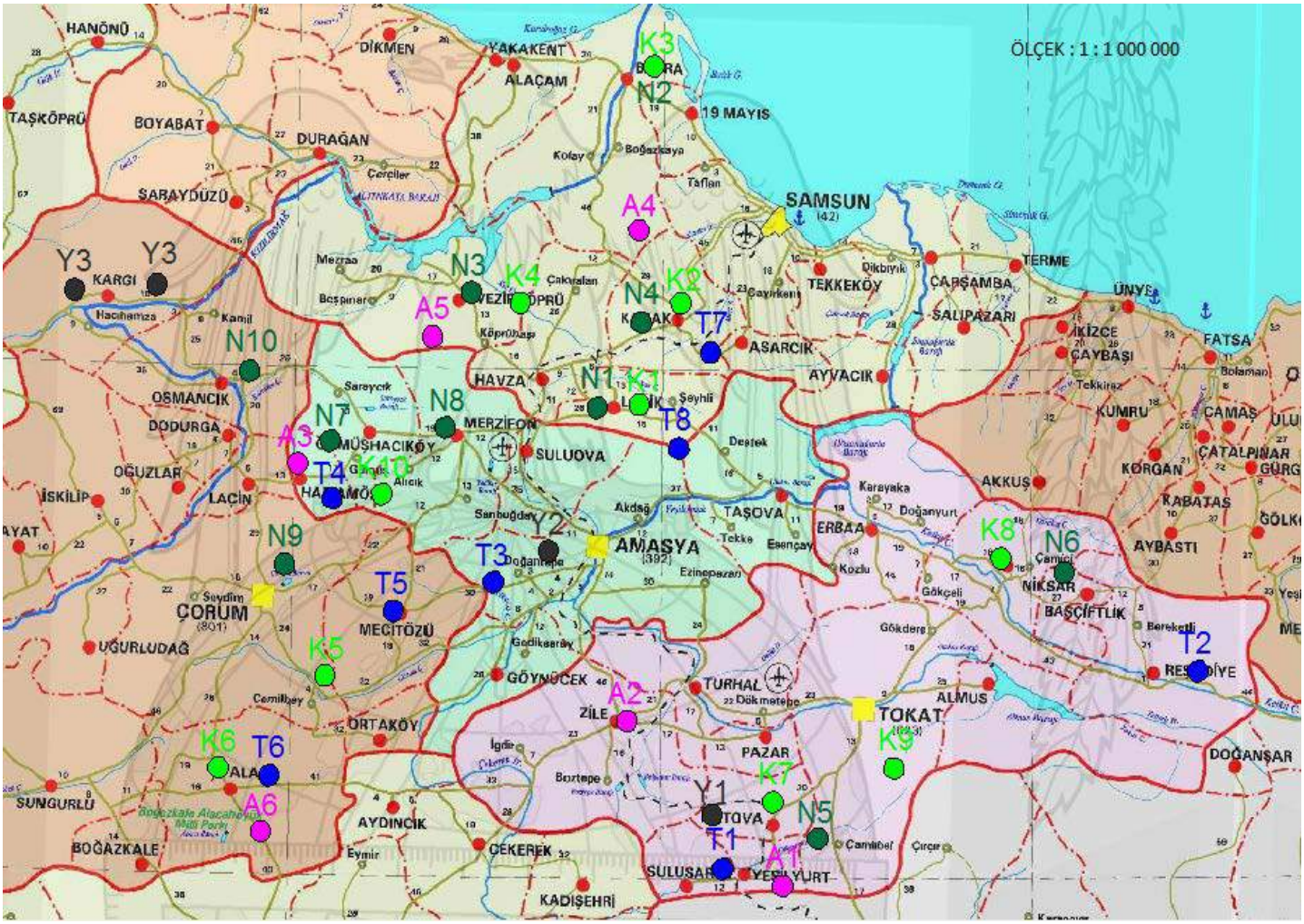
Puzzolanik maddelerin özelliği yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermeleridir. Bu nedenle $Ca(OH_2)$ ile tepkimeleri kolaydır Bu yüzden bağlayıcı özellik gösterirler. Ülkemizde çimento sanayinde doğal puzzolanik katkı maddesi olarak, tras ve bazik nitelikli volkanik işlevlerin bir ürünü olarak oluşan doğal cüruflar yaygın olarak kullanılmaktadır.Çimento maliyetlerinin düşürülmesi açısından katkı maddelerinin yüksek oranda katılabilir kalitede olmaları önemlidir. Puzzolanik aktivite değerleri ile çözünmüş kalıntı oranları, katılabilirlik oranını belirleyen faktörler olup, katılım oranı genelde % 10-30 arasında değişmektedir. ASTM C-618 standardında pozolanların $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3>$ % 70 şartı aranmaktadır.Puzolanda silis ve alüminyumun reaktif halde bulunması gerekir.

2.1.5 Demirli Hammaddeler

Demirli hammaddeler, demir cevheri (genellikle hematit), pirit külü ve demir oksit. Prit ,FeS_2 yandığında demiroksit ve SO_3'e ayrışır. Kimyasal bir yan ürün olarak kavrulmuş pirit, Fe_2O_3 ihtiyacı için Çimento sektöründe kullanılır. Pritin seğtlik derecesi 6-6,5 özgül ağırlığı 5-5,2 gr/cm tür. Hematit Bir demir filizidir (Fe_2O_3). Rengi siyah, kırmızı veya kahverengidir. Özgül ağırlığı 2,9-5,3 gr/cm arasındadır.

3 MALZEME VE YÖNTEM

Orta Karadeniz Bölümü çimento hammaddeleri potansiyelini araştırmak için kalker, kil, alçıtaşı ve tras ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla hammadde sahalarının araştırılmasında ; Samsun, Çorum, Amasya ve Tokat illerini kapsayan geniş bir alanda çalışma yapılmıştır. Hammadde araştırmaları yönünden önemli olabileceği yerler MTA'nın Jeolojik raporlarından saptanarak hammadde sahaları yerinde incelenmiş, tespit edilen



Şekil 3. Numunelerin Lokasyon haritası

yeni sahalarda da araştırmalar yapılarak gerekli numuneler alınmış ve Özel bir çimento fabrikasına ait Kalite Kontrol laboratuvarında XRF ile kimyasal analizlere tabii tutulmuştur. Ayrıca Çimento için kullanılacak yardımcı hammadde tayinleri için orta karadeniz bölümünde yer alan ocaklardan demir cevheri numuneleri alınarak rezerv ve kimyasal analizlerine bakılmıştır. Farklı noktalardan alınan numuneler; Kalker K, Kil N, Alçıtaşı A, Tras T, Yardımcı hammaddeler Y şeklinde kodlanarak harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3).

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kalker Hammadde Yatakları

Kimyasal bileşiminde en az % 90 $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) içeren kayaçlara kalker yada kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilmektedir. Kalker saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO_2 içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orjinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir.Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller içermektedir. Kireçtaşlarının en büyük kullanım alanların dan biri Portland çimentosu yapımıdır (CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3) .Çimentonun ana hammadde girdisi % 80'e varan oranlarla düşük magnezyumlu (en fazla % 5) kireçtaşıdır. Bir ton çimento üretimi için yaklaşık bir ton kireçtaşına ihtiyaç vardır.

Samsun, Amasya, Çorum, Tokat illerinde yapılan hammadde araştırılması sonucunda sahada üretime elverişli kalker birimleri tespit edilmiştir.Rezerv miktarları uzun süre

çimento üretimine elverişlidir. Kalker rezervleri yaklaşık 1,5 km genişlikte ve 3,5 km uzunluktaki bir alanda seyreltmektedir. Kalker araştırmasının yapıldığı yerler ve alınan numunelerin kod numaraları sırasıyla;

Ladik Akpınar Körüklüdere ve Hasanağaç sahaları dolayları K1; Samsun Kavak Bekdemir sahaları, Köseli dolayları K2; Samsun Bafra İnözü dolayları K3; Samsun Vezir Köprü dolayları K4; Çorum Hacıpaşa Köyü Mevkii K5; Çorum Alaca dolayları K6; Tokat Artova Keşlikkaya ve sırtları K7; Tokat Niksar Kümbetli serileri K8; Tokat Gıj Gıj Mevkii K9; Amasya merkez,Hamamözü K10 kodları ile temsil edilmektedir. Kalker Numunelerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.a ve Çizelge 3.b de verilmiştir. Kireçtaşları koyu gri, gri sarı ,bej bazen beyaz renkli 20-50 cm kalınlıkta tabakalı sert kripto kristalin dokulu, bazen taban dokunakları civarı beyaz renkli ve kristalize bazen de beyaz ve gri renklerin ardalanmasından laminalı görünümlü, 1-5 mm kalınlıkta kalsit damarcıklı ve çoğunlukta aralıkları 20-50 cm olan iki yönde eklemlidir.

Çizelge 3.a Kalker Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5
SiO_2	1.49	1.56	0.58	1.62	0.72
Al_2O_3	0.51	0.42	0.76	0.41	0.41
Fe_2O_3	0.25	0.26	0.41	0.24	0.24
CaO	54.1	54.78	54.00	54.51	54.51
MgO	0.36	0.4	0.30	0.38	0.38
Na_2O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K_2O	0.05	0.04	0.00	0.04	0.04
SO_3	0.03	0.11	0.03	0.12	0.12
K.K.	43.19	42.41	43.9	42.66	43.56
Toplam	100	100	100	100	100
Rutubet	1	0.7	0.3	0.9	0.3

Çizelge 3.b Kalker Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10
SiO_2	0.44	1.64	0.29	1.10	0.67
Al_2O_3	0.16	0.57	0.1	0.36	0.23
Fe_2O_3	0.13	0.29	0.15	0.39	0.13
CaO	56.41	54.29	56.83	54.56	55.07
MgO	0.4	0.6	0.26	0.36	0.36
Na_2O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K_2O	0	0	0.01	0.03	0.01
SO_3	0.03	0.03	0.02	0.11	0.03
K.K.	41.41	42.5	42.32	43.07	43.48
Toplam	100	100	100	100	100
Rutubet	0.5	0.7	0.3	0.5	0.3

Çimento üretiminde kullanılan kalker yataklarının kimyasal özelliklerinin yanısıra fabrikaya yakınlığı, sökülebilirliği, kırılabilirliği, öğütülebilirliği ve pişebilir niteliklerde olması, düşük nem içermeleri ve homojen olmaları üretim maliyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle bu faktörlerin saptanması üretim açısından çok önemlidir.Kalker rezervleri ve alınış yerleri Çizelge 2.c de gösterilmiştir.

Çizelge 3.c Kalker Hammaddeleri Alınış Yerleri ve Rezervleri

Hammadde Lokasyonu	Numune Kodu	Rezerv (mil.ton)
Ladik Akpınar Körüklüdere ve Hasanağaç sahaları dolayları	K1	130
Samsun Kavak Bekdemir, Köseli dolayları	K2	250
Samsun Bafra İnözü dolayları	K3	108
Samsun Vezir Köprü dolayları	K4	78
Çorum Hacıpaşa Köyü mevkii	K5	110
Çorum Alaca dolayları	K6	150
Tokat Artova Keşlikkaya	K7	168
Tokat Niksar Kümbetli Köyü	K8	104
Tokat Gıj Gıj Mevkii	K9	60
Amasya merkez,Hamamözü	K10	30

4.2 Kil Hammadde Yatakları

Kil teriminin geniş bir anlamı vardır. Hem bir kayaç terimi olarak, hem de tane boyu terimi olarak kullanılmaktadır. Kayaç olarak bozunma ürünleri yada hidrotermal olaylarla oluşmuş çökeller için kullanılan bir terimdir. Killerin kimyasal analizleri; silisyum, alüminyum ve sudan oluştuklarını göstermektedir. Demir, alkaliler ve alkali topraklarda değişik miktarlarda yer almaktadır. Kil minerallerinin çoğu laboratuar koşullarında sentez edilmiştir. Bu deneylerden, minerallerin oluşum ortamları ve çevresel koşullarla ilgili pek çok sonuç ortaya çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıklar da asidik ortamlarda kaolinit, alkali ortamda montmorillonit oluşabilmektedir.

Pek çok kil minerali hidrotermal kökenlidir. Bazı hidrotermal kökenli yataklar mono mineralli olmasına karşın çoğu kil minerallerinin karışımından oluşmaktadır. Farklı tipteki kayaçların bozulması da kil minerallerinin oluşumunda etkilidir. Kil minerallerinin oluşum şekilleri bir kaç tane faktör etkisindedir. Bunlar ana kayaç tipi, iklim, topografya, bitki örtüsü ve zamandır. Çimento sektöründe hammadde olarak kullanılan killer ise alterasyon ürünü metal oksitlerin taşınıp depolanma havzasında yığışmasından veya yerinde alterasyon örtüsü halinde Neojen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlarda, Neojen havzalarının üst düzeylerindeki karasal koşullarda oluşmuş çoğu killi ve kireçli topraklardır. Çimento sektöründe kaolinin düşük demir oksit içeren türleri kullanılmaktadır.

Samsun, Amasya ve Tokat, Çorum illerinde yapılan kil arama çalışmalarında mevcut killerin rezervlerinin ve kimyasal özelliklerinin çimento üretimi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Bazı türlerin içerisinde demir ve alüminyum içeriği bakımından zenginlik içermesi çimento üretiminde demir cevheri ve boksit kullanımını en aza indireceği tahmin edilmektedir. Çimento üretiminde kullanılan kil yataklarının kimyasal özelliklerinin yanısıra fabrikaya yakınlığı, düşük nem içermeleri ve homojen olmaları üretim açısından çok önemlidir.

Kil araştırmasının yapıldığı numune kodları sırasıyla; Samsun Ladik-Akpınar N1; Samsun Bafra Kil N2; Samsun-Vezirköprü Devalan, Dümlek N3; Samsun Kavak Merkez ve Bekdemir dolayları N4; Tokat Artova Bakacaktepe, Ziyarettepe N5; Tokat Niksar Sırtları N6; Amasya Gümüşhacıköy-Çat Sahası N7; Amasya Merzifon Keçiköy N8; Çorum-Osmancık-Narlı N9; Çorum Merkez ilçe N10 olarak adlandırılmıştır. Bu numunelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.a ve 4.b' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.a Kil Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	N1	N2	N3	N4	N5
SiO_2	65.34	70.04	61.05	52.49	57.62
Al_2O_3	14.36	13.78	14.65	11.62	13.02
Fe_2O_3	6.9	6.1	6.43	7.83	8.07
CaO	2.19	1.89	2.72	6.69	1.13
MgO	1.82	1.69	2.49	4.25	4.21
Na_2O	0.38	0.51	0.39	0.57	0.1
K_2O	1.92	1.82	2.22	0.12	3.42
SO_3	0.06	0.04	0.52	0.01	0.02
P_2O_5	2.12	1.09	2.11	0.21	0.09
TiO_2	0.89	0.92	0.91	2.09	1.17
MnO	0.09	0.04	0.07	0.18	0.01
K.K.	3.93	2.08	6.44	13.94	11.14
Toplam	99.78	100.05	98.37	100	100
Rutubet	4.4	6	5.4	5.1	5.1

Çizelge 4.b Kil Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	N6	N7	N8	N9	N10
SiO_2	61.72	63.96	53.63	66.75	61.18
Al_2O_3	16.74	14.71	15.76	13.22	15.04
Fe_2O_3	6.75	7	6.82	5.68	6.67
CaO	1.47	1.78	3.76	2.7	2.94
MgO	1.78	1.92	1.68	1.49	1.17
Na_2O	0.31	0.34	0.21	0.47	0.36
K_2O	2.45	1.99	2.59	1.88	2.25
SO_3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
P_2O_5	0.1	0.1	0.1	0.08	0.11
TiO_2	0.97	1.01	1.03	0.95	0.94
MnO	0.06	0.06	0.06	0.03	0.06
K.K.	7.64	7.12	14.35	6.74	9.26
Toplam	100	100	100	100	100
Rutubet	4.4	6	5.4	5.1	5.1

Kilin oluşum sırasındaki şartlara bağlı olarak çok kısa mesafede yatay ve dikey değişmeler göstermesi nedeniyle kullanılmadan önce killerin harmanlanması ve homojenleştiril mesi gerekmektedir. Üretimi yapılan kilin kalitesine bağlı olarak tüvenan olarak kullanıldığı gibi, kullanım amacına göre kilin zenginleştirilmesi, değirmene girmeden yüksek nem içerikli killerin kalsine edilmesi gereklidir. Kil numunesi alınış yerleri ve rezervleri Çizelge 4.c de gösterilmiştir.

Çizelge 4.c Kil Hammaddeleri Alınış Yerleri ve Rezervleri Kil

Hammadde Lokasyonu	Numune Kodu	Rezerv (mil.ton)
Samsun- Ladik, Körüklüdere	N1	15
Samsun- Bafra Kil	N2	33
Samsun-Vezirköprü, korkucak	N3	22
Samsun- Kavak	N4	18
Tokat- Artova Bakacaktepe,Geçentepe	N5	26
Tokat -Niksar sırtları	N6	11
Amasya- Gümüşhacıköy,Çat	N7	27
Amasya- Merzifon, Keçiköy	N8	15
Çorum- Narlı	N9	39
Çorum -Osmancık	N10	24

4.3 Alçıtaşı Hammadde Yatakları

Portland çimentosu klinkerinin alçıtaşı ile % 10'a kadar herhangi bir doğal yada yapay puzolanik madde (tras,uçucu kül vb.) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Alçıtaşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristalizasyon suyu bulunan türüne jips ($CaSO_4.2H_2O$) denir. Susuz kalsiyum sülfat ise anhidrit ($CaSO_4$) olarak adlandırılır.

Çimento sanayi alanında genellikle jips kullanılmaktadır.Gerek jips gerekse anhidrit hiçbir zaman saf halde bulunmazlar. Bu iki mineralden herbiri yarı dengeli olup biri diğerine dönüşebilmektedir.Ayrıca alçıtaşı yataklarına oluşum sırasında veya sonradan yabancı maddeler karışmış olabilir. Bunun sonucu olarak alçıtaşı ancak % 85–95 saflıkta bulunmak tadır. Çimento sanayinde genellikle maden ocağından çıktığı kalitesi ile hiçbir işleme tabi tutulmaksızın kullanılmaktadır. Jips yada jibs-anhidrid karışımını içeren hammaddeler son öğütme prosesinde % 3–5 oranında klinker ve/veya diğer katkı maddeleriyle birlikte öğütülerek değişik tür çimentolar üretilmektedir.Alçıtaşı gibi sülfat içerikli maddelerin katılması çimentonun hidratasyon süresinin ayarlanmasında etkili rol oynamaktadır.

Orta Karadeniz bölümünde mevcut alçıtaşı sahaları gezilmiş ve söz konusu alanlardan numuneler alınmıştır. Tokat ilinde bulunan alçıtaşlarının yumrulu olduğu ve alçıtaşı yumrularının arasının killi olduğu görülmüştür. Ancak killerinden yıkandıktan sonra kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Daha iyi alçıtaşı yataklarına ulaşmak için Sivas ve Yozgat taraflarına yönelmek gerekmektedir. Sivas-Bedirli alçıtaşı oluşumları yaşlı birimler içindedir. Çimento hammaddesi olarak kullanımları ve rezervleri çimento sanayisi için son derece uygundur. Tokat Zile Amasya sahalarında rastlanılan alçıtaşlarının anhidrit miktarları fazla olup, çimento kullanımı için elverişli olmadığı tespit edilmiştir. Samsun Vezirköprü ,Körük lüdere alçıtaşı ocakları hem rezerv açısından hem de kalite açısından çimento üretimi için alçıtaşı cevherleşmesi iyi konumdadır. Çorum-Uğurludağ arasındaki yaklaşık 12000 hektarlık alanda sırtlar ve tepeler şeklinde izlenen tahmini 15 milyar ton görünür rezerve sahip kaliteli alçı sahaları çok büyük bir ekonomik değer olarak dikkati çekmektedir.

Numune kod numaraları A1, A2 ve A3, A4 A5 ve A6 olan sahalardan alınan alçıtaşı numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.a'da verilmiştir. A1 Tokat Yeşilyurt-Boztepe doğu yamaçlarını, A2 Tokat Zile Aköz sırtlarını, A3 Amasya-Hamamözü A4 Samsun Körüklü dere, A5 Samsun Vezirköprü, A6 Çorum Alaca alçıtaşlarını temsil etmektedir.

Çizelge 5. a Alçıtaşı Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik %	A 1	A2	A3	A4	A5	A6
SO_3	41.6	42,7	40,0	41.6	43.3	42.6
Kristal Su	19.7	17.9	18.5	19.7	19.5	18.7
Kızdırma Kaybı	21.7	21.7	21.8	21.7	21.3	22.0
Dihidrat Alçı	90.6	85.5	88.2	90.6	85.5	90.6
Anhidrit Alçı	0.82	5.04	1.66	0.82	5.04	0.82
$CaCO_3$	6.98	8.66	7.66	6.98	8.66	6.98
Toplam	98.4	99.2	97.6	98.4	99.2	98.4
Tayin Edilemeyen	1.56	0.78	2.71	1.56	0.78	1.56
Toplam	100	100	100	100	100	100
Dihidrattan SO_3	42.1	39.7	41.0	42.1	39.7	42.1
Rutubet	3.2	3.2	2.8	3.2	3.2	3.2
C.Kalinti	0.63	1.92	3.15	0.63	1.92	0.63

Çizelge 5.b Alçıtaşı Hammaddeleri Alınış Yerleri ve Rezervleri

Hammadde Lokasyonu	Numune Kodu	Rezerv (mil. ton)
Tokat- Yeşilyurt,Boztepe	A1	15
Tokat -Zile,Aköz	A2	70
Amasya-Hamamözü	A3	34
Samsun, Körüklüdere	A4	54
Samsun -Vezirköprü, Akören	A5	60
Çorum- Alaca ve Uğurludağ	A6	35

4.4 Tras Hammadde Yatakları

Yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı madde olmayan fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman su ile yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı özelliğini kazanan maddelere puzolan denilmektedir (Kandemir, 1993). Puzolanları doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Doğal puzolanlar olarak bilinen maddeler volkanik tüfler, killi şist, diatome toprağı ve pomza taşıdır (Baltacı, 1989). Bunlar dünyanın belli bölgelerinde bulunmaktadır. Doğal puzolanların en önemlisi Almanya'da Ren vadisinde çıkarılan ve tras adı verilen puzolandır. Bu puzolan gayet üstün özelliklere sahip olduğundan bir çok ülkelerde ve bu arada bizim ülkemizde de puzolanlar tras olarak adlandırılmaktadır. Puzolan katkılı çimentolara traslı çimentolar (TÇ) denilmektedir (Kaplan ve Binici,1995). Tras çimentosu, ağırlıkça 20-40 kısım kurutulup öğütülmüş tras ve portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesinden oluşan hidrolik bağlayıcıdır.

Orta Karadeniz bölümünde mevcut çimento fabrikalarının ve kurulması planlana çimento fabrikalarının tras ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için Samsun, Amasya, Çorum, Tokat illerini kapsayan geniş bir alanda yapılan arazi çalışmaları sonucunda bir çimento fabrikasının ihtiyacı için yeterli olabilecek miktar ve kalitede tras rezervi tespit edilmiştir. Alınan numuneler arazideki yerleri ve alınış şekilleri tras hammaddesi rezervini genel olarak karekterize edecek şekildedir. Tras açısından önemli olabilecek yerler tespit edilerek gerekli numuneler alınmış ve kimyasal analizleri yapılmıştır. İlk aşamada tras için önemli olabilecek sahalar T1...T8 şeklinde kodlanarak aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Tokat-Artova İlçesinin 10-12 km batısında bebek deresi ile Aktaş köyleri civarı T1; Tokat-Reşadiye ilçesinin 10-15 km kuzeybatısında Karataş köyü civarı T2; Amasya ilinin 30-40 km batısında Doğantepe civarı T3; Amasya Hamamözü civarı T4; Çorum-Mecitözü civarı T5; Çorum Alaca civarı T6; Samsun Kavak Çukurdere T7; Samsun Ladik Körüklüdere numuneleri T8, kodları ile temsil edilmektedir.

Yukarıda bahsedilen tras sahalarından alınan numunelerin analizlerinin incelenmesi ve bu sahaların nakliye kolaylıkları, tras olarak klinkere karıştırma oranları öğütülme kolaylığı gibi özellikler göz önüne alınarak önemli görülen yerlerin kimyasal analizler sonuçları Çizelge 5.a ve 5.b' de verilmiştir. Çizelge 5'den görülebileceği üzere Amasya ve Samsun İllerinden alınan tras numunelerinin analizlerden tras oluşumunun iyi kalitede olduğu görülmektedir. Analizlerde kızdırma kaybının yüksek çıkması, numunenin yeteri kadar kurutulmamış olduğunu göstermektedir. Öyle ki CaO ve MgO değerlerine göre kızdırma kaybının % 5 civarında olması

gerekir. Rutubetin % 10 dan çok olması, kayanın fazla gözenekli olması nedeniyle yağmurlu mevsimlerde içine fazlaca su almasından kaynaklanmaktadır. Güneşli ve kuru havalarda almış olduğu bu suyu süratli bir şekilde atarak rutubetinin %5 in altına düşürüleceği düşünülmektedir. Tokat ili sınırlarından alınan tras analiz sonuçlarına bakıldığında reaktif SiO_2 yüzdesi ve puzolanik aktivitesi biraz düşük çıkmıştır. Bundan dolayı yalnız başına tras olarak az katılabilir. Puzolanik aktivitesi yüksek olan tras ile de harmanlama yapılarak kullanılabilir. Tras olarak kullanılması düşünülen bu malzemenin killeşmenin olmadığı taze yerlerden beslenmesi gerekmektedir. Samsun ili sınırlarından alınan tras analiz sonuçlarına bakıldığında reaktif SiO_2 yüzdesi ve puzolanik aktivitesi çimento üretiminde kullanılabilir çıkmıştır. Bundan dolayı yalnız başına tras olarak % 40-50 lere kadar katılabilir. Amasya'dan alınan tras analiz sonuçlarına bakıldığında reaktif SiO_2 yüzdesi ve puzolanik aktivitesi biraz düşük çıkmıştır. Ayrıca rutubet değeri de yüksektir.Amasya trasları Puzolanik aktivitesi yüksek olan tras ile de harmanlama yapılarak kullanılabilir. Tras olarak kullanılması düşünülen bu malzemenin killeşmenin olmadığı ve rutubeti düşük taze yerlerden beslenmesi gerekmektedir.Ayrıca Çimento fabrikalarında rutubeti yüksek olduğundan dolayı ekstra bir kurutucu maliyeti getirebilir.

Çorum ili sınırlarından alınan tras analiz sonuçlarına bakıldığında reaktif SiO_2 yüzdesi ve puzolanik aktivitesi çimento üretimi için uygundur.Ayrıca rutubet değerleride istenilen değerlerdedir. Bundan dolayı yalnız başına tras olarak katılabilir.Hatta % 50 lere kadar kullanılabilirler.

Çizelge 6.a Tras kimyasal analiz sonuçları

İçerik	T1	T2	T3	T4
SiO_2	57.58	69.96	54.22	70.55
Al_2O_3	10.77	12.71	19.32	12.06
Fe_2O_3	1.67	0.97	8.13	0.83
CaO	5.82	2.99	7.33	3.44
MgO	4.01	1.21	2.61	0.80
Na_2O	2.47	0.07	0.42	0.11
K_2O	2.43	1.93	1.57	2.54
TiO_2	0.31	0.30	0.36	0.21
P_2O_5	0.03	0.02	0.87	0.00
K.K.	13.69	9.15	4.96	8.45
Toplam	98.78	99.4	99.2	98.61
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	81.09	83.64	87.73	83.44
Rutubet	14.43	14.3	1.3	6
Puzolanik aktivite N/mm2	6.3	7.6	6.4	6.3
Çözülmez kalıntı	27.64	16.73	17	7.64
Reaktif SiO_2	47.28	51.55	51	60.36

Çizelge 6.b Tras kimyasal analiz sonuçları

İçerik	T5	T6	T7	T8
SiO_2	68.38	66.1	69.23	66.81
Al_2O_3	12.69	10.92	12.87	13.11
Fe_2O_3	1.18	0.95	1.25	1.64
CaO	4.18	7.58	3.19	2.92
MgO	1.07	1.61	1.16	2.2
Na_2O	0.02	0.13	0.02	0.13
K_2O	3.00	2.58	2.72	2.87
SO3	0.19	0.09	0.24	0.06
TiO_2	0.16	0.02	0.15	0.21
P_2O_5	0.02	0.02	0.02	0.00
K.K.	8.7	9.54	8.76	9.57
Toplam	98,78	99.4	99.2	99.43
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	82.25	77.97	83.35	81.56
Rutubet	5	6.3	4.8	7.2
Puzolanik aktivite N/mm2	10.7	6.5	10.2	9.4
Çözülmez kalıntı	22.54	16.74	17.6	20.64
Reaktif SiO_2	49.88	52.28	48.2	51.08

Çizelge 6.c Tras Hammaddeleri Alınış Yerleri ve Rezervleri

Hammadde Lokasyonu	Numune Kodu	Rezerv (mil. ton)
Tokat-Artova bebek deresi,Aktaş	T1	25
Tokat-Reşadiye, Karataş	T2	70
Amasya, Doğantepe	T3	54
Amasya, Hamamözü	T4	50
Çorum-Mecitözü	T5	35
Çorum- Alaca	T6	54
Samsun -Kavak, Çukurdere	T7	50
Samsun- Ladik Körüklüdere	T8	38

4.5 Demir Hammadde Yatakları

Son yıllarda çimento piyasasında ihtiyaç duyulan çimento türleri giderek artmakta olup, eğer üretilen çimento türüne bağlı olarak kullanılan hammaddeden istenilen hammadde kalite kontrol parametreleri (modüller) sağlanamıyorsa; $SİO_2$ açığı için kum, Al_2O_3 için boksit, Fe_2O_3 açığı için ise demir cevheri veya kavrulmuş pirit uygun oranlarda farine ilave edilir. Çimento üretirken temel amaç; mevcut hammaddenin beraberinde getirdiği kısıtlamalara rağmen, üretim prosesinin ekonomik olmasının sağlanması, çimento dayanımları, çalışabilirlik ve hidratasyon karakteristikleri gibi pazarlanacağı ülkenin kalite standartlarındaki testlerde yeteri performansı sağlayacak çimentoyu üretmektir.

Demir madeni aramaları Samsun, Çorum, Amasya ve Tokat illerinde yapılmış olup Samsun'da herhangi bir demir madenine rastlanmamıştır.Tokat Artova Karadut Y1, Amasya Beldağı Y2,Çorum Kargı, Çobanlar Y3 ve Çorum Mecitözü Y4 ile kodlanmıştır.

Çizelge 7.a Demir Madeni Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	Y1	Y2	Y3	Y4
SiO_2	18.2	16	20.86	17.8
Al_2O_3	4.8	5.54	4.46	4.74
Fe_2O_3	40.9	56	63.46	54.2
CaO	1.6	2.1	1.1	2.1
MgO	2.1	0.72	0.72	0.72
Na_2O	0.0	0.02	0.02	0.02
K_2O	0.4	0.81	0.81	0.81
SO_3	0.7	0.6	0.6	0,6
P_2O_5	0.2	0.23	0.23	0.23
TiO_2	0.3	0.34	0.34	0.34
MnO	1.9	0.48	0.48	0.48
Kızdr.Kyb	4.6	6.5	6.5	6.5
Toplam	95.2	99.58	99.58	99.58
Rutubet	4.9	10.9	12.0	10.9

Çizelge 7.b. Demir Hammaddeleri Alınış Yerleri ve Rezervleri

Hammadde Lokasyonu	Numune Kodu	Rezerv (ton)
Tokat-Artova-Karadut Sahası	Y1	33000
Amasya Beldağı	Y2	28000
Çorum Kargı-Çobanlar	Y3	43000
Çorum Mecitözü	Y3	17000

5 SONUÇLAR

Orta Karadeniz bölümünde çimento fabrikası yatırımları yapılabilmesi ve mevcut çimento üretim kapasitelerinin arttırılması için yaklaşık olarak 50 km^2'lik bir alanda arazi incelemeleri yapılmıştır. Yapılan detaylı incelemeler neticesinde;

Çimento hammaddeleri özellikle kalker sahaları ülkemizde yaygın olarak bulunmaktadır. Genelde rezerv yönünden herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Ancak hammadde kullanım miktarlarının çok yüksek olması, nakliye maliyetlerinin düşük

olmasını gerektirdiğinden ana hammadde sahalarının çimento fabrikalarına yakın olması (en çok 5 km) büyük önem taşımaktadır. Ayrıca hammaddelerin kaliteli, kolay kırılabilir, öğütülebilir ve pişebilir özellikte olması, düşük nem içermesi, sahaların ocak işletmeciliğine uygun olması, dekapaj gerektirmemesi, tarım-orman alanları içinde olmaması hammadde maliyetlerinin düşük olmasını sağladığından hammadde etütlerinde esas alınması gereken kriterler olmaktadır.Tokat,Amasya kalkerleri masif olmasına karşın Çorum ve Samsun kalkerleri kırıklı bir yapı içermekte ve alterasyona uğramış kısımlar bulunmaktadır.Altere olmuş yerlerde SiO_2 miktarları yer yer % 5-10' a kadar yükselmektedir.

Kil oluşumları Tokat, Amasya,Samsun ve Çorum illeri için incelenmiş olup rezerv ve kalite açısından bir çimento fabrikasının istediği özellikleri barındırmaktadır.Tokat Killerinin MgO içeriği yüksek olup,Samsun killerinde ise alkaliler yüksek çıkmıştır. Çimento üretiminde kullanılacak kil yataklarının kimyasal özelliklerinin yanı sıra kurulacak fabrikaya yakınlığı, sökülebilirliği, kırılabilirliği, öğütülebilirliği ve pişebilir nitelikte olması düşük nem içermeleri ve homojen olmaları üretim maliyetini etkileyen önemli parametrelerdir.Bu nedenle bu özelliklerin de saptanması üretim açısından büyük önem arz etmektedir.

Tokat ili Güney doğusu sınırlar dahilinde bulunan trasların reaktif silis yüzdesi ve puzolanik aktivitesi düşüktür. Bu nedenle çimento üretim sürecinde klinker maliyetini düşürme adına az miktarlarda katılabilir.Tokat ili Kuzey doğusunda bulunan trasların puzolanik aktiviteleri düşük çıktığından dolayı tras olarak kullanılmaları uygun değildir.Fakat puzolanik aktivitesi yüksek olan bir tras ile harmanlama yapılarak kullanılabilir.

Amasya il sınırları dahilinde bulunan özellikle Doğantepe trasının puzolanik aktivitesi ve reaktif silisi yüksek olması nedeniyle tek başına çimento üretim sürecinde kullanılmaları uygundur.

Tokat ve Amasya illerindeki alçıların yumrulu olduğu ve yumrularının arasının killi olduğu görülmüştür. Ancak killerden arındıktan sonra kullanılabileceği düşünülmektedir. Daha kaliteli alçıtaşı bulmak amacıyla Sivas ili Bedirli köyü ve Samsun Vezirköprü civarları gezilmiş olup bu bölgede rezervi bol, iyi kaliteli alçıtaşı oluşumları tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Baytin, G., Gökhan, Ç. (1979) Yapımda Endüstrileşme: Çimento I, Mimarlık Dergisi, Cilt.79, No.3, s.24-27.

Baltacı, F. (1989) İnşaatlarda Traslı Çimentonun Kullanılabilirliği., DSİ, TAKK Yayınları, Ankara, s. 55-57.

BSTB, (2013) Çimento Sektörü Raporu 2013/1, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, Sanayi Genel Müdürlüğü, s.1-15.

Kandemir, N., (1993). Strength properties of concretes made with pozzolanic cement and cured at different humidity conditions at normal temperatures`, Middle East Technical University, Ankara, s.102.

Kaplan, H ve Binici, H. (1995) Tras ve Traslı Çimentolar, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt.2-3, s. 121-127

TÇMB, (2014) Çimento Raporu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.

Cevher Hazırlama Tesis Tasarımı ve Zenginleştirme Yöntemleri

Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$) Mineral Dolgu Özelliklerinin Geliştirilmesinde Ultrasonik Enerjinin Etkisi

Effect of Ultrasonic Energy in Improvement of Calcium Carbonate ($CaCO_3$) Mineral Filler Properties

Ö.Y. Toraman
Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 51240 Niğde

H. İnal
Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 51240 Niğde

ÖZET Çok ince kalsit ($CaCO_3$) tane boyutu genellikle nano-boyutlara kadar inen mikron-altı tane boyutunda olup, nanometrik etkilere ve bazı özel performanslara sahiptir. Yüksek kalitede dolgu olarak plastik, kağıt, boya, tıp, eczacılık, gıda vb. alanında geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

Ultrasonik yöntem, özellikle çok ince boyutlarda palp elde edilmesi için, karıştırmalı bilyalı değirmenler, jet değirmenler veya yüksek basınçlı homojenleştiriciler gibi yaygın olarak kullanılan boyut küçültme ve dağıtıcı/homojenleştirici ekipmanlarla kıyaslandığında pek çok avantaj sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu ultrasonik enerji söz konusu teknolojilere önemli bir alternatif olmakta ve özellikle nano-boyutta partikül elde etmede etkin bir yöntem olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kalsitin ultrasonik enerji ile yaş olarak 500 nm'den daha ince boyuta öğütülmesinin araştırılmasıdır. Ultrasonik testler prob-tipi bir laboratuar ölçekli ekipmanda gerçekleştirilmiştir. Test parametreleri: titreşim genliği (amplitut) ve katı yoğunluğu'dur. Test sonuçları ürün inceliği ve tane boyut dağılımı göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalsiyum karbonat, ultrasonik enerji, öğütme

ABSTRACT The size of ultrafine $CaCO_3$ is usually from sub-micron particle size, which belongs to nanoparticles. This kind of powders has nanometric effects and some special performances. As a high-quality packing and white pigment, ultrafine $CaCO_3$ is widely used in plastics, papers, coating, medicine, pharmaceutical, food etc.

Conventional devices such as jet mills, high-pressure homogenizers or stirred bead mills do not deliver sufficient power to separate nanomaterial into its individual particles. Particularly for substances in the range of a few nanometers to a few micrometers, the use of high power ultrasound have been proven as a highly efficient and effective means to destroy the agglomerates, aggregates and even primary particles. During the preparation of highly concentrated batches, through the liquid jets, generated by ultrasonic cavitation, interparticle collision is caused.

The aim of this study is to investigate the grindability of calcite powder under 500 nm particle size using ultrasonic energy. For this purpose, it has been carried out ultrasonic grinding/dispersing test studies in a probe-type lab-scale ultrasonic equipment and investigated the effect of some operating parameters such as amplitude and solid concentration. Experimental results have been evaluated on the basis of product size and particle size distribution.

Keywords: Calcium carbonate, ultrasonic energy, grinding

1 GİRİŞ

Mikronize kalsit ($CaCO_3$); boya, kâğıt ve plastik gibi pek çok farklı sektörlerde mineral dolgu ve kaplama maddesi olarak kullanılan önemli bir endüstriyel hammaddedir. Ülkemizdeki en önemli kalsit oluşumlardan birisi Niğde Bölgesinde yer almakta olup, söz konusu sanayi hammaddesinin işlendiği ve mikronize ürün haline getirildiği çok sayıda tesis bulunmaktadır. İnce ve çok ince öğütmenin gerçekleştirildiği bu tesislerde, özellikle son yıllarda gerçekleştirilen yeni yatırımlar ile birlikte yıllık 1 milyon ton'un üzerinde bir kurulu kapasiteye ulaşılmıştır.

Mineral endüstrisinde yaygın olarak kullanılan klasik bilyalı değirmenlerin belirli boyutlara kadar uygulanabildiği göz önüne alındığında ince/çok ince öğütmede yeni öğütme teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Karıştırmalı bilyalı değirmenler, mikron ve mikron altı inceliklerde öğütme yapabilme kapasitesine sahip son yıllarda geliştirilmiş öğütücü ekipmanlardır (Kwade ve Schwedes, 2007).

Öte yandan, kâğıt üreticileri için mineral dolgu seçiminde genellikle aşağıdaki özellikler belirleyici olmaktadır:

- tane şekli
- tane iriliği ve boyut dağılımı
- yüzey alanı
- renk/parlaklık
- kırılma indeksi

Yine boya sektöründe yayıcı (extender) olarak kullanılan mikrokalsitin;

- incelik
- perdahlık
- yüzey düzlüğü
- parlaklık ve
- örtücülük

gibi özellikleri öne çıkmaktadır.

Mikronize kalsit ürün inceliği yanında uygun tane boyut dağılımı ile boyanın özellikle parlaklık ve örtücülük gibi optik özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlanabilmektedir. Zira eş-boyutlu taneler filmdeki havanın hacmini artırmakta ve çabuk kurumasını sağlamaktadır (Werner, 1998).

Bu çalışmanın amacı, Niğde bölgesi kalsitlerinin ultrasonik enerji ile yaş olarak 500 nm'den daha ince boyuta öğütülmesinin araştırılmasıdır. Ultrasonik testler prob-tipi bir laboratuar ölçekli ekipmanda yaş koşullarda gerçekleştirilmiştir.

2 ULTRASONİK BOYUT KÜÇÜLTME VE DAĞITMA

Bilindiği gibi; saniyedeki titreşim sayısı 20.000'den fazla olan ses titreşimlerine ultrasonik (ses üstü) ses denilmektedir. Ultrasonik ses, günlük hayatımızda ve teknolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik ses, titreşim sayısı fazla olduğu için duyulabilen sese göre 100 bin kat daha fazla enerjiye sahiptir. Bu sesler duyulabilen seslere göre daha kolay yönlendirilmekte ve bu nedenle de teknolojide kullanılmaktadır.

Genel kullanım alanları şu şekildedir:

•Ultrases, dezenfekte işlemi için kullanılır. (Gözlük ve takıların temizlenmesi için kullanılır).

•Heterojen karışımların karıştırılması/ dağıtılması için kullanılır.

•Katı maddelere şekil vermek için kullanılır.

Ultrases üretmek amacıyla kullanılan araçlar transduser (titreştiriciler) olarak bilinmekte, bunlar elektrik enerjisini titreşim enerjisine çevirmektedir. Kavitasyon kabarcıkları, bir süspansiyonun güçlü ultrasonik dalgalar altında kalması sonucu üretilebilir. Bu mikro kabarcıkların dağılması sonucu oluşan enerji, kimyasal işlemlerde büyük oranda reaksiyon hızlanma ve değişimlere neden olmaktadır. Kavitasyon kabarcıkları ani olarak çöken geçici oyuklar ve titreşerek duyarlı olarak kalan kalıcı oyuklardan oluşur.

Ultrasonik enerjide bazı temel değişkenler aşağıda kısaca verilmiştir.

Akustik empedans (W) ortamın ses yayılımına gösterdiği direnç (ses direnci) olup, ortam yoğunluğu ile ortamdaki ses hızı çarpımına eşittir.

$$W = \rho . V \qquad (1)$$

W:Akustik empedans ($kg/m.sn^2$)
ρ:Yoğunluk (kg/m^3)
V:Sesin ortamdaki yayılma hızı (m/sn)

Mekanik bir enerji olan ultrasonik enerji şiddeti ise;

$$I=1/2.(W.w^2.A^2) \quad (2)$$

I: Ultrasonik enerji şiddeti (W/m^2)
A: Titreşim genliği (amplitut) (m)
W: Akustik empedansı ($kg/m.sn^2$)
w: Açısal frekans 2π f (s^{-1}=Hz)

Ultrases yayıldığı ortamda bir basınç (P, N/m^2) oluşturur. Bu ise;

$$P= W.w.A \quad (3)$$

Akustik enerji ile akustik basınç arasında ise şu bağıntı vardır (Mason, 1990):

$$I=1/2.(P^2/W) \quad (4)$$

Öte yandan, özellikle çok ince boyutlarda palp elde edilmesi için, karıştırmalı değirmenler, diskli değirmenler, jet değirmenler, rotor-stator karıştırıcılar veya yüksek basınçlı homojenleştiriciler gibi yaygın olarak kullanılan boyut küçültme ve dağıtıcı/homojenleştirici ekipmanlarla kıyaslandığında ultrasonik yöntem pek çok avantaj sağlamaktadır. Yüksek yoğunluklu ultrasonik enerji söz konusu teknolojilere önemli bir alternatif olmakta ve özellikle nano-boyutta partikül elde etmede en etkili yöntem olmaktadır. Yüksek güç/düşük frekans ile yüksek titreşim genliği (amplitut) elde edilebilir. Böylece ultrases, karıştırma, dağıtma, topaklanmayı önleme ve öğütme gibi yaş proseslerde kullanılabilmektedir.

Ses dalgaları uygulanan frekansa bağlı olarak yüksek basınç (sıkıştırma) ve düşük basınç (basıncı azaltma) döngüleri ile sıvı ortamı hareketlendirir. Düşük basınç döngüsünde yüksek yoğunluklu ultrasonik dalgalar süspansiyon içinde çok küçük vakum kabarcıkları (kavite) veya boşluklar oluşturur. Bu kabarcıkların içe doğru patlaması ile 1000 km/saat'i bulan mikro-türbülanslara sebep olur. İri taneler yüzey aşınmalarına ve boyut küçülmeye maruz kalır.

Endüstriyel ölçekte 500 W-16 kW (cihaz başına) arasında güç değerlerine ulaşıldığı ve boya, kaplama, mürekkep, çimento, beton veya kozmetik gibi pek çok sektör için uygulanabileceği belirtilmektedir. Ultrasonik proses, yüksek konsantreli ve yüksek viskoziteli palpların işlenmesini mümkün kılar. Ultrasonik boyut küçültme ve dağıtma, özellikle seramikler, killer, metal oksitler, alümina (Al_2O_3), silis (SiO_2), soda külü (Na_2CO_3), barit ($BaSO_4$), kalsit ($CaCO_3$) gibi mikron ve mikron-altı boyutlu malzemeleri işlemeye uygundur (Hielscher, 2011).

Literatürde; nano-killer (Franco ve ark, 2007), metal oksitler (ZnO, TiO_2, FeO), silis, profillit (Perez-Maqueda ve ark, 2004b), vermikülit (Perez-Rodriquez ve ark, 2002), mika (biyotit ve muskovit) (Perez-Maqueda ve ark, 2004a) ve talk (Perez-Maqueda ve ark, 2005) üzerinde ultrasonik enerjiden yararlanarak boyut küçültme/dağıtma işlemi çalışmaları bulunmakla beraber, süspansiyon halde topaklanan kalsit, barit, talk gibi özellikle boya ve kaplamada fonksiyonel dolgu maddesi olarak kullanılan endüstri mineralleri üzerinde yeterli araştırma bulunmamaktadır.

3 MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda NİDAŞ A.Ş. (Niğde) firmasından alınan mikronize kalsit ($CaCO_3$) numuneleri kullanılmıştır. Çizelge 1'de numunenin kimyasal analiz sonuçları gösterilmektedir. Ülkemizin ve dünyanın en kaliteli kalsit oluşumlarının yer aldığı Niğde'deki oluşumların kirletici bileşenleri (Fe, Mg, Al) son derece düşük, bunun yanı sıra kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) oranı çok yüksek (%99.5) seviyelerdedir. Yüksek beyazlık ve saflık öne çıkmaktadır.

Çizelge 1. Kalsitin kimyasal bileşimi.

Bileşim	*%*
$CaCO_3$	99.5
$MgCO_3$	0.2
Fe_2O_3	0.01
SiO_2	0.01
Al_2O_3	0.02

Söz konusu tesisten alınan numunelere ait diğer bazı özellikler Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Kalsit numunenin özellikleri.

Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (ISO 787-10)	2.7 gr/cm^3
Sertlik	3 Mohs
Kırılma indisi	1.59
Genel Özellikler	
Fabrika çıkışı nem, %	0.2
pH değeri	9
Yağ emme, g/100 g	15
Dop emme, g/100 g	16
Paketleme yoğunluğu,g/ml	0.79
Beyazlık, L	98.5

3.2 Metot

Deneysel çalışmalarda kullanılan Ultrasonik Karıştırıcı Hielscher Ultrasonics GmbH-UP400S (Almanya) Şekil 2'de gösterilmektedir.

Şekil 1. UP400S Ultrasonik cihaz.

Ultrasonik karıştırıcının genel ve teknik özellikleri ile sonotrod özellikleri Çizelge 3, 4 ve 5'te verilmektedir. Alman Hielscher Ultrasonics GmbH firması tarafından üretilen cihaz %90'ın üzerinde verime, 24 kHz frekansa ve 400 W güce sahiptir.

Çizelge 3. Ultrasonik cihazın genel özellikleri.

Üretici	Hielscher Ultrasonics GmbH (Almanya)
Model	UP400S
Uygunluk	CE İşareti
Üretim Yılı	2006

Elde edilen ürünlerin partikül boyutlarının ölçülmesinde -5 µm'den nano boyuta kadar ölçüm yapabilen MALVERN Marka ZETASIZER NANO ZS90 kullanılmıştır (Şekil 3). Ölçümler Niğde Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama (NÜNAM) merkezinde gerçekleştirilmiştir.

SEM görüntü analizleri ise TÜBİTAK-MAM'da yaptırılmıştır.

Çizelge 4. Ultrasonik cihaz teknik özellikleri.

Parametre	*Değer*
Ultrasonik işlemci	UP400S
Verim	>%90
Çalışma frekansı	24 kHz
Kontrol aralığı	±1 kHz
Nominal çıktı	400 W
Elektrik verileri	200 … 240 V AC, 48 … 63 Hz
Maksimum güç yoğunluğu	85 W/cm^2
Maksimum titreşim genliiği	100 µm (%100)
Sıcaklık aralığı	+5 … +40 ^{o}C
Nispi nem	%10 … %90
Boyutları	300 mm x 210 mm x 145 mm
Ağırlık	Yaklaşık 3.8 kg

Çizelge 5. UP400S sonotrod özellikleri.

Tip	*Maksimum daldırma derinliği (mm)*	*Horn çapı (mm)*	*Maksimum titreşim genliği (µm)*	*Akustik güç yoğunluğu (W/cm^2)*
Horn 22	45	22	100	85

Şekil 2. Malvern NanoSizer cihazı

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 I.Grup Deneyler (Ön Testler)

I.Grup deneysel çalışmaların genel şartları ve ürün özellikleri Çizelge 6 ve 7'de gösterilmektedir. Yaklaşık %10 katı yoğunluğunda yapılan deneylerde 1.4 mikron boyutunda (d50) malzeme ile farklı titreşim genliği değerlerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6. I.Gup deneysel çalışmalar genel şartları.

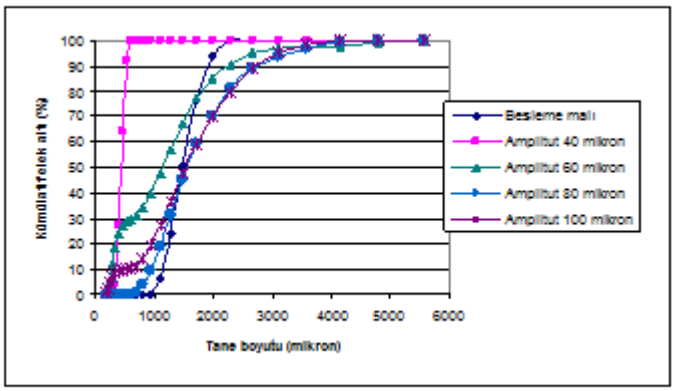
Deneysel Şartlar	*Değer*
Süre	15 dk.
Katı Oranı	%10
Besleme malı, d50	1400 nm
Titreşim genliği, µm	40-60-80-100

Yaklaşık 15 dk.'lık maruz kalma süresinde farklı titreşim genliklerinde 1530 nm ile 425 nm ortalama tane boyutlarında ürünler alınmıştır.

Çizelge 7. I.Grup deneysel çalışmalar ürün partikül boyut özellikleri.

Ürün	*Ortalama Tane Boyutu, d50, nm*
US-yok	1480
US40	425
US60	1150
US80	1550
US100	1530

Farklı titreşim genliği seviyelerinde yapılan ultrasonik testlerde elde edilen ürünlerin tane boyut dağılım (PSD) eğrileri Şekil 4'te sunulmuştur. Farklı titreşim genliği değerlerinde yapılan ön testlerde artan değerlerde önce 425 nanometre ürün alınmış ancak daha sonra partikül boyutu besleme malı boyutuna çıkmıştır. Ultrasonik testlerde su haznesi içinde soğutma sağlanmaya çalışılmış ancak bunun yeterli olmadığı, dolayısıyla kavitasyon etkisi ile oluşan ısınma sebebiyle topaklanma ve dolayısıyla boyut artışı gözlenmiştir.



Şekil 3. Farklı titreşim genliği seviyelerinde yapılan ultrasonik testlerde elde edilen ürünlerin PSD eğrileri.

4.2 II.Grup Deneyler

II.Grup deneysel çalışmaların genel şartları ve ürün özellikleri Çizelge 8 ve 9'da gösterilmektedir. Yaklaşık %30 katı yoğunluğunda yapılan deneylerde 1.4 mikron boyutunda besleme malı ile farklı amplitutlarda (0, 40, 80) çalışmalar yapılmıştır.

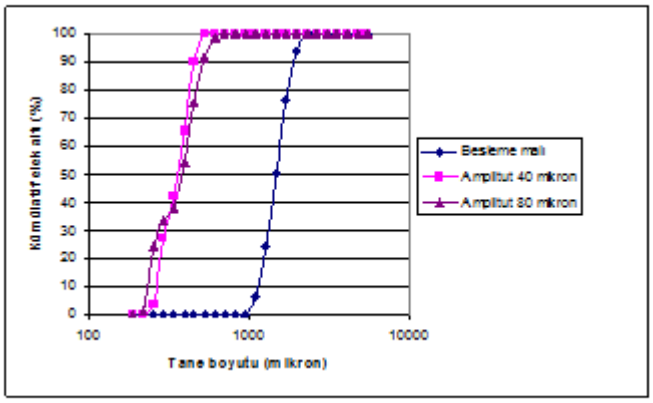
Çizelge 8. Deneysel çalışmalar (II.Grup) genel şartları.

Deney Şartı	*Değer*
Süre	15 dk.
Katı Oranı	%30
Besleme malı d50	1400 nm
Titreşim genliği, µm	40-80

Çizelge 9. Deneysel çalışmalar ürün tane boyut özellikleri.

Ürün	Ortalama Tane Boyutu, d50, nm
US-yok	1400
US40	423
US80	476

Ultrasonik testlerde elde edilen ürünlerin PSD eğrileri Şekil 5'te sunulmuştur. Farklı titreşim genliği değerlerinde yapılan testlerde artan değerlerde önce 423 nanometre ürün alınmış ancak daha sonra partikül boyutu 500 nanometre tane boyutuna yaklaşmıştır. Tane boyut dağılımı dikkatle incelendiğinde besleme malına göre elde edilen ürünlerin daha dik bir dağılım eğrisi gösterdiği, eş boyutlu tane aralığının birbirine yaklaştığı dolayısıyla ürünün mineral dolgu olarak kullanılacağı örneğin boya sektörü için kaplama özelliğinin (örtücülüğün) artacağı görülebilmektedir.



Şekil 4. %30 katı yoğunluğunda farklı titreşim genliği seviyelerinde (40-80 µm) yapılan testlerinde elde edilen ürünlerin PSD eğrileri.

Bilindiği gibi, mikronize kalsitin ($CaCO_3$) kalitesini fiziksel ve kimyasal özellikleri ile parlaklık, beyazlık, örtücülük gibi özellikleri yanı sıra sahip olduğu boyut dağılım eğrisi (PSD) ve ürün inceliği belirtilmekte ve çoğu uygulama için malzemenin performansını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, mikronize kalsitin boyada perdahlık gerektiğinde 5 µm altı, düz (mat) bir görünüm için 15 µm'ye kadar ve tümüyle pürüzlü bir görünüm içinse >15 µm tane boyutuna sahip olması istenmektedir. Bu durumda boyut dağılım eğrisinin dikliği (tanelerin mümkün olduğu kadar eş boyutta olması) önem kazanmakta ve iri taneler ürün özellikleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilirken ince taneler boşlukları tamamen doldurabilmektedir (Hart, 2007).

Ürün inceliğini belirtmek için maksimum (en iri) tane boyutu=d_{98} (d_{90}, d_{95}, d_{97} ve hatta d_{100} olarak da tanımlanabilmektedir) (Hart, 2007), ortalama tane boyutu=d_{50}, ve d_{20} tane boyutu gibi farklı boyut sınıflamaları yapılmaktadır. Bir diğer sınıflama ise OMYA firması tarafından son yıllarda geliştirilen ve "Diklik faktörü" (Steepness Factor, *SF*) olarak belirtilen ürünün eş-boyutlu tane oranıdır. Bu ise d_{50} ve d_{20} arasındaki orana karşılık gelmektedir. Ayrıca, d_{75}/d_{25} (Hardy ve ark, 2003) ve $100xd_{30}/d_{70}$ d_{70} (Imyers Pigments Inc., 2000; Omya Development AG, 2007; Jons ve ark, 2007) gibi farklı şekillerde de ifade edilmektedir.

$$SF=d_{50}/d_{20} \quad (5)$$

Burada;
SF≥2 yatay olarak tanımlanırken
SF≤2 dik olarak kabul edilmektedir.

$$SF=100xd_{30}/d_{70} \quad (6)$$

Burada;
SF≥40 dik olarak tanımlanırken
SF≤40 yatay olarak kabul edilmektedir.

Boyut dağılım eğrisinin eğimi yataya yakın olan bir yayıcı geniş bir aralıkta tane içeriyor demektir. Örneğin d_{98}=3 µm, d_{50}=0.44 µm olan bir malzeme çok-ince (Ultrafine, *UF*) olarak kabul edilirken, d_{98}=4 µm, d_{50}=0.9 µm olan bir malzeme ise eş-boyutlu (ISO-Diametric, *ID*) olarak kabul edilmektedir (Çizelge 10). İdeal olarak eşboyutlu tanelerin aynı boyutta olması gerekir. Pratikte bu mümkün olmadığına göre söz konusu tanıma en yakın tane boyut aralığı boyada olduğu gibi pek çok endüstriyel proseste çok önemli özellikler gösterecektir.

Çizelge 10. Çok ince (UF) ve eşboyutlu (ID) $CaCO_3$ boyut dağılım değerleri (Werner, 1998).

Tane boyutu		Çok ince-UF $CaCO_3$	Eşboyutlu-ID $CaCO_3$
Maksimum tane boyutu, d98	*µm*	3	4
Ortalama tane boyutu, d50	*µm*	0.44	0.90
d20	*µm*	0.17	0.60
Diklik Faktörü (SF)	d_{50}/d_{20}	2.6	1.5

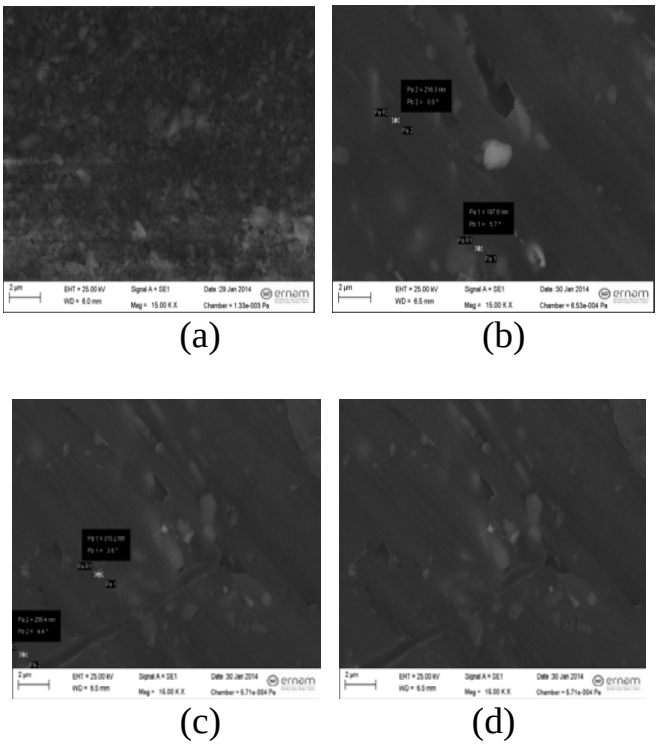
Deney sonuçlarına gore eşboyutlu (ID) $CaCO_3$ boyut dağılım değerleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Eşboyutlu (ID) $CaCO_3$ boyut dağılım değerleri.

		Çok ince-UF $CaCO_3$
Ortalama tane boyutu, d50	*nm*	423
d70	*nm*	392
d30	*nm*	246
d20	*nm*	221
Diklik Faktörü-1	d_{50}/d_{20}	1.91 SF≤2 olduğundan "dik" olarak kabul edilir.
Diklik Faktörü-2	$100xd_{30}/d_{70}$	62.75 SF≥40 olduğundan "dik" olarak tanımlanır.

*Deney şartları: 15 dk. maruz kalma süresi, 40 *µm* titreşim genliği, %30 katı konsantrasyonu

Deneyler sonrası elde edilen ürünler üzerinde yapılan SEM analiz görüntüleri Resim 1'de verilmiştir. Resimler incelendiğinde 200 nm altında tane boyutuna sahip partiküller görülmektedir. Tane boyut dağılım eğrisinde de görülen tanelerin dar bir boyut dağılım aralığında (200-500 nm) olduğu görüntülerden de teyit edilmektedir. Ayrıca görüntülerin çok net olmaması kalsitin iletken özelliğinin bulunmaması sebebiyle açıklanmıştır.



(a) (b)

(c) (d)

Resim 1. SEM görüntü analizleri

Bilindiği gibi tanelerin ufalanması (breakage) ve topaklanması (agregation) öğütme/dağıtma esnasında birbirine zıt iki süreçtir. Topaklanma iki aşamada oluşmaktadır: Agregasyon ve aglomerasyon. Agregasyon aşamasında taneler Van der Waals kuvvetleri ile birlikte bağlanmakta ve dağıtıcı kimyasallar ile disperse edilebilen aglomeratlar oluşmaktadır. Ancak aglomerasyon safhasında taneler kimyasal bağlarla bağlanmaktadır. Resim 1-b'deki SEM görüntüsünde 1.5-2 µm tane boyutuna yakın tane görülmektedir ki bu da çok seyrekte olsa aglomerat oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 12'de elde edilen nihai ürünlerin özgül yüzey alanları verilmiştir. Nihai testler sonucunda 5.23 m^2/g özgül yüzey alanına (S_{BET}) sahip taneler elde edilmiştir.

Çizelge 12. BET (Branauer-Emmett-Teller) özgül yüzey alanı sonuçları.

Ürün	*S_{BET} Yüzey Alanı (m^2/g)*
US-yok	1.58
US40	5.23
US80	4.61

Sonuç olarak; ortalama tane boyutu (d50) 400 nm civarında ürünlerin alındığı çalışmaların soğutma işleminin etkinleştirilerek çok daha uzun maruz kalma sürelerinde gerçekleştirilmesi, ayrıca literatür çalışmalarında da yer alan karıştırmalı bilyalı değirmen ve ultrasonik işlemin birbirini takip ederek kombine uygulanması ile çok daha ince boyutlara inilebilecektir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Deneysel çalışmalarda yüksek saflığa (%99.5 $CaCO_3$) ve yüksek beyazlığa (98.5) sahip, doğal, çok ince öğütülmüş kalsiyum karbonat numunesi kullanılmıştır.
- Kullanılan malzemenin tamamı (d_{100}) 5 mikron altında olup, ortalama tane iriliği (d_{50}) ise yaklaşık 1.4 mikron'dur.
- 40, 60, 80 ve 100 µm titreşim genliği seviyelerinde öğütme/homojenizasyon için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve %40 genlilkte seviyesinde ortalama tane boyutu 425 nm olan ürün elde edilmiştir.
- %30 katı konsantrasyonu, 15 dak. maruz kalma süresinde farklı titreşim genliği seviyelerinde (40-80 µm) yapılan testlerde de d50'si 450 nm civarında ürün elde edilmiştir. Söz konusu ürünün S_{BET} yüzey alanı yaklaşık 5.2 m^2/g'dır.
- Tane boyut dağılımı şekli dikkatle alındığında besleme malına göre elde edilen ürünlerin daha dik bir dağılım eğrisi gösterdiği, eş boyutlu tane aralığının birbirine yaklaştığı dolayısıyla ürünün mineral dolgu olarak kullanılacağı örneğin boya sektörü için örtücülüğün artacağı söylenebilir.
- İşlem parametreleri ile ilgili olarak daha ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekmektedir.
- Ayrıca, yürütülen çalışmaların soğutma işleminin etkinleştirilerek çok daha uzun maruz kalma sürelerinde gerçekleştirilmesi ve karıştırmalı bilyalı değirmen ve ultrasonik işlemin birbirini takip ederek kombine uygulanması ile çok daha ince boyutlara inilebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 112M037 Nolu TÜBİTAK Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar desteğinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Franco, F., Cecila J.A., Pérez- Maqueda, L.A., Pérez-Rodríguez, J.L., Gomes, C.S.F., 2007, Particle-Size Reduction of Dickite by Ultrasound Treatments: Effect on the Structure, Shape and Particle-Size Distribution, *Applied Clay Science*, 35, 119-127.

Hardy, R.E., Denholm, C.B., Williams, H.L., 2003. Narrow Size Distribution Ground Calcium Carbonate Compositions, US Patent. No. 839881.

Hart, J., 2007. The Path to Positive Processing: A Beginners' Guide to Grinding and Lab Set-up, *Industrial Minerals*, pp.78-85.

Hielscher, K., 2011, Innovative Use of Ultrasound in the Manufacture of Paints and Coatings, COMPOSITES 2011 American Composites Manufacturers Association, February 2-4, Ft. Lauderdale, Florida USA.

Imyers Pigments Inc. 2000, Pigment Composition for Employment in Paper Coating and Coating Composition and Method. US Patent, WO/2000/066510.

Jons, J.P.E., Pruet, R.J., Yuan, J., Garska, M.J., Cummins, D.O., Bilimoria, B.M., Wesley, R., 2007, Hyperplaty Clays and Their Use in Paper Coating and Filling, Methods for Making Same, and Paper Products Having Improved Brightness, US Patent, No. 7214264.

Kwade, A. and Schwedes J., 2007; Chapter 6: Wet Grinding in Stirred Media Mills. Handbook of Powder Technology, 251-382.

Mason, T. J., 1990, Chemistry with Ultrasound, Society of Chemical Industry, London, 195 p.

OMYA Development AG. 2007, Process of Manufacturing a Co-Ground Calcium Carbonate Material of the GCC and PCC Type with a Specific Steepness Factor, Obtained Products and Their Uses. US Patent, WO/2007/031870.

Perez-Rodriquez, J.L., Carrera, F., Poyato, J.,Perez-Maqueda, L.A., 2002, Sonication as a Tool for Preparing Nanometric Vermiculite Particles. Nanotechnology, 13, 382-387.

Perez-Maqueda, L.A., Blanes, J.M., Pascual, J., Pe´rez-Rodrı´guez, J.L., 2004a, The Influence of Sonication on the Thermal Behaviour of Muscovite and Biotite. *J. Eur. Ceram. Soc.,* 24, 2793-2801.

Perez - Maqueda, L. A., Montes, O. M., Gonzalez-Macias, E.M., Franco, F., Pe´rez-Rodrı´guez, J.L., 2004b, Thermal Transformation of Sonicated Pyrophyllite. *Appl. Clay Sci.,* 24, 201-207.

Perez-Maqueda, L.A., Duran, A., Perez-Rodriguez, J., 2005, Preparation of Submicron Talc Particles by Sonication, *Applied Clay Science,* 28, 245-255.

Werner, R., 1998, Steep Particle Size Distribution Curves as a Determining Factor in the Use of Fine Extenders in Various Coating Systems, Omya Publication, *FSCT Annual Meeting Tech*. Program (Revised Text), New Orleans, USA.

Klinker Öğütmede Küresel ve Spherodial Tetrahedronal Bilyaların Karşılaştırılması

Comparison of Spherodial Tetrahedronal and Ball Mills for Clinker Grinding

U. Malayoğlu, V.T. Engin
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Ürün boyutu, enerji tüketimi ve öğütme maliyetlerinin belirleyicisi olan öğütücü ortam ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, küresel ve spherodial tetrahedronal bilyaların klinker öğütmedeki etkisi araştırılmıştır. Ufalanmada, bilyaların şeklinden çok öğütücü ortam şarj oranı ve öğütme süresinin etkili olduğu saptanmıştır.

Küresel ve spherodial tetrahedronal bilyalar kullanılarak her iki bilya tipi için zamana bağlı öğütme testleri yapılarak malzemenin her iki ortam için öğünme karakteristiği incelenmiştir. Öğütme işlemi açısından iki farklı ortam için çok önemli farklar olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla mevcut küresel ortamlarla çalışan sistemlerde değişikliğe gitmek riskli bir operasyon olmakla birlikte, yeni kurulacak olan sistemlerde diğer alternatiflerle beraber spherodial tetrahedronal bilyalar da öğütücü ortam olarak denenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Klünker öğütme, küresel bilya, spherodial tetrahedronal bilye

ABSTRACT The effect of grinding particle size distribution, energy consumption and breakage media was investigated as determining parameters of grinding cost in the peresent studies. In this paper, spherodial and spherodial tetrahedronal balls were used as grinding media. It was found that breakage was related to grinding media charge rate and grinding time much more than ball shape.

Grinding experiments were made for various periods of time. Breakage characteristics were determined for two different media types. For the breaking process, there were not important differences between two types of balls. Consequently, it is not necessary to change grinding media from spherodial to spherodial tetrahedronal for present mills. But spherodial tetrahedronal balls can be determined for new bulding plants.

Keywords: Clinker grinding, ball mill, spherodial tetrahedronal mill

1 GİRİŞ

Çimento üretiminin son kademesi, klinkerin istenilen tane boyutuna öğütülmesidir. Bu öğütmede klinker tane boyutu oldukça ince olmalıdır.

Öğütme işlemi, tesisin toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %70'ini oluşturur. Boyut küçültme işlemleri; dünya enerji tüketiminin %3-4'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca bir çimento fabrikasında enerjinin yaklaşık olarak %70'i boyut küçültme işlemlerine harcanmaktadır (V. Deniz, 2004)

Çimento endüstrisinde klinker öğütme kademesi toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ını kullanan çok yüksek maliyetli bir işlemdir. Bu işlem için ortalama olarak ton başına 53kwh güç tüketilmekte ve 9.1 kg CO_2 atmosfere salınmaktadır (Von Seebach ve Schneider 1987). Enerji tasarrufu maliyetler açısından çok önemli olduğu gibi çevre kirliliği yaratmamak için de önemlidir. Bu sebeplerden dolayı öğütme işlemi en az enerji ile en fazla iş yapacak şekilde olmalıdır.

Bilyalı değirmenlerle yapılan öğütme işlemlerinde, en önemli hedef olan enerji minimizasyonu açısından son yıllarda çok fazla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda; değirmene beslenen malzemenin tane boyut dağılımı, bilya çapı, değirmen dönüş hızı, öğütme süresi, değirmen tipi gibi parametreler öğütmeyi etkileyen temel faktörler olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, bilya şeklinin öğütmeye etkisi üzerine de yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Öğütme devrelerinin tasarımında öğütme devresi için malzeme, enerji, maliyet açısından en uygun çalışma şartları belirlenir. Doğru değirmenin seçimi, değirmen boyutlarının belirlenmesi, değirmen çalışma şartlarının belirlenerek optimize edilmesi zorunluluğu öğütme proses maliyetinin çok yüksek olmasının bir sonucudur.

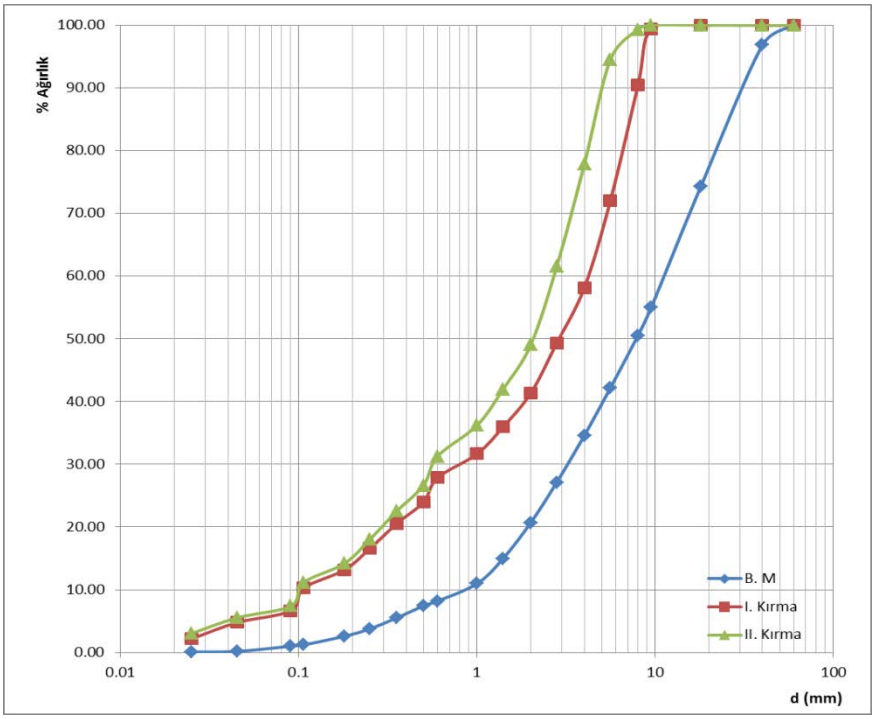
2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada küresel bilyalar ile spherodial tetrahedronal bilyaların, aynı öğütme şartlarında zamana bağlı öğütme testleri yapılarak öğütme davranışları karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda Bond İş İndeksi değeri 13.43kw/h ton olan klinker numunesi kullanılmıştır. Öğütme testlerinde kullanılmış olan klinker numunesinin, çeneli kırıcıya beslenen malzemenin tane boyut dağılımı, 1. kırma, 2.kırma tane boyut dağılımları Çizelge1 ve Şekil1'de verilmiştir. Kırma işlemleri laboratuar tip çeneli kırıcıda yapılmıştır (140*50 mm). Çeneli kırıcıya beslenen malzemenin, 1. ve 2. kırmanın tane boyut dağılımları tespit edilerek hem malzemenin kırma davranışı belirlenir, hem de değirmene beslenen klinkerin tane boyut dağılımı tespit edilir.

Çizelge 1. Besleme malı, 1. kırma ve 2. kırma tane boyut dağılımı

Tane Boyutu (mm)	Besleme Malı Σ Elek Altı (%)	1.Kırma Σ Elek Altı (%)	2. Kırma Σ Elek Altı (%)
60/40	100.00	100.00	100.00
40/18	96.83	100.00	100.00
18/9.5	74.25	100.00	100.00
9.5/8	55.03	99.37	100.00
8/5.6	50.55	90.42	99.29
5.6/4	42.19	72.03	94.53
4/2.8	34.58	58.15	77.83
2.8/2	27.13	49.33	61.54
2/1.4	20.70	41.34	49.05
1.4/1	14.98	35.97	41.99
1/0.6	10.97	31.66	36.20
0.6/0.5	8.20	27.86	31.28
0.5/0.355	7.42	23.97	26.63
0.355/0.250	5.54	20.57	22.57
0.250/0.180	3.77	16.56	18.02
0.180/0.106	2.59	13.17	14.18
0.106/0.090	1.22	10.24	11.13
0.090/0.045	1.01	6.65	7.40
0.045/0.025	0.18	4.77	5.54
0.025/0	0.08	2.19	3.04
Toplam			



Şekil 1. Klinker numunesi besleme malı, 1. kırma ve 2. kırma tane boyut dağılımı

Besleme malının %80'inin geçtiği tane boyutu 22mm, 1.kırma ürününün %80'inin geçtiği tane iriliği 6.90mm, 2.kırma ürününün %80'inin geçtiği tane iriliği ise 4.1mm'dir. Birinci kırma ufalama oranı yaklaşık olarak 3 iken, 2. kırmanın ise 1.7'dir. Malzeme inceldikçe ufalanması zorlaşmaktadır.

Bu çalışmada öğütme testleri zamana bağlı olarak yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Her iki bilya tipi için öğütme parametreleri sabit tutulmuştur. Öğütme testleri parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Öğütme testleri 10 dakika ara ile 1 saat yapılmıştır. Her 10 dakikada numune alınarak tane boyut dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca konvansiyonel bilyalar ile paralel iki test yapılmış olup, 1.test bilya 1, 2. test de bilya 2 olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 2. Değirmen çalışma koşulları

		Bilya 1	Releo HC	Bilya 2
Değirmen	Çap (mm) D	200	200	200
	Boy (mm) L	295	295	295
	Hacim (cm3) V	9268	9267,70	9267,70
	Hız (d/dak) v	73	73	73
	Kritik Hız(d/dak) Nd	99,23	100,94	101,20
Bilyalar	Ortalama Çap (mm)	18,3	24,4	25,3
	Sayı	225	92	92
	Ortalama Ağırlık (g)	7115	7127,09	7040
	Özgül Ağırlığı (gr/cm3)	7,79	7,94	7,79
Malzeme	Malzeme	Klinker	Klinker	Klinker
	Özgül ağırlık (g/cm3)	3,31	3,31	3,31
	Ağırlığı (g)	1320,53	1317,08	1320,03

Öğütme testlerindeki bilya sayıları, ağırlıkları ve dağılımları Çizelge 3'te verilmiştir.

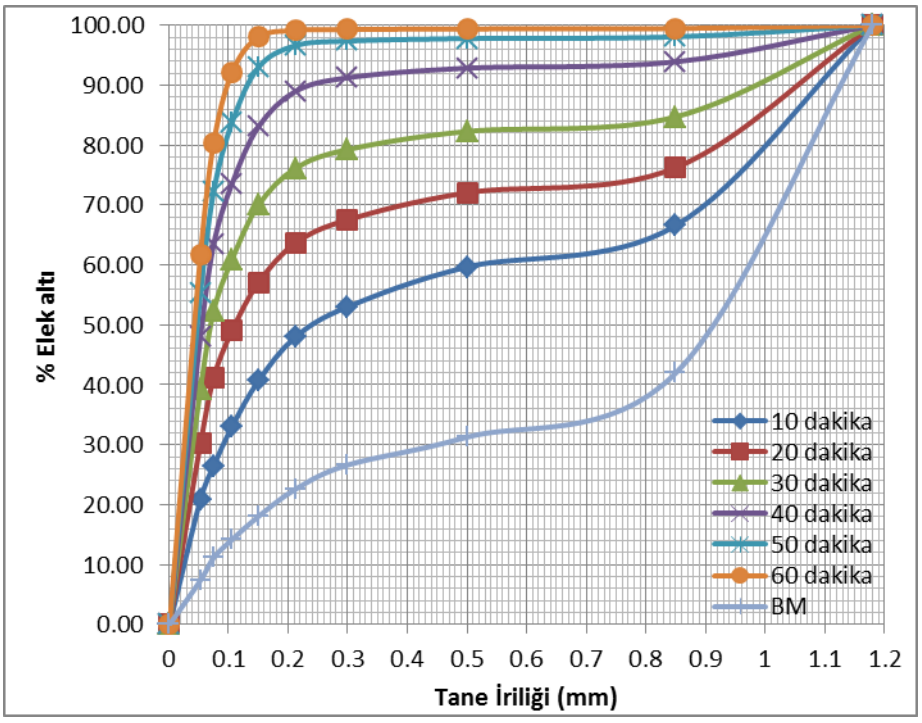
Çizelge 3. Bilya1, bilya 2 ve spherodial tetrahedronal bilya dağılımları

Bilya 1					Bilya 2				
Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağ Dağılım	Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağ Dağılım
37	7	1405.03	3.11	19.75	37	14	2810.06	15.22	39.92
30	13	1214.63	5.78	17.07	30	23	2648.98	25.00	37.63
25	5	319.14	2.22	4.49	25	4	315.31	4.35	4.48
20	63	1909.81	28.00	26.84	20	22	766.92	23.91	10.89
18	56	1257.04	24.89	17.67	15	29	498.73	31.52	7.08
14	47	702.94	20.89	9.88	Toplam	92	7040.00	100.00	100.00
12	34	307.03	15.11	4.31					
Toplam	225	7115.62	100.00	100.00					

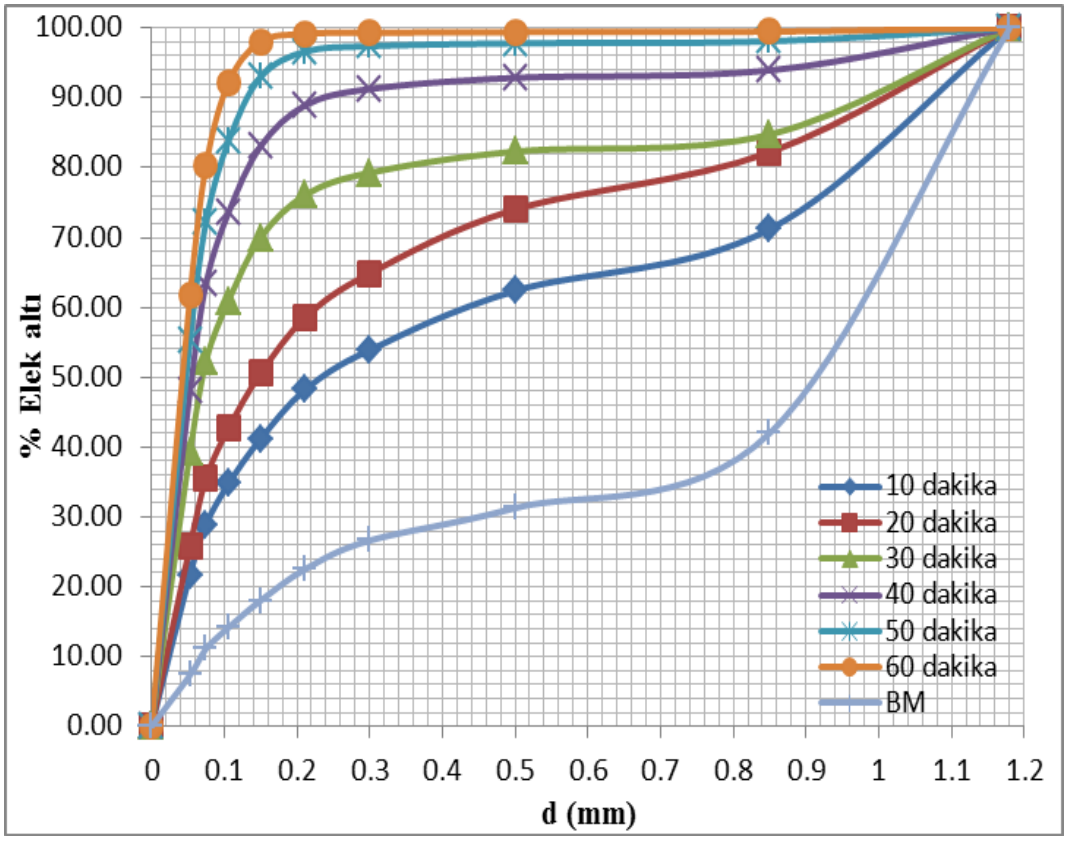
Spherodial Tetrahedronal				
Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağ Dağılım
38.1	14	3030.46	15.22	42.52
31.75	23	2825.62	25.00	39.65
25.4	4	252.54	4.35	3.54
19.05	22	580.95	23.91	8.15
15.87	29	437.51	31.52	6.14
Toplam	92	7127.08	100.00	100.00

Aynı hacimli bilyalarda, aynı hızlarda ve aynı hacim doluluk oranlarında yapılan öğütmelerde malzeme/bilya dolodurma oranı bilyaların şekil faktöründen dolayı spherodial tetrahedronal ile konvansiyonel bilyalar arasında farklıdır. Öğütmede bir fark olacaksa bu farklılıktan kaynaklanacaktır. Öğütme şartları yukarıda belirtilmiş olan testlerin sonuçları Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

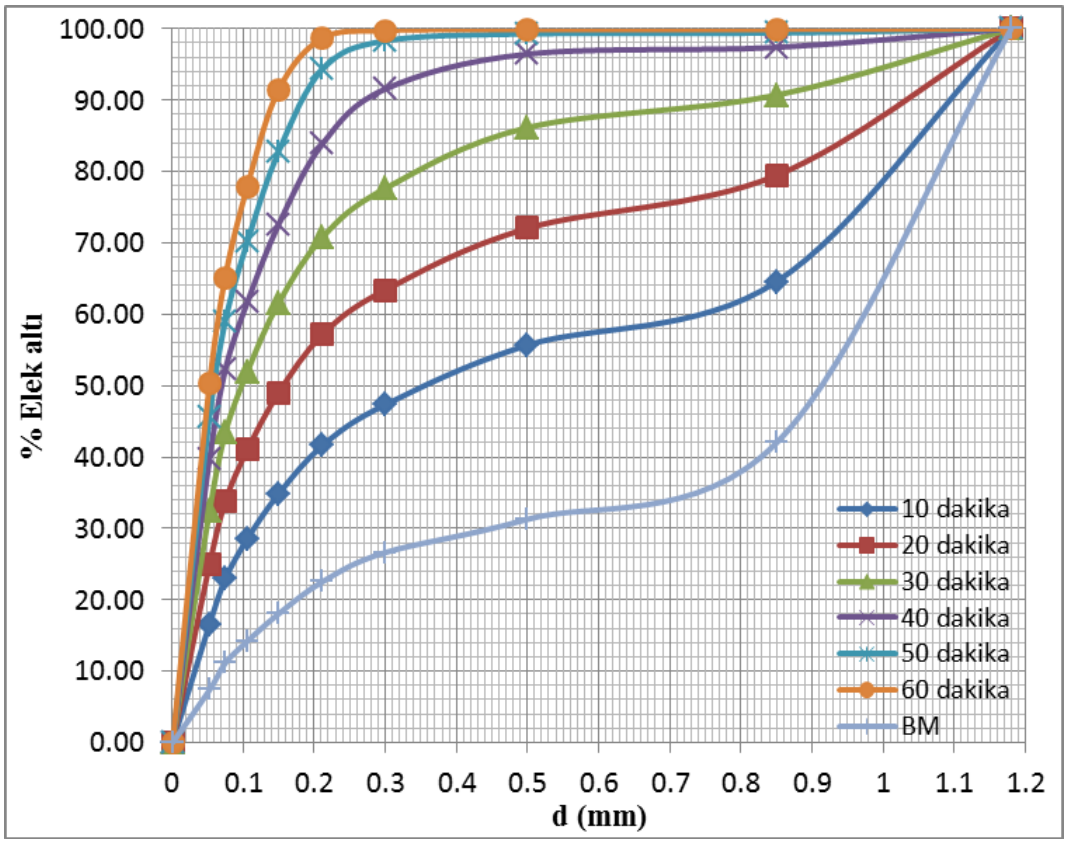
.



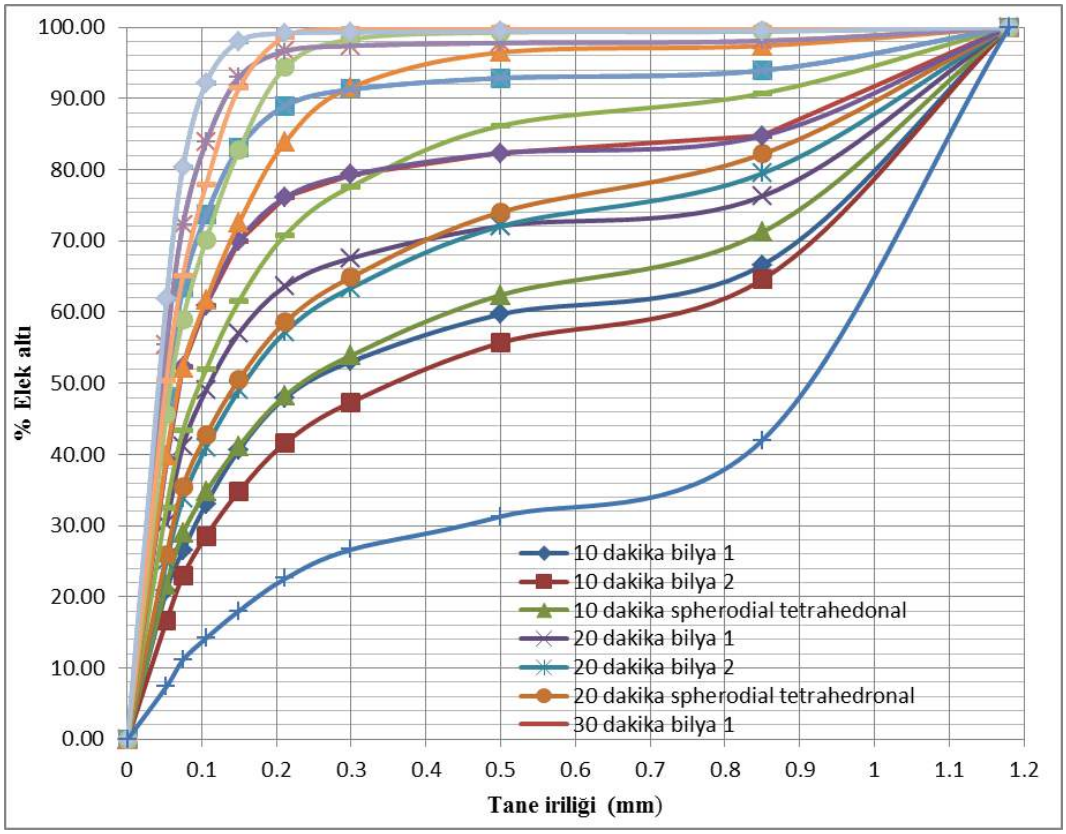
Şekil 2. Klinker numunesi zamana bağlı öğütmede tane boyut dağılımı (bilya 1 test şartları)



Şekil 3. Klinker numunesi zamana bağlı öğütmede tane boyut dağılımı (bilya 2 test şartları)



Şekil 4. Klinker numunesi zamana bağlı öğütmede tane boyut dağılımı (Spherodial tetrahedronal bilya)



Şekil 5. Bilya 1, bilya 2 ve spherodial tetrahedronal öğütme şartlarının karşılaştırılması

Küresel bilyalar ve spherodial tetrahedronal bilyalar ile yapılan öğütmeler karşılaştırıldığında, aynı şartlarda küresel bilyaların daha ince tane iriliğinde öğütme yaptığı tespit edilmiştir.

3 SONUÇ VE ÖNERILER

Öğütme testleri, Bond İş İndeksi değeri 13.43 kwh/ton olan, klinker numunesi ile yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilmiş olan sonuçlara göre;

- Küresel bilyalar aynı öğütme şartlarında daha ince boyuta malzeme öğütmektedir.
- Spherodial tetrahedronal bilyalar nispeten daha iri boyuttaki klinker numunesinde daha ince öğütme yapmıştır.

Spherodial tetrahedronal bilyalar ile yapılan öğütmede, küresel bilyalara göre daha düşük devirlerde daha ince öğütme yapmak mümkündür. Yapılacak iş-harcanacak enerji açısından optimizasyon yapılarak spherdoial tetrahedronal bilyaların kullanılması optimize edilebilir.

Değirmenin kritik hızı değirmen çapına bağlıdır. Kritik hıza ulasan bir değirmen içerisinde bulunan bir bilya üzerine etki eden kuvvetler dolayısı ile değirmene yapışık bir halde hareket edecek ve öğütme işlemi yapmayacaktır. Bu açıdan küresel bilyelerdeki kritik hız ile spherodial tetrahedronal bilyalardaki kritik hız değerleri farklıdır. Spherodial tetrahedronal bilyalar şekil faktörlerinden dolayı daha düşük değirmen dönüş hızının gerektirdiği kritik hızlarda efektif öğütme yapabilir. Bu da enerji sarfiyatını düşürecektir.

Küresel bilyalar daha ince boyutta ve daha dar tane sınıfında ürün vermiştir. Konvansiyonel bilya ile öğütme ortamında ince tanelere en fazla kuvvet, spherodial tetrahedronal bilya ile öğütmede ise, iri tanelere en fazla kuvvet uygulandığı deneysel çalışmaların değerlendirilmesinden anlaşılmaktadır.

Spherodial tetrahedronal bilyalar daha iri boyutta ufalama şartlarının geçerli olduğu proseslerde, daha düşük değirmen hızlarında öğütme yapılması durumunda bir miktar avantaj sağlayacaktır. Ancak kurulu ve çalışan proseslerde bu avantajın sistemin diğer parametrelerini etkilemesinden dolayı çok geçerli olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Yeni tasarlanacak olan tesislerin optimizasyon çalışmalarında klinker öğütme

için, küresel bilyalı öğütücü öncesi birinci kademe öğütmede öğütücü ortam olarak bu bilyaların kullanımı, daha düşük enerji maliyetleri ile daha ince öğütme sağlayabilir. Ya da çok kamaralı öğütme sistemlerinde birinci kademede kullanımı olabilir. Ancak çalışan sitemlerde küresel bilya ile değişimi sistem kapasitesini etkileyecektir.

Spherodial tetrahedronal bilyalar kullanılması halinde uygun değirmen tipi ve değirmen hızı tasarlanarak optimize edilmedir. Mevcut değirmenlerin spherodial tetrahedronal bilya ile çalıştırılması halinde optimum sonuçlar alınamayabilir.

KAYNAKLAR

Deniz, V, 2004, the effect of mill speed on kinetic breakage parameters of clinker and limestone, Cement and Concrete Research, Vol 34, s. 1365-1371

İpek, H, 2006, The effects of grinding media shape on breakage rate (Technical note), Minerals Engineering Vol 19, s.91-93

Qian, HY, Kong, QG, Zhang, BL, 2013. The effects of grinding media shapes on the grinding kinetics of cement clinker in ball mill, Powder Technology, Vol. 235, s.422-425

Seebach, MV, Scheneider, L, 1987. Update on Finish Grinding with Improved Energy Efficiency, *IEEE Transactions on Industry Application* Vol. IA 23, No.3, s.397-403

Tzotzorkov, L, Penchev, T, Bodurov, P, Kuzev, L, 2010. Comparative Studies on Balls versus Spherodial Tetrahedrons Working Media to Ore Grinding In an Industrial Drum Mill, XXV. International Mineral Processing Congress (IMPC) 2010, (s. 1299-1307), Brisbane Qld, Australia

Demir Cevherinin Peletlenmesi ve Türkiye'de Demir Cevheri Madenciliği

Pelletizing of Iron Ore and Iron Ore Mining in Turkey

N. Yıldız
Maden Yük. Müh.

Ö. Özal
Maden Yük. Müh. Tosyalı Holding

ÖZET Yüksek fırınlar için tenörü yüksek demir cevheri yataklarının yanı sıra düşük tenörlü ve istenmeyen safsızlıklar içeren yataklar da işletilmektedir. Cevher tenörünün yükseltilmesi ve içerdiği safsızlıklardan temizlenmesi için cevherin serbestleşme boyutun kadar öğütülmesi gerekmektedir. Zenginleşme sonrası tenörü %65'in üzerine çıkarılmış öğütülmüş demir cevheri konsantresinin doğrudan kullanım olanakları sınırlıdır. 75 mikronun altına öğütülmüş cevher ancak pelet haline getirildikten sonra yüksek fırınlarda ya da sünger demir üretiminde kullanılabilmektedir.

Bildiride demir cevherinin peletlenmesiyle ilgili temel bilgilerle ülkemizdeki demir cevheri madenciliği hakkında görüşlere yer verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Peletleme, demir cevheri, zenginleştirme

ABSTRACT High grade iron ores are used for blast furnaces, as well as low-grade iron ore and deposits containing impurities. In order to increase the grade and to remove the impurities from ore, the ore must be ground to liberation size. After enrichment process concentrate grade increases above of 65%Fe and size usually under 75 microns. Use of this iron ore concentrate is limited. So this concentrate can be processed to get pellet for blast furnaces or sponge iron production.

With this paper, the basic information about iron ore pelletizing and opinions on the iron mining in our country are given.

Key words: Pelletizing of iron ore, iron ore, iron ore processing

1. GİRİŞ

Dünyada 2013 yılında $1.607*10^6$ ton çelik üretilmiş, üretimde ilk sıralarda Çin, Japonya, ABD, Hindistan ve Rusya yer almıştır. Aynı yıllarda demir cevher üretimi de $1.850*10^6$ tonlara ulaşmıştır.

Demir cevheri üretiminde de ilk sıralarda Avustralya, Brezilya, Çin, Hindistan ve Rusya sıralanmıştır. Bu yıllarda dünyada $450*10^6$ ton pelet, yaklaşık $60*10^6$ ton da sünger demir üretilmiştir[1].

2.DEMİR CEVHERİNİN PELETLENMESİ

Dünyada üretilen demir cevherinin önemli bir kısmı tenör ve içerik olarak yüksek fırında kullanıma ya da sünger demir üretimine uygun değildir. Bu cevherlerin zenginleştirilmesi, içerdiği safsızlıkların temizlenmesi, bunun için de cevherin serbestleşme boyutuna kadar öğütülmesi gerekmektedir. Öğütülüp zenginleştirilmiş konsantrenin de olduğu gibi doğrudan kullanım olanakları sınırlı olduğundan peletlenmesi gerekmektedir.

Peletleme; zenginleştirilmiş demir cevheri konsantresinin bazı katkı maddeleri ilave edilerek fiziksel ve ısıl işlem sonucu basma dayanımı yüksek, çapı +6.3-16mm arasında değişen yuvarlak sert topaklar haline getirilmesi işlemidir.

Cevherinin zenginleştirmesi sonucu %65 Fe'den daha yüksek tenörde konsantre elde edilmektedir. Serbestleşme boyutu pletleme için yeterli olmadığında konsantrenin 45 mikron civarına öğütülmesi gerekmektedir. Peletlenecek konsantredeki nem oranı %8.5-9.0 arasında olup bu oran yüksek olduğunda konsantre kurutulmakta, düşük olduğunda da su ilave edilmektedir.

Yüksek fırında ısıl işlemler sonucu cevher indirgenmektedir. Peletler yüksek fırın için uygun bir şarj maddesidir. Çoğu pelet tesislerinde, yüksek fırındaki ısıl işlemlere boyut olarak iyi tepkime vermesi, yüksek fırın üretkenliği yükseltmesi, hava geçirgenliği nedeniyle boyut olarak pelet +6.3-16 mm arasında üretilmekte, boyutlar tesislere göre değişebilmektedir.

Demir cevheri konsantresinin peletleme işlemi; "*karıştırma", "topaklama", "ısıl işlem"* ve *"soğutma"* olarak dört aşamada gerçekleştirilmektedir:

2.1 Karıştırma

Zenginleştirilmiş konsantrenin peletlendikten sonra kullanım amacına uygun olarak içine belirli oranlarda katkı maddeleri ve bağlayıcılar ilave edilmektedir.

Karıştırmadaki amaç ham pelet üretmek için topaklama işlemi öncesi demir cevheri konsantresi ile ilave edilen bağlayıcı ve katkı maddelerinin oluşturduğu karışımın homojenliğini sağlamaktır.

Konsantrenin topaklanarak ham pelet haline gelmesini içindeki nem sağlamaktadır. Ham peleti oluşturan taneleri bir arada tutan suyun bağlayıcı özelliğidir. Topakların kar topu gibi büyümesi, konsantrenin nemi, dolayısıyla içerdiği su ile kontrol edilmektedir. Bağlayıcının görevi ısıl işlem öncesinde suyun bünyede kalmasını ve homojen olarak dağılmasını sağlamaktır. Isıl işlemin ilk aşamasında ham peletin dağılmaması için belirli hızla kurutulması gerekmektedir. Bağlayıcı, kurutma sürecinde suyun ham pelet bünyede kalış süresini uzatmakta, kuruma hızını düşürerek peletin çatlamasını önlemektedir.

Kullanılan bağlayıcı suyun akışkanlığını azaltıcı özellikte olması, konsantrenin yapısal özelliklerini bozmaması, bir sonraki işlemlerde sorun yaratmaması, üretilecek ham demire kadar taşınan, istenmeyen kimyasallar içermemesi, üretim sürecine uyum sağlaması, kolay bulunabilmesi ve ucuz olması gerekmektedir. Bağlayıcı olarak organik maddeler, inorganik kimyasallar ve yaygın olarak da 1 ton demir cevheri konsantresi için yaklaşık 8-9 kg bentonit kullanılmaktadır.

Yüksek fırının üretkenliğini ve peletin indirgenebilirliğinin artırılabilmesi için karıştırma öncesi konsantreye *olivin, kireç, kireçtaşı, dolomit* de ilave edilmektedir. Konsantrenin kimyasal yapısına bağlı olarak ilave edilen kireç, kireçtaşı ve dolomit miktarı ile üretilecek peletin asitlik ya da baziklik değerleri ayarlanabilmektedir. Cevherin yapısındaki SiO_2, Al_2O_3 asidik, CaO ve MgO'de bazik özellik göstermektedir. Peletin özelliği yapılacak cevher harmanının hazırlanması için önemlidir

2.2 Topaklama

Topaklama; işlemi karıştırılarak homojen hale getirilmiş konsantre-bağlayıcı-katkı madde karışımının, yuvarlak +6.3-16 mm arasında topaklar haline getirilme işlemidir.

Plastik özellik taşımayan, boyut dağılımı düzgün ve uygun, düzgün şekilli, gerekli dayanıma sahip ham pelet eldesi, iyi bir fiziksel özelliğe sahip pelet üretiminin ilk koşuludur.

Ham pelet üretmek için yaygın olarak topaklama diskleri veya tamburları kullanılmaktadır. Her ikisi de ham pelet üretimi için uygun makinelerdir.

Şekil 1'de topaklama diskleri ve tamburu gösterilmiştir[2].

Şekil 1. Topaklama diski ve topaklama tamburu

Tambur ve diskte ham pellet aynı yöntemlerle oluşmaktadır. Topak oluşumunda etkili olan özellikler konsantre nemi, nemlendirme amacıyla verilen ilave su, konsantredeki boyut dağılımı, bağlayıcı kalitesi ve işlem süresidir. Tamburların kapasite daha yüksektir. Diskte ham pellet üretiminin daha düzgün, devreden yük miktarının düşük olduğu ifade edilmektedir. Diskin yüzeyinin rahatça gözlenebilmekte, ham pellet oluşumunu etkileyen disk dönüş hızı, eğimi ve sıyırıcı pozisyonları kolay değiştirilebilmektedir.

Peletin kimyasal kalitesi konsantrenin kimyasal yapısına bağlıdır. Ancak ürün peletin fiziksel özellikleri tamamen peletleme süreciyle ilişkilidir. Süreçte ürün peletin kalitesini etkileyen en önemli etken de ham peletin kalitesidir. İri ya da ince boyutlu peletler hava geçirgenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ürün pelette düzgün bir boyut dağılımı için mutlaka iyi kalitede ham pelet üretilmesi zorunludur. Sünger demir üretiminde boyut dağılımı, peletin metalürjik özellikleri kadar önemlidir.

Topakların oluşumu kartopu oluşumuna benzemektedir. Fiziksel olarak topaklar Şekil 2'de gösterildiği gibi üç şekilde oluşmaktadır[3]:

Şekil 2. Topakların oluşum sistemi

İnce konsantre taneler bir araya gelerek yuvarlanıp topakları oluşturmaktadır. Bu topaklar tambur ya da diskte kaldıkları sürede uygun boyutta ulaşamadıklarında geri dönerek topağın çekirdeğini oluşturmaktadır. Bu nedenle tambur ya da disk çıkışı elek altına geçen çekirdekler yeni beslenen konsantreye karıştırılıp ezilmemeli, bu çekirdekler en kısa sürede tambur ya da diske geri beslenmelidir. Böylece devreye yeni beslenen cevher ile geri dönen çekirdek tanelerin başta nem olmak üzere benzer özellikte olması sağlanmalıdır. Ham peleti oluşturacak çekirdeklerin ezilmesi durumunda, yeniden çekirdek oluşacak, topaklama devresinin kapasitesi düşecektir.

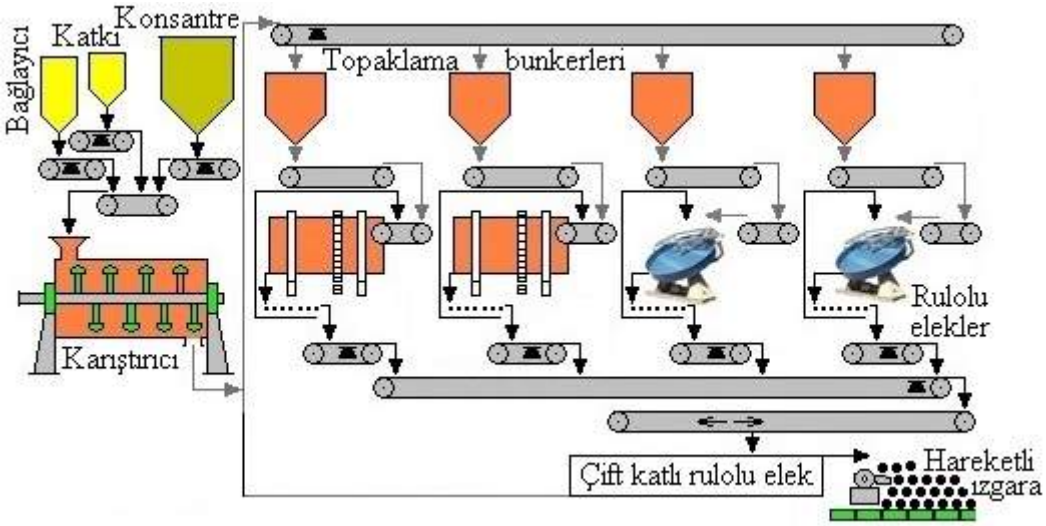
Ham pelet oluşumunda her ham pelet çekirdeğin etrafına ince cevher taneleri yapışarak da uygun boyutta ham peleti oluşturmaktadır.

Bazen topaklar 16 mm'den daha büyük olmakta, bu topaklar da disk ya da tamburdan sonra ezilmektedir. Ezilme sonucu oluşan her parça yeni bir çekirdeği oluşturmaktadır. Bu topaklar ile çapı küçük ham pelet çekirdekleri bir araya gelip yuvarlanarak uygun boyutta ham peletleri oluşturmaktadır.

Ham pelet oluşurken topağın kendi etrafında dönmesi ile çekirdek büyürken dönmenin etkisi ile sıkışarak mukavemet kazanmakta, bir taraftan da yuvarlanmanın etkisi ile küresel hale gelmektedir. Topaklama elekleri üretilen ham peletlerin uygun boyutta olanlarını ayırarak ısıl işlem bölümüne yönlendirmektedir. Peletleme tesislerinde kullanılan çubuklu elekler yerlerini daha iyi eleme yapan rulolu eleklere bırakmışlardır. Ham peletler rulo üzerinde

dönerek hareket ettiğinden daha sağlam ve daha düzgün bir şekil almaktadır.

Şekil 3'de peletleme tesislerinde kullanılan karıştırma ve topaklama devresi gösterilmiştir[4].

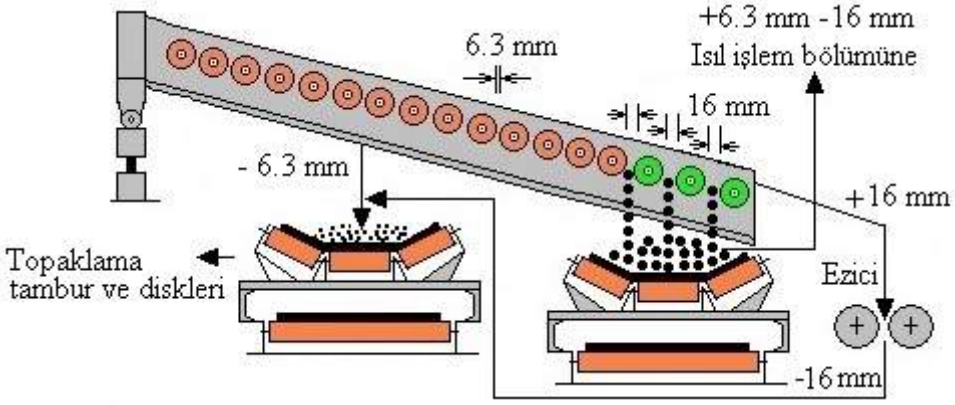


Şekil 3. Karıştırma ve topaklama devresi

İyi bir topaklama devre düzenlenmesi durumunda tambur veya disk kullanarak her ikisinden de kaliteli ham pelet üretme olanağı vardır.

Tambur ya da disk çıkışı malzeme yaklaşık 20 kadar rulodan oluşmuş rulolu eleğe beslenmektedir. Rulolar arasındaki açıklık ilk bölümde 6.3 mm, uygun boyuttaki ham peletin alındığı bölgede de 16 mm'dir. Rulolu elek altı -6.3mm ile +16mm topaklama devresine geri gönderilmektedir.

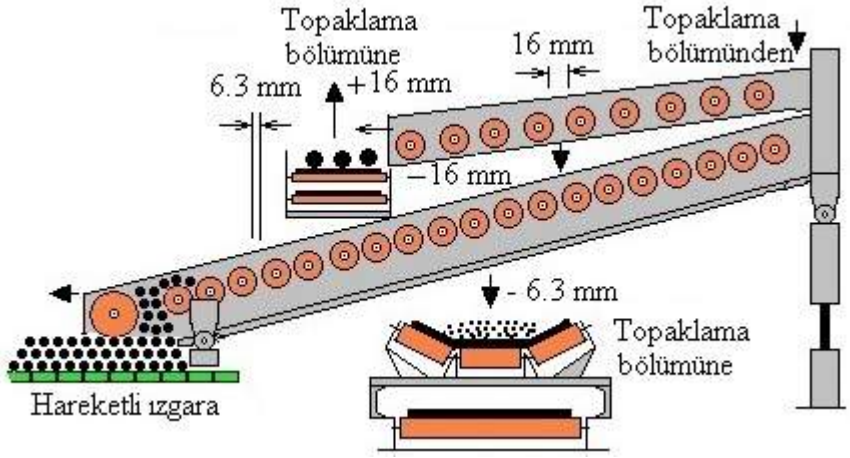
Şekil 4'de disk ve tambur çıkışı rulolu eleklerin kullanıldığı eleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 4. Tambur veya disk çıkışı eleme devresi

Izgara öncesi ham pelet geniş bir banda dökülerek buradan üst perde ara açıklığı 16mm olan yaklaşık 10 rulodan oluşmuş rulolu eleğe beslenmektedir.Bu eleğin üstü +16mm topaklama bölgesine geri dönerken alta geçen -16mm boyutundaki ham peletler de 30'a kadar rulodan oluşmuş elek ya da besleyici olarak isimlendirilen ruloların üzerine dökülmektedir. Bu ruloların açıklığı 6.3mm olup alta geçen -6.3mm boyutundaki taneler +16mm olanlarla birlikte topaklama bölümüne geri gönderilmektedir. Ruloların üstü +6.3-16mm boyutundaki ham peletler de ısıl işlem ızgarasına beslenmektedir.

Şekil 5'de ızgara öncesi rulolu elek eleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 5. Izgara öncesi kullanılan çift katlı rulolu besleyici devresi

Tambur veya disk çıkışı ile ızgara öncesi kullanılan rulolu eleklerde rulo çapları 100 mm'den daha küçüktür. Rulolar arasındaki mesafeler de üretilecek peletten istenilen boyuta göre ayarlanmaktadır.

Ham pelet topaklama bölümünde üretildikten sonra ısıl işlem ızgarasına serilinceye kadar bir banttan diğerine dökülmektedir. Bu süreç içinde ham peletin kırılıp çatlamaması gerekir. Bunun için de topaklama bölümünde "ham pelet düşürme sayısı testi**"** yapılmaktadır. Test için en az 10 adet ham pelet 45 cm yükseklikten çatlayıncaya kadar serbest halde düz temiz bir zemine bırakılarak çatladığı düşme sayıları tespit edilmektedir. En yüksek ve düşük değerler çıkarılarak çatlamanın oluştuğu ortalama sayı *ham pelet düşürme sayısıdır.*Bu sayının ham peletin ısıl işlem bölümüne taşındığı bantların sayısından fazla olması gerekmektedir. Ham peletin çatlamaması ya da düşürme sayısının yüksek olması peletin plastik özellikte olması anlamına gelmektedir. Bunun nedeni konsantre neminin yüksek olmasıdır. Plastik pelet ızgaraya gelinceye kadar küresel şekli bozulacağından ve ızgaradaki pelet yatağının hava geçirgenliğini düşürdüğünden istenmeyen bir durumdur.

Düşürme sayısının az olmasının nedeni konsantre neminin düşük, yeteri oranda bağlayıcı eklenmemiş, homojen olarak karıştırılmamış ve konsantrenin yeteri kadar öğütülmemiş olmasıdır.Diğer taraftan ham peletin taşınma ve ızgarada oluşturulan ham pelet yatağı altında diğerlerinin ağırlığıyla ezilmemesi, iyi bir ham peletin basma dayanımı 1 kg/pelet'den daha yüksek olması gerekmektedir.

Üretilen peletin boyut dağılımı ham peletin boyut dağılımıdır. İstenilen boyutta pelet üretmek için ham peletin boyut dağılımı sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Ham peletteki iyi bir boyut dağılımı ısıl işlemde de yatak geçirgenliği için de önemlidir. Bu test için 6.3 ve 16 mm daire açıklı düz sac plakadan yapılmış basit elekler kullanılmaktadır. Eleme elle ve olduğunca özen gösterilerek yapılması gerekmektedir.

2.3 Isıl İşlemler

Peletleme olayı sinterlemede gerçekleşen katı-sıvı-katı faz dönüşümü yerine daha düşük sıcaklıkta katı-katı fazda oluşan dönüşüm ile yapısal sertleştirme işlemidir. Demir cevheri konsantresinin peletlenmesinde yapısal bağ demir oksitlerin tanesel olarak birbirlerine bağlanması ile oluşmaktadır.

Isıl işlem sürecinde cevher tanelerinin dokunma noktalarında oluşan cüruf bağları peletin fiziksel dayanımını belirlemektedir. Bu nedenle ürün pelet basma dayanımını artırmak için çoğu zaman peletlenecek konsantrenin 45 mikrona kadar öğütülmesi gerekmektedir.

Manyetit ve hematit cevherlerinin peletleme işlemlerinde ısıl işlem sıcaklığı farklıdır. Manyetit cevheri konsantresinin peletlenmesinde en yüksek sıcaklığı

1250°C'dir. Bu sıcaklıkta manyetit oksitlenerek hematite dönüşmektedir. Kristal değişimi ve oluşan hematitin kristal büyümesi sürecinde pelet mukavemeti de artmaktadır.

Hematit cevherinin peletlenmesinde herhangi oksidasyon ile kristal değişimi söz konusu değildir. Pelet gerekli mukavemeti kristal büyümesinden ve tekrar kristalleşme ile kazanmaktadır. 1200°C'a kadar hematit kendi orijinal kristal yapısını korumaktadır. 1300°C'da ilk yeni kristal bağları oluşmaya başlamakta, 1350°C'da tekrar kristalleşme ve kristal büyümeleri gerçekleşmektedir.

Peletlemede manyetit cevherinin hematite dönüşümü "ısı veren" bir tepkime olup manyetit cevherinin peletlenmesi için gereken ısının belirli bir kısmı bu tepkimeden karşılanmaktadır:

$$4Fe_3O_4 + O_2 \rightarrow 6Fe_2O_3 \text{ -119 kJ/mol magnetit}$$

Hematit cevherinin peletlenmesi için gerekli ısıl işlem sıcaklığı manyetite göre daha yüksek olup daha fazla enerji gerektirmektedir. Çoğu zaman hematit cevheri manyetit ile karıştırılarak yatay ızgaralarda peletlenmektedir.

Isıl işlem sürecinde ızgaraya serilen ham peletlerin sıcaklığı kademeli olarak yükseltilmektedir. Özellikle kurutma bölümünde ortam sıcaklığından yüksek sıcaklığa aniden sokulması durumunda ham pelet bünyesindeki su hızla buharlaşarak bünyeyi terk etmekte, suyun ani faz değişimi ve buharın hareket hızı ham peleti çatlatmakta veya parçalayarak toz haline getirmektedir.

Izgara üzerine belirli yükseklikte serilmiş ham peletler kurutma sürecinde çatlamamalı ve ezilmemelidir. Kurutma bölümündeki geçiş sıcaklığı ve geçiş süreleri iyi ayarlanmaktadır. Ham pelet öncelikle 100°C civarında yüzey neminden sonra da ızgarada 100-350°C sıcaklıkta bünyesindeki kılcal sulardan arınmaktadır. 350°C'dan sonra da değişik mineral hidratları bozularak ham peletin kurutulması tamamlanmış olmaktadır.

Peletleme yöntemlerinde kurutma sonrası ısıl işlem geçişleri birbirinden farklıdır. Ön ısıtma 2 kademeli, ya da 3-4 kademeli sıcaklık geçişleri ile gerçekleştirilmektedir. Peletleme yöntemlerini birbirinden ayıran en önemli farklılık bu sıcaklık geçişleri ile bu geçişlere bağlı olarak yatay ızgaradaki bölme sayısıdır. Sistemlerdeki kademeli sıcaklık geçişlerinde süreçte oluşan tüm ısı ısıl işlemde kullanılarak önemli ölçüde yakıt tasarrufu da sağlanmaktadır.

Sıcaklık yükseldikçe kimyasal bozulmalar devam etmektedir. Yüksek sıcaklıklarda karbonatlar, sülfatlar bozulmakta, kükürt ortamdan uzaklaşmakta ve oksitlenme başlamaktadır. 1250°C'da manyetit hematite dönüşmektedir. Cevher bünyesindeki cüruf yapıcı minerallerin oluşturduğu bağlarla pelet gerekli mukavemeti kazanmaktadır.

Kullanılan peletleme makinelerinin tiplerine ve uygulanan ısıl işleme göre peletleme sistemleri; *Dikey fırın, yatay ızgara, ızgara-döner fırın peletleme* sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır.

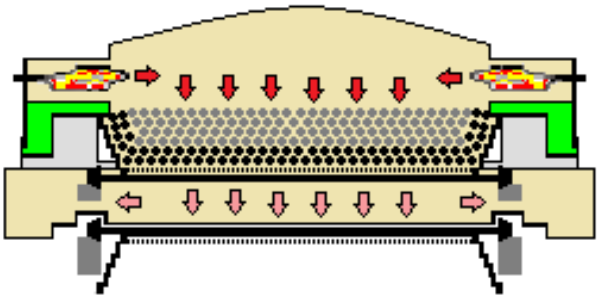
2.3.1 Dikey fırın peletleme sistemi

Dikey fırın peletleme sistemi 1930-40 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri ve İsveç'de denenmiş, olumlu sonuç alınmış, sonrasında dünyaya yayılmıştır. Günümüzde peletlemede yaygın olarak kullanılmayan bu yöntemde bazı değişiklikler yapılarak sünger demir üretilmektedir.

2.3.2 Yatay ızgaralı peletleme yöntemi

Yatay ızgaralı peletleme yöntemi 1952'li yıllarda *G.Mc.Kee* ve *Allis Chalmers* tarafından geliştirilmiştir[5]. Yapı olarak sinter makinesine benzemektedir. Daha sonraki yıllarda demir cevherinin peletlenmesi için yapılmış makineler geliştirilerek krom, manganez, fosfat gibi diğer cevherlerin peletlenmesinde de kullanılmıştır.

Sistem sürekli dönen döküm paletlerden meydana gelmiş sonsuz bir ızgaradır. Şekil 6'daki gibi ham pelet, ızgara üzerine ve yanlarına döküm ızgarayı ısıya karşı korumak için 15 cm kalınlıkta mamul peletten oluşturulmuş yatağın üzerine serilmektedir.

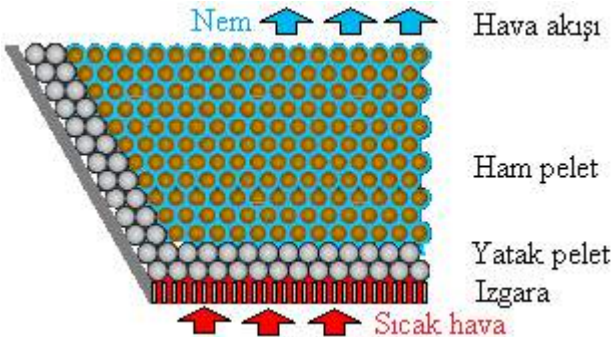


Şekil 6. Izgara kesiti

Klasik bir peletleme sisteminde ızgara sıcaklığa bağlı olarak; *Kurutma, ön ısıtma, yanma ve soğutma olarak* 4 temel ısıl işlem bölgesine ayrılmıştır.

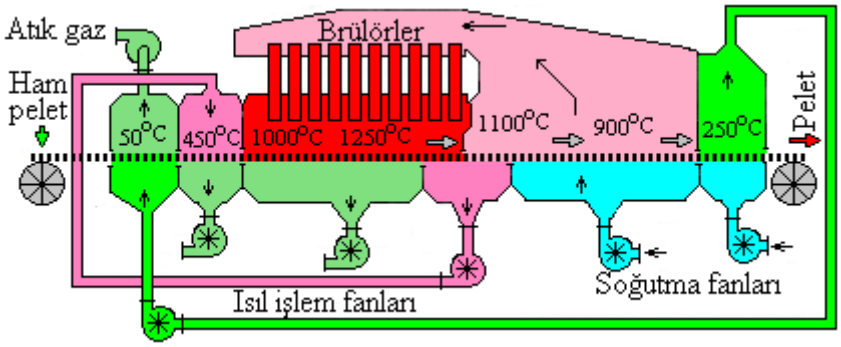
Yatay ızgara peletleme sisteminde sıcaklığın en yüksek olduğu bölge "*yanma bölgesi*" olarak isimlendirmektedir. Bu bölgedeki sıcaklık hematit cevherinin peletlenmesinde 1300-1350°C civarındadır. Daha yüksek sıcaklığın, peletlerin yumuşama ve birbirine yapışması olasılığı nedeniyle, ısıl işlem sürecinde sorun yaratması söz konusudur. Bu nedenle yanma bölgesinin sıcaklığı, peletleme işlemi sürecinde kontrolü gereken en önemli süreç değişkenidir.

Fanlarla sağlanan hava akışının yatağının üstünden altına doğru olanlar "*downdraft*", "*alttan emişli*", alttan üste doğru olanlarda da "*updraft*", *üstten emişli*" olarak isimlendirilmektedir. Alttan emişli kurutmada hava akışı yukarıdan aşağıya doğru olduğundan hava basıncı ile ham pelet yatağı sıkışırken nemli hava da, basıncın etkisi ile yatağın altındaki peletleri ezerek çamur haline getirmektedir. Bu da yatağın geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 7'deki gibi üstten emişli kurutmada da hava akışı alttan üste doğru olduğundan gevşeyen gevşeyen pelet yatağının geçirgenliği artmaktadır[6].



Şekil 7. Kurutma bölümünde hava akışı

Yatay gareketli ızgara peletleme sistemine örnek pelet tesisinin akım şeması Şekil 8'da verilmiştir. Bu tesiste manyetit ve hematit karışımı apatitli demir cevheri peletlenmektedir[7].



Şekil 8. Yatay ızgara pelet tesisi

İşletilen maden yatağındaki birincil cevher manyetittir. Yatağın ortalama tenörü %43.6 Fe olup, rezervin bazı bölgelerinde hematit cevherinin yoğunlaştığı görülmektedir. Apatit miktarı da değişken olup ortalama P %0.8'den daha düşüktür. Bu cevher zenginleştirilerek peletlenmektedir.

Peletleme prosesindeki gelişmeler süreç kontrolündeki gelişmelerle yakından ilişkilidir. Özellikle basınç, hava akışı ve ısı ölçüm cihazlarındaki ölçüm duyarlılığı, ölçümler arasındaki ilişkiyi sağlayan bilgisayarlar ve tepki hızları peletlemede yeni gelişmelere öncülük etmektedir. Yatay

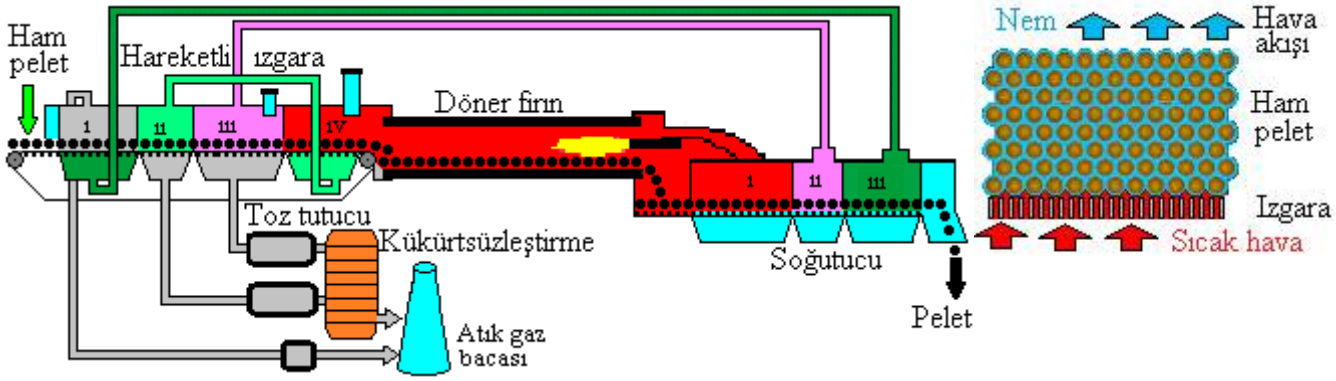
ızgaralı sistemde sıcaklık kontrolü daha kolay olduğundan hematit ve hematit-manyetit karışımı demir cevheri konsantresi peletlenmektedir.

2.3.3 Izgara-Döner fırın peletleme sistemi

Izgara-döner fırın peletleme sistemi üzerindeki çalışmalar II. Dünya Savaşı sonrası 1950'li yıllarda *Allis Chalmers* firması tarafından başlatılmış, 1960'lı yıllarda ilk endüstriyel uygulama geliştirilmiştir. İlk uygulamada iki bölme yapılmış soğutucudaki ısı kullanılmamıştır.

Sonraki yıllarda daha ekonomik ve kaliteli pelet üretmek için soğutucudan kazanılan ısı ızgarada kullanılmış, kurutma ve ön ısıtma bölümü üç bölmeye ayrılmış, uygun bir sıcaklık geçişi sağlanmıştır. İlk kurutma bölümü de üstten emişli olarak düzenlenmiş, kurutma için uygun bir ortam hazırlanmıştır. Günümüzde pelet tesislerinde ızgaralardaki sıcaklık geçişi 3 ya da 4 kademede gerçekleştirilmektedir. Tesisteki ısı kaynaklarının tamamı ısıl işlem sürecinde kullanılarak peletleme maliyetleri düşürülmüştür.

Bu yöntemde ham pelet doğrudan ızgara üzerine yaklaşık 20 cm yükseklikte yatak oluşturacak şekilde beslenmektedir. Şekil 9'da Allis Chalmers'a ait dört bölmeli ızgaralı peletleme sistemi gösterilmiştir.

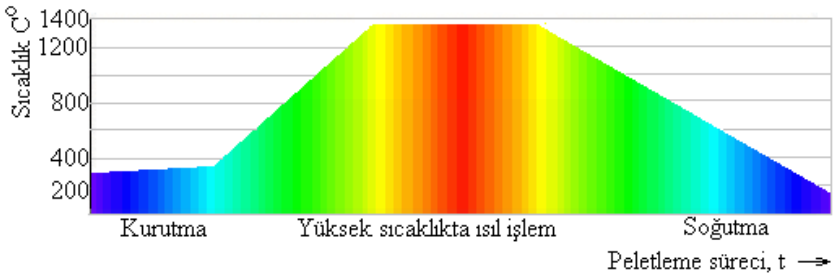


Şekil 9. Allis Chalmers dört bölmeli ızgara fırın peletleme tesisi

Yatay ızgara peletleme yönteminde ham pelet yatağı ızgaraya beslendikten sonra soğutuluncaya kadar hareketsiz kalmaktadır. Bu nedenle ızgara kesitinde kenar ile orta bölgeler, yatağın üstü ile altı arasında, yatak derinliği farklı olan bölgelerde az da olsa ısıl işlem farklılığı gözlenmektedir. Hareketli ızgara-fırın peletleme yönteminde peletler fırında karıştığından fiziksel olarak daha kaliteli pelet üretimi söz konusu olmaktadır.

2.4 Soğutma

Peletleme temel ısıl işlem süreci Şekil 10'da gösterildiği gibi kurutma, yüksek sıcaklıkta ısıl işlem ve soğutma olarak üç'e ayırma olanağı vardır. Her temel süreç de kendi içinde sıcaklığa bağlı olarak değişik bölümlere ayrılabilmektedir.



Şekil 10. Peletlemede temel ısıl işlem süreci

Yatay ızgaralı peletleme sistemlerinde, pelet ızgaranın son bölümünde soğutulmaktadır. Izgara-döner fırın peletleme yönteminde soğutma ayrı bir soğutucu kullanılmaktadır.

Isıl işlem sonucu oluşan peletin sıcaklığı 1.250-1.300^{O}C civarındadır. Soğutma işlemi atmosfer havasının sıcak pelet yatağından geçirilmesi ile gerçekleştirilmektedir.Atmosfer havasının sıcaklığı iklim ve mevsime bağlı olarak değişmektedir. Genellikle bu hava fanlarla pelet yatağının altından verilmektedir. Soğutucuda peletler 80-110°C sıcaklığa düşürülürken yataktan geçirilmiş, yaklaşık 1050-1125°C sıcaklığa ulaşmış hava kurutma ve ön ısıtma bölümlerinde kullanılmaktadır.

3-SOĞUK VE DÜŞÜK SICAKLIKTA PELETLEME

Demir cevherinin peletlemedeki amaç öğütülerek zenginleştirilmiş demir cevheri konsantresinin çelik üretim sürecinde kullanılabilmesi için belirli boyut, şekil ve mukavemette topaklar haline getirilmesi işlemidir. Bu sürecin maliyetini etkileyen en önemli girdi enerjidir. Daha düşük enerji maliyeti ile pelet üretimi her zaman araştırma konusu olmuştur. Bu süreçte başta değişik özellikli çimento olmak üzere bağlayıcılar kullanılmış, topak haline getirilmiş cevherin bazen atmosfer ortamında bazen de düşük sıcaklıkta sertleştirilerek belirli mukavemet kazanması sağlanmıştır [8].

Soğuk olarak peletleme işlemi ilk olarak İsveç'te K.J.V Svensson tarafından uygulanmıştır[9]. Demir cevheri konsantresi çimento ile karıştırılıp topaklanmış, normal oda sıcaklığında ya da fırınlarda 70-100°C sıcaklıkta sertleştirilmiştir. İlk tesis 1971 yılında İsveç'te kurulmuş, daha sonra dünyada demir cevheri yanı sıra diğer mineral konsantreleri de bu yöntemle peletlenmiştir. Daha sonra yöntem demir cevheri tozlarının ve toz içeren çamurların içerdiği cevherlerin geri kazanımında kullanılmıştır.

Soğuk peletleme sisteminde 20 mikron ile 1mm boyutu aralığındaki zenginleştirilmiş konsantre karıştırılıp peletlenebilmektedir.Yöntemde zenginleştirilmiş konsantrenin peletlenebilmesi için serbestleşme boyutunun altında öğütülmesi de gerekmemektedir.

Yöntemle peletleme için bağlayıcı olarak kömür ve petrol ürünleri, kireç, sönmüş kireç, dekstroz, melas, nişasta, un ve sodyum poliakrilat gibi organik ya da inorganik bağlayıcılar tek başlarına veya değişik oranlarda karışımları topak ve briket yapmak için kullanılmıştır. Sönmüş kireç dekstroz karışımı, kullanılan çeşitli bağlayıcı maddeler arasında en güçlü olanıdır. Dekstroz, altı karbon içerir ve genel olarak glikoz olarak bilinen bir monosakkarittir [10,11].

Demir cevherinin peletlenmesinde ekonomiklik, kapasite, üretilen peletin bir sonraki kullanıma uygun özellik taşıması sürecin belirlenmesinde etkendir. Günümüzde pelet tesislerinin kapasitesi tek bir hatta $5*10^6$ tona çıkmıştır. Bu tesislerde dayanımı 250 kg/pelet olan peletler üretilmektedir. Üretilen peletler yüksek fırın ve indirgeme tesislerinde kullanılabilecek özelliğe sahiptir. Ne zaman ki soğuk ve düşük sıcaklıkta peletleme yöntemi klasik peletleme yöntemlerine göre üstünlük sağlayacak, o zaman bu yöntem daha çok konuşulacaktır.

4-TÜRKİYEDE DEMİR CEVHERİ MADENCİLİĞİ

Ülkemizdeki demir cevheri rezervleri Divriği, Bingöl, Kayseri bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu cevherlerin yanı sıra Kesikköprü, Balıkesir ve Adapazarı bölgelerinde de değişik büyüklüklerde demir cevheri rezervleri mevcut olup bu rezervlerden belirli miktarda yapılan üretimler ülkemizde kurulu bulunan entegre demir-çelik tesislerinde kullanılmaktadır.

Demir cevheri rezervlerimiz işletilebilir demir cevheri yatakları $115*10^6$ ton, sorunlu demir cevheri yatakları $950*10^6$ ton,

potansiyel demir cevheri yatakları $432*10^6$ ton olarak üç grupta toplanmıştır. Esasen ülkemiz cevherlerini "sorunlu" olarak ifade etmek önemli bir yanlışlıktır.

İşletilebilir demir cevheri yatakları ağırlıklı olarak Sivas, Malatya ve Erzincan bölgesinde yoğunlaşmıştır. 2005 yılında Erdemir tarafından geçmiş yıllarda demir cevherleriyle ilgili yapılmış çalışmalar değerlendirilmiş, bu değerlendirme sonrası 28 adet işletilebilir demir cevheri yatağı belirlenmiştir. Bu yataklardaki cevherlerin Fe tenörü %50-62 arasında olup herhangi bir zenginleştirme işlemi gerektirmeden, kırılıp boyutlandırıldıktan sonra yüksek fırınlarda kullanıma uygun hale gelmektedir.

Sorunlu olarak ifade edilen demir cevheri yataklarının arama çalışmaları yapılmış ve cevher potansiyeli belirlenmiştir. Ancak cevherin entegre tesislerce istenmeyen bazı safsızlıkları içermeleri nedeniyle bu yataklar belirli dönemlerde kısmen işletilmiştir. Bugün için bu yatakların önemli bir bölümü çalışmamaktadır. Yatakların cevher tenörleri %19-54 Fe arasında değişmektedir.

Ülkemizde rezerv geliştirmeye yönelik yeterli arama faaliyeti yapılmamış potansiyel demir cevheri yatakların tenörleri %14-52 Fe arasındadır. Demir cevheri üretimi yapan ülkelerin çoğunda benzeri cevherler zenginleştirilip özellikler iyileştirilerek uluslararası pazarlara sunulmaktadır. Örneğin, ABD'nin Minnesota Eyaleti'nde %30Fe içeren takonit cevheri zenginleştirilerek bu ülkenin demir cevheri ihtiyacının önemli bir bölümü karşılanmaktadır. Çin'de %20 tenörlü cevherler zenginleştirilip peletlenmektedir. Kanada, benzer özellikli düşük tenörlü cevherleri zenginleştirip ihraç eden ülke konumundadır. Türkiye'de 1985 yılında işletmeye alınan Divriği konsantre ve pelet tesisi dışında bir tesisi kurulmamıştır.

Demir cevheri rezervlerimiz ile ilgili olarak uzun yıllardan bu yana demir cevheri madenciliği adına bir çalışma yapılmamıştır. Örtü kalınlığından ve tenor ile cevherin içeriği nedeniyle rezervlerimize sorunlu ya da potansiyel olarak değerlendirilmektedir. Başta İsveç olma üzere Çin'de çok sayıda yeraltı demir madeni ekonomik olarak işletilmektedir. Yıllardan bu yana fosfatlı diye üretip kullanmadığımız demir cevherlerimizi Çin'liler ithal edip çelik üretiminde kullanmaktadır. Ülkemizde her yatırımının önünde engel olarak enerji fiyatları ileri sürülürken entegre tesislerimizde atık gazların kullanılabilmesi için hiçbir çaba sarf edilmemektedir. Karabük Demir Çelik fabrikaları özelleşinceye kadar ingotların soğutulup tekrar ısıtılmasında harcanan enerji kullanılarak büyük bir şehrin ısıtılması olanağı varken, bu enerji tek kelimeyle israf edilmiştir. Karabük'ün özelleştirilmesi sonrası sürekli döküm makinesi kurularak bu israf önlenmiştir.

Çin dünya çelik üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Çin'in Tianjin bölgesine $40*10^6$ ton çelik üretilmektedir. Çoğu entegre demir-çelik tesislerinde atık gazlara aynı entegre tesis içinde kurulmuş, ülkemizde beğenilmediği için ihraç edilmiş sorunlu(!) cevherlerimizin pelletlenmesi için kullanılmaktadır. Çin'de pelet tesislerinin kapasitesi $500*10^3$ ile $4*10^6$ ton arasında değişmektedir. Bu ülkede dikey fırın, yatay ızgara, ızgara-fırın-soğutucu yöntemleriyle pelet üretilmesine karşın sünger demir üretimi yaygın değildir.

Artık dünyada bir taraftan beslenen parça cevher, pellet ya da konsantrenin, tesisin diğer tarafından çelik olarak çıktığı tesisler kurulmaktadır. Hal böyleyken ülkemizde demir çelik fabrikalarımız yerli madenciden yok pahasına cevher almaya çalışmaktadırlar. Geçmişe baktığımızda ülkemiz demir cevherlerinin zenginleştirilip peletlenmesine yönelik yapılmış çok sayıda çalışmanın varlığı görülecektir. Artık ülkemizde demir çelik sektöründe yatırım yapmamak için gerekçelerin arkasına sığınmak yerine, yeni yatırımlar yapmak için olanaklar zorlanmalıdır. Bu kapsamda demir çelik fabrikaları yeni yatırımlara öncülük etmeli, yatırım yapacak olan yerli demir madenciler desteklemelidir. Ülkemiz hurda ithal ederek bir yerlere varılamayacağını geç olmadan anlamalıdır.

5-PELETİN ÖZELLİKLERİ

Pelet içindeki Fe tenörü yüksek, homojen bir kimyasal yapıya sahiptir. Böyle bir şarj yüksek fırında ısıl işlemde kolaylık sağlarken daha düşük enerji ve cüruf yapıcı katkı maddeleri gerektirmektedir.

Çizelge 1'de yüksek fırınlarda kullanılabilen peletin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Yüksek fırında kullanılabilecek peletin özellikleri

Kimyasal yapısı	%
Fe	65.50
$SiO_2 + Al_2O_3$	4.20
P	0.04
S	0.01
MgO + CaO	1.25
H_2O	2.0
Baziklik	0.30
Fiziksel özellikleri	
+ 16 mm	% 3.0
+ 8 mm – 16 mm	% 92.0
- 5 mm	% 4.0
Tambur indeksi, + 6.3 mm	% 94.0
Aşınma indeksi - 5 mm	% 5.0
Soğuk basma dayanımı, kg/pelet	250
Yığın yoğunluğu, t/m^3	2.1

Peletler yuvarlak olmasından dolayı yüksek fırın için geniş yığılma açılı, düzgün, homojen ve geçirgenliği yüksek, aşağı yönde rahat hareket edebilen iyi bir şarj oluşturmaktadırlar. Peletin yığın yoğunluğu 3.5ton/m^3 civarında olup, yüksek yüzey alanına sahiptir. Fırında ısı iletkenliği yüksek, gaz-cevher teması daha uzun sürelidir. Bu da birim fırın hacimde daha fazla üretkenlik, daha çok ham demir üretimi anlamına gelmektedir.

Peletin yapısal olarak gözenekli olması indirgenebilme özelliğini olumlu yönde etkilemektedir.

Dolomit katkılı peletlerin yumuşama sıcaklığı 1400°C civarında iken kireçtaşı katkılı peletlerin 1200-1350°C arasındadır. Pelet, yüksek fırında kullanım açısından çok uygun olup indirgenme dereceleri yüksektir[12].

Katkılı peletlerin indirgeme ortamındaki mukavemeti sintere ve asidik peletlere göre daha fazladır. Bazik peletlerin yumuşama, ergime, gaz geçirgenliği özellikleri yüksek fırınlarda kullanım açısından çok uygun olup indirgenme dereceleri yüksektir.

Çizelge 2'de asitik ve bazik peletin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. Asidik ve bazik peletin özellikleri

Kimyasal içeriği, %	Asidik pelet	Bazik pelet
Fe_2O_3	96.57	96.23
SiO_2	1.46	0.95
CaO	0.59	1.15
MgO	0.30	0.80
Al_2O_3	0.93	0.25
FeO	0.09	0.25
S	0.002	0.01
P	0.091	0.03
TiO_2	0.020	0.30
Baziklik	0.37	1.62
Fiziksel özellikleri	Asidik pelet	Bazik pelet
Porozite, %	24.49	23.31
Boyut, d_{80}	12.85	13.10
Boşluk alanı, m^2/g	0.517	0.612
Yoğunluğu, g/cm^3	3.43	2.67

Mg ağırlıklı bazik peletler; şişme, yumuşama ve ergime özellikleri bakımından Ca ağırlıklı bazik peletlere göre yüksek fırınlarda kullanıma daha uygundur. Asidik peletlerin gaz geçirgenliği yüksektir. Ancak yüksek fırında kaliteli parça cevherler yumuşama, ergime ve homojen dağılma açısından asidik peletlerden daha iyi davranış göstermektedirler.

Çizelge 3'de de sünger demir üretimine uygun peletin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3. Sünger demir üretimine uygun pelet özellikleri

Kimyasal yapısı	%
Fe	67.8
$SiO_2 + Al_2O_3$	2.25
P	0.04
S	0.005
FeO	0.10
TiO_2	0.10
Mn	0.15
Na_2O	0.12
K_2O	0.11
Baziklik	0.25
Fiziksel özellikleri	
+ 9 mm - 16 mm	Min %90
- 5 mm	Mak % 1
Tambur testi + 9- 16 mm	Min % 90
-0.6 mm	Mak % 1
Şişme indeksi	Mak % 15
İndirgenme	% 93
İndirgeme sonrası, kg/pelet	50
Basma dayanımı, kg/pelet	Min 250
Yığın yoğunluk ton/m^3	2.1
Nem	% 1.5

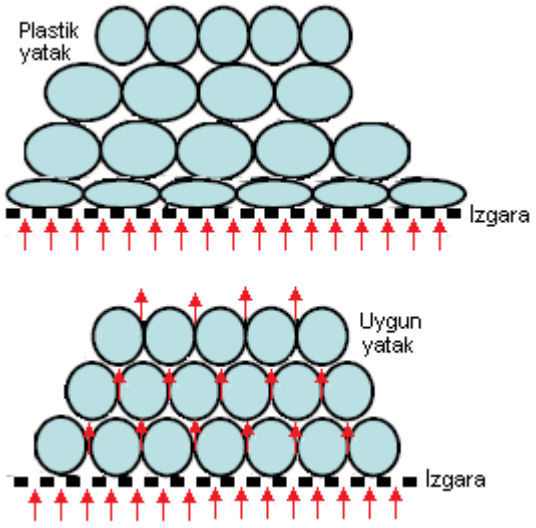
6. PELETLEME SÜRECİNDE KULLANILAN TESTLER VE LABORATUAR DENEYLERİ

Demir cevheri ile ilgili yapılacak testler ISO, *International Standards Organization* tarafından belirlenmiştir. Bu testler numune alma *TC 102/SC 1-Sampling*, kimyasal analizler *TC 102/SC 2-Chemical analysis* ve fiziksel testler *TC 102/SC 3-Physical testing* olmak üzere 3 başlık altında toplanmıştır.

Peletleme işleminde yapılan bazı testler şunlardır; *"Ham pelet düşürme sayısı", "Ham pelet basma dayanımı, "Ham pelet elek analizleri", "Pelet basma dayanımı", "Tambur","İndirgeme","Dinamik yöntemle düşük sıcaklıkta indirgeme ve dağılma", "Düşük sıcaklıkta statik indirgeme", "Yük altında indirgeme", "Pelet elek analizleri", "Yapışma", "Mikroporozite".*

"Ham pelet düşürme sayısı testi"nde ham peletin çatlamaması ya da düşürme sayısının yüksek olması peletin plastik olması anlamına gelmektedir. Plastik pelet ızgarada yatağın hava geçirgenliğini düşürdüğünden istenmeyen bir durumdur.

Şekil 11'de uygun ve plastik özellik taşıyan ham peletin ızgara üzerindeki kesiti gösterilmiştir.



Şekil 11. Uygun ve plastik özellik taşıyan ham peletin ızgara üzerindeki kesiti

Peletlerin taşınma stoklanma ve yüksek fırında şarj ağırlığı altında ezilip kırılmaması için hızı 10 mm/dakika olan biri sabit diğeri hareketli düz yüzeyli preste basma dayanımları ölçülmektedir. Peletlerin basma dayanımı en az 225-250 kg/pelet olmalıdır.

Tambur testinin amacı pelet üretildikten sonra kullanılacağı yere ulaşıncaya kadar ve kullanım sırasında karşılaşabileceği olumsuz şartlar karşında göstereceği davranışları belirlemektir.

İndirgeme testi peletin yüksek fırında ya da sünger demir üretiminde indirgenebilme özelliğini belirlemektedir. Test sonunda peletteki toplam ağırlık kaybından ya da kimyasal yapısından indirgeme değeri hesaplanmaktadır.

7. SONUÇ

Ülkemizde "sorunlu(!)" ya da "potansiyel(!)" oldukları gerekçesiyle uzun yıllardan bu yana işletilmemiş demir cevheri yatakları önümüzdeki yıllarda mutlaka işletilecek, zenginleştirilip pelet ya da sünger demir üretilecektir. Bu süreç içinde yapılacak arama çalışmaları ile mevcut rezervler büyütülecek, yeni rezervler bulunacaktır.

KAYNAKLAR

Steel Statistical Yearbook, 2011

Feeco, Disc Pelletizer,*The Agglomeration System Experts*™.

Professor Dr. Kal Sastry,, "How to Produce Designer Pellets of Our Choice through a Process Engineering Approach?" University of California at Berkeley, *Spex International*, El Cerrito, CA

Yıldız, N., "Demir Cevheri", Ankara, 2010, "*Cevher Üretimi, Zeninleştirilmesi, Peletlenmesi, Sinter Üretimi, Süner Demir Üretimi, Çelik Üretimi*", s 248, ISBN 978-975-96779-3-0,

D.F.Ball, J.Dartnell, J.Dovison, A.Grieve, R.Wild, *"Agglomeration of Iron Ore*", 1973

Garant, Michel, Research Engineer, Semi-Industrial Testing Procedure to Evaluate Pellet Drying COREM, *2nd COREM Symposium on Iron Ore Pelletizing,* Quebec City, June 2 to 4, 2008

LKAB, "Mining in Kiruna", "*Facts about LKAB*"

Investigation on cold bonded pelletization of iron ore fines using Indian slag-cement D.K. Dutta, D. Bordoloi, S. Gupta, P.C. Borthakur, T.M. Srinivasan, J.B. Patil

Effects of Binder on the Properties of Iron Ore-Coal Composite Pellets, R. Sah & S. K. Dutta, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: *An International Journal*, Volume 31, Issue 2, 2010

ISIJ International, Vol. 44 (2004), No. 4, pp. 770–776© 2004 ISIJ 770, Recycling of Sludge and Dust to the BOF Converter by Cold Bonded Pelletizing Fenwei SU, Hans-Olof LAMPINEN and Ryan ROBINSON1) SSAB Tunnplåt AB, SE-971 88 Luleå, Sweden. E-mail: fenwei.su@ssab.com, Luleå University of Technology, 971 87 Luleå, Sweden. (Received on September 29, 2003; accepted in final form on December 3, 2003)

Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*: An International Journal*

Cold Bonding of Iron Ore Concentrate Pellets, Joseph A. Halt, Samuel C. Roache & S. Komar Kawatra Publishing models and article dates explained, Received: 15 Nov 2013, Accepted: 6 Dec 2013, Accepted author version posted online: 28 Jan 2014

J. Srb, Z.Ruzickova, "*Pelletizing of Fines",* 1988

Kromit Zenginleştirme Tesis Atıklarından Kromit Geri Kazanımında Knelson Konsantratörü Çalışma Parametrelerinin Araştırılması

The investigation of working parameter of Knelson Concentrator on Chromite recovery from tailings of chromite beneficiation plant

T. Kıyak, C. Karagüzel
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada; %5 Cr_2O_3 kromit içerikli Kromit Zenginleştirme tesis atıklarının Knelson cihazı ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Zenginleştirme işlemine tabii tutulacak numune öncelikle sınıflandırma çalışmalarına tabi tutulmuş ve tüm boyutlardaki kromit dağılımı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonrasında öğütme işlemlerini takiben Knelson konsantratörü ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarda öğütme süresi, boyut grubu, G kuvveti(Santrifüj kuvvet), su debisi ve katı konsantrasyonu gibi çalışma parametrelerinin zenginleştirme sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. Çalışmalarda kaba zenginleştirmeye ilaveten ağaç tekniği (tree technique) kullanılarak elde edilen kaba konsantreler ikinci ve üçüncü kademe zenginleştirmeye tabii tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonunda -212+75, -75+38, ve -38 μm boyutlarında ayrı ayrı besleme yapılarak, 5 l/dak su debisi ile, 90 G kuvveti kullanılarak, %30 katı oranında, 250 dev/dak besleme hızında yaklaşık % 20±2 Cr_2O_3 tenörü ve %75 verim ile kromit konsantresi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kromit zenginleştirme, atık, kromit geri kazanımı, Kenlson konsantratörü

ABSTRACT In this study, investigation of the chromite plant tailing which is contained 5% Cr_2O_3 by the using Knelson concentrator. The tailing sample is primarily classified and then analyzed all size group for determine the chromite content. After that, following the grinding process chromite plant tailing concentrated by the Knelson concentrator. The experimental parameters such as grinding time, particle size distribution, centrifuge force, feed velocity, water flow and solid ratio were investigated. In addition the rough beneficiation, tree technique also used as second and third concentration stage. End of the study, the chromite concentrated obtained from tailing with 20±2 Cr_2O_3 % content and 75% recovery at 5 l/min water flow, 90 G centrifuge forces, 30 % solid ratio and 250 rev/min feed velocity.

Keywords: Chromite recovery, tailing, chromite beneficiation, Knelson Concentrator

1 GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde klasik kromit zenginleştirme yöntemlerinin kullanıldığı zenginleştirme tesislerinde milyonlarca ton atık atılmakta olup, bu atıklar %1-10 Cr_2O_3 içermektedir. Satılabilir bir krom konsantresinin ise en az %30 Cr_2O_3 tenörüne sahip olması gerekmektedir (Güney, 1990). Krom zenginleştirme tesis atıklarından satılabilir konsantreler üretmek amacıyla günümüzde bilinen teknolojiler (Sallantılı masa vb.) yanında MGS gibi yeni teknoloji cihazlar ile flotasyon

teknolojisinden yararlanılmaktadır (Samanlı, 1998, Kıdıman ve Bayat 2009, Kıyak, 2013).

İnce ve çok ince ağır minerallerin kazanılmasında yararlanılan knelson konsantratörü, genellikle altın-gümüş madenciliğinde ön zenginleştirme amacıyla kullanılmakta olup, atıklardan değerli minerallerin kazanılması alanında sınırlı sayıda çalışmada kullanılmıştır (Laplante vd. 1996, Huang 1996, Magumbe 2002, Sabah and Kotka, 2014). Santrifüj kuvvetten etkin bir şekilde yararlanılan bu cihazda, tane üzerine gravite kuvvetin 60 katı santrifüj kuvvet uygulanmaktadır. Knelson ayırıcısında oluşturulan santrifüj kuvvet (Fc) aşağıdaki gibi formülize edilmektedir [Knelson, 1992, Huang, 1996, Magumbe 2002]:

$$Fc = (\Pi / 6) * (dp)^3 * (\delta s - \delta 1) * ro * w^2$$

Burada;

Fc: Santrifüj kuvvet, $gr.cm.s^{-2}$

ro : Tanenin dönme ekseninden bulunduğu yer arasındaki değiştirme mesafesi, cm

dp : Tanenin çapı, cm

δs : Tanenin yoğunluğu, $gr.cm^3$

δl : Ortamın yoğunluğu, $gr.cm^3$

w : Tanenin açısal hızı, $radyan.sn^{-1}$

Knelson ayırıcısında bilinen çalışma parametreleri; santrifüj kuvvet, tane boyutu, besleme hızı, yıkama suyu miktarı, numune alma süresi, katı konsantrasyonudur. Laplante vd. 1996 Laboratuar tipli Knelson konsantratörü çalışma parametrelerinin zenginleştirmeye etkilerini detaylı olarak çalışmışlardır. Koppalkar (2009) ise pilot çaplı knelson konsantratörünün çalışma parametrelerinin zenginleştirmeye etkisini çalışmıştır. Yapılan çalışmalarda ortam yoğunluğunun ve santrifüj kuvvetin en etkin parametreler olduğu belirtilmiştir. Ancak etkin çalışma parametrelerinin belirlemesinde genelleme yapmak yerine her cevher örneği için tüm parametrelerin detaylı olarak çalışılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, kromit zenginleştirme tesis atıklarından kromit kazanımı amacıyla knelson cihazı kullanılmış, cihaz çalışma parametrelerinin zenginleştirme verim ve tenörüne etkisi sistematik olarak araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kullanılan numune Şetat Madenciliğe ait Bursa-Orhaneli bölgesindeki krom zenginleştirme tesislerinin artık sahalarından temin edilmiştir. Atık sahasından temin edilen numuneler Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Laboratuvarlarında numune alma ve azaltma teknikleri ile azaltılıp, öncelikle karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur. Mikroskobik incelemeler sonucunda; atık bileşiminde, kromit, olivin, antigorit ve krizotil ile birlikte millerit pendlantit, hematit ve kalsedon minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Deneylere esas numunelerin kimyasal özelliklerini ortaya koymak üzere, temsili örnekler üzerinde komple kimyasal analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda Tablo.1' de verilmiştir.

Numune alma tekniklerine göre azaltılan numunelerin boyut dağılımının tespiti için yaş eleme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan elekler sırasıyla 2, 1, 0.841, 0,6, 0.3, 0.15, 0.074, mm olarak seçilmiştir. Serbetleşme boyutu ise optik mikroskop yardımıyla tane sayım yöntemi ile belirlenmiştir.

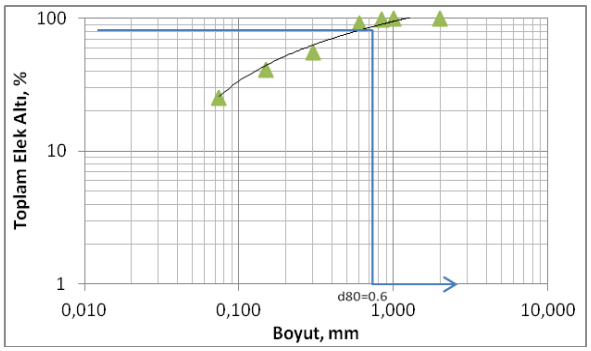
Tablo.1. Konsantre Tesisi Atık Harman Numunesinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Bileşen	Artık(%)
Cr_2O_3	5.24
FeO	5.67
SiO_2	35.78
MgO	37.15
CaO	0.88
Ni	0.259
Al_2O_3	<1.20
K.K.	11.40
Cr / Fe	0.63

Numunelerinin boyut dağılım özelliklerini belirlemek üzere elek analizleri yapılmış ve her bir numunenin krom içerikleri tespit

edilmiştir. Boyut dağılım sonuçları Şekil 1'de verilmektedir. Tablo 2'de ise boyut gruplarında tespit edilen kromit içerikleri verilmiştir.

Tablo 2. incelendiğinde kromit içeriğinin tüm boyut gruplarında değişmediği ancak -0,5+0,212 boyut grubunda kromitin yoğunlaştığı belirlenmiştir. Kromitin bu boyut grubundan itibaren serbestleştiği düşünülmekte olup, genel serbestleşme boyutunun ise - 0,3 mm olduğu bilinmektedir.



Şekil 1. Atık Harman Numunesine Ait Elek Altı Eğrisi

Tablo 2. Atık Harman Numunesinin Boyut Dağılımı ve Boyut Gruplarında Cr_2O_3 İçerikleri

Boyut Aralığı, (mm)	**Miktar,(%)**	**İçerik, (%) Cr_2O_3**
–1+0.5	12.76	4.48
–0.5+0.212	45.91	5.04
–0.212+0.106	18.06	5.15
–0.106+0.075	12.04	5.44
–0.075+0.038	8.27	5.18
–0.038	2.96	4.96
Toplam	100.0	5.04

Bu çalışmada, kromit atık numunesinin zenginleştirilmesi amacıyla Knelson konsantratörü kullanılmış olup, deneylerde öğütme süresi, boyut grubu, G kuvveti, Besleme hızı, Yıkama suyu miktarı, Numune alma süresi ve katı konsantrasyonu gibi çalışma parametreleri araştırılmıştır.

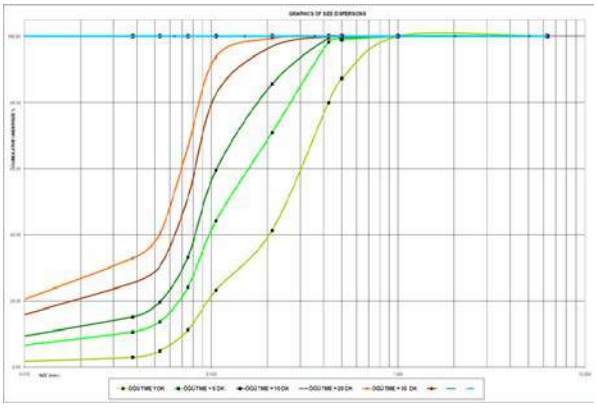
Cihaza pülp halinde beslenen numunedeki ağır ve hafif ürünler santrifüj kuvvetin etkisiyle ayrılmakta olup, hafif olan numuneler ayırma hunisinden taşan ürünler olarak alınırken, ağır taneler ayırma hunisi cidarlarında tabaka halinde birikmekte ve konsantre olarak alınmaktadır. Elde edilen numuneler filtre işlemini takiben kimyasal analize tabi tutulmuşlardır. Deneylerde kullanılan KC-MD3 model knelson konsantretörü Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Knelson Konsantratörü

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Öğütme Süresi-Tane Boyutunun Zenginleştirmeye Etkisi

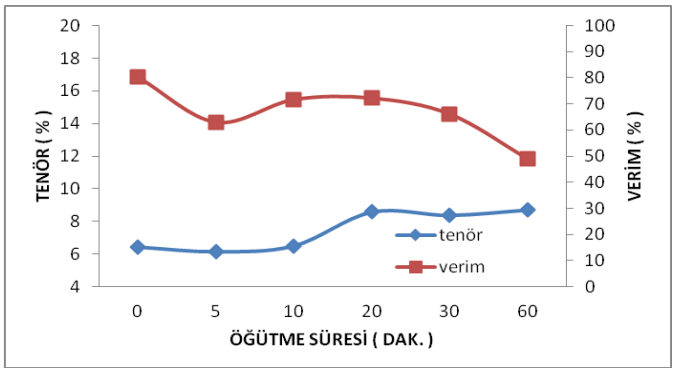
Numunelerin serbestleşme ve zenginleştirme boyutunun tesbiti için numuneler; 0, 5, 10, 20, 30, 60 dakikalık öğütme sürelerine tabi tutularak öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütme işlemi labaratuar tipi bilyalı değirmen kullanılarak yaş olarak yapılmıştır. Şekil 3 te süreye bağlı olarak öğütülen numunelere ait elek altı eğrileri görülmektedir.



Şekil 3. Öğütme Süresine Göre Elek Altı Eğrisi

Şekil 3 incelendiğinde öğütme süresi arttıkça öğütülen malzeme d80 boyutlarının sırasıyla 450, 300, 250, 160, 100 ve 75 µm olduğu görülmektedir. Bu numuneler daha sonra knelson konsantratörüne 250 dev/dak.(50kg/saat) besleme hızı, %15 P.K.O., 4 lt/dk. yıkama suyu ve 60 G kuvvet deney koşulları sabit tutularak beslenmiştir.

Şekil 4.'te öğütme süresine (azalan tane boyutuna) bağlı tenör verim eğrileri verilmiştir.



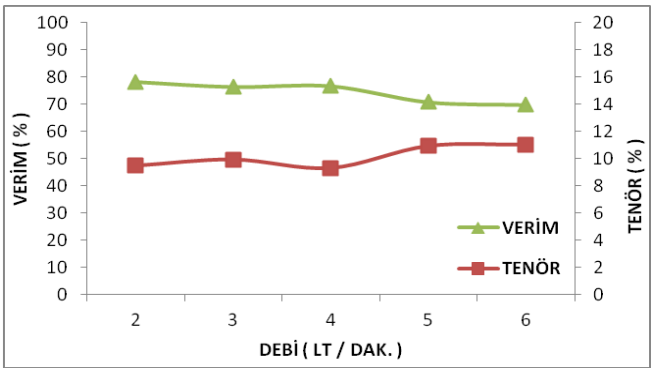
Şekil 4. Öğütme Süresinin (Tane Boyutunun) Tenör ve Verime Etkisi; [Besleme Hızı:250dev/dak., P.K.O:%15, Su Debisi:4 lt/dak, G Kuvveti:60 G)]

Şekil 4.'teki grafik irdelendiğinde tenörün öğütme süresi artıkça (tane boyutu azaldıkça)arttığı, 20 dakikadan sonra sabit kaldığı verimin ise öğütme süresiyle birlikte azaldığı görülmüştür. Bu durum öğütme ile tane boyutunun küçülmesinden ve gravite etkinliğinin azalmasından kaynaklanmaktadır. 20 dakika sonunda cevherin %90'nının serbestleşme boyutu olan -0,3mm olduğu belirlenmiştir.

Tane boyutu inceldikçe yeterli özgül ağırlık farkı olmayan minerallerin ayrılmasındaki güçlükler ve tanelerin santrifüj kuvvet altında birbirlerini engellemesi nedeniyle yeterli zenginleştirmenin sağlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle % 72,18 verim ve % 8,59 tenörle 20 dakika öğütme sonucu elde edilen ürün -212+75, -75+38,-38 boyut gruplarında ayrılarak ayrı ayrı knelson seperatörüne beslenmek suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2. Su Debisinin Zenginleştirmeye Etkisi

Su debisinin zenginleştirmeye etkisini incelediğimiz deneylerde, besleme hızı 250 dev/dak, P.K.O. %15, G kuvveti ise 60 G de sabit tutulmuş, su debisi sırası ile 2-3-4-5-6 lt/dak şeklinde değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5 teki tenör verim eğrisinde gösterilmiştir.

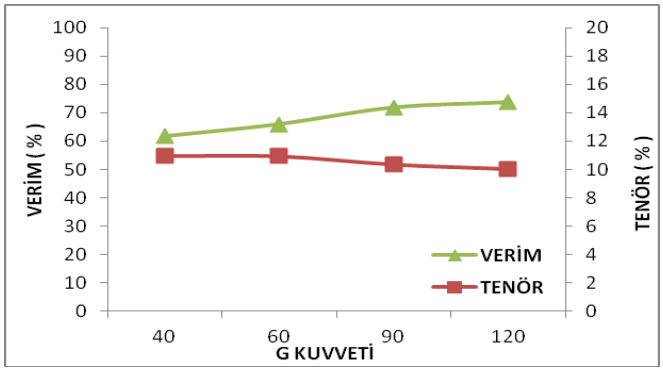


Şekil 5. Su Debisinin Tenör ve Verime Etkisi; [Besleme Hızı:250dev/dak., P.K.O:%15, Su Debisi:(2-3-4-5-6) lt/dak, G Kuvveti:60 G]

Şekil 5. incelendiğinde su debisi artarken verimin çok az da olsa düştüğü tenörün ise arttığı gözlenmiştir. En iyi zenginleştirmenin 5 lt/dak % 10,59 tenör ve % 65,89 verim ile olduğu görülmektedir. Bu değerden sonra tenörün fazla değişmediği görülmüştür. Bu durum haznede biriken Krom minerallerinin aşırı su debisiyle sürüklenmesinden kaynaklanmaktadır.

3.3. G Kuvvetinin (Santrifüj Kuvvet) Zenginleştirmeye Etkisinin İncelenmesi

Knelson konsantratörünün en önemli parametresi olan merkezkaç kuvvetinin çalışıldığı deneylerde besleme hızı 250 dev/dak., PKO %15, su debisi 5 lt/dak sabit tutulmuş, G kuvveti 40-60-90-120 G olarak değiştirilmiştir. Şekil 6'da santrifüj kuvvetin değişimine bağlı değişen tenör verim eğrileri verilmiştir.



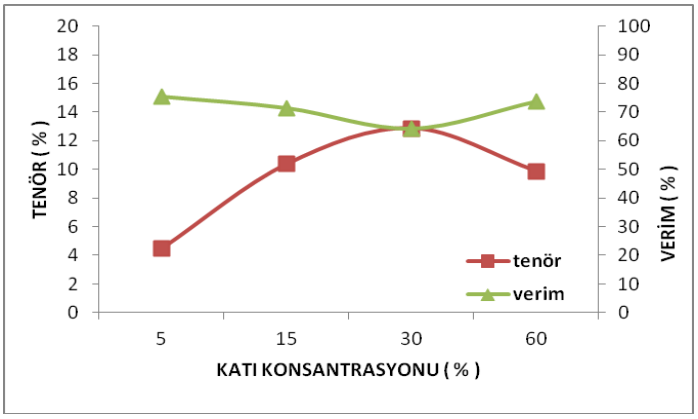
Şekil 6. G Kuvvetinin Tenör ve Verime Etkisi; [Besleme Hızı:250dev/dak.,

P.K.O:%15, Su Debisi:5 lt/dak, G Kuvveti:(40-60-90-120) G]

Şekil 6 incelendiğinde, düşük G kuvvetinde tanelerin oluşan merkezkaç kuvvetini yenerek konsantre haznesinde birikmeyip basınçlı suyla birlikte atığa karıştığı bu nedenle tenörün düştüğü verimin ise yükseldiği görülmüştür. Yüksek G kuvvetinde değerli gang mineralleri Krom mineralleri ile birlikte konsantre haznesinde birikerek tenörü düşürmektedir. Optimum G çalışma parametresinin %10,36 tenör ve % 71,37 verimin elde edildiği 90 G olduğu kabul belirlenmiştir.

3.4. Katı Konsantrasyonunun (P.K.O) Zenginleştirmeye Etkisi

Katı konsantrasyonunun dolayısı ile ortam yoğunluğunun seçimliliğe etkisinin araştırılması için yapılan deneylerde besleme hızı 250 dev/dak., su debisi 5 lt/dak., G kuvveti 90G sabit alınarak, katı konsantrasyonu %5-15-30-60 olarak değiştirilmek suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7'de tenör verim grafiğinde verilmiştir.

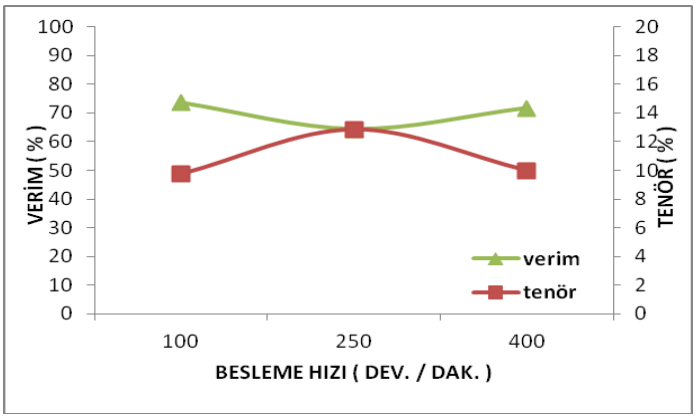


Şekil 7. Katı Konsantrasyonunun Tenör ve Verime Etkisi [Besleme Hızı:250dev/dak., P.K.O:%(5-15-30-60), Su Debisi:5 lt/dak, G Kuvveti:90 G]

Şekil 7. incelendiğinde; % 5'lik katı konsantrasyonundaki deneylerde zenginleştirmenin yeterli olmadığı, katı konsantrasyonunun artmasıyla tenöründe arttığı görülmüştür. Ancak, katı konsantrasyonu %30'u geçtikten sonra tenörün düştüğü görülmüştür. Bu durum tanelerin yüksek konsantrasyondan dolayı birbirlerini engellediğini göstermektedir. Optimum katı konsantrasyonu % 12,86 tenör ve % 64,34 verim ile konsantre elde edilen %30 alınarak diğer parametrelerin incelendiği çalışmalara geçilmiştir.

3.5. Besleme Hızının Zenginleştirmeye Etkisinin İncelenmesi

Besleme hızının zenginleştirme sonuçlarına etkisinin araştırıldığı çalışmalarda; G kuvveti 90G, su debisi 5 lt/dak, katı konsantrasyonu %30 sabit alınmış, besleme hızları ise 100-250 - 400 dev/dak alınmıştır. Besleme işlemi peristatik pompa ile kontrollü olarak yapılmış olup, 250 dev/dak için yaklaşık 50 kg/saat katı beslemesinin yapıldığı hesaplanmıştır. Şekil 8 de deney sonuçları tenör verim eğrileri ile verilmiştir.

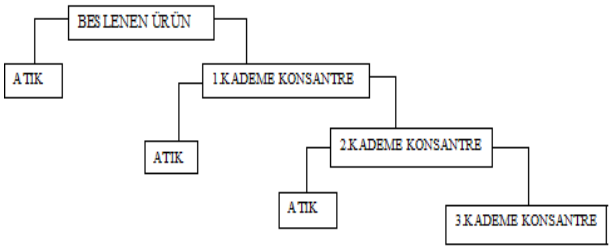


Şekil 8. Besleme Hızının Tenör ve Verime Etkisi [Besleme Hızı:(100-250-400)dev/dak., P.K.O:%30, Su Debisi:5 lt/dak, G Kuvveti:90 G]

Şekil 8.'de görüldüğü gibi 100 dev/dak ve 400 dev/dak besleme hızlarında tenör ve verimler birbilerine yakın iken 250 dev/dak' da seçimliliğin arttığı tespit edilmiştir. Besleme hızı arttıkça tenörün önce arttığı 250 dev/dak sonra azaldığı gözlenmiştir. Düşük besleme hızlarında su debisi etkin olduğundan yeterli seçimlilik sağlanmazken, besleme hızının yükselmesi ile malzeme miktarı artmakta buda verimin düşmesine neden olmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre optimum değerin % 12,86 tenör ve % 64,34 verimin elde edildiği 250 dev/ dak olduğu belirlenmiştir

3.5 Tartışma

Tek kademe yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, istenilen tenör ve verim ile satılabilir bir konsantre üretilemediğini göstermektedir. Bu nedenle, yüksek tenörlü konsantre üretebilmek amacıyla bu çalışmada ağaç tekniği kullanılarak elde edilen konsantrelerin kademeli olarak yeniden zenginleştirme işlemine tabi tutulması sağlanmıştır. Şekil 9' da zenginleştirme akım şeması verilmiştir. Her zenginleştirme kademesinde kaba zenginleştirme deneylerinde belirlenen optimum şartlar kullanılmıştır (Besleme Hızı : 250 dev / dak, P.K.O : % 30, G Kuvveti : 90 G, Su Hızı : 5 lt/dak).



Şekil 9. Zenginleştirme Akım Şeması

Kademeli deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde 3 kademede yapılan zenginleştirme sonuçları, tek kademeye göre verimin çok fazla değişmediğini tenörün ise artan kademe sayısı ile yükseldiğini göstermektedir. I. Kademe zenginleştirmede % 10 Cr_2O_3tenörü elde edilirken, verimin %73-77 arasında olduğu belirlenmiştir. II. Kademede ise %15 Cr_2O_3tenörüne karşılık verimin %76-80 arasında olduğu son kademede ise %18 Cr_2O_3tenörü ve %75 verim elde edildiği belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar knelson cihazı ile krom atıklarından satılabilir konsantreler üretilemediğini göstermektedir. Bu durum serbestleşme boyutu düşük, yeterince yoğunluğa sahip olmayan minerallerde knelson cihazının yeterince başarılı olamadığını göstermektedir. Öyle ki gravimetrik tekniklerle ayrımda kullanılan Taggart zenginleştirme kriterinin ince tanelerde klasik yöntemler için yüksek olması gereklidir (K>2,5). Bu cevherde belirlenen K değeri yaklaşık 2,7 olmasına rağmen, güçlü santrifüj kuvvet etkisi altında yetersiz olduğu görülmektedir. Diğer yandan ağır minerallerin altın, gümüş vb. kazanılmasında knelson cihazı yeterli yoğunluk farkı nedeniyle başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kromit zenginleştirme tesis atıklarından krom kazanımı amacıyla knelson cihazı kullanılmış, cihaz çalışma parametrelerinin zenginleştirme verim ve tenörüne etkisi sistematik olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

-Öğütme süresine bağlı olarak tane boyutu inceldikçe tenörün arttığı, 20 dakika öğütme işleminden sonra ise sabit kaldığı verimin ise öğütme süresiyle birlikte azaldığı görülmüştür.

-Tane boyutu inceldikçe yeterli özgül ağırlık farkı olmayan minerallerin ayrılmasındaki güçlükler ve tanelerin santrifüj kuvvet altında birbirlerini engellemesi nedeniyle yeterli zenginleştirmenin sağlanmadığı görülmüştür.

-Su debisi artarken verimin çok az da olsa düştüğü tenörün ise arttığı gözlenmiştir.

-Düşük G kuvvetinde taneler oluşan merkezkaç kuvvetini yenerek konsantre haznesinde birikmeyip basınçlı suyla birlikte atığa karıştığı bu nedenle tenörün düştüğü verimin ise yükseldiği görülmüştür. Yüksek G kuvvetinde değerli Krom mineralleri gang mineralleri ile birlikte konsantre haznesinde birikerek tenörü düşürmektedir.

-Cr_2O_3 içeriğinin %30 katı konsantrasyonuna kadar arttığı, bu konsantrasyondan sonra ise düştüğü görülmüştür.

-Düşük besleme hızlarında su debisi etkin olduğundan yeterli seçimlilik sağlanmazken, besleme hızının yükselmesi ile malzeme miktarı artmakta buda verimin düşmesine neden olmaktadır.

-Kademeli yapılan deneylerde tek kademeye göre verimin çok fazla değişmediği tenörün ise artan kademe sayısı ile yükseldiğini görülmüştür.

Üç kademede yapılan deneysel çalışmalar sonunda 5 l/dak su debisi, 90 G kuvveti, %30 katı oranı, 250 dev/dak besleme hızı gibi çalışma parametreleri ile % 20±2 Cr_2O_3 tenörlü kromit konsantresi %75 verim ile elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar; knelson konsantratörü ile kromit tesis atıklarından satılabilir konsantreler üretilemediğini göstermiştir. Kromit minerallerinin ince boyut gruplarında yeterli yoğunluk farkı olmadığı için diğer ağır minerallerde olduğu gibi knelson ile ayrılamadığı belirlenmiştir. Bu nedenle kromit tesis atıklarının MGS+flotasyon, MGS+Knelson, MGS+Knelson+flotasyon gibi kombine sistemler ile değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Güney, A., 1990, Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Samanlı, S., 1998, Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kıdıman, F.B., Bayat, O., 2009, Düşük Tenörlü, Krom Cevherlerinin Zenginleştirilmesinin araştırılması, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yıl:2010 Cilt:22-2

Kıyak, T., 2013, Orhaneli Krom Zenginleştirme Tesis Atıklarının Knelson Konsantratörü İle Zenginleştirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Laplante A.R.,1996, Shu, Y., and Marois, J. Experimental Characterization of a Laboratory Centrifugal Separator, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.35, No.1, pp.23- 29.

Knelson, B., 1992. The Knelson Concentrator metamorphosis from crude beginning to sophisticated world wide acceptance. Minerals Engineering 5 (10–12), 1091–1097.

Huang, L., 1996, Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator, PhD thesis, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal.

Magumbe, L., 2002, Process Desing for Gold Recovery from The Chester Deposit, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.

Koppalkar, S., 2009, Effect of Operating variables in Knelson Concentrator: A Pilot- Scale Study, Department of Mining and Materials Engineering, McGill University, Montreal.

Sabah, E. and Koltka, S., 2014. "Separation Development Studies on the Beneficiation of Fine Lignite Coal Tailings by the Knelson Concentrator", Energy&Fuels, 28(7), pp. 4819-4827

Sünger Demir Üretimi (DRI)
Sponge Iron Ore Production (DRI)

Ö. Özal
Maden Yük. Müh., Tosyalı Holding

N. Yıldız
Maden Yük. Müh.

ÖZET Özellikleri uygun parça cevher ve peletin içerdiği demir oksitlerdeki oksijenin, uygun bir gaz kullanılarak ergitilmeden indirgenerek elde edilen ürün *sünger demir* olarak isimlendirilmektedir. Sünger demirin yapısındaki metalik demir oranı %86'nın üzerine çıkabildiğinden, elektrikli ark ocaklarında (EAO) hurdanın yerine kullanılabilmektedir. Ticari olarak sünger demir üretimi dünyada 1950'li yıllarda başlamış ve günümüzdeki üretim $75*10^6$ tonu aşmıştır. Aynı yıllarda çelik üretimi $595*10^6$ ton iken günümüzde $1.67*10^9$ tona ulaşmıştır.

Anahtar kelimeler: Demir cevheri, sünger demir, direk indirgenmiş demir

ABSTRACT As physical and chemical composition, suitable lump ore and pellets can be reduced by gas in solid forms without melting. This product call as sponge iron (direct-reduced iron, DRI) and it may have more than 86% metallic iron. Sponge iron can be used in the arc furnaces (EAF) instead of scrap. Commercial production of sponge iron in the world began in the 1950's and today has exceeded $75*10^6$ tons/year. In the same year, $595*10^6$ tons of steel production has now reached $1.67*10^9$ tons.

Keywords: Iron ore, sponge iron, direct reduced iron

1. GİRİŞ

Özellikleri uygun parça cevher ve peletin içerdiği demir oksitlerdeki oksijenin, uygun bir gaz kullanılarak ergitilmeden indirgenerek elde edilen ürün *sünger demir* ya da *DRI*, bu teknoloji de sünger demir üretim teknolojisi olarak isimlendirilmektedir.

Dünyada ham demir üretiminin %70'den fazlası yüksek fırın(YF) teknolojisi ile gerçekleştirilmektedir. Artan çevresel baskılar ve yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle, sünger demirin (DRI) doğrudan kullanıldığı elektrik ark ocaklı (EAO) sistemlerde çelik üretimi, YF teknolojisine göre daha cazip olacağı düşünülmektedir.

Elektrikli ark ocaklarında, dolaylı cevher kullanımını sağlayan DRI teknolojisi her geçen gün önemini arttırmakta, kaya gazı (shale gas) ve kömür gazı (syngas) gibi farklı gazların kullanımı ile sünger demir üretiminin daha geniş alanlarda uygulanması amaçlanmaktadır [1]. Çizelge 1'de Dünya çelik üretimi ve DRI tüketimi öngörüsü gösterilmiştir.

DÜNYA HAM ÇELİK ÜRETİMİ ve DRI-HBI TÜKETİMİ

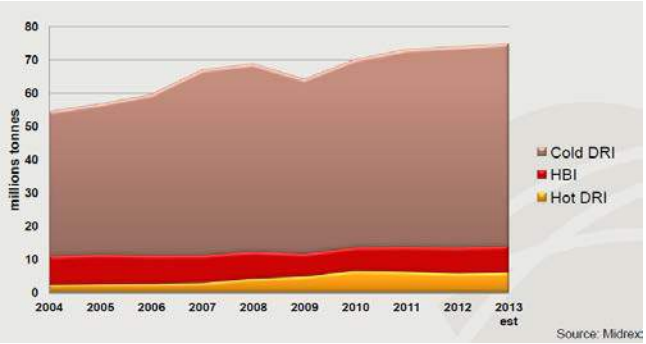
	2005	2015	2020	2025	2030
Ham Çelik Milyar Ton	1.15	1.71	1.87	2.13	2.46
EAF Milyar Ton	0.37	0.50	0.60	0.73	0.89
BOF Milyar Ton	0.78	1.21	1.27	1.4	1.57
DRI-HBI Milyon Ton	57 m.t	75 m.t	95 m.t	115 m.t	140 m.t

Çizelge 1. Dünya çelik üretimi ve DRI tüketimi öngörüsü

Sünger demir (sponge iron), doğrudan indirgenerek üretilmiş ürünlere genel olarak verilen isimdir. Sıcak biriketlenmiş demir (HBI, hot briquetted iron) ise, yaklaşık 700°C sıcaklıkta olan sünger demir tanelerinin, bir kalıpta sıcak olarak biriketlenmesi ile üretilmektedir. HBI üretimi, denizaşırı

uzak mesafelere gönderilecek sünger demirin oksitlenerek yanma riskini önlemek amacıyla yapılmakta olup, yoğunluk, boyut gibi fiziksel özelliği dışında DRI'dan bir farkı yoktur.

Günümüzde doğrudan indirgeme yöntemi ile çelik üretimi giderek artan bir önem kazanmış, özellikle DRI'ın 600ºC gibi yüksek sıcaklıklarda doğrudan ark ocağına *sıcak şarj* olarak beslenebilmesi, enerji gereksinimini azaltmış, EAF'ların, %100DRI ile ekonomik olarak çalışabilme noktasına getirilmesi Grafik 1'de dünya sünger demir üretiminin fiziksel olarak dağılımı gösterilmiştir[2].

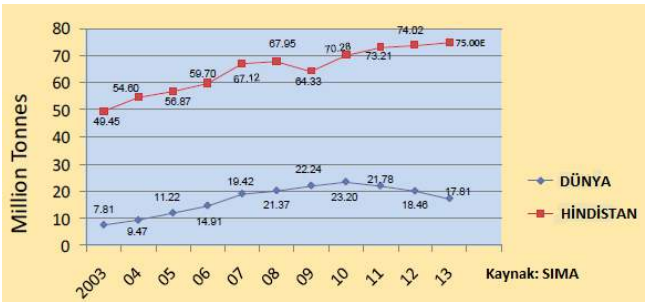


Grafik 1. Sünger demir üretiminde fiziksel dağılım

Sünger demir üretimi maliyetlerindeki en önemli girdi enerji ve hammaddedir. Bu nedenle sünger demir özellikle indirgeyici gaz olarak kullanılan doğalgaz rezervinin zengin olduğu İran, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Meksika, Venezüella, Rusya, Kuzey Afrika gibi ülkelerde üretilmektedir.

Yılda $20*10^6$ tonu geçen kapasiteyle, dünyanın en fazla sünger demir üreticisi olan Hindistan, üretiminin %70'den fazlasını kömür kullanarak döner fırın teknolojisi ile gerçekleştirmektedir. Önümüzdeki yıllarda, başta Kuzey Afrika ve Orta Doğu ülkeleri olmak üzere Hindistan'da da, sıcak DRI kullanımına dayalı, ark ocağı tesis yatırımlarında önemli bir artış beklenmektedir.

Grafik 2'de Hindistan ve dünya DRI üretimi gösterilmiştir [2].



Grafik 2. Hindistan ve dünya DRI üretimi

Çizelge 2'de dünya DRI üretimi gösterilmiştir [1,2].

Çizelge 2 . Dünya DRI üretimi

	DÜNYA DRI ÜRETİMİ		
	2011	2012	2013
Middle East/ North Africa	25.04	27.19	32.36
Asia/ Oceania	25.36	23.46	20.54
Latin America (including Mexico & Caribbean)	15.12	15.16	13.83
CIS/Eastern Europe	5.20	5.24	5.33
Sub-Saharan Africa	1.41	1.57	1.41
North America (US & Canada)	0.70	0.84	1.25
Western Europe	0.38	0.56	0.50

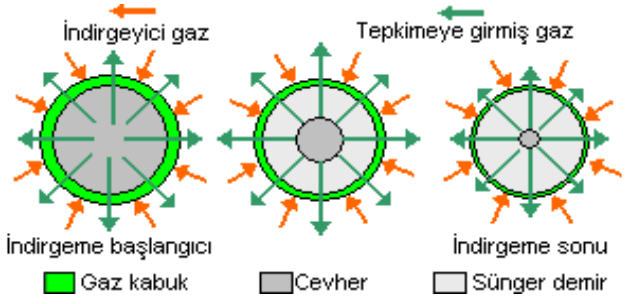
Kaynak: MIDREX, 2014 Abu Dhabi

2.DEMİR CEVHERİNİN İNDİRGENMESİ

570°C üzerinde demir cevheri indirgeyici bir ortamda sırası ile aşağıdaki yapısal değişime uğramaktadır:

Hematit (Fe_2O_3) → Manyetit (Fe_3O_4)→Wustit (FeO)→Metalik Fe

Şekil 1'de indirgeme sürecinde gaz hareketi gösterilmiştir[3].



Şekil 1. İndirgeme süreci

İndirgeme yönü cevherin dış yüzeyinden merkezine doğrudur. İndirgeyici gaz cevherin içine doğru işlerken, indirgeme

sonucu oluşan gaz da cevher bünyesinden dışarı doğru hareket etmektedir.

İndirgeyici gaz genel olarak CO, H_2, veya bu gazların belirli oranda karışımlarıdır. Bu gazları üretebilmek için başta doğal gaz olmak üzere, kömür gazı, kok gazı, kaya gazı, fuel oil gibi sıvı yakıtlar kullanıldığı gibi, koklaşmayan buhar kömürleri, antresit, metalürjik kok gibi katı yakıtlar da kullanılabilmektedir.

H_2'in indirgeyici olarak kullanıldığı ortamda indirgeme işlemi aşağıdaki tepkimelerle gerçekleşmektedir:

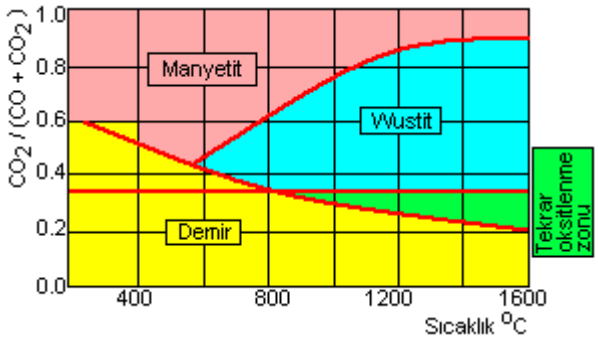
$$3\,Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2\,Fe_3O_4 + H_2O$$
$$Fe_3O_4 + H_2 \rightarrow 3\,FeO + H_2O$$
$$FeO + H_2 \rightarrow \mathbf{Fe} + H_2O + 5.7\,O_2$$

CO'in indirgeyici olarak kullanıldığı ortamda oluşan tepkimeler aşağıdadır:

$$3\,Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\,Fe_3O_4 + CO_2$$
$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3\,FeO + CO_2$$
$$FeO + CO \rightarrow \mathbf{Fe} + CO_2$$

İndirgeme ortamındaki gazın yapısının mümkün olduğunca en yüksek değerde indirgeme özelliğine sahip, yani (H_2+CO/H_2O+CO_2) oranının yüksek ve gerekli tepkimenin oluşması için de uygun sıcaklıkta olması(<1.000C) gerekmektedir

Ortamdaki CO oranı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak demir cevherinin indirgenme süreci Grafik 3'de gösterilmiştir[3].



Grafik 3. Demir cevherinin indirgenme süreci

3. İNDİRGEME YÖNTEMLERİ

İndirgeme olayı bütün yöntemlerde benzerdir. Yöntemin seçimi; indirgenecek cevherin özelliklerine, pelet, parça cevher, konsantre ya da bunların belirli oranda karışımı oluşuna, indirgeme ortamının kömür ya da gaz oluşuna, indirgeyicinin bulunabilirliğine, üretilen sünger demirin nasıl kullanılacağına bağlıdır. İndirgeme yöntemlerinde temel sınıflandırma indirgeyicinin kömür ya da gaz oluşu ile indirgeme işleminde dikey ya da yatay fırın kullanımına göre yapılmaktadır[4].

Dünyada kapasiteleri geniş aralıklarla değişen çok sayıda sünger demir tesisi mevcuttur. Ticari olarak bilinen 5 teknoloji mevcut olup, bunlardan 3'ü yaygın olarak kullanılmaktadır. 2013 yılında üretilen $75*10^6$ ton DRI'ın $59*10^6$ tonu dik fırınlarda, MIDREX ve HYL teknolojisi ile üretilmiştir. Midrex, HYL-Energiron, SL/RN (Lurgi) gibi yöntemlerin uygulandığı tesislerin dışında kalanların, FASTMET, ITmk3, FINMET [5,6,7] gibi çoğu test üretimlerini geçememiş veya kullanımı çok sınırlı kalmıştır.

Patent ödememek için, özellikle Hindistan'da 1980 yılından sonra başlanan ve günümüzde çok sayıda firmanın geliştirdiği TSIL, TDR gibi kömüre dayalı döner fırın sisteminin temeli, SL/RN (Lurgi) yöntemidir [8].

Üretilen DRI'ın üretim teknolojine bağlı olarak dağılımı aşağıdaki gibidir:

Midrex, gaza dayalı : %60.5
HYL-Energiron, gaza dayalı : %15.2
Diğer gaza dayalı sistemler : % 0.7
Kömüre dayalı sistemler, döner fırın :%23.6

3.1 Gaza Dayalı DRI Üretim Yöntemi

İndirgeme gazı % 95 oranında H_2 ve CO içermektedir. Bu gaz 760-925°C arasında ısıtıldıktan sonra indirgenecek malzemenin akışının tersi yönünde ortama verilmektedir. İndirgemede kullanılmış gazın ortamı terk edeceği bölgedeki içeriğinin yaklaşık % 70'i CO ve H_2'dır. Bu gaz toplanarak basınç altında sıkıştırılıp doğal gaz ilavesiyle zenginleştirildikten sonra 400°C'a kadar ısıtılıp indirgeme gazının hazırlandığı "reformer" olarak isimlendirilen düzenleyicilere gönderilmektedir. Nikel bazlı katalizörlerin bulunduğu düzenleyicilerde

gazın içeriği % 95'i H_2 ve CO olacak şekilde hazırlanarak indirgeme gazı olarak tekrar kullanılmaya uygun hale getirilmektedir.

Genellikle indirgeme işlemi için dikey fırınlar kullanmaktadır. Fırında indirgenecek cevher kendi ağırlığı ile aşağı yönde, indirgeyici gaz malzemenin akış yönü tersine hareket etmektedir.

Yöntemde temel indirgeme tepkimeleri aşağıdaki gibidir:

$$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2\,Fe + 3\,H_2O$$
$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2\,Fe + 3\,CO_2$$

İndirgemede kullanılan doğalgazın içeriği Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3: İndirgeyici doğalgazın içeriği

İndirgeyici gaz	Oranı,
Nitrojen, N	0.3-
CO_2	1.0
Metan, CH_4	0.1-5
Etan C_2H_6	85-93
Propan C_3H_8	3-8
İndirgeyici gazda CO+H_2	1-4
oranı	90 min

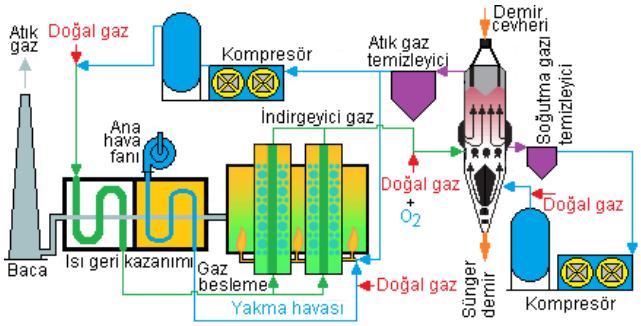
3.1.1. MIDREX teknolojisi

Günümüzde üretilen yaklaşık $75*10^6$ ton DRI'ın %60'ında MIDREX yöntemi kullanılmaktadır. 1960 yılında, 0.4 m çapında pilot çaplı bir dik fırında başlanan denemeler, ilk kez 1969 yılında, Portland'da (Oregon-ABD) 3.7 m çaplı fırın ile endüstriyel boyut kazanmış, sonrasında fırın çapı 4.9 m'ye çıkarılarak ABD, Almanya, Kanada ve Arjantin'de yeni fırınlar kurulmuştur. 1977 yılında 5.5m çaplı ve $600*10^3$ ton/yıl kapasiteli ilk fırın Mısır'da Sidbec firmasına kurulmuştur. Günümüzde ise fırın çapı 7.5 metreye kadar çıkarılmış ve bir dik fırında $2*10^6$ ton/yıl DRI üretilebilmektedir[9].

Miderex sistemi dört ana gruptan oluşmuştur:

- Dikey fırın (Shaft furnace)
- Gaz düzenleyici (Reformer)
- Soğutma sistemi (Cooling)
- Yardımcı sistemler

Şekil 2'de Midrex indirgeme yöntemi akım şeması gösterilmiştir[9].



Şekil 2. Midrex yöntemi akım şeması

Sistemde ton DRI üretimi başına tüketim aşağıdaki gibidir:

Doğal gaz:2.60Gcal/tonDRI(270-320Nm3/t DRI)

Pelet: 1.45 ton /ton DRI (+6mm pelet)

Elektrik:130kwh/tonDRI(Yrd. tesisler hariç)

Oksijen: 20 Nm3/ton DRI

Nitrojen: 130 Nm3/ton

Kireçtaşı: 2.5 kg/ton DRI (kabuklaşma işlemi)

Bakım ve sarf malzemeleri: 4 USD/ton DRI

İşçilik: 0.12 İşçi saat/ton DRI

2012 yılı rakamlarına göre dünyada çalışan 89 MIDREX modülünün 13'ü İran'da bulunmakta olup "Zam-Zam" isimli bir patent ile kurulmuştur. Kullanılan demir cevheri, pelet (6-18mm) veya parça cevher (10-40mm) boyutundadır. Yakıt olarak doğal gaz, kömür gazı, kaya gazı, kok gazı, YF gazı gibi gazların da kullanım olanağı vardır. Birim hacimde hammadde kullanımı fazla olan bir teknolojidir. Ters akım yöntemi ile çalıştığından reaksiyon süresi hızlı, yakıt tüketimi daha azdır.

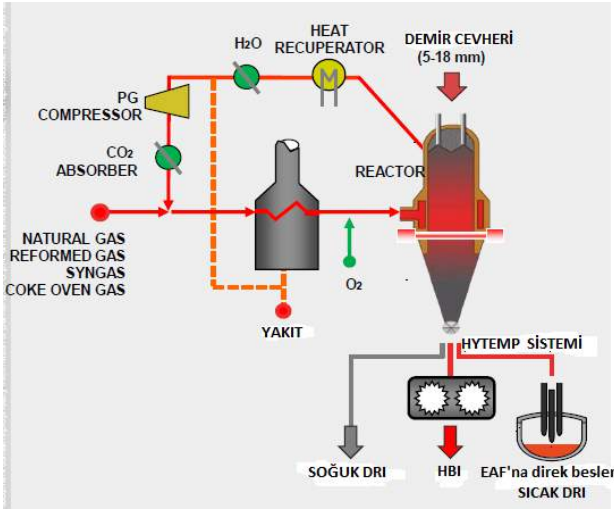
3.1.2 HYL ENERGIRON teknolojisi

Günümüzde üretilen yaklaşık $75*10^6$ ton DRI'ın %15'inden fazlasında HYL ENERGIRON yöntemi kullanılmaktadır. 1954 yılında geliştirilen bu teknolojinin 1998 yılına kadarki uygulamasında, MIDREX teknolojisi ile çok önemli teknolojik farkları olmamıştır. Meksika Monterrey-Tenova tesislerinde ZR-HYTEMP sisteminin devreye alınması ile, klasik üretim sürecinin en

önemli devresi olan "reformer" ünitesini kaldırarak, doğal gazın doğrudan dik fırında kullanılabildiği bir teknoloji geliştirilmiştir [10].

"Düzenleyici"nin kullanılmadığı bu teknoloji ile daha yüksek karbonlu DRI üretiminin yapılarak, üretilen ürünün uzak mesafelere briketlenmeden taşınması mümkün olabilmektedir. Ayrıca proses sonucu çıkan baca gazından, CO_2 ve H_2S gazları ayrılarak yan ürün olarak değerlendirilebilmekte ve bu nedenle yüksek kükürtlü cevherler de bu sistemde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Oksijen tüketimi bu sistemde fazla olsa da, elektrik, enerji ve hammadde tüketimleri biraz daha azdır. Pnomatik bir sistemle, fırından çıkan DRI malzemenin, 650-700°C sıcaklıkta belli bir basınçla doğrudan ark ocağına, kapalı bir boru sistemiyle taşınması mümkündür.

Şekil 3'de HYL-ZR HYTEMP sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3. HYL-ZR HYTEMP Sistemi

Tenova ile Danielli'nin birleşmesi ile birlikte, HYL/ZR-HYTEMP teknolojisinde 2006 yılından sonra önemli gelişmeler olmuş, Mısır Suez Steel ve ABD Nucor tesislerinde bu sistem uygulanmaya başlanmıştır. Ancak tesisler henüz tam olarak devreye alınamamıştır.

Halen dünyada 2.5*10^{6} ton/yıl üretim kapasitesi ile en büyük modül bu sistemle kurulmuş olan ABD Nucor tesislerindedir. Fakat, sistemin yüksek basınç ve sıcaklık altında çalışıyor olması ve bu basıncın, tesisin tüm hatlarında korunmasının gerekliliği, yüksek otomasyon, kalifiye iş gücü, kontrol ve bakım konularını ön plana çıkarmış, işletme maliyeti daha düşük olmasına karşın, MIDREX'e göre bu prosesin yayılmasını yavaşlatmıştır. 2012 rakamlarına göre dünyada çalışan 29 HYL modülü bulunmaktadır.

3.2 Kömürün İndirgeyici Olarak Kullanıldığı Yöntemler

SL/RN yöntemi Republic Steel Company and National Lead Corporation tarafından Norveç'te titanyum minerallerinin boya pigmenti olarak kullanılmasına yönelik TiO_2 kazanmak için geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda ABD'de pilot bir tesis kurulmuş 1964 yılında da Lurgi Chemie RN yöntemin patentini almıştır. Steel Company of Canada, Stelco bu süreç üzerinde çalışmış demir cevherinin indirgenmesi için SL/RN yöntemini geliştirmiştir[3,8].

SL/RN yöntemi ile çalışan dünyanın kurulu en büyük tesisi 400*10^{3} ton/yıl kapasiteli Ontario/Kanada Griffith madeninde Stelco tesisidir. İndirgeme fırını çapı 6, uzunluğu 125 metredir. Bu tesiste parça cevher ve pelet indirgenebilmektedir. Bu teknoloji Hindistan'da 1980 yılından itibaren çok yaygın olarak kullanılmaya başlamış ve 450'den fazla modül kurulmuştur. Modül başına günlük üretim en fazla 500 ton/gün seviyesindedir. Kömür ve kömürdeki kükürdün alınması için ortamda dolomit ve kireçtaşı ilave edilmektedir. Fırındaki ön ısıtma bölgesi yaklaşık 980°C olup, gerekli kapasiteye ulaşılabilmesi için bu bölgenin uzunluğu kullanılan fırın boyunun %40'ını, en fazla yarı uzunluğunu geçmemektedir. İndirgeme işlemi 900°C'dan sonra ortamda CO gazının oluşmasıyla başlamakta ve 1050°C'de bitmektedir. Düzgün ve homojen bir indirgeme ortamı için fırın gövdesinden verilen hava ve yakma sistemi kontrol altında tutulmaktadır.

Sünger demirin sıcaklığı fırın çıkışı soğutucuda su spreyleri ile 95°C'a kadar düşürülmektedir. Çıkışta eleme ve manyetik

ayırıcılarla indirgenmiş cevher, kül, indirgenmemiş malzeme, yanmamış kömür birbirinden ayrılmaktadır.

İndirgeme işlemi genellikle refrakter astarlı döner fırınlarda ortama kömür ilavesi ile gerçekleştirilmektedir. Döner fırının eğimi yaklaşık %2.5 olup bu eğim fırının dönüş hareketi ile malzemenin giriş ağzından çıkışına doğru hareketini sağlamaktadır. Fırın içindeki malzemenin kalış süresini fırının eğimi ve fırının devir sayısı belirlemektedir.

İndirgenecek parça cevher veya pelet, cevherin ve kullanılacak kömürün kükürt oranına bağlı olarak kireçtaşı, dolomit gibi katkı maddeleri ile birlikte fırın giriş ağzından beslenmektedir.

Fırının girişindeki ön ısıtma bölgesinde karışım kurutularak nemi alınmaktadır. Daha sonra sıcaklık arttığında kömürün yapısındaki hidrokarbon ve hidrojen ayrışmaktadır.

Ön ısıtma bölgesinde;

$Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\,FeO + CO_2$

tepkimesi gerçekleşmektedir.

Bu tepkimeden sonra indirgeme bölgesinde;

$FeO + CO \rightarrow \mathbf{Fe} + CO_2$

tepkimesi meydana gelmektedir. Ortamdaki CO_2 gazı da çoğu zaman;

$CO_2 + C \rightarrow 2\,CO$

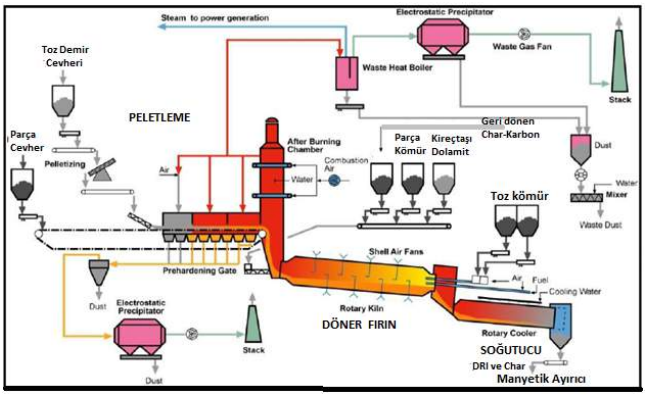
tepkimesi ile CO gazına dönüşmektedir.

İndirgemede CO_2 gazının en hızlı şekilde CO gazına dönüşmesi için bu dönüşümün hızlı olduğu reaktivitesi yüksek kömür kullanılmaktadır. Dönüşüm ısı alan bir tepkime olduğundan ortam sıcaklığı kontrollü olarak yükseltilerek indirgenecek cevherin ergime ya da yumuşayarak birbirine yapışma riski ortadan kaldırılmaktadır.

Soğutucuda indirgenmiş cevherin sıcaklığı genellikle $100^{O}C$'ın altına düşürülmektedir. Yapışarak kütle haline gelmiş malzemeler soğutucuya girmeden ve soğutucudan çıkarken tıkanma ve bloklaşmanın önlenmesi için gerektiğinde kırılmaktadır. Soğutucudan çıkan sünger demir değişik açıklı eleklerde boyutlandırılmakta ve manyetik zenginleştiricilerden geçirilmektedir.

Her kömürün indirgeme işleminde kullanılabilme olanağı yoktur. İndirgeme işleminde genellikle reaktivitesi yüksek, koklaşmayan, buhar kömürleri (steam coal) kullanılmaktadır. Isıl işlem sürecinde uygun yatak ve indirgeme sıcaklığı yeterli miktarda yüksek reaktiviteli kömür kullanarak sağlanmak-tadır. Yüksek reaktiviteli kömür indirgeme bölgesindeki yatak sıcaklığını düşürürken, sistemin kapasitesini artırmaktadır. Kömürün indirgeyici olarak kullanıldığı sünger demir üretim yöntemlerinde, demir cevherinin fiziksel ve değişik sıcaklıklarda belirli dayanımı yanı sıra, iyi indirgenme özelliğine de sahip olması gerekmektedir.

Kömürün indirgeyici olarak kullanıldığı SL/RN sünger demir üretim yöntemi Şekil 4'de verilmiştir. Bu tesis fiziksel olarak klasik bir ızgara-fırın-soğutucudan oluşan demir cevheri pelet tesisine benzemektedir. Ancak döner fırın farklıdır.



Şekil 4. SL/RN sünger demir üretim akım şeması

Çizelge 4'de sistemde indirgenebilecek cevherin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. İndirgenebilecek cevherin özellikleri

Kimyasal özelliği	**Değerleri**
Fe tenörü	%66 min
$SiO_2 + Al_2O_3$	%2-3, max 3.5
S	%0.01 max
P	%0.06 max
CaO + MgO	0.5-1.0
Fiziksel özelliği	**Değerleri**
Boyut, (pelet için)	5 -20 mm
Boyut (parça için)	10- 40 mm
Dağılma indeksi	+ 95 %
Tambur testi	+ 93 % min
Aşınma indeksi	+ 5 % max

İndirgenebilme indeksi	+ 94 % min
Isısal dağılma indeksi	5% max
Pelet basma dayanımı	250 kg/pelet min.

İndirgemede kullanılacak kömür külünün ergime noktasının düşük olması istenmemektedir. Külün fırın içinde eriyerek ısıl işlem sürecinde sorun çıkarma riski yanı sıra, silisli külün demir oksitlerle tepkimeye girerek düşük ergime sıcaklığına sahip demir silikatları oluşturma riski de vardır. Bu nedenle kullanılacak kömürün iyi seçilmesi gerekmektedir.

Isıl işlem sürecinde kullanılabilecek kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. İndirgeyici olarak kullanılan kömür özellikleri

Özelliği	**Değerleri (Kuru)**
Sabit C	% 42.5 min
Toplam karbon	% 27-30
Kül	% 25 max
Külün yumuşama noktası	1250°C
VM	%25 - 35
S	%1.0 max
Nem	% 8.0 max
Reaktivite	1.75 cc CO/gmC/sn
Kek indeksi (FSI)	3 max
Boyut	0-20 mm
Kalorisi(alt ısıl değ.)	5200 kCal/kg min.

Çizelge 6'da indirgeme sonrası üretilen sünger demirin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 6. Sünger demir özellikleri [11]

Özelliği	**Değeri**
Fe_{TOPLAM}	% 92,5
Fe_{METAL}	% 87,9
Metalleşme	% 95
Karbon	% 1,54
S	% 0.015
P	% 0.03
Atık (Gang)	% 4,7
Yığın yoğunluğu (t/m3)	1,8

Fırının üzerinden çıkan gazın yaklaşık 1/3'ü indirgeyici gaz sistemi için gerekli ısının önemli bir kısmını sağlamaktadır. Bu ısı, sisteme verilen hava ve indirgeyici gazın ön ısıtılmasında kullanılarak sistemde önemli bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Soğutma bölgesindeki gaz akışı da alttan üste doğrudur. Soğutmada kullanılan gaz toz toplama ve soğutma kulelerine alınmaktadır. Tozundan arıtılıp soğutulan gaz tekrar kullanılmak üzere soğutucuya gönderilmektedir.

Fırının içi refrakter tuğla ile örülmüştür. İndirgenecek malzeme üstten beslenmektedir. Besleme sistemi sızdırmaz özelliğe sahiptir. Sızdırmazlık sayesinde fırın içinde yaklaşık 1.5 barlık bir iç basınç korunmaktadır. Kurutma, ön ısıtma, indirgeme bölgesinden sonra soğutma ve boşaltma bunkerleri gelmektedir.

Boşaltma bunkerleri de sızdırmaz olarak yapılmıştır. Boşaltma sistemine N_2 gazı verilerek ilave sızdırmazlık sağlanıp indirgeme gazlarının fırından kaçışı engellenmektedir.

Soğutucudan çıkan malzeme elenerek tozlarından arındırılmaktadır. İndirgenmiş sıcak cevherin hava ile temas ettiğinde oksitlenmemesi için malzeme fırından atmosfer ortamına çıkmadan önce iyi soğutulmuş olması gerekmemektedir.

Midrex yönteminde fırın çıkışına, üretilen sünger demirin kullanım amacına uygun bir tesis seçilerek ilave edilmekte, çelik üretimine doğru süreç sürdürülmektedir.

DRI yatırım maliyetleri, gaza dayalı sistemlerde $2.5*10^6$ ton kapasiteli DRI tesisinin $550*10^6$ USD aralığında kurulabileceği, Kömüre dayalı sistemlerin Hintli teknolojilerde döner fırın teknolojisinin 100 ton/gün kapasiteli fırınları $12\text{-}15*10^6$ USD'a kurdukları, en fazla kurulabilen 500 ton/gün kapasiteli fırınların ise $50\text{-}60*10^6$ USD aralığında kurulabildiği görülmüştür. Bu yatırımlara, baca gazının değerlendirilmesi için kurulacak elektrik üretim tesisleri dahil değildir.

4. SONUÇ

Dünyada bir taraftan cevher verilip diğer taraftan, pelet, sünger demir, sıvı çelik üretilen uygun kapasiteli entegre tesisler kurulmaktadır[7,8,9]. Ülkemizde demir cevheri kaynakları sınırlı olsa da, artan çelik üretim kapasitesi nedeniyle bu tür yatırımlar her zaman gündemde olacaktır. Düşük tenörlü cevherlerimizin zenginleştirilerek bu tür projelerde kullanılması için gerekli çalışmaların ivedilikle yapılması, sektörün geleceğine önemli katkı sağlayacaktır. Temennimiz, yakın gelecekte ülkemizde bu rezervlerden üretilen cevherlerin uygun tesislerde işlenerek ülkemiz gereksinimlerinin karşılanmasıdır.

KAYNAKLAR

[1] II.World DRI&Pellet Congress 2014 Abu Dhabi.
[2] World Direct Reduction statistics, http://www.midrex.com/assets/ user/news/ MIDREX, pdf, 2013.
[3] Yıldız, Necati, "Demir Cevheri Üretimi, 2010,ISBN 978-975-96779-3-0,
[4] Overview of market for DRI, A.Sawada, T.Miyamoto, International Operations Dep. Iron Unit Dev.
[5] FASTMELT® is a direct reduction process using rotary hearth furnace (RHF). Kobe Steel, Ltd.
[6] FASTMELT Direct Reduction Process,Contribution to Environmental Protection through Products, Technologies and Services Environmental Management Environmental Sustainability Report 2005.
[7] ITmk3 Technology: An overview in the Indian perspective, A C R Das, *Industrial Adviser, Ministry of Steel, Government of India, New Delhi, E-mail: iasteel@nic.in
[8] SL/RN Rotary Kiln Direct Reduction, May 2010, Outotec GmbH, Ludwig-Erhard-Str. 21 61440 Oberursel Germany
[9] Midrex Direct Reduction Corporation, The Final Steps in Waste Reclamation, Fast Melt Fast Iron, , Catalog.
[10] HYL Technology Division, HYL III, Status and Treds, Raul Quintero, Hylsa SA, 1995, presented at the Gorham/ Intertech Conference on Iron and Steel Scrap, Atlanta, Georgia.
[11] Utilization of sponge iron in EAF, N.D. Takla, AISU 2nd EAF Symposium in Syria, Oct.1998

Krom Cevherinin Yıkanma Sürecinde Oluşan Atık Malzemenin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ve Maden Alanlarının Rehabilitasyon Sürecinde Kullanım Potansiyelleri

Investigation of Some Physical and Chemical Properties of Waste Material in the Mineral Processing of Chrome Ore and Potentials Uses Rehabilitation Processes of Mining Areas

T. Dindaroğlu
Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

S. Ata
Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü 25200, Erzurum

R. Kaya
ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara

ÖZET Türkiye yer altı doğal kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan birisi de Krom cevheridir. Krom cevheri yatakları yer altında yoğun bir şekilde bir arada ya da dağınık olarak bulunabilmektedir. Bu nedenle krom cevheri özellikle bazı bölgelerde alt toprak horizonları ile beraber çıkarılarak yıkama tesislerine nakledilmektedir. Bu araştırmada Erzurum-Kop dağından çıkarılan krom cevherinin yıkanması sürecinde ortaya çıkan atık materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılarak bu materyalin maden alanlarının rehabilitasyon sürecinde kullanılma potansiyellerinin irdelenmesi amacıyla yürütülmüştür.

Toplama sahasında depolanan atık malzemeden rastgele olarak alınan örnekler üzerinde; tekstür, toprak reaksiyonu, elektriksel iletkenlik, organik madde içeriği, kireç içeriği, katyon değişim kapasitesi, fosfor, makro ve mikro element analizleri yapılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre atık toprak kum tekstüründe, kuvvetli bazik karakterde (pH: 9,58), kireç içeriği % 0-1 arasında, organik madde içeriği % 0.001 ve ortalama fosfor içeriği 0,2 ppm olarak belirlenmiştir. Toplam makro ve mikro elementler ve ağır metaller ise büyük oranda yıkanmış ve eser miktarda kalmıştır.

Bu sonuçlara bakıldığında krom cevherinin yıkanması sürecinde meydana gelen atık malzeme fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından oldukça elverişsizdir. Atık materyal özellikle humik madde içeriği yüksek Leonardit, Gidya ve arıtma çamuru vb. organik madde düzenleyicilerle karıştırılarak fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileştirildikten sonra terk edilen maden ocaklarının rehabilitasyonunda tekrar kullanılabilir. Böylece bu atıkların depolama sorunları ortadan kaldırılarak maden alanlarını rehabilite edecek toprak ihtiyacı da karşılanabilir.

Anahtar Kelimeler: Krom, cevher, toprak, atık, rehabilitasyon

ABSTRACT Turkey is a rich country in order to underground natural resources. One of this resource is chrome ore. Chrome ore resources could be found as combination of intensive or dispersed underground. Therefore, chrome ore being extracted with particularly with mineral soil material in some areas and transferred to the mineral processing. This study was carried out in Erzurum Kop Mountain investigated material of the waste soil occurring in the process of washing extracted chrome ore, in order to physical and chemical properties and determine the usage especially rehabilitation of mining areas. Soil samples taken randomly from waste material collection site some physical and chemical analyses analysis were performed such as;

texture, pH, EC, organic matter content, lime content, cation exchange capacity, phosphorus, macro and micro element contents. According to the results, the waste material has sand soil texture, strong basic character (pH: 9.58). Lime contents changed between 0-1%, and organic matter content and average of phosphorus was determined respectively as % 0.001 and 0.2 ppm. The macro and micro elements washed and remained in trace amounts. According to the results, the soil waste materials in washing process of chrome ore is seen to be highly unproductive in terms of physical and chemical properties. This material should improved physical and chemical properties mixed high content of organic matter especially humic substances like as leonardite gidya and sewage sludge to be used again in the rehabilitation process after abandonment of mines. Thus, eliminate the cost issue and storage area of these waste soil materials will be fulfilled necessary soil to rehabilitate the mine area.

Keywords: Chrome, ore, soil, waste, rehabilitation

1. GİRİŞ

Doğal kaynaklar ülkelerin kalkınmalarında çok önemli role sahiptirler. Günümüzde ülkemiz madenciliği rezerv büyüklüğü ve işletmecilik problemleri nedeniyle özellikle üretim, verimlilik ve teknolojik açılardan dünya ile rekabet etme düzeyine ulaşamamıştır. Ancak bu kaynaklardan sürdürülebilir olmayan faydalanma süreçleri beraberinde farklı çevre (hava, toprak, su, vejetasyon, gürültü ve görüntü vb.) problemlerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle açık işletme madenciliğinde bu sorunlar daha da ön plana çıkmaktadır. Özellikle orman alanlarında bulanan yer altı doğal kaynakların çıkarılması esnasında ve sonrasında ekolojik dengeyi korumak ve olumsuz çevresel etkileri minimize etmek amacıyla "Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği" ve "Maden Sahaları Rehabilitasyon Eylem Planı" yürürlüğe konulmuştur (ÇOB, 2010; OSİB, 2014).

Dünyada maden alanların rehabilitasyonu kapsamında özellikle büyük maden rezervlerinin bulunduğu alanlarda değişen yeryüzü topoğrafyasında rekreasyonel görselliği sağlanmanın yanında, bu alanlar farklı amaçlar için yeniden tasarlanarak düşük maliyetlerle yeni kullanım alanlarına dönüştürülmüşlerdir. Örnek olarak Kansas yer altı tuz müzesi film stüdyosu (Hollywood) olarak kullanılmaktadır. Geri dönüştürülen maden alanları tarım, bahçe, mera, orman, mesire alanı, eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, müzeler, balıkçılık, gölet, konut, yol, yaban hayatı koruma alanları vb. amaçlar için kullanılabilir (Dingethal vd. 1985, Köse vd. 1993).

Sürdürülebilir kalkınma kapsamında çevre koruma faktöründe, doğal kaynakların yönetimi, biyolojik çeşitliliği koruma, iklim değişikliğini önleme ve çevre yönetimini kapsamaktadır (Ersoy, 2009; Düzgün, 2009). Maden sahalarında hazırlık, çıkarma ve sonraki aşamalarda rehabilitasyonun planlaması ancak ekonomik, sosyal ve çevre koruma faktörlerinin dikkate alınmasıyla sürdürülebilir olabilir (Düzgün, 2010).

Maden sahalarının rehabilitasyonu kapsamında teras ve şev düzenleme, çukur ve kanal açımı, organik içerikli toprak taşınması, serilmesi ve sahaya uygun ağaçlandırma çalışmaları genel maliyet kalemlerini oluşturmaktadır (Kun, 2011). Genelde maden sahaları için gerekli olan organik içerikli topraklar çevreden taşınmak suretiyle temin edilmeye çalışılmaktadır. Bu durum, toprak transferinin yapıldığı alanlarda başka ekolojik sorunlarında kaynağını oluşturmaktadır.

Maden sahasının rehabilitasyonu için başka yerden toprak taşıma yerine proses atıklarının kullanılması hem daha ekonomik hem de çevreye daha az zarar verecek bir yol olacaktır.

Bu araştırma, Erzurum – Kop dağından çıkarılan krom cevherinin yıkama sonrasındaki meydana gelen atıklardaki toprak materyalinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ve maden sahasının

rehabilitasyonuna uygun olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla yürütülmüştür.

2. MATERYAL VE METOD

Araştırma alanında aynı cevher yıkama sürecinden geçen ve homojen olarak depolanan atık topraklardan 10 adet örnek alınarak laboratuvarda bazı fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Atık numuneleri analizler öncesi rutin hazırlık işlemlerinden geçirilerek, toprak tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1962), toprak reaksiyonu 1:2,5'luk toprak-su süspansiyonunda potansiyometrik olarak "Cam Elektrotlu'' pH metre ile (McLean, 1982), organik madde içeriği Smith Weldon yöntemiyle (Nelson ve Sommer, 1982), katyon değişim kapasitesi sodyum asetat – amonyum asetat muamelesi ile (Rhoades, 1982), P; Olsen (Sauchelli 1965), toplam makro ve mikro besin elementleri ile bazı ağır metaller; Al, Cd, Fe, Cu, Ni, Pb, Zn ve Mn; Epa 200.7 (USEPA-ICP, 1982) yöntemiyle belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Açık işletmelerden cevherle beraber kazılarak çıkarılan toprakların yıkama sürecine girmeden önce bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Kum oranı; % 27,55-45,08 silt oranı; % 21,16-30,28 ve kil oranı % 31,45-54,88 arasında değişmekte olup ağır bünyeli yapıdadır. Organik madde içeriği; 1,98-2,14 ve pH; 7,8-7,95 arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Yıkama öncesinde ki toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tane büyüklük dağılımı (%)			
Kil	**Silt**	**Kum**	**Tekstür Sınıfı**
31,45-54,88	21,16- 30,28	27,55-45,08	Killi Balçık

pH	**OM** (%)
7,8-7,95	1,98-2,14

Yıkama sonrasında elde edilen atık materyal üzerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise atık materyalin kil oranı % 5,22- 7,85, silt oranı; % 7,54- 8,74, kum oranı; % 86,04- 84,61 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 2). Yıkama süreci sonunda kil ve silt yıkanarak kum oranı yüksek kaba bünyeli toprak tekstürü hakim duruma gelmiştir. Atık materyal kum tekstür sınıfında ve çok şiddetli alkali toprak reaksiyonuna sahiptir (9,01-9,53). Atık materyal bitki yetiştiriciliği için uygun pH seviyesine sahip değildir. Organik madde (% 0,001), kireç (% 1,2-1,93) ve fosfor (0,1-0,2 ppm) şiddetli yıkanma süreci sonunda eser miktarda kalmıştır. Katyon değişim kapasitesi ise 2,2- 4,2 (me/100gr) arasında değişmektedir. Katyonlar da yıkanma sürecinde suya karışarak topraktan uzaklaşmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 2. Tane büyüklük dağılımı

Tane büyüklük dağılımı (%)			
Kil	**Silt**	**Kum**	**Tekstür Sınıfı**
5,22 - 7,85	7,54 – 8,74	86,04 – 84,61	Kum

Çizelge 3. Toprakların Kimyasal özellikleri

pH	**OM** (%)
9,01 – 9,53	0,001

Kireç (%)	**Fosfor** (ppm)	**KDK** (me/100gr)
1,2 – 1,93	0,1 – 0,2	2,2 – 4,2

Atık materyaller üzerinde yapılan analizler sonucunda toplam makro ve mikro besin elementleri ile bazı ağır metal (Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Ni ve Al) içeriklerinin eser miktarda olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Toprakların makro, mikro element ve ağır metal içerikleri

Ca (mg/kg)	**Mg** (mg/kg)	**K** (mg/kg)
4,20 – 7,912	0,16 – 0,34	0,04 – 4,91

Fe (mg/kg)	**Mn** (mg/kg)	**Zn** (mg/kg)	**Cu** (mg/kg)
0,002 – 0,011	0,001 – 0,002	0,07 – 0,19	0,056 – 0,012

Ni (mg/kg)	**Pb** (mg/kg)	**Al** (mg/kg)	**Cd** (mg/kg)
0,003 – 0,008	0,007 – 0,013	0,002 – 0,006	0,001 – 0,003

Araştırma bulguları şiddetle yıkanan toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tamamen bozulduğunu göstermektedir. Maden alanında çıkartılan toprağın tekrar aynı alanda rehabilitasyon çalışmalarında kullanılabilmesi için fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ıslah edilmesi gerekmektedir. Bunun için organik madde düzenleyiciler kullanılabilir.

Dindaroğlu vd, (2014) kumlu ve killi topraklarda yaptıkları sera denemelerinde leonardit, gidya ve prina gibi çeşitli organik düzenleyicileri toprakların mekanik özelliklerinin ıslah edilmesinde 4 farklı dozda (% 0, 2, 4 ve 6) kullanmışlardır. Araştırma sonucunda plastikliğin oluşmasında killerin yanında farklı humik madde konsantrasyonlarına sahip organik madde düzenleyicilerinin özellikle %6 doz uygulaması ile Plastik Limit (PL) ve Likit Limit (LL) özelliklerinin olumlu yönde gelişmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. "*Genel olarak organik materyal ilavesi ile topraklarda COLE değerleri düşmüş, LL ve PL değerleri ise artış göstermiştir. Toprak özelliklerinde meydana gelen değişimler, uygulama dozu ve düzenleyici çeşidinden etkilenmiştir. Toprakların belirlenen özellikleri üzerine düzenleyicilerin etkinliklerinin farklı olması, kullanılan organik materyallerin humik madde içeriğindeki farklılığa atfedilebilir."* (Dindaroğlu vd, 2014)

Toprakların organik maddelerden yoksun olmaları bitki besin elementi rezervleri bakımından noksanlığa neden olmaktadır. Bitki köklerinin var olan besin elementlerini kolayca absorbe edebilmesi ve besin elementlerinin yarayışlılığının artırılmasını sağlayan nedenlerden birisi de humik maddelerin (humik asit ve fulvik asitler) varlığıdır (Padem ve Öcal, 1999; Yıldız vd, 2010).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kromun yıkama süreci sonunda ortaya çıkan atık materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli bozulmalar meydana gelmiştir. Kaba bünyeli duruma gelen toprak aynı zamanda kuvvetli bazik karaktere sahip olmuştur. Yıkanma sürecinde organik madde ile beraber aynı zamanda makro ve mikro elementlerde ortamdan uzaklaşmış ve bunun sonucunda KDK düşmüştür.

Atık toprak materyalleri rehabilitasyon çalışmalarında kullanılacaksa olumsuz toprak özelliklerinin ıslah edilmesi gerekmektedir. Öncelikle bu toprakların hava ve su ekonomisi düzeltilmeli ve organik madde içeriği artırılmalıdır. Strüktürel yapısı düzeltilmedir. Bunun için leonardit, gidya ve arıtma çamuru vb. doğal organik madde düzenleyiciler kullanılabilir. Bu materyaller özellikle kum içeriği yüksek toprakların mekanik özellikleri, organik madde içeriği, katyon adsorpsiyonu, makro ve mikro besin element içeriklerini olumlu yönde artırmaktadır.

Yer altı doğal kaynaklarımızdan faydalanma süreci, özellikle çıkarma aşamasından başlamak üzere diğer bütün süreçler ekolojik denge gözetilerek planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agron J 54:464

ÇOB, 2010. Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. http://www.aralca.com.tr/faydalibilgiler/dykp-hazirlanmasi-aciklama.pdf Erişim tarihi: 25.12.2014

Dindaroğlu, T., Yakupoğlu, T., Keleşoğlu, S., Bolat, Ö., 2014. Farklı Konsantrasyonlarda Humik Madde İçeren Organik Madde Kaynaklarının Toprakların Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine

Etkisi. II. Uluslararası Katılımlı Humik Madde Kongresi, 26-28 Ekim 2014, Kahramanmaraş, 56

Dingethal, F. J., Jürging, P., Kaule, G. ve Weinzerl, W., 1985. Kiesgrube und Landschaft, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, s.116-143

Düzgün H.Ş., 2009. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:157, Ankara, s.1-16

Düzgün H.Ş., 2010. Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri (Bölüm 1), Madencilik-Türkiye, Yıl:2, Sayı:11, s.38-43

Ersoy, M., 2009. Sürdürülebilir Kalkınmada Avrupa Birliği ve Türkiye Kömür Madenciliği, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:157, Ankara, s.27-35

Köse, H., Şimşir, F. ve Günay, A., 1993. Açık Maden İşletmelerinde Rekültivasyon ve Regreasyon, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:236, İzmir, 52 s.

Kun, M., 2011. Rekültivasyon Maliyetlerinin Örnek Bir Kalker Ocağında Araştırılması, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, ISBN:978-605-01-0113-3, İzmir, s.113-120

Mclean, E. O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronamy. No: 9 Part 2 . Edition P: 199-224

Nelson, D. W., ve Sommers L. E., 1982. Organic Matter. Methods of Soil Analysis Part2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronamy. No: 9 Part 2 . Edition P: 574579.

OSİB, 2014. Maden Sahaları Rehabilitasnu Eylem Planı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/000/Maden%20Sahalar%C4%B1%20Rehabilitasyon%20Eylem%20Plan%C4%B1%20-%2010.04.2014%20-.pdf Erişim Tarihi: 21.12.2014

Padem, H. ve Öcal , A., 1999. Effect of hümik acid appications on yield and soma characteristics of processing tomato. Acta Horticulturae, 487, 159-163.

Rhoades, J.D., 1982. Cation Exchange Capacity . Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. Agronamy. No: 9 Part 2 . Edition P: 149-157.

Sauchelli, V., 1965. Phasphates in Agriculture. Reinhold Publisning Corp. New York, Chapman and Hall, ltd., London.

USEPA-ICP, 1982. Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples, Supplement 1 (EPA/600/R-94/111). USEPA-ICP Users Group (Edited by T.D. Martin and J.F. Kopp) - Method 200.7, Revision 1.0

Yıldız, O., Esen D., Sarginci, M., Toprak, B., 2010. Effects of forest fire on soil nutrients in Turkish pine (Pinus brutia, Ten) Ecosystems. Journal of Environmental Biology, 31, 11-13

Altın Madeni Değirmeninde Kullanılan, Mangan Kaplama Malzemeleri Kullanımından Kauçuk Astar-Lifterbar Kullanımına Geçişinin İşletmecilik Ve Ekonomik Açıdan İrdelenmesi

Operational and Economic Investigation of Replacement Steel Lining with Rubber Lining in a Grinding Mill in Gold Mine

G. Yargül, O. Oktay, A. Besnili, K. Kolbakır
FKK Güney Oto Lastik Takoz San. Tic. A.Ş., Samsun

ÖZET Bir altın tesisinde (Bulgaristan) bulunan yarı-otojen değirmen, yeniden tasarlanarak Mn-çelik kaplama malzemeleri, kauçuk astar-lifterbarlara dönüştürülmüştür. Mn-çelik ve kauçuk kaplamaların maliyet analizi, kullanılan malzeme türü, bilya ve enerji maliyetleri ile kaplama süreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan maliyet analizi, kauçuk kaplamanın Mn-çelik kaplamaya göre, kaplama kolaylığından dolayı ve kauçuk malzemenin hafif olması yönüyle avantajlı olduğu göstermiştir. Kauçuk kaplamanın enerji maliyetinin düşük olması kauçuk malzemesinin Mn-çeliğe göre daha hafif olması ile ilişkilidir. Kauçuk kaplamanın daha hafif olmasının diğer bir avantajı da montaj/demontaj işlemlerinin daha kolay ve pratik olması, ayrıca bakım için daha az çalışana ihtiyaç duyulmasıdır. Kauçuk kaplamada daha az bilya aşınması gerçekleşmesine bağlı olarak daha düşük bilya maliyeti sağlanmıştır. Kauçuk kaplamanın düşük yatırım ve işletme maliyetinin yanı sıra Mn-çeliğe göre daha düşük gürültü seviyeleri sağlaması da önemli bir avantajdır.

Anahtar Kelimeler: Altın madeni, değirmen, mangan kaplama, kauçuk astar-lifterbar

ABSTRACT A semi-autogenous mill, SAG, operating in a gold plant (Bulgaria) was re-designed by replacing Mn-steel liners with rubber liner and lifterbars. The cost analysis of Mn-steel and rubber lining was performed and evaluated by considering the costs of material type, grinding ball and energy. The cost analysis shows that rubber lining compared to Mn-steel lining are more advantageous because of it's light weight and easy installation. The low energy cost for rubber lining is ascribed to the lower density of rubber from Mn-steel. Another advantage of low-density feature of rubber is that it allows easier and more practical assembly/disassembly work and in addition less technical staff required for maintenance. In the case of rubber lining, related with the lower ball abrasion rates, accordingly lower grinding ball costs were provided. Besides the low investment and operating costs of rubber lining, it also provides a lower noise level which is an important advantage.

Keywords: Gold mine, mill, steel lining, rubber lining

1 GİRİŞ

1.1 Değirmenlerde Kaplama Malzemesinin Seçimi

Cevherin üretiminden öğütme sürecine kadar birçok proseste kauçuk yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1). Yaptığımız araştırmalara göre değirmenlerde kullanılan mangan-çelik kaplamalar yerine kauçuk astar ve lifterbarların kullanımı halen tam olarak yaygınlaşmamıştır.

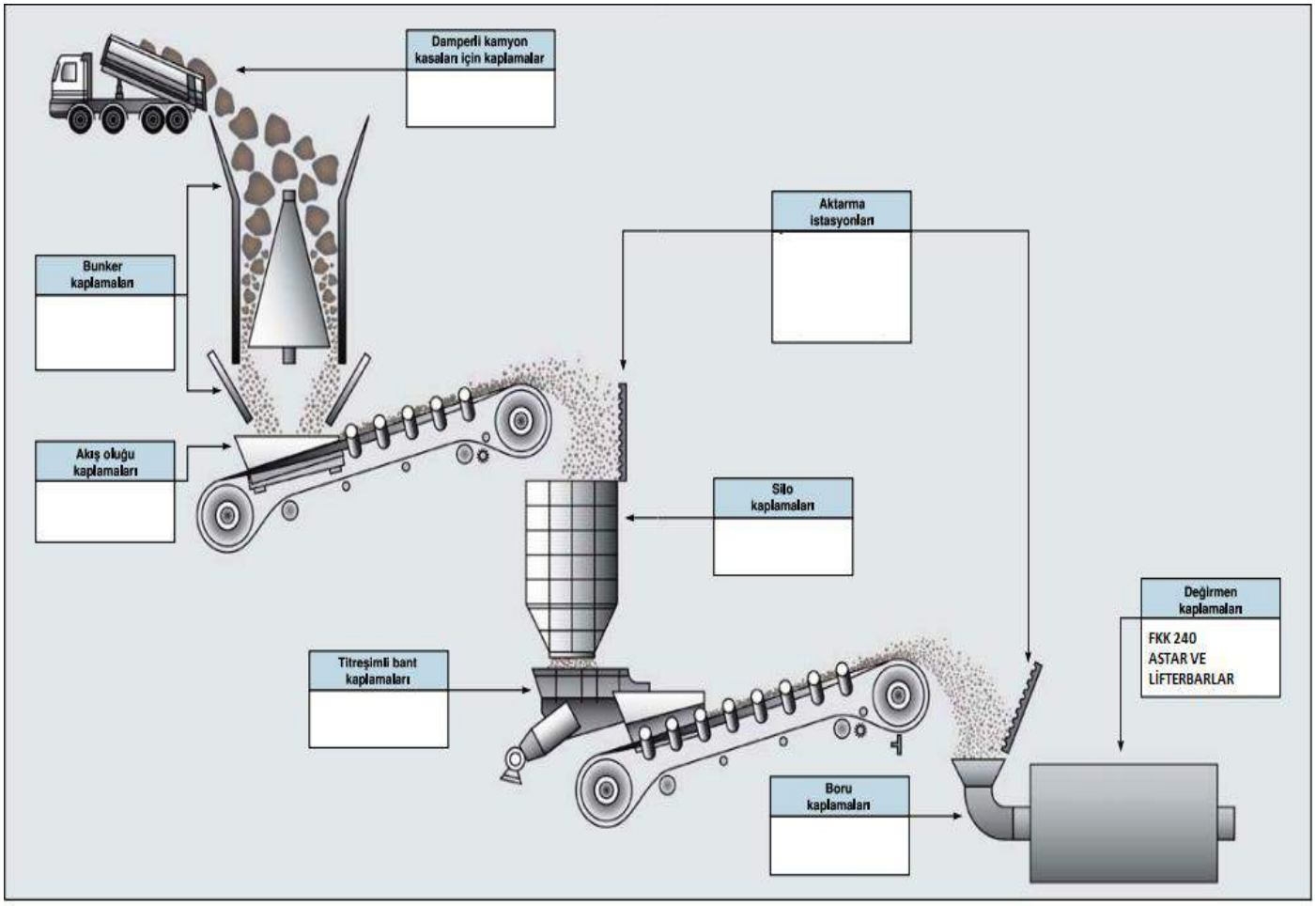
Cevher kuru ya da yaş halde olsun, yüzlerce ton kömür, demir, bakır, altın vb. cevheri temas ettiği yüzeylerde sürtünme

miktarları çok fazladır ve yüksek miktarda aşınmaya sebep olmaktadır. Ekipman maliyetlerinin dikkate alınması ve kontrolünde uygun malzeme seçimi büyük bir önem arz etmektedir.

Paslanmaz çelik-mangan alaşımı gibi daha sert olan malzemeler yerine kauçuk malzemelerin kullanımının daha dayanıklı olması şaşırtıcı olsa da ömür bakımından değirmenlerde kullanılan kauçuk astar ve lifterbarlar, bu tip çeliklerden 3 kat daha dayanıklıdır. Bununla birlikte hem daha ucuzdur hem de değirmeni yeniden kaplamada birçok kolaylık sağlar.

1.1.1 Metal ve kauçuk astarların karşılaştırılması

Kauçuğun değirmenlerde astar olarak kullanılmasına ilk defa 1921 yılında başlanmış ancak kauçuk astarlar 1950'lerde, iyi sonuçlar alınmaya başlanmıştır. 1960 larda kauçuk, ızgaralı besleyicilerde ve otojen değirmenlerde kullanıyor ve bir zamanlar manganlı çelik, krom-molibden çeliği ve Ni-Hard çeliğinin büyük oranda kullanıldığı alanlarda kendisine bir yer açmış bulunuyordu. Günümüzde ise kauçuk astar ve lifterbarlar otojen/yarı-otojen, çubuklu ve bilyalı her tip değirmende cevherlerin öğütülmesine kullanılmaktadır.



Şekil 1. Cevher hazırlama proseslerinde kauçuğun kullanım alanları.

1.1.2 Kauçuğun kullanım avantajları

Kauçuğun niteliklerinin kısaca gözden geçirilmesi, onun bu kadar çeşitli alanlarda kullanılmasının nedenlerini açıkça ortaya koyacaktır. Kauçuk, cevher hazırlamada kullanılan kimyasal maddelerin çoğuna karşı dayanıklıdır. (Madeni yağlar hariç; bu yağların yoğunluğu ton başına 1,5 kg'ı geçmemelidir). Manganlı çeliklerin yoğunluğu 7,86 gr/cm^3 ve kauçuğun yoğunluğu ise 1,16 gr/cm^3 dür. Kauçuk manganlı çeliğe göre 7 kat daha hafiftir.

Paslanmadığı gibi işlenmesi de çok kolaydır; bu nedenle kauçuk ürünlerinin birçoğuna bıçakla şekil vermek olasıdır. Uygulanan kuvvet elastik sınırlarının ötesinde bir deformasyona yol açmadığı

sürece kauçuğun düşey darbelere karşı direnci hemen hemen sonsuzdur. Düşük sıcaklıkların kauçuğa pratik olarak herhangi bir etkisi olmamasına karşılık kauçuk bileşikleri bu sıcaklıklarda sertleşme eğilimi gösterirler.

Kauçuğun aşınmaya gösterdiği direnç diğer aşınma malzemelerinde olduğu gibi sertlikte ilgili değildir. Aksine kauçuk elastik bir deformasyona uğrar ve yüzeyine çarpan tanelerin enerjisini yine elastik olarak absorbe eder. Halbuki bu durumda çelik plastik bir deformasyona uğrar ve aşınır. Çarpan tanelerin yüzeyle aralarındaki açı dik olduğunda, özellikle tanelerin hızı 6 m/san. altında ise (düşme yüksekliği 2,75-3,60 m. den az), çarpma ile kauçuğun aşınma miktarı minimumdur. Malzemenin hızı, kauçuğun karşı koyabileceği kritik hızdan fazla olduğu takdirde, çarpma enerjisini absorbe edebilmek için yeterli zaman yoktur. Bu durumda, ortaya çıkan ani yüzey gerilimi kritik değeri aşar, kauçuğun yanlara doğru "akması" olanağı ortadan kalkar ve kauçuk kesilir.

Birçok uygulamalarda aşınma; darbe ve makaslama kuvvetlerinden oluşan karmaşık bir işlem olarak ortaya çıkar. Tane büyüklüğü ve hızın birincil bir fonksiyonu olan kauçuğun aşınma derecesi bu durumda özellikle çarpma açısına bağlı olarak değişir. Aşınmanın büyük bir kısmına makaslama kuvvetinin çarpma yüzeyine paralel vektörü neden olur. Bu özellikle 30°'den küçük çarpma açıları için geçerlidir.

Kauçuğun aşınmasında rol oynayan mekanizmaları üç ayrı sınıfa ayırmak mümkündür: "Kayma", genellikle oluklarda, klasifikatör pabuçlarında, üçüncül öğütücülerde, bant sıyırıcılarda, spiral klasifikatörlerde ve flotasyon hücrelerinde görülür; "Çarpma", (düşen taneler) eleklerde, şutlarda, yönlendirme plakalarında ikincil öğütücülerde, besleyicilerde ve silolarda oluşur; ve "Dövme" çarpma suretiyle oluşan aşınma, kamyon kasalarında, vagonetlerde, birincil ve otojen öğütücülerde, ve yıkama eleklerinde ortaya çıkar.

Dövme mekanizmasına maruz kalacak kauçuğun kalınlığı bu işe uygun olarak seçilmemişse statik uygulamalarda kauçuk kesilecek, dinamik uygulamalarda ise uzayıp deforme olacaktır. suretiyle oluşan aşınma, kamyon kasalarında, vagonetlerde, birincil ve otojen öğütücülerde, ve yıkama eleklerinde ortaya çıkar. Dövme mekanizmasına maruz kalacak kauçuğun kalınlığı bu işe uygun olarak seçilmemişse statik uygulamalarda kauçuk kesilecek, dinamik uygulamalarda ise uzayıp deforme olacaktır.

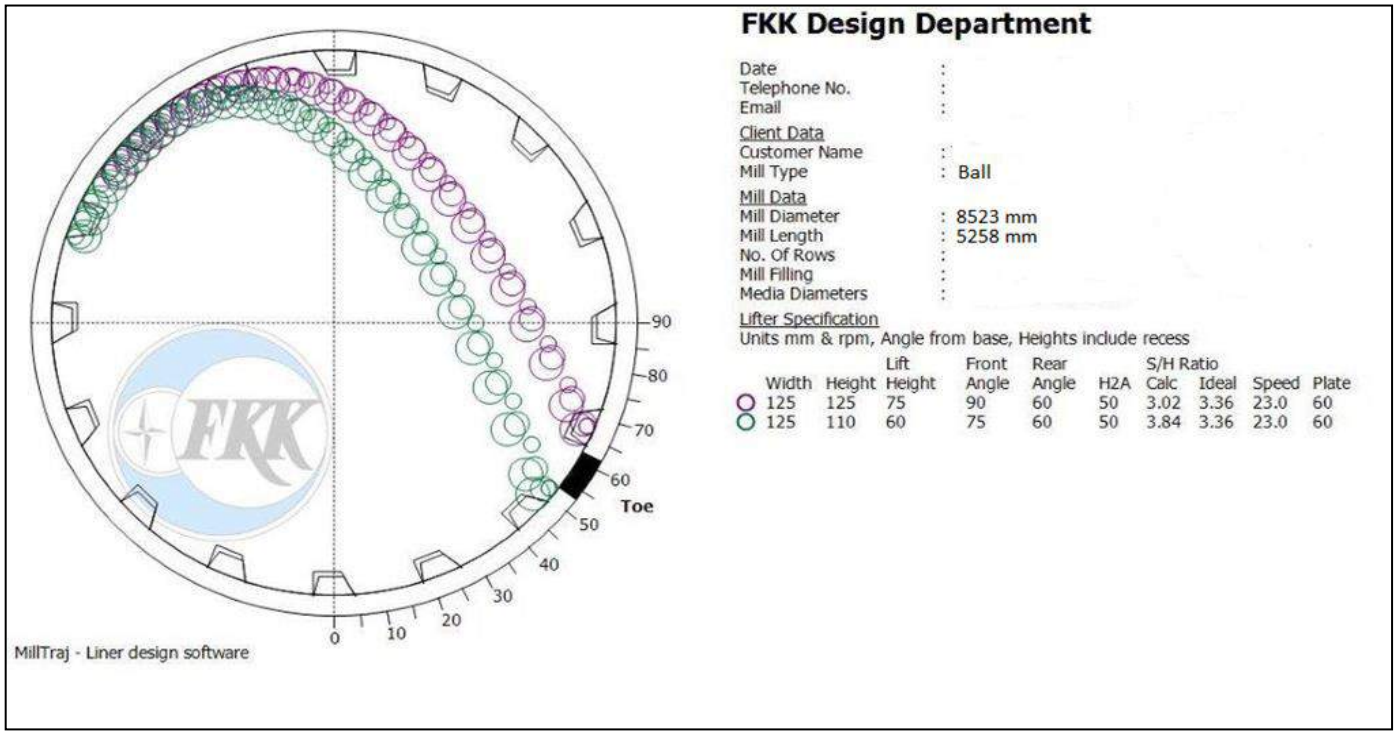
2 ALTIN MADENİNDE (BULGARİSTAN) KAUÇUK ASTAR UYGULAMASI

Bir altın tesisinin (Bulgaristan) öğütme devresinde yer alan yarı-otojen değirmenin mangan-çelik kaplamaları kauçuk astar-lifterbarlar ile değiştirilmiştir. Mangan-çelik ve kauçuk kaplamaların karşılaştırmalı maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca, bu iki kaplama sisteminin bilya maliyetlerine olan etkisi de değerlendirilmiştir. Tesiste kullanılan yarı-otojen değirmenin teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Altın madeni değirmeninin (Bulgaristan) Mn-çelik kaplamadan, kauçuk kaplamaya dönüşümünde milltraj değirmen tasarım programı ile kauçuk lifterbarların ve astarların açısal hesaplamaları yapılmıştır. Milltraj değirmen tasarım programında yapılan çalışma Şekil 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kaplama değişimi yapılan yarı-otojen değirmenin bazı özellikleri.

Değirmen Türü	Yarı Otojen
Öğütme	Birincil
Ebat	Ø8523x5258
Besleme Miktarı	250 ton/saat
İstenilen Çalışma Süresi	3.600 saat
Değirmen İçi Sıcaklık	60-70°C
Öğütme Türü	Bilya-Yaş
Cevherin mineralojik bileşimi	%30 FeS_2, %70 SiO_2
Besleme Tane Boyutu	P_{80}=150 mm
Ürün Tane Boyutu	$P_{80=}$80 µm
Önceki Kaplama Cinsi	Mangan-Çelik
Sonraki Kaplama Cinsi	Kauçuk
Kaplama Değişim Periyodu	3 kez/yıl
Mn-Çelik Kaplama Çalışma Süresi	3487 saat
Kauçuk Kaplama Çalışma Süresi	3512 saat
Mn-Çelik Yoğunluk	7,86 gr/cm^3
Kauçuk Yoğunluk	1,16 gr/cm^3
Mn-Çelik Kaplama Ağırlığı	317.754 kg
Kauçuk Kaplama Ağırlığı	96.945 kg
Kauçuk Kaplama Enerji Sarfiyatı	18 kW/ton
Mn-çelik Kaplama Enerji Sarfiyatı	20 kW/ton



Şekil 2. MillTraj-Liner Design programı ile altın madeni değirmeninde kullanılan bilyaların, lifterbar ve astar açılarının değirmen dönüş hızına etki hesaplamaları.

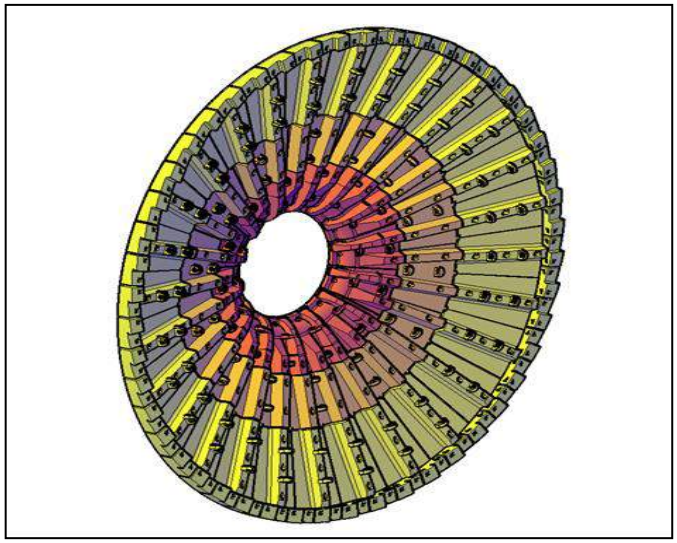
2.1 Mangan-Çelik İle Kauçuk Kaplamanın Maliyet Analizi

Bulgaristan altın maden tesisi değirmenin önceki hali mangan-çelik kaplaması Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir. Değirmenin şimdi ki hali kauçuk kaplaması da Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Mangan-çelik ve kauçuk kaplamanın maliyet analizi; kullanılan malzeme türü, bilya ve enerji maliyetleri ile kaplama süreleri göz önüne alınarak yapılmıştır.

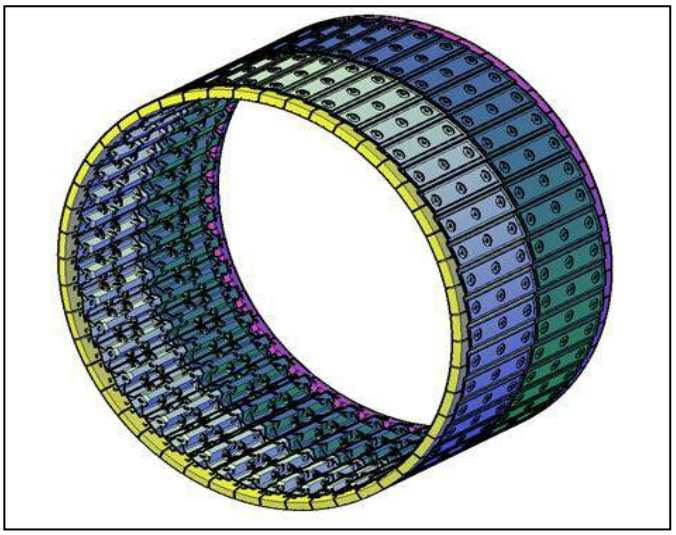
2.1.1 Yıllık kaplama maliyeti

Çizelge 1'de Mn-çelik kaplama çalışma süresi ile kauçuk kaplama çalışma süresi arasında fark belirtilmiştir. Buna göre, değirmen mangan ve kauçuk kaplı iken, periyodik olarak yılda 3 kez lifterbar ve astar değişimi yapılır.

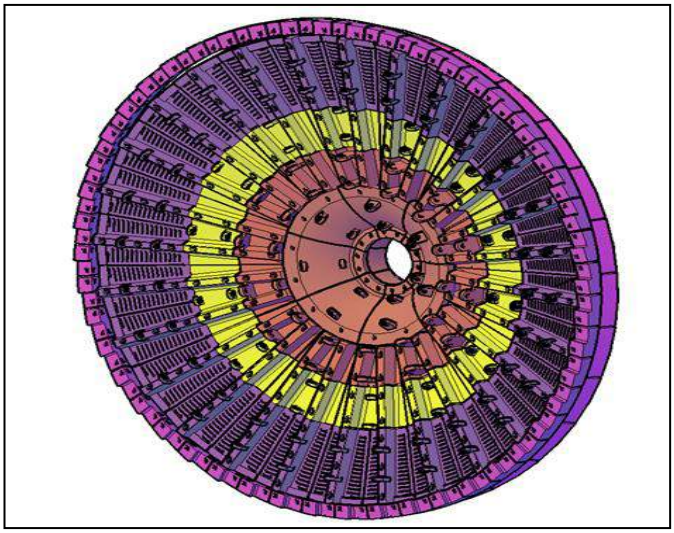
Değirmenin yıllık mangan kaplama maliyeti ise, 317.754x3=953.262 kg x1,5 Euro= 1.429.893 Euro olarak hesaplanır (1,5 Euro/Mangan kg maliyeti)



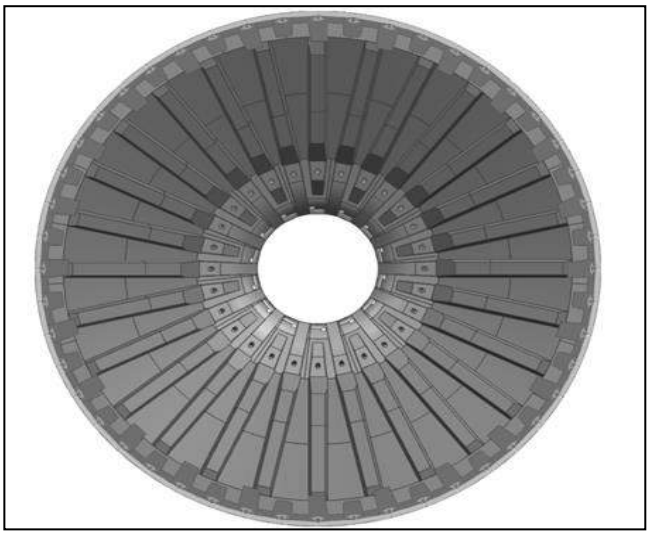
Şekil 3. Değirmenin mangan-çelik kaplı giriş ayna bölümü.



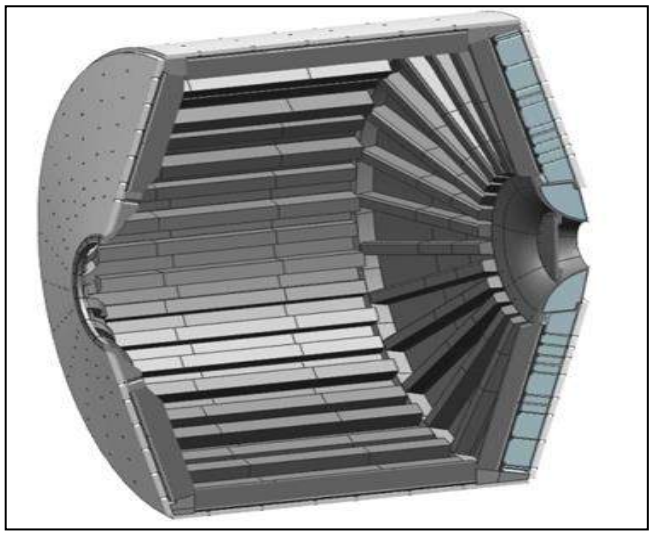
Şekil 4. Değirmenin mangan-çelik kaplı gövde bölümü.



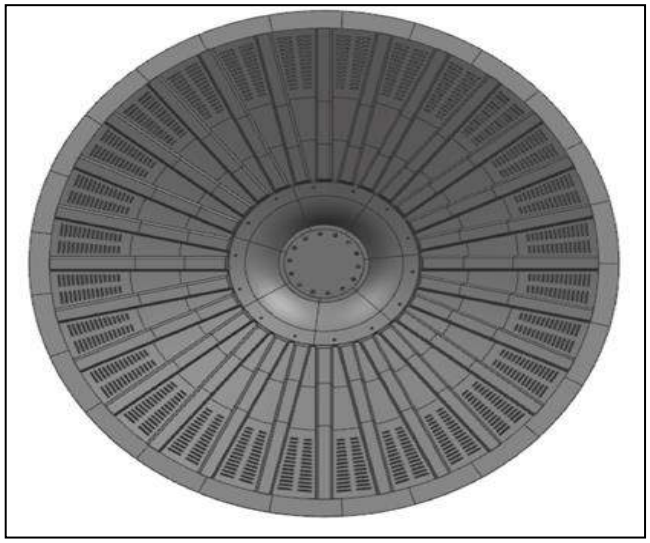
Şekil 5. Değirmenin mangan-çelik kaplı çıkış ayna bölümü.



Şekil 6. Değirmenin kauçuk kaplı giriş ayna bölümü.



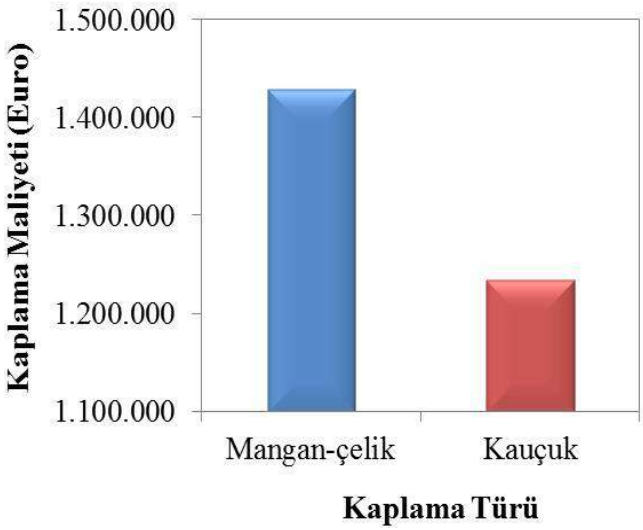
Şekil 7. Değirmenin kauçuk kaplı gövde bölümü.



Şekil 8. Değirmenin kauçuk kaplı çıkış ayna bölümü.

Değirmenin yıllık kauçuk kaplama maliyeti ise, 96.945x3=290.835 kg x 4,24 Euro= 1.233.929 Euro olarak hesaplanır (4,24 Euro/Kauçuk kg maliyeti).

Mangan ve kauçuk kaplama maliyeti arasındaki fark: 1.429.893-1.233.929= 195.964 Euro. Buna göre, değirmenin kauçuk ile kaplanmasının, mangan kaplamaya göre daha avantajlı olduğu görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Mangan-çelik ve kauçuk kaplamaların maliyet karşılaştırması.

2.1.2 Yıllık bilya kullanım maliyeti

Değirmende kullanılan yıllık bilya miktarı 2.400.000 kg'dır. Ancak, mangan kaplamalı değirmende kullanıldığında bu miktarın %5'i aşınmadan dolayı etkisini yitirmektedir.

Buna göre, basit bir hesapla, 2.400.000x0,05=120.000 kg bilyanın aşınmadan dolayı etkisini kaybettiği ortaya çıkmaktadır. Etkisini kaybeden bilya maliyeti hesaplandığında 120.000x1,5 Euro=180.000 Euro olarak bulunur (1,5 Euro/bilya kg maliyeti). Bu hesaptan kauçuk kaplamanın mangan kaplamaya göre 180.000 Euro daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

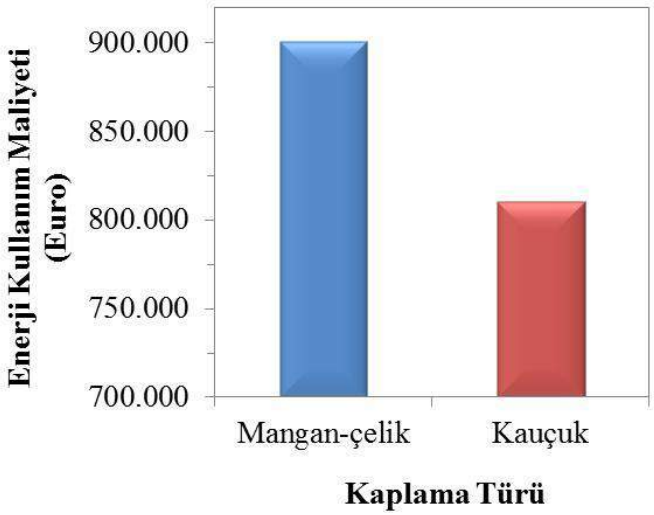
2.1.3 Yıllık enerji kullanım maliyeti

Değirmenin enerji tüketimi, mangan kaplama olduğu durumda tonda 20 kW'dır. Yıllık besleme miktarı ise 3.600x250=900.000 ton'dur.

Mangan kaplamalı değirmenin yıllık enerji tüketimi, 20kW/ton x 900.000 ton= 18.000.000 kW olarak ortaya çıkmaktadır. 18.000.000 kW x 0,05 Euro = 900.000 Euro olarak hesap edilmiştir (1 kW=0,05 Euro).

Kauçuk kaplama değirmenin de enerji tüketimi ise, 18 kW/ton x 900.000 ton= 16.200.000 kW olarak ortaya çıkmaktadır. 16.200.000 kW x 0,05 Euro = 810.000 Euro olarak hesap edilmiştir. Enerji maliyetleri

arasındaki fark 900.000-810.000= 90.000 Euro olarak bulunur. Bu sonuca göre, kauçuk kaplamanın mangan kaplamaya göre 90.000 Euro daha avantajlı olduğu görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Mangan-çelik ve kauçuk kaplamaların enerji kullanım maliyetleri.

2.1.4 Kaplama değişim süresine göre karşılaştırma

Yapılan analizde kauçuk kaplama için ayrılan kaplanma süre ile, mangan-çelik kaplama için ayrılan süre arasında 2 gün olduğu tespit edilmiştir, bu da değirmenin 2 gün daha fazla çalışması demektir. Değirmen günde 8 kg, 2 günde ise 16 kg altın öğüttüğüne göre; 16 kg x (30.404 Euro/1kg altın)= 486.464 Euro olarak hesaplanır.

3 SONUÇ

Bir altın madeninde (Bulgaristan) kullanılan yarı-otojen değirmenin mangan-çelik kaplamalarının kauçuk kaplamaya dönüştürülmesi sonucunda gürültü seviyesi azalmış, değirmen montajı erken sürede tamamlanmıştır. Kauçuk kaplamanı kullanımı bilya sarfiyatında azalma sağlamıştır. Yapılan maliyet analizi sonucunda kauçuk kaplama kullanılmasının 952.428 Euro kazanç sağladığı ortaya konmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Mangan-çelik ve kauçuk kaplamalar için maliyeti analizi.

Maliyet (€/yıl)	Kaplama Türü	
	Mn-Çelik	Kauçuk
Kaplama	1.429.893	1.233.929
Bilya	180.000	-
Enerji	900.000	810.000
Kaplama değişim süresine bağlı maliyet	90 saat kaplama süresi (2 gün fark) maliyeti 486.464	75 saat kaplama süresi
TOPLAM	2.996.357	2.043.929

KAYNAKLAR

Adams, M.D., 2005. "Advances in Gold Ore Processing", Developments in Mineral Processing 15, Elsevier.

Jonsson, J., Wear Resistant Rubber Performance in Primary Autogenous Mills, Skega AB.

Norman, L., 1985. Mineral Processing Handbook, Volume 1 , SME

Wallace, D., Wear Resistant Rubber Permormance as Truck Box Liners, A-S-H Pump (Enviretech Corp.), Paoli, Pa.

Yıldızı, E., 1993.Çakmakkaya Konsantratorundeki Değirmenlerde Kullanılan Çelik Ve Lastik Pala Malzemelerinin İşletmecilik Ve Ekonomik Açıdan İrdelenmesi *Türkiye 13.Madencilik Kongresi*,(s.589-598)

Fosfat Cevherinin Ters Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi
Beneficiation of Phosphate Ore by Reverse Flotation Method

U. Çınar, O. Güven, M. O. Kangal
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

ÖZET Bu çalışmanın amacı %28.65 P_2O_5 içeriğine sahip olan fosfat cevherinin ters flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesinde farklı parametrelerin etkisini inceleyerek optimum şartları belirlemektir.-0.212 mm boyut grubundaki numunenin suda çözünmeyen hidroksamid asit türü toplayıcı olan Aero 6493 ile ters flotasyon uygulanarak P_2O_5 içeriği ve verime bağlı olarak veriler değerlendirilmiştir. Flotasyon ile yapılan zenginleştirmede belirlenen değişkenler ise; Aero 6493 miktarının etkisi, pH'ın etkisi, ön kıvamlandırma süresinin etkisi ve son olarak da kademe sayısının etkisidir. Yapılan analizler neticesinde en iyi sonuç; pH 10 değerinde 1600 g/ton toplayıcı miktarı ile 20 dakika kıvamlandırılarak tek kademede uygulanan ters flotasyon sonucu elde edilen % 85.8 verimli % 31.20 P_2O_5 içerikli konsantre olmuştur.

Anahtar kelimeler: Ters flotasyon, fosfat, P_2O_5, Aero 6493, zenginleştirme

ABSTRACT The aim of this study is to determine the optimum conditions for enrichment of phosphate ore by reverse flotation method considering the effects of different parameters. Flotation studies were conducted using a new commercial collector namely Aero 6493 which is a derivative of hydroxamid acid. The results were examined depending on the P_2O_5 content and recovery %. The parameters determined by flotation studies are ; the effects of Aero 6493 concentration, pH value, pre-conditioning time and the number of stages. During optimization tests, other parameters were taken as constant.

Keywords: Reverse flotation, phosphate, P_2O_5, Aero 6493, beneficiation

1 GİRİŞ

Yeterli saflık ve içerikte fosfatlı minerallar içeren kayalara "fosfat" ya da "fosfat kayası-kaya fosfat" denmektedir.

Doğada fosfat mineralleri; apatit, fosforit, vivianit olmak üzere 3 ana grupta toplanmaktadır. Bu yataklarda bulunan ana mineral florapatit, hidroksi apatit, karbonapatit, trankolit ve kurskite'dir. Bunların en önemlisi ve primer fosfat minerali, "apatit"dir. Apatit, $Ca_5(PO_4)_3F$, Cl, OH, CO_3 genel formülü ile ifade edilir.

Fosfat minerallerinin özgül ağırlıkları; 2,9 ile 3,2 arasında değişmektedir. Genellikle, fosfat ile birlikte bulunan silis ve kalkerin ise; özgül ağırlıkları; 2,6-2,7"dir. Fosfat minerallerinin yan taşları arasındaki özgül ağırlık farklarının azlığı nedeniyle, gravite esaslı yöntemlerin endüstriyel alanda çok fazla kullanılmadığı görülmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar devam etmekte olup ağır sıvılar ile yapılan deneylerden olumlu sonuçlar alınmaktadır (Ginocchio, 1963).

Dünyada fosfat cevherlerinin çok büyük bir kısmı flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Fosfat mineralleri için flotasyon, ilk kez 1925 yılında Broadbridge ve Edser tarafından uygulanmış, daha sonra da Trotter ve Wilkinson tarafından geliştirilmiştir (Baron, 1961).

Yan kayacı kalker olan fosfat cevherlerinde, kalker çimento maddesi gevrek olup, kolayca ufalandığından, fosfat taşıyan nodüllerden daha fazla incelmekte ve fosfatı yüzdürüp, kalkeri bastırmayı

hedefleyen alkali ortam flotasyonunda, köpüğe intikal ederek, fosfat konsantresi tenörünü düşürmektedir. Flotasyondan önce şlam yani ince aksamın uzaklaştırılması ise, büyük ölçüde randıman kaybına yol açmaktadır (Önal, 1970).

Bu konuda İ.T.Ü. Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nde yapılan bir endüstriyel projede, + 50 mm, -50+5 mm ve -5mm boyutlarına ayrılmış %24.98 içeriğe sahip minimum %30.5 içerikli konsantre elde edilmesine yönelik çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda +5 mm boyut grubunun artık olarak atılması, -5 mm boyut grubunun ise mekanik karıştırmayı izleyen boyuta göre ayırma ile zenginleştirilmesi önerilmektedir. Bu işlem sonucunda %30.5'in üzerinde P_2O_5 içeren bir konsantre yaklaşık %57 verim ile elde edilmektedir (İTÜ Proje Raporu,2009).

Miller vd. 2002 yılında gerçekleştirdiği çalışmada; silis içerikli Florida fosfatının, suda çözünmeyen hidroksamid asit türü toplayıcı olan Aero 6493 kullanılarak tek kademede flotasyon ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmacılar özellikle yüksek pülpte katı oranında (%75) yaklaşık 4 dakika boyunca kondisyonladıkları malzemeyi flotasyon sırasında pülpte katı oranı % 20'ye düşürüldükten sonra 1200 g/ton Aero6493 ile uygulanan flotasyon işlemi sonrasında iri boyutta %32 P_2O_5, %0.28 MgO içerikli konsantre %85 verim ile elde edilmiştir. Ancak ince tane boyutlarında bu içerik %29.6'ya kadar inmiştir (Miller ve *diğ*., 2002).

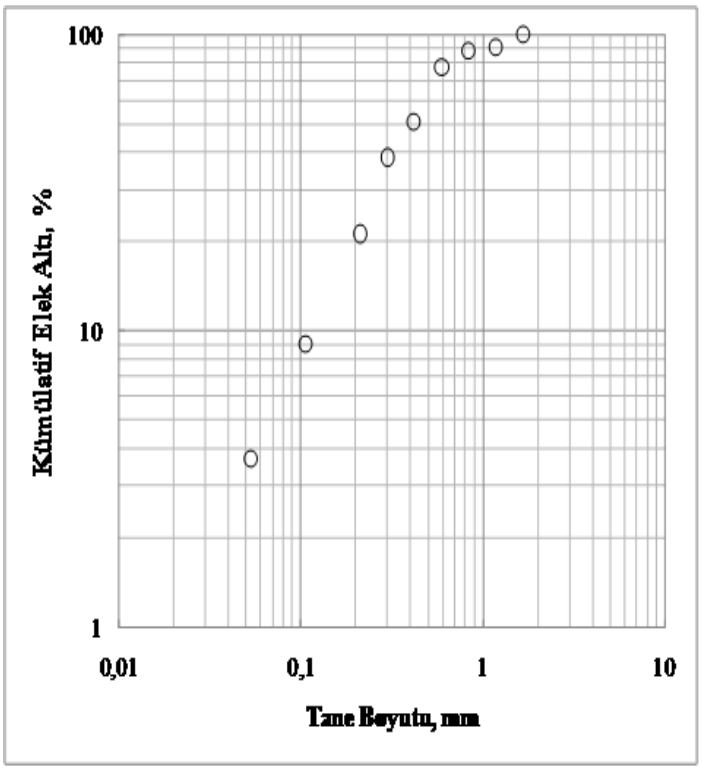
Kangal vd. 2014 yılında gerçekleştirdiği çalışmada; % 28.65 içerikli Suriye fosfatının flotasyonla zenginleştirilmesinde farklı değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Reaktif olarak, suda çözünmeyen hidroksamid asit türü toplayıcı olan Aero 6493 ile KOl kullanımıştır. En iyi sonuçlar; 10000 g/t KOl kullanılarak pH 4 seviyesinde elde edilen % 79.4 verimli % 33.68 P_2O_5 içerikli konsantre ile 1600 g/t Aero 6493 kullanılarak elde edilen %85.8 verimli % 33.68 P_2O_5 içerikli konsantre olmuştur (Kangal, 2014).

Bu çalışmanın amacı; %28.65 P_2O_5 içeriğine sahip olan fosfat cevherinin ters flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesinde farklı parametrelerin etkisini inceleyerek optimum şartları belirlemektir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Tüvenan numune üzerinde yapılan Cevher Hazırlama Mühendisliği Kimya Analiz Laboratuvarı'nda yapılan kimyasal analiz sonucuna göre temsili numunenin P_2O_5 içeriği %28.65 olarak tespit edilmiştir.

Numunenin fiziksel özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili olarak yapılan elek analizinin sonuçları Şekil 1'de gösterilmektedir.

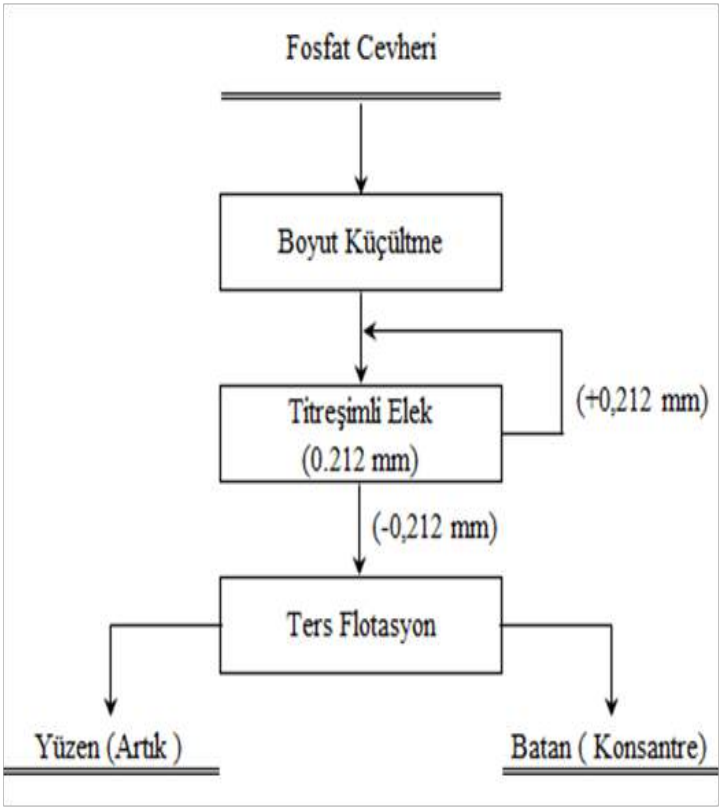


Şekil 1. Numunenin boyut dağılımı

Flotasyon işlemlerinde Cytec firması tarafından fosfatın tek aşamalı flotasyonu için hidroksamik asit türevi olan Aero 6493 kollektörü geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda da kullanılan fosfata karşı seçimli olan kollektör ayrıca yapısında yer alan alifatik alkol nedeniyle köpürtücü etkiside göstermektedir.

Deneysel çalışmalarda bunun haricinde ortam pH'sının ayarlanmasında CaO ve fosforik asit kullanılmıştır.

Zenginleştirme deneylerinin genel akım şeması Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Deney genel akım şeması

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda; ön kondüsyonlama süresi, pH değeri, kollektör konsantrasyonu ve kademe sayısının etkisi baz alınan parametrelerdir.

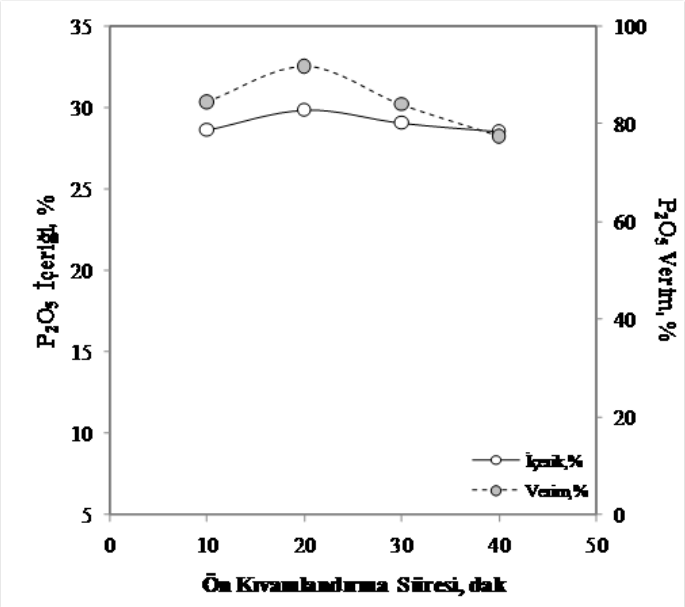
3.1 Ön Kıvamlandırma Süresinin Etkisi

Ön kıvamlandırma süresinin etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney serisinde pH değeri, flotasyon süresi, karıştırma hızı gibi parametreler sabit tutularak yalnızca ön kıvamlandırma süresinin değiştirildiği deneyler yapılmıştır. Bu anlamda yürütülen deneysel çalışmalarda ön kıvamlandırma süresi sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 dakika olarak alınmıştır. Deney sonuçları Tablo 1'de, içerik ve verime etkisi ise Şekil 3'te gösterilmektedir.

Ön kıvamlandırma süresine bağlı olarak yapılan deneylerde en iyi sonuç % 91.6 verim ve % 29.80 P2O5 içeriği ile 20 dakikada elde edilmiştir.

Tablo 1. Ön Kıvamlandırma Süresinin P2O5 İçeriği ve Verimine Etkisi

Ön Kıvamlandırma Süresi	Ürünler	Miktar, %	P_2O_5, %	
			İçerik	Verim
10 dk	Konsantre	82,0	28,60	83,8
	Artık	18,0	25,20	16,2
	Toplam	100,0	27,99	100,0
20 dk	Konsantre	88,0	29,80	91,6
	Artık	12,0	20,00	8,4
	Toplam	100,0	28,62	100,0
30 dk	Konsantre	82,2	29,00	83,8
	Artık	17,8	25,80	16,2
	Toplam	100,0	28,43	100,0
40 dk	Konsantre	76,6	28,50	77,3
	Artık	23,4	27,40	22,7
	Toplam	100	28,24	100,0



Şekil 3. Ön Kıvamlandırma Süresinin P2O5 İçeriği ve Verimine Etkisi

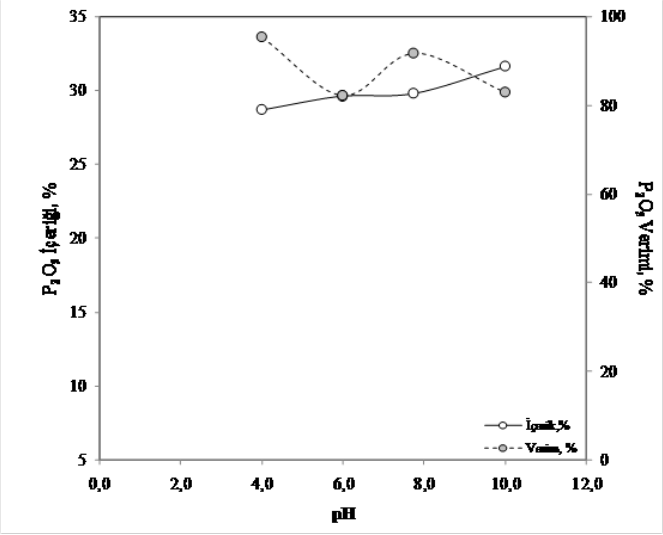
3.2 pH Değerinin Etkisi

pH değerinin flotasyona olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan deney serisinde reaktif miktarları, kıvam süreleri gibi diğer parametreler sabit tutularak yalnızca pH değerinin değiştirildiği deneyler yapılmıştır. Bu anlamda yürütülen deneysel çalışmalarda pH değerinin sırasıyla 4.0; 6.0; 7.74; 10.0 olduğu deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 2'de, içerik ve verime etkisi ise Şekil 4 'te gösterilmektedir.

pH'nın etkisinin incelendiği deneylerde en iyi sonuç %82.8 verim ile %31.60 P2O5 içeriği ile pH 10'da yapılan deneyle alınan sonuçtur.

Tablo 2. pH değerinin P2O5 İçeriği ve Verimine Etkisi

pH	Ürünler	Miktar, %	P_2O_5, %	
			İçerik	Verim
4.0	Konsantre	95,0	28,70	95,3
	Artık	5,0	26,60	4,7
	Toplam	100,0	28,60	100
6.0	Konsantre	79,0	29,60	82,1
	Artık	21,0	24,32	17,9
	Toplam	100,0	28,49	100
7.74 (Doğal)	Konsantre	88,0	29,80	91,6
	Artık	12,0	20,00	8,4
	Toplam	100,0	28,62	100,0
10	Konsantre	**75,0**	**31,60**	**82,8**
	Artık	25,0	19,40	17,2
	Toplam	100,0	28,63	100,0



Şekil 4. pH değerinin P2O5 İçeriği ve Verimine Etkisi

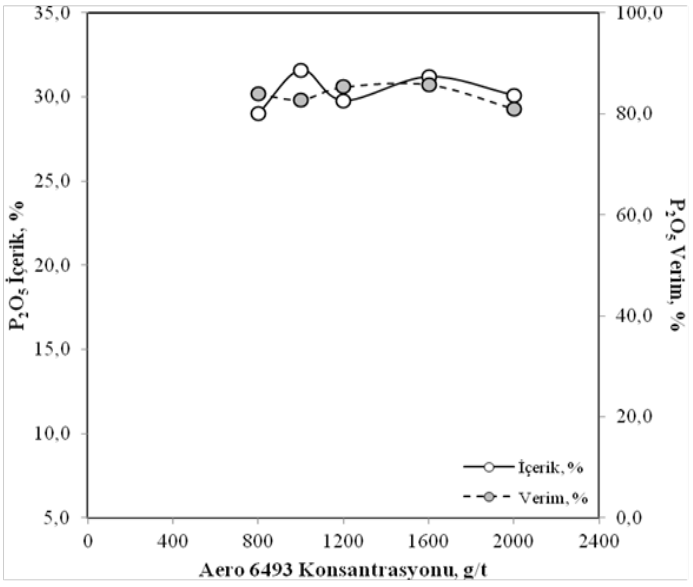
3.3 Aero 6493 Miktarının Etkisi

Bu çalışmada, iri boyutta serbestleşebilen Suriye fosfatının flotasyonunda Aero 6493'ün etkisi ortaya konulmuştur. Kollektör konsantrasyonun etkisinin belirlenmesi için yürütülen deney serisinde, önceki çalışmalarda optimize edilen ön kıvamlandırma süresi ve pH değeri gibi değerler sabit alınarak yalnızca toplayıcı konsantrasyonu değiştirilmiştir. Bu anlamda farklı miktarlarda (800, 1200, 1600, 2000 g/t) % 1 derişimli Aero 6493 çözeltisi kullanılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3'te, içerik ve verime etkisi ise Şekil 5'te gösterilmektedir.

Aero 6493 konsantrasyonunun etkisinin araştırıldığı deneylerde, 1600 g/t konsantrasyonda %85.8 verim ile %31.20 P2O5 içerikli konsantrenin alındığı deney en başarılı deney olarak gözlenmiştir.

Tablo 3. Aero 6493 miktarının ters fosfat Flotasyonuna Etkisi

Aero6493 Konsantrasyonu (g/t)	Ürünler	Miktar, %	P_2O_5, %	
			İçerik	Verim
800	Konsantre	82,2	29,00	83,9
	Artık	17,8	25,67	16,1
	Toplam	100,0	28,41	100,0
1000	Konsantre	75,0	31,60	82,8
	Artık	25,0	19,40	17,2
	Toplam	100,0	28,63	100,0
1200	Konsantre	81,6	29,78	85,3
	Artık	18,4	22,71	14,7
	Toplam	100,0	28,48	100,0
1600	Konsantre	78,8	31,20	85,8
	Artık	21,2	19,16	14,2
	Toplam	100,0	28,65	100,0
2000	Konsantre	76,6	30,10	80,9
	Artık	23,4	23,23	19,1
	Toplam	100,0	28,49	100,0



Şekil 5. Aero 6493 miktarının ters fosfat flotasyonuna Etkisi

3.4 Kademe Sayısının Etkisi

Kademe sayısının flotasyona olan etkisinin belirlenmesi için yapılan deney serisinde ön kıvamlandırma süresi ve pH değeri gibi parametreler sabit tutularak kademeli olarak eklenen Aero 6493 miktarındaki değişimin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmalarda önceki deney serisinde elde edilen ve %1'lik Aero 6493 çözeltisiyle hazırlanan optimum konsantrasyon olan 1600 g/t'un kademeli olarak eklendiği deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Aero 6493 kollektörünün kademeli olarak eklenmesinin etkisi

Aero 6493 Konsantrasyonu (g/t)	Ürünler	Miktar, %	P_2O_5, %	
			İçerik	Verim
1600 (1 kademede)	Konsantre	78,8	31,20	85,8
	Artık	21,2	19,16	14,2
	Toplam	100,0	28,65	100,0
800+800 (2 kademede)	Konsantre	25,0	31,28	27,4
	Artık 1	33,0	26,93	31,2
	Artık 2	42,0	28,07	41,4
	Toplam	100,0	28,50	100,0
533+533+533 (3 kademede)	Konsantre	8,0	31,33	8,7
	Artık 1	24,8	27,28	23,6
	Artık 2	32,8	28,57	32,7
	Artık 3	34,4	29,20	35,0
	Toplam	100,0	28,69	100,0

Kademe sayısının irdelenmesinde, içerikler baz alınarak bir değerlendirme yapıldığında 3 kademeli olarak yapılan flotasyonda, konsantre ve son alınan ürünün içerikleri hesaben birleştirildiğinde, P_2O_5 içeriği 29.60% oluyorken verim %43.8 olarak bulunmakta, son iki ürün ve konsantrenin içerikleri hesaben birleştirildiklerinde ise bu değer %29.15 olmakta ancak verim %76.4'e yükselmektedir. Benzer şekilde iki kademeli olarak yapılan flotasyonda ise konsantre ve son alınan ürünün içerikleri hesaben birleştirildiğinde P_2O_5 içeriği %29.27 verim ise %68.8 olarak bulunmaktadır.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, kademe sayısının arttırılması, elde edilecek konsantre içeriğinin yükselmesine ancak verimin düşmesine neden olduğu görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Suriye Fosfat Cevherlerinin Değerlendirilmesi" isimli araştırma projesine alternatif sağlaması açısından karbonatlı fosfat cevherlerinin flotasyon koşulları belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonucuna göre temsili numunenin P_2O_5 içeriği %28.65 olarak tespit edilmiştir.

Deneylerde belirleyici parametreler; Ön Kıvamlandırma Süresi, pH, Aero 6493 konsantrasyonu ve kademe sayısı olarak belirlenmiştir.

Ön kıvamlandırma süresine bağlı olarak yapılan deneylerde en iyi sonuç % 91.6 verim ve % 29.80 P_2O_5 içeriği ile 20 dakikada elde edilmiştir.

pH'nın etkisinin incelendiği deneylerde en iyi sonuç % 82.8 verim ile % 31.60 P_2O_5 içeriği ile pH 10'da yapılan deneyle alınan sonuçtur.

Aero 6493 konsantrasyonunun etkisinin araştırıldığı deneylerde, 1600 g/t konsantrasyonda % 85.8 verim ile % 31.20 P_2O_5 içerikli konsantrenin alındığı deney en başarılı deney olarak gözlenmiştir.

Kademe sayısının göz önüne alındığı deneylerde ise 3 kademede yapılan deneylerde %76.4 verim ile %29.15 P_2O_5 içeriğine sahip olan konsantre elde edilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde en iyi sonuç; pH 10 değerinde 1600 g/ton kolektör konsantrasyonu ile 20 dakika kondisyonlanarak tek kademede uygulanan ters flotasyon sonucu elde edilen %85.8 verimli %31.20 P_2O_5 içerikli konsantre olmuştur.

KAYNAKLAR

Baron, I. M., 1961. Phosphate flotation, Quarterly of the Colorado School of Mines, first of Volume: 56,No: 3, s: 359-363

Ginocchino, A., 1963. Aufbereitung von kalziumphosphat- Erzen. *Aufbereitung Technik*. S. 219-223

Kangal, M.O., Kara, S., Çınar, U., Güven, O., 2014. "Effects of different parameters on phosphate flotation", IMPS 2014, Kuşadası, Aydın, Turkey.

Miller, J.D., Wang, X., Li, M., 2002. "A Sellective Collector for Phosphate Flotation", *Final Report*, University of Utah, Utah, s. 02-142-187

Önal, G., 1970. "Mazıdağı fosfat cevherlerinin petrografik etüdü ve zenginleştirilmesi", *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Maden Mühendisliği, İstanbul

Sirkeci, A.A., Kangal, M.O. , Özer, M., Bakan, S., 2009. "Suriye Fosfat Cevherlerinin Değerlendirilmesi, İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü", *Proje Raporu*, s. 5-7.

Madencilikte Kristalizasyon Yöntemi ile Kaynak Tuzu Üretimi
Crystallization Method With Salt Production

S. S. Tanrıkulu
Maden Mühendisi, İş Güvenliği Uzmanı
Urartu İnş. Madencilik İth. İhr. Tic. Ltd. Şti., Erzincan

ÖZET Çalışma alanı olarak Erzincan İli, Kemah İlçesi, Kömür Köyü Mevkiinde yer alan Kömür Kaynak Tuzlası incelenmiştir. Ocakta tuz üretimi kristalizasyon (evaperasyon) yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Yer kabuğu içerisindeki kaya tuzu tabakalarından geçen tatlı suyun tuz tabakalarını eritmesi şeklinde tuzlu su çözeltisi olarak kendi cazibesi ile yeryüzüne ulaşmaktadır. Tuzlu su çıkışı (Tuzlu memba) bir jips masifi içinde olup bir galeri vasıtası ile yeryüzüne ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan tuzlu su çözeltisi önce derecelendirme (konsantrasyon) havuzlarına alınır. Derecelendirme havuzlarında kademeli olarak suyun tuzluluk derecesi arttırılır ve bünyesinde bulundurduğu ağır maden mineralleri bu havuzlarda çökerttirilir. Tuzluluk derecesi artan ve ağır maden minerallerinden ayrıştırılan tuzlu su çözeltisi üretim (kristalizasyon) havuzlarına aktarılır. Üretim (kristalizasyon) havuzlarında kristalleşerek havuz tabanına çöken tuzlar toplanarak paketleme ve depolama tesislerine gönderilerek satışa hazır hale getirilir.

Anahtar Kelimeler: Kristalizasyon, kaynak tuzu üretimi

ABSTRACT As a working area city of Erzincan, Kemah source saltworks in which the district of Kemah also near of Kömür village were examined. At the mine, salt production is made via crystallization (evaporation). Freshwater which is passes into the rock salt layers on the earth crust, smelt of salt layers in that way as a saltwater solution outcrops engagingly. In addition, salt water outlet (origin of the salt water) is involved a gypsum massive and outcrops through a gallery. Outcropped salt water solution, firstly is obtains to concentration (grading) ponds. On the rating ponds, water's salt degree has increased gradually, and heavy minerals have settled. After this process, dissociated salt water solution is transferred to the production (crystallization) ponds. Crystallized Salts in which crystallization ponds collapse into the bottom of pond are collected in order to go out package and storage facility so it's ready for sale.

Keywords: Crystallization, salt production

1 TUZUN TANIMI

1.1 Tuz Nedir

Tuz kolayca ufalanabilen, kokusuz suda eriyebilen dil yakıcı ve insan yaşamında büyük önemi olan bir maddedir. Tuz saf halde iken yaklaşık % 40 Sodyum, % 60 Klordan oluşur. Sertliği 2.5 olup, özgül ağırlığı 2.1-23.5 gr/cm3 arasında değişir. erime noktası 800.8 C°, kaynama noktası ise 1412 C dır.

Doğadan üretildiği şekliyle rengi gri, sarı, kırmızı hatta mavi ve yeşildir. Ancak saf halde iken tuz, renksizdir.

Tuzun suda erime miktarı sıcaklıkla değişmektedir. 100 gr suda. 0 °C'de 35.7 gr ve 100 °C 'de 39.8 gr tuz, doymuş tuzlu eriyik oluşturur.

1.2 Tuz Doğada Nasıl Bulunur

Ekonomik bir değer taşıyan tuz kaynakları katı ve sıvı olarak ikiye ayrılmaktadır. Tuz

sıvı halde denizlerde, tuzlu gözlerde, tuzlu su kaynaklarında ve katı halde de kaya tuzu şeklinde bulunmaktadır. Bitmez ve tükenmez tuz kaynağı olan denizler dünyamızın en büyük tuz rezervlerini oluşturmaktadırlar.

Yeryüzünün % 70.8'ini sular kaplamaktadır. Bütün denizlerde az veya çok tuz bulunur. Bu miktar ortalama 30 kg/m3'tür. Denizlere ulaşamayan akarsular derin havzalarda toplanarak alkali veya tuzlu su göllerini oluşturur. Sıcak iklimlerde bu göllerin bazıları buharlaşarak önemli tuz birikimlerini ortaya çıkarırlar. Bu oluşumlar deniz tuzu ile kaya tuzu arasındaki geçişi açıklaması bakımından önemlidir.

Toprak altındaki, jeolojik devirlerdeki denizlerin buharlaşmasından kaya tuzu yatakları meydana gelmektedir. Bunlar tuz domları, tuz kayalıkları, büyük tuz cepleri şeklinde görülürler.

1.3 Tuz Üretim Yöntemleri

Ham tuzun üretimi için genel olarak üç yöntem uygulanmaktadır. Deniz, göl ve diğer doğal tuzlu sular güneşte buharlaştırılarak tuzun kristalleşmesi, Tuz domları ve tabakalaşmış tuz yataklarının oda-topuk yöntemi ile (kaya tuzu) çıkarılması ve çözelti madenciliği ile yer altındaki kaya tuzu tabakasından elde edilen tuzlu suyun kristalleştirilmesi olarak tuz üretim yöntemlerini sınıflayabiliriz.

1.3.1 *Deniz suyundan tuz üretimi*

Ortalama 3,5 bome derecesindeki su denizden çekilir ve soğuk su havuzlarına aktarılır. 20 bome derecesine sular sıcak su havuzlarına alınır ve burada 25-26 bome dereceye getirilir. Yoğun tuzlu sular kristalizasyon havuzlarına aktarılır. kristalize havuzlarda 28,5 bome derecesine kadar yoğunlaştırılan sular kristalleşerek tuzunu döker. Deniz tuzlalarında üretim genel olarak Mart ve Ağustos ayları arasında yapılır.

1.3.2 *Göl suyundan tuz üretimi*

Tuzlu göl sularından tuzun üretim yöntemi denizden yapılanın aynısıdır. Gölden alınan tuzlu su, buharlaştırma havuzlarına basılarak buharlaştırılır ve sonra kristalizatörlerde tuz kristalleştirilerek elde edilir. Doğal göllerin bazıları yüksek yoğunluklu sular bulundurmakta ve bu sulardan tuz üretimi kolaylaşmaktadır. Ayrıca bazı göllerde tuz yaz mevsiminde kendiliğinden oluşmaktadır. Doğal olarak oluşan bu tuz tabakaları tuz sıyıran frezelerle alınmaktadır.

1.3.3 *Tuzlu kaynak sularından tuz üretimi*

Kaynakların, yeraltında geçtikleri formasyonların özelliklerine bağlı olarak bileşimlerindeki tuz miktarı değişmektedir. Düşük Bome derecesindeki sular, yeryüzündeki havuzlarda dereceleri yükseltilerek tuz üretimine elverişli duruma getirilirler. Yüksek Bome dereceli sular, konsantrasyon ve kristalizasyon havuzlarına taşınarak oluşan tuzlar satışa sunulurlar. Kaynak tuzu üretimi genel olarak Mart ve Ağustos ayları arasında yapılır.

1.3.4 *Kaya tuzu üretimi*

Kaya tuzu üretimi oda-topuk yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Yer altında kütle halinde bulunan tuz madenine galeriler açılarak girilmekte olup, oyulan kütlenin mukavemetini sağlayacak tuz yığınları (topuk) ortada bırakılarak galeri açılmasına devam edilmekte ve neticede patlayıcılarla ufalanan tuzun toplanması ile üretim süreci tamamlanmaktadır.

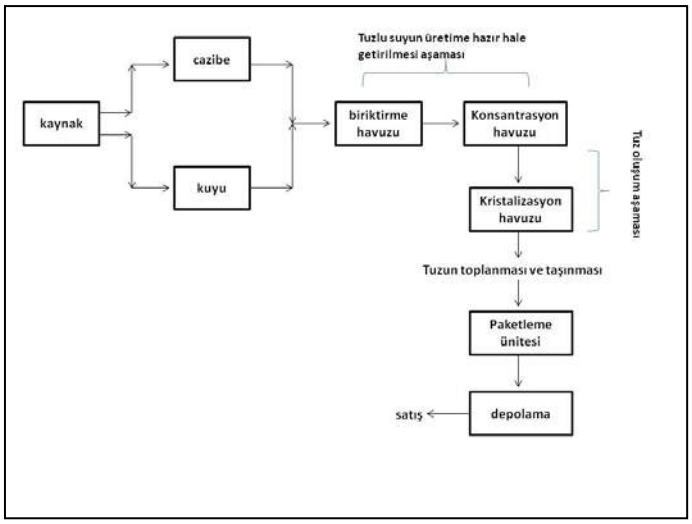
1.3.5 *Çözelti madenciliği ile tuz üretimi*

Yöntem ana çizgileriyle şöyledir; kaya tuzu tabakasına kadar yapılan sondajdan sonra, sondaj deliğine astar boru geçirilir. Bu deliğin çevresinde toplanan yeraltı suları yerüstü aynasından kaya tuzuna doğru pompalanır. Tatlı olan bu su kaya tuzu ile birleşince tuzu çöker ve doymuş tuzlu su çözeltisi oluşur. Kaya tuzunun erimesiyle oluşan bu çözelti kaya tuzu içerisinde toplanır. Doygun tuzlu çözelti yeryüzüne sondaj deliğinden çeşitli pompalarla çıkartılır. Yeryüzüne alınan tuzlu su çözeltisi üretim tesislerinde işlenerek tuz üretim süreci tamamlanmaktadır.

2 KRİSTALİZASYON YÖNTEMİ İLE KAYNAK TUZU ÜRETİMİ

Yeryüzüne kuyu ile veya kendi cazibesi ile ulaşan tuzlu su çözeltisinin yaz aylarında güneş altında buharlaşması sonucu tuzun kristalleşmesi esasına dayanan üretim yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için o bölgenin iklim koşullarının uygun olması gerekir. Tuz üretiminde en eski ve en yaygın yöntem olan güneşte buharlaştırma yöntemi basitliği ve ekonomik olması nedeniyle, bugün de birçok yerlerde uygulanmaktadır.

Tuzlu su kaynağından alına çözelti önce konsantrasyon havuzlarında derecelendirilir. Derecelenmiş üretime elverişli hale getirilmiş tuzlu sular kristalizasyon havuzlarına aktarılarak iklim şartlarının uygunluğuna bağlı olarak kristalleşmeye başlar. Kristalleşerek üretim havuzlarının dibinde biriken tuzlar toplandıktan sonra paketlenip satışa sunulmak üzere paketleme ünitesine sevk edilirler. (Şek. 1)



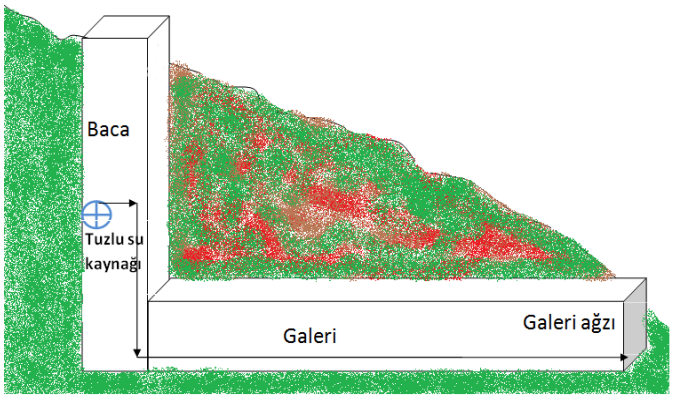
Şekil 1. Kristalizasyon Yöntemi İle Üretim Akım Şeması.

2.1 Tuzlu Su Kaynağı

Hareket halindeki yer altı sularının kaya tuzu yataklarından geçmesi sırasında bir miktar tuzu eritip, iyon halinde bünyesine alarak farklı formasyonlarda yeryüzüne çıkmasıyla tuzlu su kaynakları oluşmaktadır.

Tuzlu suyun ekonomik değerlerine göre yeryüzüne çıkması iki şekilde olmaktadır. Tuzlu su yeryüzüne kendi cazibesi ile çıkarak akabilir veya basınçla belirli bir seviyeye çıkan tuzlu suyun kuyu açılarak motopomp ve çıkrıkla, yeryüzüne çıkarılabilir.

İncelemede bulunduğumuz Kömür Kaynak Tuzlası'nda tuzlu su çözeltisi yer kabuğunun içerisinden kendi cazibesi ile yeryüzüne ulaşmaktadır. Yer kabuğu içerisindeki tuz tabakalarından (Halit) geçen yer altı suları tuzların bir kısmını eriterek kendi bünyesine alarak yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu suların içerdiği NaCl oranı, tatlı suyun tuz tabakasıyla temas süresi ve şiddeti ile orantılı şekilde az veya çok olmaktadır. Bölgede ki kar ve yağmur yağış oranına bağlı olarak suyun şiddeti ve derecesi değişkenlik göstermektedir. Tuzlu su kaynağı yaklaşık 50 metre uzunluğunda bir galerinin 30 metrelik bacasında kayaların arasından kendi cazibesi ile akmaktadır. Burada tuzlu su kaynağı baca ve galeri içerisinde borular vasıtası ile yeryüzüne ulaştırılmaktadır. Tuzlu su kaynağı ortalama %20 tuzluluk derecesine ve dakikada 20 lt kapasiteye sahiptir. (Şek. 2)



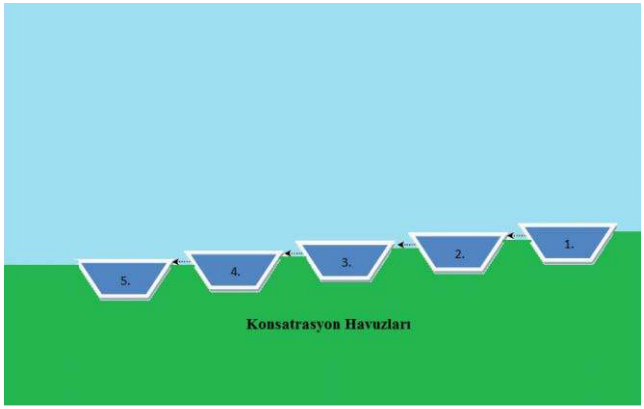
Şekil 2. Tuzlu su kaynağı.

2.2 Üretim Aşamaları

Yeryüzüne ulaşan tuzlu su çözeltisi ilk olarak ortalama 600 m3 lük kapasiteye sahip depolama ve derecelendirme (konsantrasyon) havuzlarına aktarır. Konsantrasyon havuzları kademeli ve su aktarımı için aralarında kot farkı olacak şekilde inşa edilmişlerdir.

Birinci konsantrasyon havuzuna aktarılan tuzlu su çözeltisi %20 tuzluluk derecesinden

% 22 tuzluluk derecesine ulaştıktan sonra ikinci havuza aktarılır. İkinci havuzda % 22 dereceden %24 dereceye ve her havuzda ortalama %10 luk bir derece artışı olacak şekilde kademeli olarak tuzlu su sıralı olarak havuzlara aktarılır. Aynı zamanda tuzlu su içerisinde ihtiva eden ağır maden müneralleri havuzlarda çökelmiş olmaktatadır. Nihai konsantrasyon havuzunda yaklaşık %28-33 tuzluluk derecesine ulaşan ve ağır maden minerallerinden büyük ölçüde ayrışan tuzlu su 9-7 metre ebatlarında 10 cm derinliğindeki 7.2 m3 kapasiteye sahip üretim (kristalizasyon) havuzlarına aktarılmaktadır. (Şek 3.)



Şekil 3. Konsantrasyon Havuzları.

Üretime hazır hale getirilmiş tuzlu su çözeltisi kristalizasyon havuzlarında güneş enerjisinden faydalanarak % 36 tuzluluk derecesine ulaştıktan sonra kristalleşme işlemi başlar. Kristalleşme ilk önce tuzlu suyun yüzeyinde küçük kristal parçaları olarak başlar sonrasında kristal parçalarının ebadı ve ağırlı büyüdükçe suyun yüzeyinden havuz dibine çöker. Bu hareket 2-3 gün içerisinde belli periyotlarda devam eder. (Res. 1)

Resim 1. Üretim Havuzlarının Yüzeyinde Kristalleşme Evresi.

Kristalizasyon havuzlarında kristalleşme evresini tamamlayıp havuz dibine biriken tuzlar havuz kenarlarına toplanmaktadır. Havuz kenarlarına alınan tuz 1-2 gün, içerisindeki suyun süzülmesi ve nem oranının azaltılması amacıyla dinlendirilmektedir. Suyunu süzen, nem oranı düşen ve üretim aşamasında hiçbir katkı maddesi kullanılmayan tuz yığınları paketlenip satışa sunulmak üzere paketleme ünitesine sevk edilerek üretim tamamlanmış olur.

2.3. Tuz Üretimini Etkileyen Faktörler

Doğal tuzlu (kaynakların) suların güneş altında buharlaşması sonucu tuzun kristalleşmesi esasına dayanan bu yöntemin uygulanabilmesi için bölgenin iklim koşullarının uygun olması gerekir. Kristalizasyon yöntemi ile verimli ve ekonomik bir şekilde tuz elde edebilmek için genel olarak aşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerekir.

1. Eğimi az olan geniş alanların varlığı
2. Havuzların tuzlu su geçirgenliğinin düşük olması veya geçirmemesi
3. Bölgede yağış miktarının az olması,
4. Tuzlu su kaynağının tuzluluk derecesi
5. Bölgenin güneş alma süresi
6. Net buharlaşmanın yüksek oluşu,
7. Kurutucu rüzgarların varlığı,
8. Bölgede sıcak mevsimlerin uzunluğu
9. Havadaki nem oranın az olması

Kristalizasyon yöntemi ile üretim açık havada 6-7 aylık nisan-eylül ayları arasında kısıtlı bir üretim sezonuna sahiptir. Üretim sezonu içerisinde yağacak yağmurlar üretim kapasitesini büyük ölçüde düşürmektedir. Sezon içinde yağan yağmurlar %30 tuzluluk derecesine sahip bir üretim havuzunun derecesini %15-20 lere düşürebilmekte olup bu tuzluluk derecesinde verimli tuz kristalleşmesi olmamaktadır. Derecesi düşen üretim havuzunun tekrar %30 tuzluluk derecesine ulaşabilmesi için gerekli süre iklim koşullarına bağlı olarak ortalama 6-7 gündür. Üretim sezonu 6 ay/ 24 hafta olan bir işletmenin 1 haftalık üretim kaybı sezonda üretilecek tuz miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle verimli bir üretim için işletme için bölgesel olarak yağışların az olduğu ve sıcak iklimin uzun sürdüğü yerler seçilmeli, bölge yağış alıyorsa gerekli teknik önlemler uygulanmalıdır.

Üretimin hızını etkileyen bir diğer faktör ise kurutucu rüzgarların varlığıdır. Kurutucu sıcak rüzgarlar kristalleşmeye havanın sıcaklığı ile beraber büyük ölçüde katkı sağlar.

Tuzlu su çözeltisinden maksimum verimlilikle üretim elde etmek ve hammaddeyi %100 kullanabilmek için derecelendirme ve üretim havuzlarının tuzlu suyu maksimum ölçüde geçirmezlik özelliği göstermesi gerekir. Ayrıca üretim havuzları eğimi az olan alanlarda inşa edilmelidir. Üretimi etkileyen ana faktörlerden bir diğeri ise tuzlu su kaynağının tuzluluk derecesidir. Tuzluluk derecesi az olan kaynaktan alınan hammaddenin kristalleşme derecesine getirilmesi süreci uzun sürmekte ve kısa olan üretim sezonunda üretim kapasitenin düşük olmasına sebep olmaktadır.

Kristalizasyon yöntemi ile tuz üretimi etkileyen bir faktörde kristalizasyon havuzlarının derinliğidir. Kömür Kaynak Tuzlası'nda kristalizasyon havuzlarında derinlik 10 cm tutulmuştur. Derinlik havuzlarda ne kadar az tutulursa tuzlu su güneş enerjisini ile daha hızlı ısınacaktır ve kristalleşme hızı paralel olarak artacaktır.

Üretim havuzlarında ısınan tuzlu su, yoğunluğu artmakta ve havuzun alt tabakasında bulunmaktadır. Üretim havuzunu derinlik açısından alt ve üst tabaka olmak üzere ikiye ayırırsak; alt tabakada ısısı fazla olan daha yoğun tuzlu su çözeltisi üst kısmında ise ısısı ve yoğunluğu alt tabakaya göre daha az olan tuzlu su çözelti görülür. Bu durumda kristalleşmenin hızlandırılması amacıyla günün belli periyotlarında üretim havuzları alt ve üst tabakadaki suyun karışabileceği şekilde karıştırılmaktadır.

3 KÖMÜR KAYNAK TUZLASI HAMMADDE VE ÜRETIM KAPASITESI

Kömür Kaynak Tuzlası'nda tuzlu su kaynağı %20 tuzluluk derecesine ve dakikada 20 lt kapasiteye sahiptir. Kullanılmakta olan tuzlu su kaynağı haricinde 4 adet derin su sondajı bulunmaktadır. Her bir sondaj ortalama %10 tuzluluk derecesine ve dakikada 100 lt kapasiteye sahiptir. Kristalizasyon yöntemi ile tuz üretimi doğa ve iklim koşullarına bağlı olduğundan nisan-eylül ayları arasında 6-7 aylık bir dönemde yapılmaktadır. Üretim kapasitesi değişim gösteren iklim koşulları, üretim sezonunun kısa olması ve tuzlu su kaynağının tuzluluk derecesinin az olmasından dolayı değişim göstermektedir.

3.1 Üretim Kapasitesi Artırım Çalışmaları

Mevcut tuzlu su kaynağı (tuzlu su membası) yaz döneminde aşırı sıcaklarda yeterli olmayıp tuzlu su yetersizliğinden doğan kayıplar meydana gelmektedir. Bu hususta üretimin aksamaması için derin su sondajları vurularak tuzlu su membasından ayrı tuzlu su kaynakları ortaya çıkartılmıştır.

Üretim kapasitesini etkileyen önemli faktörlerden bir tanesi iklimsel koşullardır. Üretim sezonunda kristalizasyon havuzlarının yağış alması sonucu tuzluluk dereceleri büyük ölçüde düşmekte ve üretim belli sürelerle aksamaya uğramaktadır. Bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla kristalizasyon havuzlarının üzerlerine cam çatı uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama ile İşletmede üretim sezonu süresince yağışlardan etkilenmeyen kristalizasyon

(üretim) havuzlarının üretime ara vermemesi sağlanmıştır.

3.2 Kristalizasyon Yöntemi ile Üretilen Kaynak Tuzunun Özellikleri

Kristalizasyon yöntemi ile üretilen Doğal kaynak tuzu bünyesinde ağır maden minerallerinin az/kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması ve üretim aşamasında katkı, kimyasal maddeler kullanılmamasından dolayı insan sağlığına faydalıdır. Gıda ürünlerini uzun süre muhafaza eder, tat verir.

4. SONUÇLAR

Kristalizasyon yöntemi ile kaynak tuzu üretimi ağırlıklı olarak beden işçiliği ile ve doğa, iklimsel koşullara bağımlı olarak yapıldığı için diğer tuz üretim yöntemlerine göre birim ton üretim maliyetleri yüksektir. Günümüzde Kaynak Tuzlaları bulundukları il ve çevre illerin tuz ihtiyacını karşılayabilmektedir. Kristalizasyon yöntemi ile kaynak tuzu üretimi diğer tuz üretim yöntemlerine göre daha basit, sağlıklı olmasına karşılık diğer üretim yöntemlerinden birim ton başına daha maliyetlidir. Genelde tuzlalar Anadolu'nun kırsal bölgelerinde bulunduklarından bölgeye önemli derecede ekonomik değer katmaktadır. Ülkemizde kaynak tuzlalarının daha ekonomik ve daha yüksek kapasitede çalışabilmeleri için enerjiye dayalı 12 ay kesintisiz üretim yöntemlerine geçmeleri gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ergin, Z, 1988. Tuzun üretim Teknolojisi ve İnsan Sağlığındaki Yeri, XXVII

Anyonik ve Katyonik Türü Toplayıcı-Ortoklaz Etkileşiminin Yüzey Gerilim Ölçümleri ile Belirlenmesi

Determination of Anionic and Cationic Type Collector-Orthoclase Interaction by Surface Tension Measurements

S. Özün, Ş. Ulutaş*
Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye
**Özel Öğrenci Statüsü*

ÖZET %70'i flotasyonla zenginleştirilen feldspatlardan mika minerallerinin uzaklaştırılması katyonik tür toplayıcılar ile, demir/titanyum oksitli ağır minerallerin uzaklaştırılması ise sülfat/sülfonat türü anyonik tür toplayıcılar ile 2 aşamada ve asidik pH'larda yapılmaktadırlar. Son yıllarda flotasyon kimyasalı üreticileri tarafından geliştirilen yağ asidi kökenli anyonik tür toplayıcılar ile mika ve Fe/Ti oksitli ağır mineraller bazik pH değerlerinde ve tek aşamada uzaklaştırılabilmektedir.

Bu bağlamda yapılan deneysel çalışmalarda, katyonik tür bir toplayıcı olan Aero 3000C ve oleyik asit kökenli anyonik (OAKT) bir tür toplayıcı olan Aero 704'ün ortoklaz ile olan etkileşimi yüzey gerilimi değişimleri açısından incelenmiştir. Yüzey gerilimleri Young-Laplace eşitliğiyle ölçüm sonuçları sunabilen KSV CAM101 yüzey gerilimi ölçer cihazla askıda damla yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karılaştırma kolaylığı açısından distile su ve toplayıcı+distile su karışımlarının pH'a bağlı yüzey gerilimi ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Aero 3000C-ortoklaz etkileşiminin daha çok asidik pH değerlerinde, anyonik Aero 704-ortoklaz etkileşiminin ise bazik pH değerlerinde gerçekleştiği pülpde meydana gelen yüzey gerilimi farklılıklarıyla belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey gerilimi, ortoklaz, anyonik tür toplayıcı, katyonik tür toplayıcı

ABSTRACT 70% of feldspars are concentrated by flotation with two stage acidic circuits. In the first stage mica minerals are removed using cationic type collectors and in the second stage iron/titanium oxide heavy minerals are removed using sulfate/sulfonate type anionic collectors at acidic pH values. In the past decade, the flotation reagent producers have developed an oleic acid based anionic type collectors (OABC) to remove mica and Fe/Ti bearing minerals together at alkaline conditions by only one flotation stage.

With this respect, the interactions of cationic Aero 3000C and anionic Aero 704 with orthoclase have been investigated in terms of the changes in surface tension values by pendant drop method. The surface tension measurements were performed by KSV CAM101 optical tensiometer. The surface tension of distilled water and collector+distilled water mixtures were also determined to provide easy comparison. According to the results, the cationic Aero 3000C interacts more with orthoclase in acidic pH values whereas anionic Aero 704 interacts with orthoclase especially in alkaline conditions.

Keywords: Surface tension, orthoclase, anionic type collector, cationic type collector

1 GİRİŞ

Feldspatlar kimyasal bileşimleri ve yapıları açısından plajiyoklaz ve alkali feldspatlar olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Plajiyoklaz feldspatlar kalsiyumca zengin anortit ve sodyumca zengin albit mineralleri

arasında geniş minerallerinden oluşurken, alkali feldspat grubunda ise potasyum içeriği bakımından en zengin içeriğe sahip ortoklaz minerali bulunmaktadır. Seramik, porselen ve cam hammaddesi olarak kullanılan feldspatlar ülkemizde de yaygın olarak bulunmakla birlikte, endüstriyel uygulamalarda yer alabilmeleri için içerdikleri ilmenit, manyetit, hematit, rutil, sifen, biyotit, muskovit vb. gibi safsızlıklardan arındırılmaları gerekmektedir (Bayat ve diğerleri, 2006).

Kazı işlemi gerçekleştirilmiş feldpat cevherleri yoğunluğa dayalı ayırma, manyetik ayırma ve flotasyonla ayırma işlemlerinin bir ya da birkaçının ortak kullanımı ile zenginleştirilebilirken, flotasyon ile zenginleştirme en yaygın kullanılan yöntemdir (%70).

Feldspatlardan mika ve demir/titan içerikli minerallerin flotasyonla uzaklaştırılması asidik pH değerlerinde 2 kademede ters flotasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Birinci kademede mika mineralleri (biyotit, muskovit vb.) amin türü katyonik tür bir toplayıcı varlığında pH 2.5-3.5 aralığında uzaklaştırılırken, demir/titan içerikli ağır mineraller ise sülfat/süfonat türü anyonik bir toplayıcı varlığında pH 3.5-5.0 aralığında uzaklaştırılmaktadırlar (Bayraktar ve diğerleri, 1997; Çelik ve diğerleri, 1998; Vidyadhar ve Rao, 2002; Bayat ve diğerleri, 2006).

Son yıllarda flotasyon kimyasalı üreticilerinin geliştirdikleri yağ asiti kökenli anyonik tür toplayıcılar ile 2 aşamada ve asidik pH değerlerinde gerçekleştirilen mika ve demir/titan içerikli minerallerin feldspatlardan uzaklaştırılması bazik pH değerlerinde ve tek aşamada yapılabilmektedir. Böylece yüksek asit kullanımının çevreye, insan sağlığına ve flotasyon hücrelerine olan zararlı etkileri azaltılmış olmaktadır (Ozun ve Atalay, 2009). Ayrıca iki aşama yerine tek aşamada yapılan zenginleştirme işlemi ile mevcut tesislerin daha yüksek kapasitelerde çalışması sağlanmaktadır.

Kullanımları bakımından amin türü toplayıcılar zenginleştirme işlemlerinde 250-500 gr/ton cevher olarak uygulanırken, OAKT ise 1250-1500 gr/ton cevher gibi yüksek miktarlarda uygulanmaktadırlar.

Bu bağlamda endüstriyel kullanım oranları dikkate alınarak ticari adları Aero 3000C (amin) ve Aero 704 (OAKT) olan bu toplayıcıları ortoklaz ile olan etkileşimleri askıda damla yöntemi ile mineral miktarı ve ortam pH'sının yüzey geriliminde oluşturdukları değişimler açısından incelenmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

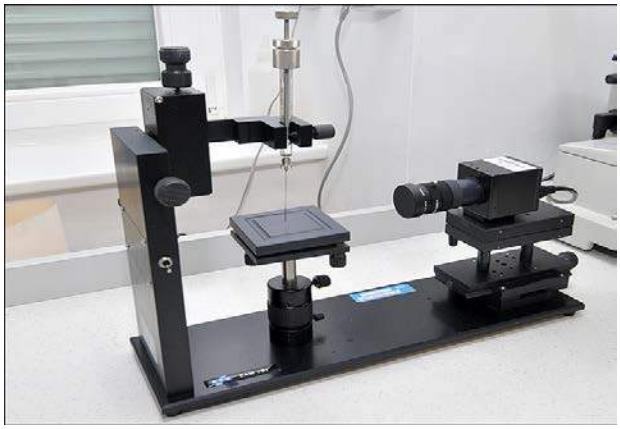
Deneysel çalışmalarda Hindistan'dan getirtilen triyaj ile elde edilmiş yüksek saflıkta ortoklaz numunesi kullanılmıştır. -500 mikron boyutunda kırılmış olan ortoklaz numunesi kirletme oluşturmaması açısından agat havanda kontrollü şekilde öğütülmüştür. Öğütülmüş ortoklaz numunesi yaş eleme yöntemi ile -300+38 mikron aralığında 7 farklı boyutta sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılmış numuneler distile su ile birkaç sefer yıkanıp 100ºC±5ºC'de etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra desikatörde soğumaya bırakılan numuneler, soğuma sonrasında ağzı kapalı kaplarda saklanmıştır. Analizlerde kullanılan ortoklaz numunesinin karakterizasyonu X-ışınımı floresansı (XRF) yöntemi ile belirlenmiş olup, %68.56 SiO_2, %17.02 Al_2O_3, %12.71 K_2O ve %1.80 Na_2O içeriğine sahiptir.

Analizlerde kullanılan flotasyon toplayıcıları, katyonik tür Aero 3000C (amin türü) ve anyonik tür Aero 704 (oleyik asit kökenli), Cytec Industries Inc. firmasından temin edilmiştir. Her bir toplayıcıdan 20 gr/lt'lik stok toplayıcı+distile su karışımları hazırlanmış ve analizler öncesinde uygun değerlerde seyreltilerek kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

Bu çalışmada yüzey gerilimi ölçümleri duyarlılığı ve tekrarlanabilirliği yüksek bir yöntem olan asılı (askıda) damla yöntemi ile yapılmıştır. Ölçümler KSV CAM101 (Şekil 1) ticari isimli optik temas açısı ve yüzey

gerilimi ölçen cihazla oda sıcaklığı şartlarında (l8-22°C) yapılmıştır. Cihaz saniyede 30 kare imaj yakalayabilen yüksek çözünürlüklü 50mm FireWire CCD kameraya sahiptir ve 0.01-999 mN/m aralığında +0.01 mN/m duyarlılığı ile ölçüm sonuçları sunabilmektedir. Ölçümler için asılı damlalar 1 ml ayarlanabilir, kullanım kolaylığı sunan hassas şırınga ile yapılmıştır. Cihaza ait bilgisayar yazılımı Young–Laplace eşitliğini kullanarak sonuç vermektedir. Cihaz ayrıca damlacık hacminin belirlenmesi, kritik misel derişimlerinin belirlenmesi, temas açısı ve fazlar arası ölçümlerine de olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. KSV CAM101.

3 DENEYSEL VERİLER VE TARTIŞMA

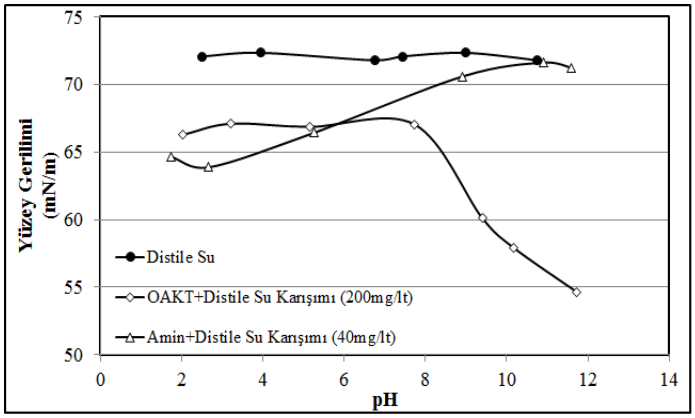
Deneysel çalışmalarda Aero 3000C ve Aero 704'ün ortoklaz ile olan etkileşiminin yüzey gerilimi değişimleri açısından incelenmesi için ortoklaz varlığında yapılan analizler öncesinde distile su ve toplayıcı+distile su karışımlarının yüzey gerilimine olan etkileri incelenmiştir.

Analizlerde her bir pH değeri için 30ml toplayıcı+distile su karışımı kullanılmış ve pH ayarlaması yapıldıktan sonra numuneler 5 dakika 500 dv/dk da karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında pH ölçümleri yapılıp, mikro şırınga ile toplayıcı+su karışımı çekilerek yüzey gerilimi ölçümüne tabi tutulmuştur. Kolay bir karşılaştırma sağlaması amacıyla analizlerde kullanılan distile suyun pH' a dayalı yüzey gerilim ölçümleri de yapılmıştır. Sonuçlar ortoklaz varlığında yapılan yüzey gerilimi ölçümlerinde referans olarak yüksek kullanılmıştır.

Deneysel analizlerde pH ayarlamaları bazik pH değerleri için seyreltik NaOH çözeltileri ile asidik pH değerleri için ise seyreltik HCl çözeltileri ile yapılmış olup, analizlerin tutarlılığı ve güvenirliliği açısından her bir pH değerinde 5 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması dikkate alınmıştır.

3.1 Distile Su ve Toplayıcı + Distile Su Karışımlarının Yüzey Gerilimine Etkisi

Analizlerde kullanılan distile suyun, 40mg/lt amin+distile su karışımının ve 200mg/lt OAKT+distile su karışımının pH'a bağlı yüzey gerilim ölçümleri Şekil 2'de grafiksel olarak verilmiştir. Sonuçlara göre distile suyun yüzey gerilim değerleri 71-72.5 mN/m arasında değişmektedir.



Şekil 2. Toplayıcı+Distile Su Karışımının Yüzey Gerilimine Etkisi

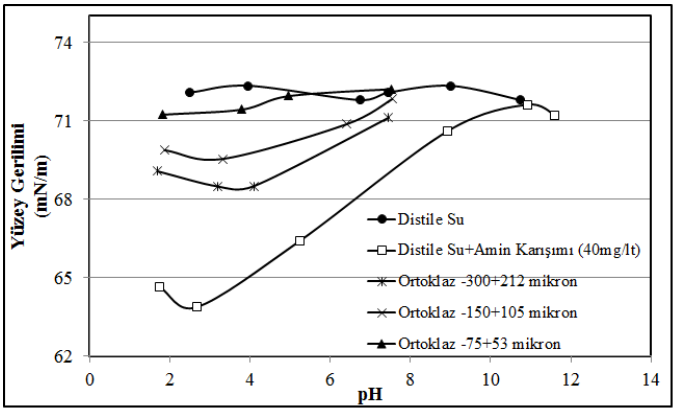
Katyonik toplayıcı varlığında yapılan analiz sonuçlarına göre aminin yüzey gerilimine etkisinin asidik pH değerlerinde çok fazla olduğu ve nötral pH değerlerine doğru hızla azaldığı görülmektedir. Asidik pH değerlerinde elde edilen yüzey gerilim değerleri 64 mN/m'ye kadar düşerken, bazik pH değerlerinde distile suyun yüzey gerilim değerlerine kadar çıkmaktadır.

Anyonik toplayıcı varlığında yapılan analiz sonuçlarına göre ise, yüzey gerilim değerlerinin asidik-nötr pH değerleri arasında yaklaşık değerler alarak 66-67 mN/m arasında değiştiği ancak bazik pH değerlerinde hızla azalarak 55 mN/m değerlerine kadar düştüğü görülmektedir.

3.2 Katyonik Tür Toplayıcı -Ortoklaz Etkileşiminin Yüzey Gerilimi Açısından İncelenmesi

Katyonik bir tür toplayıcı olan Aero 3000C'nin (amin) ortoklaz ile olan etkileşiminin yüzey gerilimi ölçümleri ile belirlenebilmesi için sabit toplayıcı ve ortoklaz miktarlarında pH'a bağlı yüzey gerilimi ölçümleri yapılmıştır. Amin'in yüzey gerilimine olan etkisinin nötr pH değerlerinde azalması dolayısıyla, ortoklaz varlığındaki analizler etkileşimin belirlenebilmesi için yüksek asidik-nötr pH değerleri arasında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ortoklaz miktarı 1 gr olarak sabit tutulup, 3 farklı tane boyutunun (-300+212 mikron, -150+105 mikron ve -75+53 mikron) etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar distile suyun ve 40 mg/lt amin+distile su karışımının pH'a bağlı yüzey gerilim değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca küçülen tane boyutuyla birlikte birim miktarda minerale ait toplam yüzey alanının artması dikkate alındığında sabit ortoklaz ve toplayıcı miktarlarında yapılan yüzey gerilimi ölçüm sonuçlarına göre küçülen ortoklaz tane boyutu ile birlikte pülp'de ortoklaza tutunan amin miktarı artmaktadır. Böylece pülp'de serbest amin monomer miktarı düşmekte ve pülpün yüzey gerilim değeri artmaktadır. Sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Amin+Distile Su Karışımının Yüzey Gerilimine Etkisi

Bu çalışmada yapısal olarak dodesilamin'in Aero 3000C ile olan benzerliği ve oleyik asit/oleat'ın da Aero 704 ile olan benzerliği (Somasundaran ve Wang, 2006) dikkate alınarak bu toplayıcıları pH'a bağlı değişim grafikleri deneysel sonuçların yorumlanmalarında kullanılmıştır.

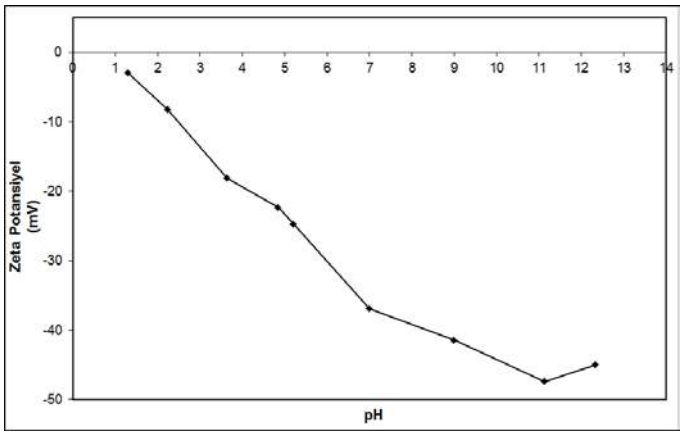
Bilindiği gibi, katı mineral taneleri su içerisine atıldıklarında sudaki H^+ ve OH^- iyonlarının etkisi pozitif ya da negatif yüklenirler. SiOH ve AlOH'ın sudaki çözünürlülükleri aşağıdaki gibidir (Kumar ve Raju, 2002);

- $\sim SiOH \leftrightarrow \sim SiO^- + H^+$ (I)

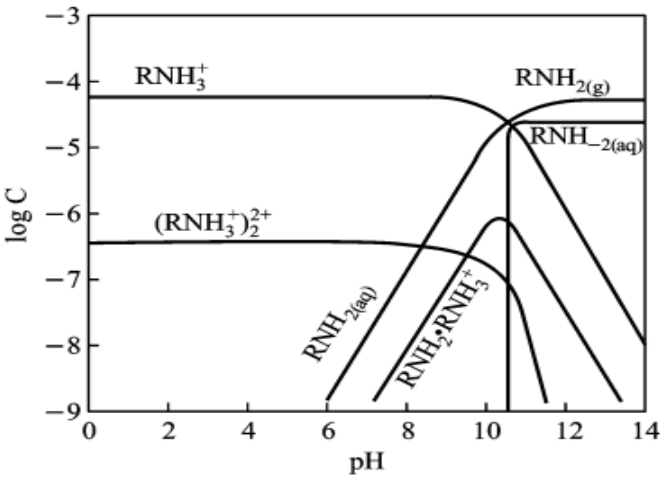
ya da

- $\sim SiOH + OH^- \leftrightarrow \sim SiO^- + H_2O$ (II)
- $\sim SiOH + H^+ \leftrightarrow \sim SiOH_2^+$ (III)
- $\sim AlOH \leftrightarrow \sim AlO^- + H^+$ (IV)
- $\sim AlOH + H^+ \leftrightarrow \sim AlOH_2^+$ (V)

Ortoklazın distile suda pH'a bağlı zeta potansiyel değerleri (Şekil 4) ve dodesilaminin pH'a bağlı değişim grafiği (Şekil 5) incelendiğinde, ortoklazın sıfır yük noktasının (syn) pH 1.0-1.5 aralığında olduğu ve syn'dan nötr-bazik pH değerlerine doğru negatif (-) zeta potansiyel değerinin arttığı ($\sim SiO^-$, $\sim AlO^-$) görülmektedir. Dodesilamin'in ise asidik-nötr pH aralığında çoğunlukla pozitif (+) yüklü monomerlerden (RNH_3^+) oluştuğu göz önüne alındığında amin (Aero 3000C)-ortoklaz etkileşiminin elektrostatik bağlanma ile oluşabileceği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4. Ortoklaz'ın Distile Su'daki pH'a Bağlı Zeta Potansiyel Değerleri.



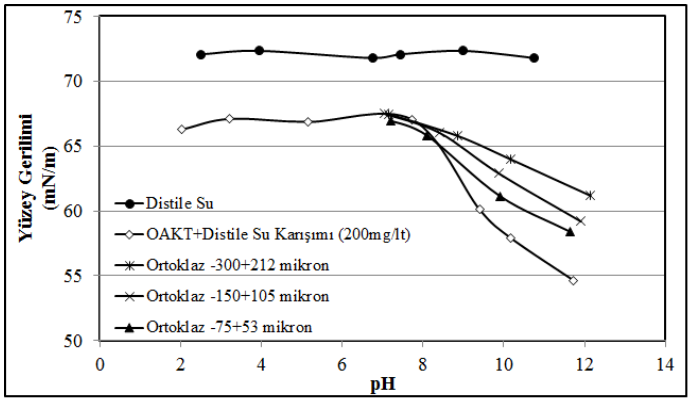
Şekil 5. Dodesilamin'nin pH'a Dayalı Değişim Grafiği (Somasundaran ve Wang, 2006)

3.3 Anyonik Tür Toplayıcı -Ortoklaz Etkileşiminin Yüzey Gerilimi Açısından İncelenmesi

Anyonik bir tür toplayıcı olan Aero 704'ün (oleyik asidi kökenli toplayıcı, OAKT) ortoklaz ile olan etkileşiminin yüzey gerilimi ölçümleri ile belirlenebilmesi için de toplayıcı ve ortoklaz miktarı sabit tutulup pH'a bağlı yüzey gerilimi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar distile suyun ve 200 mg/lt OAKT+distile su karışımının pH'a bağlı yüzey gerilim değerleriyle karşılaştırılmıştır.

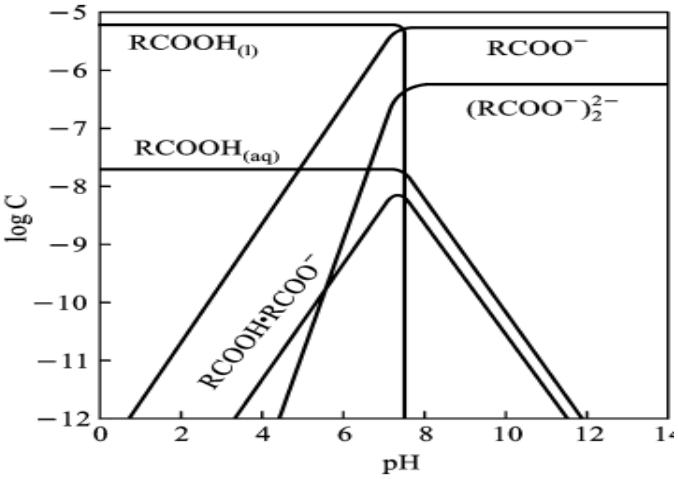
Sonuçlara göre amin türü katyonik bir toplayıcı olan Aero 3000C'den farklı olarak anyonik Aero 704'ün yüzey gerilimine olan etkisi bazik pH değerlerinde kendini göstermektedir. Yüksek asidik-nötr pH değerleri arasında yüzey gerilimine olan etkisi benzer olan OAKT, nötr-yüksek bazik pH değerleri arasında ise yüzey gerilimini 55 mN/m değerine kadar düşürmektedir. Bu sebeple OAKT-ortoklaz etkileşiminin yüzey gerilimi açısından incelenebilmesi için mineral varlığındaki analizler nötr-yüksek bazik pH değerleri arasında yapılmıştır.

Analizlerde ortoklaz miktarı 1 gr olarak sabit tutulup, 3 farklı ortoklaz tane boyutunun (-300+212 mikron, -150+105 mikron ve -75+53 mikron) etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. OAKT+Distile Su Karışımının Yüzey Gerilimine Etkisi

Sonuçlara göre ortoklaz ve OAKT varlığında elde edilen yüzey gerilim değerlerine bakıldığında mineral boyutu küçüldükçe pülpün yüzey geriliminin arttığı görülmektedir. Pülpün yüzey geriliminin artması pülpde serbest OAKT derişiminin azaldığını işaret etmektedir. Bu da OAKT-ortoklaz arasında bir etkileşimin olduğunu ve OAKT'nin ortoklaz yüzeyine tutunduğunu göstermektedir. Ortoklazın pH'a bağlı zeta potansiyel değerleri ve oleyik asidin pH'a bağlı değişim grafiği (Şekil 7) dikkate alındığında bazik pH değerlerinde ortoklazın güçlü negatif zeta potansiyele sahip olduğu ve oleyik asitin de derişim açısından çoğunlukla negatif yüke sahip monomer ve dimer yapılardan oluştuğu görülmektedir. Böylece belirtilen pH koşullarında aynı yüke sahip OAKT ile ortoklaz arasında elektrostatik bir çekim yerine bir itme kuvvetinin olması beklenmelidir. Bu durumda OAKT-ortoklaz etkileşiminin elektrostatik olmadığı, mineral yüzeyindeki SiOH ve AlOH ile Aero 704'ün karboksil (O=C-O-) grubunun hidrojen bağı ile bağlandıkları sonucuna varılmaktadır.



Şekil 7. Oleik Asit/Oleat'ın pH'a Dayalı Değişim Grafiği (Somasundaran ve Wang, 2006)

4 SONUÇLAR

Saf su ve saf su+toplayıcı karışımları kullanılarak yapılan yüzey gerilimi ölçüm sonuçlarına göre saf suyun yüzey gerilim değerinin tüm pH aralığında yaklaşık sonuçlar verdiği ve 71.0-72.5 mN/m aralığında değiştiği görülmüştür.

Katyonik amin türü bir toplayıcı olan Aero 3000C (amin)+distile su+ortoklaz karışımı ile yapılan yüzey gerilimi ölçümlerinde, sabit toplayıcı ve mineral varlığında mineral tane boyutu küçüldükçe, amin-ortoklaz etkileşiminin arttığı, böylece pülp içerisindeki serbest toplayıcı miktarının düştüğü ve pülpün yüzey geriliminin arttığı görülmektedir. Ortoklazın zeta potansiyel değerinin pH 1.0-1.5'dan itibaren nötr-bazik pH değerlerinde daha negatif değerler aldığı ve aminin bu pH değerlerinde derişim bakımından pozitif yüklü monomerlerden oluştuğu dikkate alındığında amin-ortoklaz etkileşiminin elektrostatik bir etkileşim olduğu sonucuna varılmaktadır.

Anyonik oleyik asit kökenli bir toplayıcı olan Aero 704+distile su+ortoklaz karışımı ile yapılan yüzey gerilim ölçümlerinde mineral tane boyu küçüldükçe ve pH değeri arttıkça pülpün yüzey geriliminin arttığı görülmektedir. Azalan ortoklaz tane boyu ile pülp içerisindeki aynı miktardaki ortoklaza ait toplam yüzey alanı artmakta ve dolayısıyla toplayıcı-ortoklaz etkileşimi artmaktadır. Artan ortoklaz-toplayıcı etkileşimi ile birlikte pülpteki serbest toplayıcı miktarı azalmakta ve pülpün yüzey gerilimi artmaktadır. OAKT'nin bazik pH değerlerinde derişim bakımından ağırlıklı olarak negatif yüklü monomerler olarak bulunduğu ve ortoklazın da bazik pH değerlerinde negatif zeta potansiyel değerine sahip olduğu dikkate alındığında OAKT-ortoklaz etkileşiminin elektrostatik bir etkileşim olmadığı sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

Bayat, O., Arslan, V., Cebeci, Y., 2006, Combined Application Of Different Collectors in the Flotation Concentration of Turkish Feldspars, Minerals Engineering, Vol. 19, pp. 98-101.

Bayraktar, I., Ersayın, S., Gulsoy, O.Y., 1997, Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamates and Soaps of Vegetable Oils. Minerals Engineering 1 (12), pp. 1363–1374.

Celik, M.S., Can, I., Eren, R.H., 1998, Removal of Titanium Impurities from Feldspar Ores by New Flotation Collectors, Minerals Engineering, 11 (12), pp. 1201–1208.

Kumar, V. and Raju, G.B., 2002, Adsorption of Oleic Acid at Sillimanite/Water Interface, Journal of Colloid and Interface Science, 247, pp. 275-281.

Ozun S., Atalay U., Kadioglu, Y.K., 2009, Investigation on Possibility of Opaque Minerals Removal from Foid Bearing Rock, Mining and Geoengineering, Release of Journals AGH, 33 (4), pp. 269-276.

Somasundaran, P., Wang, D., 2006, Solution Chemistry: Minerals and Reagents, Developments in Mineral Processing, Printed by Elselvier Science, Volume 17, pp. 5-72.

Vidyadhar, A., Rao, K.H., 2002, Adsorption of N-Tallow 1.3-Propanediamine-Dioleate Collector of Albite and Quartz Minerals and Selective Flotation of Albite from Greek Stefania Feldspar Ore, J. Colloid Interface Sci.,248, pp. 19-29.

Hidrometalurji ve Biohidrometalurji

Çayeli Bakır Cevherinin Liçine Sıcaklık ve Sürenin Etkisi

Effects Of Temperature And Time On Leaching Of Çayeli Copper Ore

M. Kartal, S. Demirel, A. Alp
Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

A. O. Aydın
Sakarya Üniversitesi, Kimya Bölümü, Sakarya

H. Gül
Düzce Üniversitesi, Gümüşova MYO, Düzce

ÖZET Bu çalışmada, Rize ili Çayeli ilçesi Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.'den temin edilmiş zenginleştirilmiş bakır cevherinden bakır kazanımına sıcaklık ve sürenin etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda hacmen %10 H_2O_2'luk yükseltgeyici ilaveli sülfürik asit liçine tabi tutulan konsantre cevher 200 mesh elek altı olacak şekilde öğütülmüş, mekanik aktivasyon amacıyla gezegensel bilyalı değirmende 600 d/dk hızda 1/30 katı/bilya oranında ve 2 saat süresince aktivasyona tabi tutulmuştur. Mekanik aktivasyonu ve yükseltgen ilavesini takiben liç işlemleri ile elde edilen bakır ekstraksiyon verimleri, sıcaklık ve süre artışıyla artan bir davranış sergilemiştir. Aktivasyon sonrası %10'luk H_2O_2 yükseltgeyicili 1 M H_2SO_4 ile 2 saat süre ile 25 °C'de direk liç ile %88.7, 100 °C'de ise %93.2 gibi yüksek ekstraksiyon verimlerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Liç, Çayeli bakır madeni, sıcaklık ve süre etkisi

ABSTRACT In this study, effects of temperature and time on the copper extraction from enriched copper ore (obtained from Çayeli Bakır İşletmeleri Inc., Çayeli, Rize) were investigated. Concentrated ore, which was introduced to sulfuric acid leaching with 10 vol.% H_2O_2, was ground as below 200 mesh and activated in a planetary ball mill at 300 rpm, 1:30 ball-to-powder ratio for 2 h. Copper extraction efficiency, obtained from mechanical activation and a subsequent leaching process with an oxidizer addition, increased with increasing temperature and time. After mechanical activation, 1 M H_2SO_4 leaching with 10 vol.% H_2O_2 were carried out for 2 h at 25 °C and 100 °C, extraction efficiencies of 88.7 vol.% and 93.2 vol.% were achieved, respectively.

Keywords: Leaching, Çayeli copper mine, effect of temperature and time

1 GİRİŞ

Günümüzde bakır, kurşun ve çinko gibi temel metallerin üretimi için en önemli kaynaklar, hala sülfürlü cevherler ve bunlardan flotasyon teknikleriyle elde edilen konsantrelerdir. Doğada bulunan bakır elementi metalik halde, sülfürlü ve oksitli minarelleri halinde bulunabilmektedir. Metalik halde bulunuşuna çok az rastlanırken daha çok sülfürlü minareleri halinde bulunmaktadır (Kılavuz 1998). Üretimin devam ettiği çoğu bakır maden yataklarında, genellikle ana mineral kalkopirit ($CuFeS_2$) olmaktadır. Bu nedenle kalkopirit cevherlerinden bakır üretimi üzerine yapılan çalışmalar diğer cevherlere nazaran daha çok olmuştur (Nielsen 1967).

Oluşumu açısından Japonya'daki (Kuroko tipi) yataklara benzerlik gösteren Çayeli yatağında iki ana tip masif sülfürlü cevher bulunduğu bilinmektedir. Bunlardan ilki (sarı cevher), ikincisi ise (siyah cevher) olarak adlandırılmaktadır. Sarı cevher genel olarak pirit (FeS_2), kalkopirit ($CuFeS_2$) ve az miktarda sfalerit (Zn(Fe)S) içermektedir. Kompleks sülfürlü cevherler için genel olarak siyah cevher terimi kullanılmakta olup, esas olarak sfalerit, kalkopirit ve piritle birlikte tetrahedrit $(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}Sb_4S_{13}$, tennantit $(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}As_4S_{13}$, bornit ($Cu_5FeS_4$), kovellin (CuS) ve galen (PbS) içermektedir. Her iki cevher tipinde var olan gang mineralleri ise kuvars (SiO_2), barit ($BaSO_4$), kalsit ($CaCO_3$) ile bazı karbonatlar ve kil mineralleridir (Çakır ve arkadaşları 2013, Demirel 2011, Kartal ve arkadaşları 2013, Uzun ve Çevirmen 1981).

Mekanik aktivasyon işlemi, ekstraktif metalürjide özel bir öneme sahiptir. Katı maddelerin mekanik aktivasyonu, mekanokimyanın proseslerinden biridir. Smekal mekanik aktivasyon terimini "katının reaksiyona girme yeteneğinde artış sağlayan bir proses" olarak ifade etmektedir. Yapıda ya da kompozisyonda bir değişim mevcutsa bu mekanokimyasal bir prosestir. Mekanik aktivasyon reaksiyonu ilerletmekte ancak bu reaksiyonun oluşumu esnasında etki etmemektedir. Butjagin ise mekaniksel enerjinin etkisini üç ana görüş ile izah etmektedir: yapısal düzensizlik, yapı gevşemesi ve yapısal mobilite. Gerçek koşullar altında bu üç faktör bir katının reaktifliğine simultane olarak (eş zamanlı) etki etmektedir. Bu bilim adamı mekanik aktivasyonu katı yapısında stabil değişimler nedeniyle reaksiyon kabiliyetinde bir artış olarak tarif etmiştir (Balaz 2000, Celep ve Alp 2008).

En çok kullanılan çözücüler asidik çözücülerdir. Sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit ve hidroflorik asit en çok kullanılan asidik çözücülerdir. Sülfürik asit liçi özellikle oksitli bakır cevherlerinin liçinde oldukça tercih edilen bir yöntemdir ve aynı zamanda ön işlem görmüş sülfürlü bakır cevherlerinin liç işlemlerinde de kullanılmaktadır. Bununla birlikte hidrojen peroksit kuvvetli bir oksitleyicidir. Özellikle, kalkopirit, bornit, kovellin ve kalkosin gibi sülfürlü bakır minerallerinin çözündürülmesi işleminde kullanılabilmektedir. Kalkopiritin hidrojen peroksitli ortamda liç edilmesi aşağıdaki (1) reaksiyonuna göre meydana gelmektedir (Çepni ve Gelen 1999).

$$2CuFeS_2 + 17H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2Cu^{+2} + 5SO_4^{-2} + 2Fe^{+3} + 18H_2O \quad (1)$$

Artan sıcaklıkta sıvıların viskozitesi düşüp liç hızını arttıran difüzyon katsayıları büyük olacağından, liç işlemleri genellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Ancak yüksek sıcaklık fazla miktarda istenmeyen maddelerin çözünmesine veya katının tahrip olmasına neden olabilir. Difüzyon kontrollü liç reaksiyonlarında; sıcaklık artısı reaksiyon hızını genellikle lineer veya lineere yakın oranda arttırmaktadır. Yüzey reaksiyon kontrollü liç reaksiyonlarında; sıcaklık artışı, reaksiyon hızında üstel artış sağlar ve reaksiyon difüzyon kontrollü olur.

Metal üretim prosesleri esnasında endüstriyel fırınlarda kullanılan elektrik enerjisi, termik, hidrolik, jeotermal ve nükleer vb. kaynaklı olarak üretilmektedir. Pirometalurjik yöntemler bakır ekstraksiyonu için dünyada uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Pirometalurjik proseslerin ihtiyaç duyduğu enerjinin dünyada %85'i kömür, petrol, doğalgaz, bitümlü şist gibi fosil yakıtlardan üretilmektedir. Türkiye'deki elektrik üretiminin ise %75'i fosil, %25'i hidrolik ve rüzgar kaynaklıdır (Kartal ve arkadaşları 2013). Yüksek enerji ihtiyacı gerektiren pirometalurjik prosesler bu yüzden direkt ya da dolaylı olarak yüksek miktarda fosil yakıtların kullanılmasına ve sonuçta çevreye zararlı daha yüksek oranda kükürt ve azot oksit ile on binlerce ton kirletici parçacıkların meydana gelmesine, ozon tabakasının incelmesine, ekolojik sisteme ve ekonomiye zarar vermesine, asit yağmurlarının oluşmasına; asit yağmurları ise bitkilerin, nehir ve göllerdeki balıkların ölümüne sebep olurken, metalik ürünlerin korozyonuna, CO_2 oluşumu yoluyla sera etkisi oluşumuna, hava ve okyanusların uzun süreli ortalama sıcaklık artışıyla buzulların erimesine, bazı gaz ve katı parçacıkların çıkışı nedeni ile solunum yolları hastalıklarına, vb. katkı sağlaması söz konusudur

Bu nedenlerle hidrometalurjik proseslerin daha fazla önem kazanması sonucu liç

yöntemi ile bakır cevherlerinden de bakır üretimi üzerine dünyada yapılan çalışmalarda artışlar gözlenmektedir (Parasad ve Pandey 1998, Kartal ve arkadaşları 2013). Ayrıca işletme maliyetlerinin düşük oluşu, bakır dışındaki diğer bileşenlerin de kazanılmasının mümkün oluşu ve düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilebilmesi imkanının oluşu gibi nedenler de hidrometalurjik proseslerin tercih sebeplerindendir.

Bu çalışmada öğütme ve mekanik aktivasyon ön işlemleri sonrası uygulanan hidrojen peroksit (H_2O_2) ilaveli sülfürik asit liçine sıcaklık ve sürenin etkisi incelenmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Konsantre bakır cevheri, Rize ili Çayeli ilçesi Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.'den temin edilmiştir. Bakır cevheri halkalı değirmende öğütüldükten sonra etüvde bekletilerek neminden arındırılmış ve akabinde mümkün olduğunca homojen hale getirilmesi için halkalı karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sonraki tüm çalışmalar bu numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bakır konsantre cevherinin XRF ile yapılan kimyasal analizi sonucu elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bakır Cevherinin Kimyasal Analiz Sonuçları.

Bileşen	%	Bileşen	%
Cu	13.05	Pb	0.58
Fe	22.32	O	31.80
S	20.80	Ba	1.50
Zn	9.30	Diğer	0.65

Öğütülen cevher gezegensel bilyalı değirmen (Fritch Pulverisette 6) kullanılarak aktive edilmiştir. Öğütme işleminin gerçekleştiği haznenin iç cidarı ve bilyalar aşınmaya dayanıklı ve sert tungsten karbürden (WC) olup konsantre cevher 200 mesh (63 mikron) elek altı olacak şekilde öğütülmüştür.

Aktivasyon işleminde kullanılan bilyalar 10 mm çapında olup literatürde mekanik aktivasyonun optimum sonuçlarının 600d/dk, 2 saat ve 1/30 katı/bilya oranında yapılan mekanik aktivasyon şartlarında elde edildiği belirtilmiştir (Demirel 2011). Bu şartlar altında cevherlerin tane boyutları 10 mikronun altına inmiştir ve 1/30 katı-sıvı oranı olacak şekilde 5 gramlık numuneler liç işlemine tabi tutulmuştur. Liç işleminden sonra süzme işlemi gerçekleştirilerek çözelti çözünmeyen kısımdan ayrılmıştır. Daha sonra çözeltiye saf su eklenerek 250 ml analiz numunesi hazırlanmıştır. Analiz işleminde, 250 mL çözeltiden 20 mL pipetle çekilmiş ve behere boşaltılmıştır. Çözeltideki demirlerin çökeltilmesi için seyreltilmiş amonyak çözeltisi kullanılmıştır. Bu işlem sırasında pH kontrolü yapılarak, pH değerinin 9-10 olmasına dikkat edilmiştir. Çökelti mavi bantlı filtreden geçirilerek elde edilen berrak süzüntüye yaklaşık 2 gr potasyum iyodür katılmış ve karanlık odada 10 dakika dinlenmeye bırakılmıştır. 10 dakikalık dinlendirilme sonrasında seyreltilmiş asetik asit çözeltisi kullanılarak çözeltinin pH değeri 3-4'e indirilmiştir. Saf suda çözülerek hazırlanmış patates nişastası pH'ı 3-4 olan çözeltiye indikatör olarak katılarak çözeltinin renginin koyulaşması sağlanmıştır. Koyulaşma homojen bir şekilde tüm çözelti içerisinde sağlandıktan sonra, 0.01 N sodyum tiyosülfat kullanılarak yapılan titrasyon işlemi beyaz bir renk elde edilince kesilmiş ve sarf edilen sodyum tiyosülfat miktarı belirlenmiştir.

Aşağıdaki formül (2) yardımıyla sarfiyat miktarından % Cu verimi belirlenmiştir.

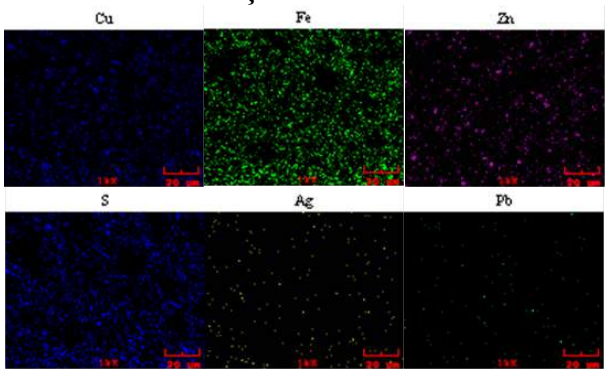
$$\text{Verim} = [(\text{Sarfiyat} \times 63.54 \times 0.01\text{N} \times 250/20) / N_{Cu}]. 100 \quad (2)$$

Burada sarf sarfedilen sodyum tiyosülfat miktarını (ml), 63.54 bakırın atomik ağırlığını, N_{Cu} numunedeki bakır miktarını (mg), 0.01 N ise sodyum tiyosülfatın normalitesini ifade etmektedir.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

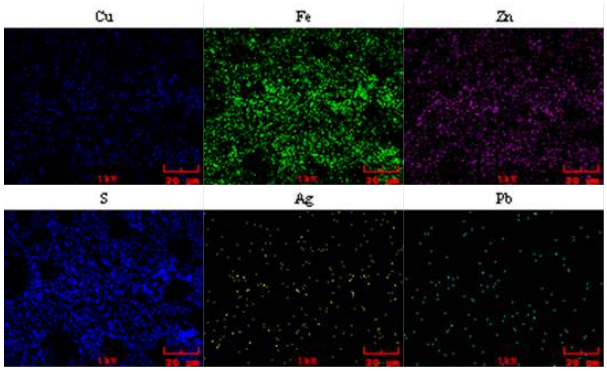
Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi yardımıyla, elektron dağılımlı X-ışını spektroskopisi haritalama (EDS-mapping) yöntemi kullanılarak bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kükürt (S), gümüş (Ag) ve kurşunun (Pb) aktivasyon öncesi ve sonrası

yapıdaki dağılımları incelenmiş, Şekil 1 ve Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 1. Aktive edilmemiş (orjinal) numunenin EDS haritalama görüntüsü.

Şekil 1 ve Şekil 2' den görüldüğü gibi, aktivasyon öncesi belirli bölgelerde yoğunluk gösteren Cu, Fe, Zn, S, Ag, Pb'nin, aktivasyon sonrası daha homojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Partiküllerin ufalması ile tanelerin serbestleştiği, böylece cevhere uygulanacak pirometalurjik veya hidrometalurjik proses için daha uygun bir fiziksel hale geldiği söylenebilir.



Şekil 2. Aktive edilmiş numunenin EDS haritalama görüntüsü.

Sülfürlü bakır cevherlerinden bakır ekstraksiyonu için daha önceki yapılan çalışmalarda mekanik aktivasyonun ardından gerçekleştirilen liç işleminde yükseltgeyici kullanılması durumunda verimin arttığı görülmüştür (Çakır ve arkadaşları 2013, Kartal ve arkadaşları 2013). Aktivasyon sonrası kristal yapıda oluşan kusurlar, çözünmede ciddi bir artışa neden olmaktadır. Diasporitik boksit ile ilgili bir çalışmada da, mekanik aktive edilmiş diasporitik boksitin atmosferik koşullarda otoklav kullanmadan alkali liçinde %71'lere varan alumina kazanımı elde edilmiştir. Aktive edilmemiş durumda otoklavsız şartta bu verim % 10 ların altında olmaktadır (Taşkın ve arkadaşları 2009).

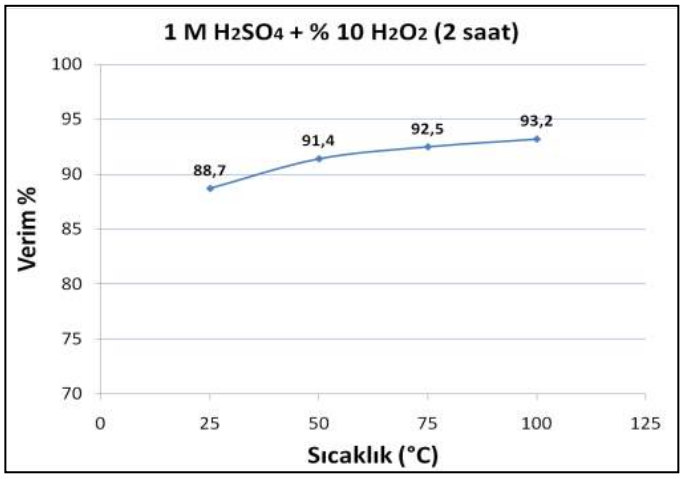
3.1 Sıcaklığın Liç İşlemine Etkisi

1 M H_2SO_4 + % 10 H_2O_2 çözeltisinde diğer liç koşulları aynı kalmak şartı ile 25, 50, 75 ve 100 °C sıcaklıklarda liç çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 2'de ve bu verilerden elde edilerek çizilen grafik ise Şekil 3'de görülmektedir.

Tablo 2. 1 M H_2SO_4 + %10 H_2O_2 çözeltisinde yapılan liç işleminde sıcaklığın bakır verimine etkisi.

Sıcaklık (°C)	H_2SO_4 Derişimi	$\%H_2O_2$	% Cu Verimi
25	1 M	10	88.7
50	1 M	10	91.4
75	1 M	10	92.5
100	1 M	10	93.2

Şekil 3' te görüldüğü gibi sıcaklık artıkça verim artmaktadır. Ancak sıcaklığın verime etkisinin diğer etkilerin fazlalığından kaynaklanan sebeplerle az olduğu söylenebilir. Sırasıyla 25 °C, 50 °C, 75 °C ve 100 °C' de yapılan liç çalışmalarında elde edilen verimler % 88.7, % 91.4, % 92.5 ve % 93.2 olarak bulunmuştur. Oda sıcaklığında dahi oldukça yüksek verimlere ulaşılmıştır. Sonraki artışlar son derece sınırlı kalmıştır.



Şekil 3. 1M H_2SO_4 + %10 H_2O_2 çözeltisinde yapılan liç işleminde sıcaklığın bakır verimine etkisi.

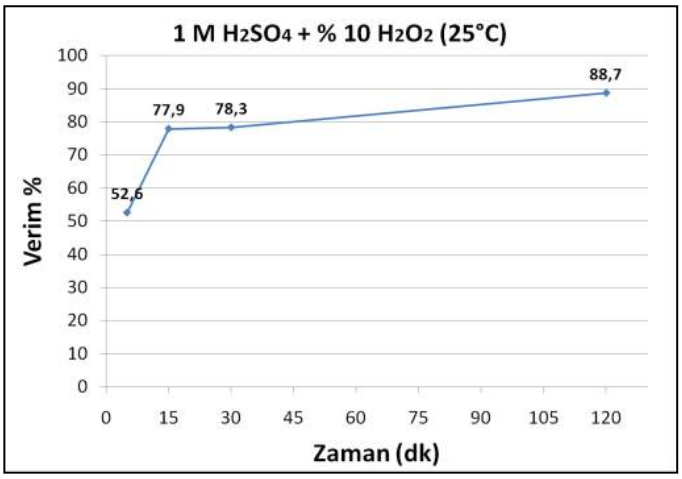
3.2 Sürenin Liç İşlemine Etkisi

Liç süresinin bakır verimine olan etkisini incelemek için, 1 M H_2SO_4+% 10 H_2O_2 çözeltisinde, 25 °C sıcaklık, 1/30 katı/sıvı oranı ve 300 devir/dk karıştırma hızı parametreleri sabit tutularak sırasıyla; 5, 15, 30 ve 120 dakika liç sürelerinde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 3'te ve bu verilerden elde edilerek çizilen grafik ise Şekil 4'te görülmektedir.

Tablo 3. 1 M H_2SO_4 + %10 H_2O_2 çözeltisinde yapılan liç işleminde liç süresinin bakır verimine etkisi.

Liç Süresi (dk)	H_2SO_4 Derişimi	% H_2O_2	% Cu Verimi
5	1 M	10	52.6
15	1 M	10	77.9
30	1 M	10	78.3
120	1 M	10	88.7

Şekil 4'te görüldüğü gibi bu liç koşullarında çok kısa liç süresinde dahi yüksek verimler elde etmek mümkündür. 5 dakika liç süresinde % 52.6 verim elde edilmiştir. Çok kısa liç süresinde (5 dakika) dahi yüksek sayılabilecek bir verim (yarıdan fazlası) elde edilmesi, öncelikle tanelerin aktivasyonunun ve çözeltideki yükseltgeyici etkisinin, ciddi katkısıyla gerçekleştiği ifade edilebilir. Oluşan tanelerin çok küçük oluşu nedeniyle ciddi serbestleşme ve kristal yapıların amorflaşması suretiyle ciddi kristal kusurlarının sağlanmış olması, katı-sıvı tepkimesinin bu kristal kusurları ve yükseltgeyici etkisiyle kolaylaşması, 15 dakika liç süresinde % 77.9 'luk ciddi bir verimin eldesini sağlamıştır. Bu aşamadan sonra her süre artışı verimde kısmi bir yükselmeye neden olmuş olsa da, bu değerin elde edilen en optimum nokta olduğu ifade edilebilir. Verimin 30 dakika liç süresi için % 78.3 bulunurken, 120 dakika liç süresinde % 88.7 ye ulaşması bu uzun sürelerde oluşan kısmi artışlardan kaynaklanmaktadır. 15 dakika da yaklaşık % 80'lik bir verime oda sıcaklığında ve 1 molarlık seyreltik bir çözücü ile bile ulaşılabilmesi son derece önemli bir sonuç olarak gözükmektedir.



Şekil 4. 1 M H_2SO_4 + %10 H_2O_2 çözeltisinde yapılan liç işleminde liç süresinin bakır verimine etkisi

4 SONUÇLAR

Mekanik aktivasyon işlemine tabi tutulmuş numuneler ile sülfürik asit çözeltisinde yapılan direk liç işlemlerinde %10 H_2O_2 ilaveli yükseltgen şartlarda ve 2 saat süreyle 100 °C sıcaklıkta bakırın % 93.2 verimle ekstraksiyonu mümkün olmuştur. Sıcaklığın artışıyla liç veriminde artış gözlenmiştir. Oda sıcaklığında (25 °C) %10 H_2O_2 ilaveli sülfürik asit ile 2 saat süreyle yapılan liç işleminde %88.7'lik bir ekstraksiyon verimi elde edilmiştir. Elde edilen değerler geleneksel pirometalurjik yöntemlere kıyasla, yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymadan, düşük konsantrasyonlu oksitleyici ilaveli 1 M gibi bir sülfürik asit çözeltisiyle yüksek ekstraksiyon verimlerine ulaşılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Balaz, P., Extractive Metallurgy of Activated Mineral, *Elsevier Science B.V.*, 2000.

Celep, O., Alp, İ., Karıştırmalı Değirmenler İle İnce Öğütmenin Refrakter Altın Cevherlerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, *Madencilik*, 2008, 47, 3, s.15-26.

Çakır, M., Kartal, M., Gül, H., Taşkın, E., Uysal, M., Aydın, A. O., Alp, A., Bakır Rafinasyon Curufu Flotasyon Atıklarındaki Bakırın Geri Kazanımı, *ISITES2013*, 2013, s.200-207, Sakarya.

Çepni, E., Gelen, Ö., Bakır Curuflarında Piro-Hidrometalurjik Yöntemle Bakır Kazanımı, Bitirme Ödevi, *S.A.Ü. Mühendislik Fakültesi*, 1999.

Demirel, S., "Rize-Çayeli konsantre bakır cevherlerinden hidrometalurjik bakır ekstraksiyonuna mekanik aktivasyonun etkisi", *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü YLS Tezi*, 2011.

Kartal, M., Altay, F. M., Uysal, M., Gül, H., Karslıoğlu, R., Alp, A.,Metalik madenlerin işlenmesinde pirometalurjik prosesler yerine daha çevreci proseslerin kullanımının yaygınlaşması ve önemi, *Çevre Sempozyumu*, 2013, s.533-545, Gümüşhane.

Kılavuz, O., Bakır, Madencilik Ana Planı Özel İhtisas Komisyonu, Demir Dışı Metal Madenleri Çalışma Grubu Raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No: DPT 2121-ÖİK:326, 1998.

Nıelsen, N. C., "Copper", Encyclopedia of Chemical Technologies, Kirk-Othmer, s.131-181, 2, 6, John Wiley and Sons, New York, 1967.

Parasad, S., Pandey, B.D., "Alternative Processes for Treatment of Chalcopyrite – Review", *Mineral Engineering*, 1998, 11, 8, s.763-781,.

Taşkın, E., Yıldız, K., Alp, A., Direct alkaline leaching of mechanically activated diasporic bauxite, *Minerals & Metallurgical Processing*, 2009, 26, s.222-225.

Uzun, H., Çevirmen, B., "Rize-Çayeli-Madenköy Bakır-Çinko-Kurşun Kompleks Sülfürlü Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirimesinde Yeni Bir Yöntem: SO2 –Sıcak Flotasyonu", *7. Türkiye Madencilik ve Bilimsel Kongresi*, 1981, s.275-293, Ankara.

Çayeli Sülfürlü Bakır Cevherinin Direkt Liçine Mekanik Aktivasyon ve Yükseltgeyicinin Etkisi

Effects of Mechanical Activation and Oxidizer on Direct Leaching of Çayeli Copper Ore

M. Kartal, S. Demirel, M. Uysal, A. Alp
Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

A. O. Aydın
Sakarya Üniversitesi, Kimya Bölümü, Sakarya

ÖZET Bu çalışmada, Rize ili Çayeli ilçesi Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.'den temin edilmiş zenginleştirilmiş bakır cevherinden bakır kazanımına mekanik aktivasyonun ve yükseltgeyici cinsinin sülfürik asit liçine olan etkisi araştırılmıştır. 200 mesh elek altı olacak şekilde öğütülmüş numuneler, gezegensel bilyalı değirmende 600 d/dk hızında 1/30 katı/bilya oranında ve 2 saat süresince mekanik aktivasyona tabi tutulmuştur. Numunelerin aktivasyon öncesi ve sonrası XRD ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik aktivasyon ve yükseltgeyici ilavesini takiben liç işlemleri ile elde edilen bakır ekstraksiyon verimleri, ön işlemsiz ve yükseltgeyici ilavesiz direkt liç verimlerinden daha yüksek olarak elde edilmiştir. Aktivasyon sonrası 3 M H_2SO_4 liçine uygulanan 10 L/dk yükseltgeyici hava ile %96.7 ve 1 M H_2SO_4 liçine uygulanan hacimce %30 H_2O_2 yükseltgeyicisi ile %100 oranlarında yüksek ekstraksiyon verimlerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mekanik aktivasyon, yükseltgeyici, Çayeli Bakır İşletmeleri, direkt liç

ABSTRACT In this study, effects of mechanical activation and oxidizer on the copper extraction from enriched copper ore (obtained from Çayeli Bakır İşletmeleri Inc., Çayeli, Rize) were investigated. Ground samples as below 200 mesh mechanically activated in a planetary ball mill at 300 rpm, 1/30 ball-to-powder ratio for 2 h. SEM and XRD analyzes of the samples were carried out before and after mechanical activation. Copper extraction efficiencies obtained from mechanical activation and a subsequent leaching process with an oxidizer addition, are higher than that of direct leaching without any oxidizer and pretreatment process. After mechanical activation, 3 M H_2SO_4 (10 L/sec) and 1 M H_2SO_4 (20 vol.% H_2O_2) were carried out and high extraction efficiencies of 96.7 vol.% and 100 vol.% were achieved, respectively.

Keywords: Mechanical activation, oxidizer, Çayeli Bakır İşletmeleri, direct leaching

1 GİRİŞ

Bakır, kurşun ve çinko gibi metallerin üretimi için en önemli kaynaklar halen sülfürlü cevherler ve bunlardan flotasyon teknikleriyle elde edilen konsantreler olarak görülmektedir. Bakır elementi doğada metalik veya sülfürlü ve oksitli mineraller halinde bulunabilmektedir. Nadiren metalik olarak doğada bulunan bakır çoğunlukla sülfürlü minareleri halinde bulunmaktadır (Kılavuz 1998). Bakır maden yataklarında gerçekleşen üretimlerin çoğunluğunda genel itibariyle ana mineral kalkopirit ($CuFeS_2$) olmaktadır. Bu sebeple kalkopirit cevherlerinden bakır üretimi üzerine yapılan çalışmalar diğer cevherlere göre bir hayli fazladır (Nielsen 1967).

Japonya'daki (Kuroko) yataklara oluşumu açısından benzerlik gösteren Çayeli yatağında sarı cevher ve siyah cevher olarak adlandırılan iki ana tip sülfürlü cevher bulunduğu bilinmektedir. Sarı cevher genel olarak pirit (FeS_2), kalkopirit ($CuFeS_2$) ve az miktarda sfalerit (Zn(Fe)S) bileşiklerinden oluşmaktadır. Siyah cevher terimi ise kompleks sülfürlü bakır cevherleri için kullanılmakta olup, esasen sfalerit, kalkopirit, pirit, aynı zamanda tetrahedrit $(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}Sb_4S_{13}$, tennantit $(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}As_4S_{13}$, bornit ($Cu_5FeS_4$), kovellin (CuS) ve galen (PbS) içermektedir. İki cevher tipinde ortak olarak yer alan gang mineralleri ise kuvars (SiO_2), barit ($BaSO_4$), kalsit ($CaCO_3$) ile karbonat esaslı bileşikler ve kil mineralleridir (Uzun ve Çevirmen 1981, Demirel 2011, Çakır ve arkadaşları 2013, Kartal ve arkadaşları 2013).

Mekanik aktivasyon işlemi, değişmeden kalan bir katının reaksiyona girme yeteneğinde bir artışı mümkün kılan proses olarak ifade edilmektedir. Katı maddelerin mekanik aktivasyonu, mekanokimyanın proseslerinden biridir. Yapıda ya da kompozisyonda bir değişim mevcutsa bu mekanokimyasal bir prosestir. Mekanik aktivasyon reaksiyonu ilerletmekte ancak bu reaksiyonun oluşumu esnasında etki etmemektedir. Mekanik enerjinin etkisi yapısal düzensizlik, yapı gevşemesi ve yapısal mobilite başlıkları altında üç ana nedene bağlanabilir. Buradaki üç faktör gerçek şartlar altında katının reaktifliğine etki etmektedir. Bu etkiler dolayısıyla katı yapısında kalıcı değişimler sebebiyle reaktifliğindeki artış mekanik aktivasyonun temelini oluşturmaktadır (Balaz 2000, Celep ve Alp 2008).

Asidik çözücüler hidrometalurjik bakır eldesinde en çok kullanılan çözücülerdir. En yaygın olarak kullanılan asidik çözücüler sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit ve hidroflorik asit çözücüleridir. Özellikle oksitli bakır cevherlerinin liçinde sülfürik asit liçi oldukça tercih edilen bir yöntemdir ve aynı zamanda ön işlem görmüş sülfürlü bakır cevherlerinin liç işlemlerinde de kullanılmaktadır. Yükseltgen olarak hava yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte hidrojen peroksit (H_2O_2) kuvvetli bir oksitleyicidir. Özellikle, kalkopirit, bornit, kovellin ve kalkosin gibi sülfürlü bakır minerallerinin çözündürülmesi işleminde kullanılabilmektedir. Kalkopiritin hidrojen peroksitli ortamda liç edilmesi aşağıdaki (1) reaksiyonuna göre meydana gelmektedir (Çepni ve Gelen 1999).

$$2CuFeS_2 + 17H_2O_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2Cu^{+2} + 5SO_4^{-2} + 2Fe^{+3} + 18H_2O \quad (1)$$

Bu çalışmada öğütülmüş bakır cevherinin sülfürik asit ile liçine mekanik aktivasyonun ve yükseltgeyicinin etkisi incelenmiştir. Uygulanan mekanik aktivasyon ön işlemi ve liç sırasında ilave edilen yükseltgeyici ile ekstraksiyon verimlerinin artışı amaçlanmıştır. Yükseltgen olarak hava ve hidrojen peroksit kullanılmıştır ve bunların birbirleriyle mukayesesi gerçekleştirilmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Rize ili Çayeli ilçesi Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.'den temin edilen konsantre bakır cevheri halkalı değirmende öğütüldükten sonra etüvde bekletilerek içeriğindeki nem uzaklaştırılmıştır. Ardından mümkün olduğunca homojen hale getirilmesi için halkalı karıştırıcıda karıştırılmış ve deneylerde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Konsantre bakır cevherine ait XRF analizi ve elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bakır Cevherinin Kimyasal Analiz Sonuçları.

Bileşen	%	Bileşen	%
Cu	13.05	Pb	0.58
Fe	22.32	O	31.80
S	20.80	Ba	1.50
Zn	9.30	Diğer	0.65

Öğütülen cevher gezegensel bilyalı değirmen (Fritch Pulverisette 6) kullanılarak aktive edilmiştir. Öğütme işleminin gerçekleştiği haznenin iç cidarı ve bilyalar aşınmaya dayanıklı ve sert tungsten karbürden (WC) olup, aktivasyon işleminde 10 mm çaplı bilyalar kullanılmıştır.

Mekanik aktivasyon çalışmaları için XRD çalışmaları Rigaku marka D/MAX/2200/PC model X-ışını cihazı ile yapılarak kristal yapıda meydana gelen bozulmalar incelenmiştir. Aynı zamanda numunelerin JEOL marka JSM 6060 LV model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile farklı büyütmelerde yüzey morfolojisine bakılarak, yüzey topografileri ve boyutları hakkında bilgi edinilmiştir.

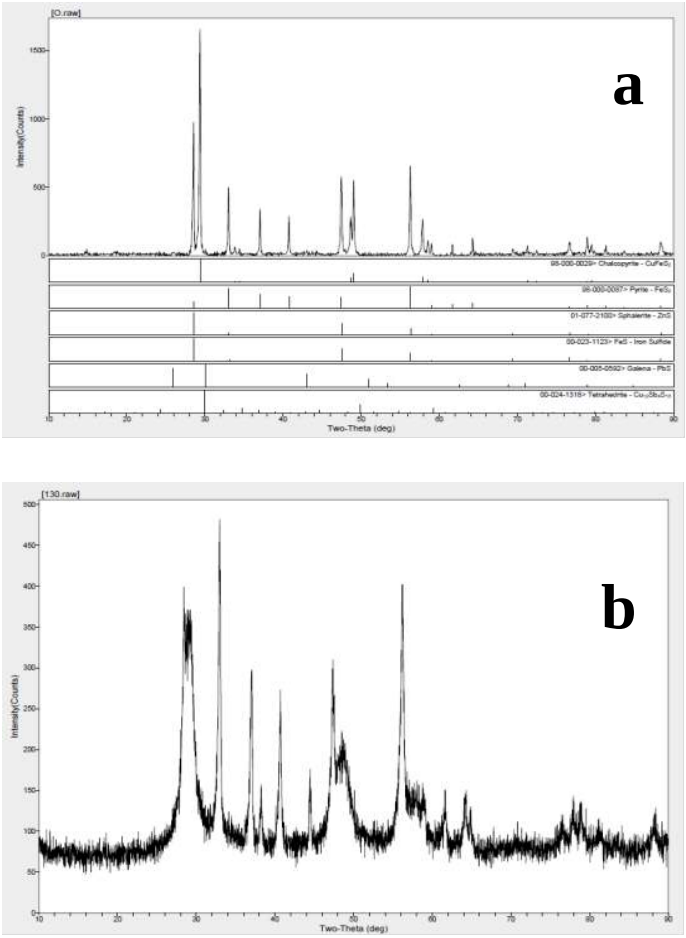
Liç işleminden sonra süzme işlemine tabi tutularak çözelti çözünmeyen kısımdan ayrılmıştır. Daha sonra çözeltiye saf su eklenerek 250 ml analiz numunesi hazırlanmıştır. Analiz işleminde, 250 mL çözeltiden 20 mL pipetle çekilmiş ve behere boşaltılmıştır. Çözeltideki demirlerin çökeltilmesi için seyreltilmiş amonyak çözeltisi kullanılmıştır. Bu işlem sırasında pH kontrolü yapılarak, pH değerinin 9-10 olmasına dikkat edilmiştir. Çökelti mavi bantlı filtreden geçirilerek elde edilen berrak süzüntüye yaklaşık 2 gr potasyum iyodür katılmış ve karanlık odada 10 dakika dinlenmeye bırakılmıştır. 10 dakikalık dinlendirilme sonrasında seyreltilmiş asetik asit çözeltisi kullanılarak çözeltinin pH değeri 3-4' e indirilmiştir. Saf suda çözülerek hazırlanmış patates nişastası pH'ı 3-4 olan çözeltiye indikatör olarak katılarak çözeltinin renginin koyulaşması sağlanmıştır. Koyulaşma homojen bir şekilde tüm çözelti içerisinde sağlandıktan sonra, 0.01 N sodyum tiyosülfat kullanılarak titrasyon işlemi yapılmıştır. Beyaz bir renk elde edilince kesilmiş ve sarf edilen sodyum tiyosülfat miktarı belirlenmiştir. Aşağıdaki formül (2) yardımıyla sarfiyat miktarı kullanılarak % Cu verimi belirlenmiştir (Demirel 2011).

$$\text{Verim} = [(\text{Sarfiyat} \times 63.54 \times 0.01\text{N} \times 250/20) / N_{Cu}]. 100 \quad (2)$$

Burada sarfiyat sarfedilen sodyum tiyosülfat miktarını (ml), 63.54 bakırın atomik ağırlığını, NCu numunedeki bakır miktarını (mg), 0.01 N sodyum tiyosülfat normalitesini ifade etmektedir.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Mekanik aktive edilmemiş ve mekanik aktive edilmiş numunelerin XRD analizi yapılarak kristal yapıda meydana gelen bozulmalar incelenmiştir ve Şekil 1' de gösterilmiştir.

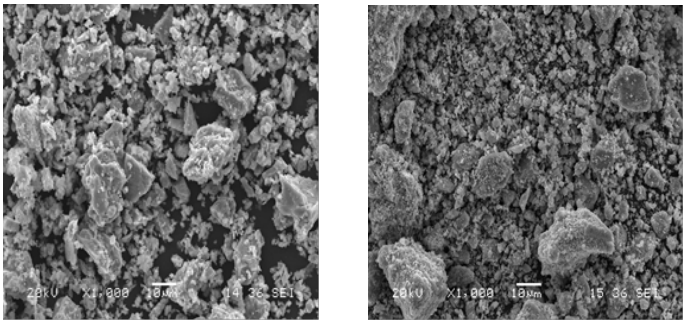


Şekil 1. a) Aktive edilmemiş (orijinal) cevherin XRD analizi, b) 600 d/dk, 1/30 katı/bilye oranında 2 saat süreyle mekanik aktive edilmiş cevherin XRD analizi.

Aktive edilmemiş numune (Şekil 1.a) ile 600 d/dk, 1/20 katı/bilye oranında 2 saat aktive edilen (Şekil 1.b) numune yapılan XRD analiz sonuçlarına göre kıyaslandığında θ = 30°'de bulunan bakıra ait en yüksek pikinin şiddet değerinin 1000 civarından 400'lere düştüğü görülmüştür. Buna dayanarak aktivasyonun ciddi etkisinin olduğu ortaya çıkmakta olup, amorflaşmaya önemli bir etki yaptığı söylenebilir.

Aktive edilmemiş (orjinal) numune ve değişik koşullarda aktive edilmiş numunelerin SEM görüntüleri Şekil 2.a-b' de verilmiştir. Şekil 2' de görüldüğü gibi öğütülmüş ancak aktive edilmemiş cevhere

(a) göre aktive edilmiş (b) tanelerin daha küçük, daha homojen ve daha küresele yakın taneler oldukları görülmektedir. Bu da tanelerin, küçülmenin yanı sıra bilyelerin arasındaki boşlukların şekline uyma eğilimlerini göstermektedir.



(a) (b)

Şekil 2. a) Aktive edilmemiş (orjinal) cevherin SEM görüntüsü, b) 600 d/dk, 1/30 katı/bilye oranında 2 saat süreyle mekanik aktive edilmiş cevherin SEM görüntüsü.

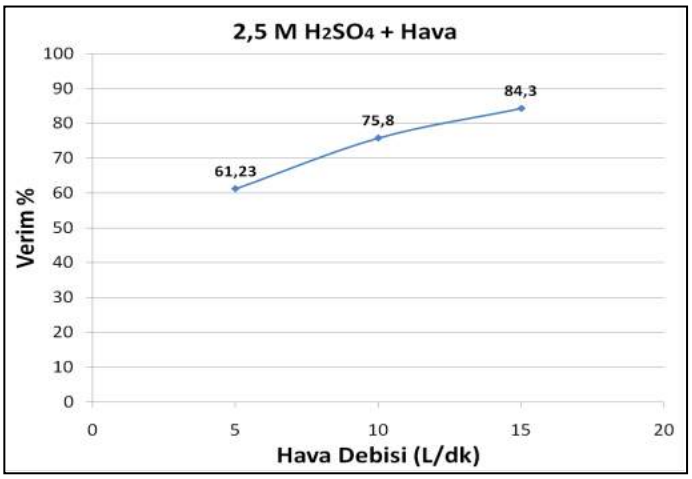
Aktive edilmiş ve aktive edilmemiş numuneler, sülfürik asit çözeltisinde havalı ve havasız ortamlarda liç çalışmaları yapılarak her bir parametrenin bakır liç verimine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların her biri 3 molarlık sülfürik asit çözeltisinde, 100°C sabit sıcaklık, 1/30 katı/sıvı oranı, 300 d/dk karıştırma hızı, 10 L/dk hava debisi (çözeltiye hava veriliyorsa) ve 2 saat liç süresi koşulları altında yapılmıştır.

Tablo 2'den de anlaşılacağı üzere hava olmadığı şartlarda aktivasyon sayesinde verim 1,88 katı artmıştır. Dolayısı ile aktivasyonun önemi açıktır. Aktivasyonun yapıldığı numunede aynı zamanda havanın yükseltgen olarak kullanımı neticesinde verim 6,76 kat artmıştır. Aktive edilmemiş ve hava kullanılmamış liç şartlarına göre ise bu artış 57,22 misli gibi muazzam bir artıştır. Burada aktivasyon sonrası kristal yapıda oluşan kusurlar, çözünmede havanın da katkısıyla muazzam bir artışı ortaya koymaktadır. Paralel sonuçlar Taşkın ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışma ile ortaya çıkmış ve mekanik aktive edilmiş diasporitik boksitin atmosferik koşullarda otoklav kullanmadan alkali liçinde %71'lere varan alumina kazanımı elde edilmiştir.

Tablo 2. 3 M H_2SO_4 çözeltisinde farklı koşullarda yapılan liç çalışmalarının bakır verimine etkisi.

Numunenin aktivasyon durumu	Yükseltgen Hava	% Cu Verimi
Aktive edilmemiş	0 L/dk	1,69
Aktive edilmemiş	10 L/dk	14,31
Aktive edilmiş	0 L/dk	3,17
Aktive edilmiş	10 L/dk	96,7

Çözeltiye verilen hava debisinin bakır verimine olan etkisini incelemek için daha önce 2,5 M H_2SO_4 + Hava (10 L/dk) ortamında 100°C sabit sıcaklık, 1/30 katı/sıvı oranı, 300 d/dk karıştırma hızı ve 2 saat liç süresi koşullarında yapılan ve % 75,8 verim elde edilen çalışma referans olarak kabul edilmiştir. Diğer liç koşulları sabit tutularak sırasıyla çözeltiye 5 L/dk ve 15 L/dk hava verilerek liç çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen değerlerden çizilen grafik Şekil 3' te görülmektedir.

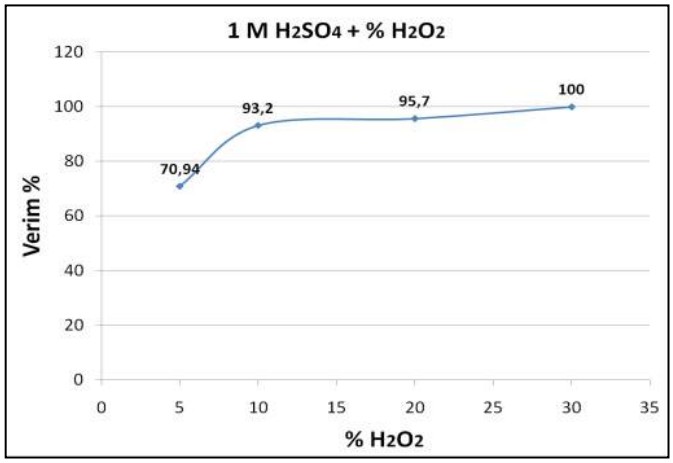


Şekil 3. 2.5 M H_2SO_4 çözeltisinde yapılan liç işleminde değişen hava debisinin bakır verimine etkisi.

Şekil 3'te görüldüğü gibi çözeltiye verilen hava debisinin artması bakır verimini de arttırmaktadır. Sırasıyla; 5, 10 ve 15 L/dk hava verilerek yapılan liç çalışmaları sonucu verim % 61,23, % 75,8 ve % 84,3 bulunmuştur. Yükseltgeyici etkinin artmasıyla bakır sülfürler halindeki bileşiklerin yapısındaki kükürdün yükseltgenmesi suretiyle bakırın

çözünürlüğü artmaktadır. Debinin daha fazla artırılmasıyla liç veriminin de artacağı gibi bir eğilim de söz konusudur.

Yükseltgeyici olarak hava yerine hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılması durumunda ekstraksiyon verimleri ayrıca incelenmiştir. Çözeltiye eklenen H_2O_2' nin verime etkisini incelemek için 1 M H_2SO_4 ve 5, 10, 20, 30 % H_2O_2 olacak şekilde hazırlanmış çözeltide 100°C sabit sıcaklık, 1/30 katı/sıvı oranı, 300 devir/dk karıştırma hızı ve 2 saat liç süresi koşullarında yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 M H_2SO_4 çözeltisinde yapılan liç işleminde değişen H_2O_2 miktarının bakır verimine etkisi.

Şekil 4' te görüldüğü gibi % 10 H_2O_2 ilave edilerek % 93,2 bakır verimi elde edilmiştir. Bundan sonraki yükseltgeyici ilavesindeki artışta kısmi verim yükselişleriyle maksimuma ulaşılsa da, % 10 H_2O_2 ilavesinde optimum verimin elde edildiği söylenebilir. Hava debisiyle mukayese edildiğinde de artan debinin gerek sıvı fazda oluşan hava kabarcıklarıyla çözünmeye engeller oluşturması, gerek katıyı sıvı içinden uzaklaştırıcı etkilere sebep olması maksimum verime ulaşmada problemlerin oluşmasına karşılık, H_2O_2 ilavesinde bu tür olumsuz etkilerin olmaması ve maksimum verimlere ulaşılabilmesi, yükseltgeyici cinsi olarak hidrojen peroksidin önemini ortaya koymaktadır.

4 SONUÇLAR

1) Mekanik aktivasyonun ve yükseltgeyici faktörünün sülfürik asit ile liç işlemine doğrudan etki ettiği gözlenmiştir. Mekanik aktivasyon sonrası 2 saat süreyle 100 °C sıcaklıkta yapılan liç işlemlerinde 3 M H_2SO_4 liçine uygulanan 10 L/dk yükseltgeyici hava ile %96.7 ve 1 M H_2SO_4 liçine uygulanan hacimce %30 H_2O_2 yükseltgeyicisi ile %100 oranlarında yüksek ekstraksiyon verimlerine ulaşılmıştır.

2) Mekanik aktivasyonun cevherin kristal kafes yapısını hasara uğratması sonucu meydana getirdiği amorflaşma etkisi ile liç verimine oldukça olumlu bir etki yaptığı gözlenmiştir.

3) Artan yükseltgeyici miktarı ile artan bakır ekstraksiyon verimleri elde edilmiştir. Ancak yükseltgeyici olarak hava kullanılması durumunda optimum değerlerin üzerinde kullanılması durumunda bakır ekstraksiyonunu sınırlandırıcı etkiler ortaya çıkmıştır. Yükseltgen olarak hidrojen peroksit kullanılmasında ise böyle bir durum olmamaktadır.

4) Yükseltgeyici kullanılması durumunda daha seyreltik sülfürik asit çözeltilerinde dahi yüksek bakır ekstraksiyon verimlerine ulaşılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Balaz, P., Extractive Metallurgy of Activated Mineral, Elsevier Science B.V., 2000.

Celep, O., Alp, İ., Karıştırmalı Değirmenler İle İnce Öğütmenin Refrakter Altın Cevherlerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, Madencilik, 47, 3, s.15-26.

Çakır, M., Kartal, M., Gül, H., Taşkın, E., Uysal, M., Aydın, A. O., Alp, A., Bakır Rafinasyon Curufu Flotasyon Atıklarındaki Bakırın Geri Kazanımı, ISITES2013, 2013, s.200-207, Sakarya.

Çepni, E., Gelen, Ö., Bakır Curuflarında Piro-Hidrometalurjik Yöntemle Bakır Kazanımı, Bitirme Ödevi, S.A.Ü. Mühendislik Fakültesi, 1999.

Demirel, S., "Rize-Çayeli konsantre bakır cevherlerinden hidrometalurjik bakır ekstraksiyonuna mekanik aktivasyonun etkisi", SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü YLS Tezi, 2011.

Kartal, M., Altay, F. M., Uysal, M., Gül, H., Karslıoğlu, R., Alp, A.,Metalik madenlerin işlenmesinde pirometalurjik prosesler yerine daha çevreci proseslerin kullanımının yaygınlaşması ve

önemi, Çevre Sempozyumu, 2013, s.533-545, Gümüşhane.

Taşkın, E., Yıldız, K., Alp, A., Direct alkaline leaching of mechanically activated diasporic bauxite, Minerals & Metallurgical Processing, 2009, 26, s.222-225.

Uzun, H., Çevirmen, B., "Rize-Çayeli-Madenköy Bakır-Çinko-Kurşun Kompleks Sülfürlü Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirimesinde Yeni Bir Yöntem: SO2 –Sıcak Flotasyonu", 7. Türkiye Madencilik ve Bilimsel Kongresi, 1981, s.275-293, Ankara.

Kavurma-Asit Liçi Yöntemi ile Kalkopirit Konsantresinden Bakırın Kazanılması

Recovery of Copper from Chalcopyrite Concentrate by Roasting-Acid Leaching Method

N. Bahar, H. Yoğurtçu
Tunceli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Tunceli

ÖZET Kalkopirit konsantresinden durgun hava ortamında kavurma-asit liçi yöntemi ile bakır kazanılması üzerine, kavurma sıcaklığının (200-800 ^{o}C), kavurma süresinin (15-120 dk) ve asit türünün (nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit) etkileri incelendi ve yüksek bakır kazanımı için en uygun kavurma sıcaklığı, kavurma süresi ve asit türü belirlendi. Kavrulmuş konsantreler, standart liç koşulları altında (oda sıcaklığı, 1 g/10 mL katı/sıvı oranı, 300 dev/dk karıştırma hızı, 60 dakika, 0.5 N asit derişimi) liç edildi. 500 ^{o}C'ye kadar kavurma sıcaklığının artması, bakır kazanımı üzerine olumlu etkiye sahiptir. 500 ^{o}C'nin üzerinde ise, sıcaklık artışı olumsuz etki yapmaktadır. 500 ^{o}C, en uygun kavurma sıcaklığı olarak seçildi. En uygun kavurma süresi, 60 dakikadır. İleri kavurma sürelerinin bakır kazanımı üzerine önemli etkisi yoktur. Nitrik asit çözeltisi liçinden elde edilen bakır kazanımları, en yüksektir. 500 ^{o}C'de kavrulmuş kalkopirit konsantrelerinin 0.5 N nitrik asit çözeltisi ile liçinden elde edilen bakır kazanımı % 99.0'dur. Aynı şartlarda çözeltiye geçen demir oranı % 21.4'tür.

Anahtar kelimeler: Kavurma-Asit Liçi, Kalkopirit, bakır kazanımı

ABSTRACT The effects of roasting temperature (200-800 ° C), roasting time (15-120 min) and acid type (nitric acid, hydrochloric acid and sulfuric acid) on recovery of copper from chalcopyrite concentrate by roasting in stagnant air media-acid leaching method were investigated and most suitable roasting temperature, roasting time and acid type for high copper recovery were determined. The roasted concentrates were leached under the standard leaching conditions (room temperature, 1 g/10 mL solid/liquid ratio, 300 rpm/min stirring speed, 60 minutes, 0.5 N acid concentration). Increase in roasting temperature up to 500 ^{o}C has positive effect on recovery of copper. Above 500 ^{o}C, increase of temperature does negative effect. 500 ° C was chosen to be most suitable roasting temperature. The most suitable roasting time is 60 minutes. There are no significant effect on the copper recovery of advanced roasting times. The recovery of copper obtained from leaching with nitric acid solution is the highest. The copper recovery obtained from leaching with nitric acid solution of 0.5 N of chalcopyrite concentrate roasted at 500 ° C is 99.0%. The iron content of the solution is 21.4% under the same conditions.

Keywords: Roasting-Acid Leaching, Chalcopyrite, Copper recovery

1 GİRİŞ

Dünyada üretilen bakırın % 75-80'i, sülfürlü bakır cevherlerinin prometalurjik yöntem olarak adlandırılan ergitme, konverter ve elektroliz işlemlerini kapsayan geleneksel yöntem ile işlenmesinden elde edilmektedir (Qiu et al., 2007). Fakat günümüzde sülfürlü bakır cevherlerinin tenörünün düşmesi, üretim maliyeti yüksek olan bu prosesin ekonomikliğini yitirmesine sebep olmaktadır. Diğer taraftan pirometalurjik yöntem sırasında açığa çıkan SO_2 gazları çevresel açıdan sorun teşkil etmektedir (Hua and Cai., 2006). Açığa çıkan SO_2 gazlarından sülfürik asit üretmek mümkün olsa da, üretilen sülfürik asitin tümüne pazar bulmak mümkün görünmemektedir. Bu gibi

ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı, pirometalurjik yönteme alternatif olabilecek bakır üretim yöntemleri üzerine araştırma yapma ihtiyacı doğurmuştur (Qui et a., 2007; Hua and Cai, 2006; Al-Harahsheh et al., 2008). Alternatif araştırmalar, bir yükseltgeme vasıtası kullanarak sülfürlü bakır cevherlerinin liçi üzerine yoğunlaşmıştır (Olubambi et al., 2006; Marsden and Wilmot, 2007). Fakat, sülfürlü cevherlerin, sahip oldukları sıkı dokuları nedeniyle direkt olarak liç edilmeleri güçtür (Dutrizac, 1989). Bu nedenle kalkopirit gibi sülfürlü bakır cevherlerin liç edilmeden önce, metallerin serbest kalmasını sağlayacak ön işlemlere tabi tutulması gerekmektedir (Bahar, 2002).

Bu çalışmada, prometalurjik yönteme alternatif olabilecek kavurma-asit liçi yöntemi ile kalkopirit konsantresinden bakır üretimi incelenmiş ve yüksek bakır kazanımı için en uygun kavurma sıcaklığı, kavurma süresi ve asit türü belirlenmiştir

2 MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal

Deneylerde kullanılan kalkopirit konsantresi Cengiz Holding bünyesinde bulunan Samsun Bakır İşletmelerinden temin edilmiştir. Örnek alma yöntemlerine uygun olarak alınan kalkopirit konsantresi, -100 mesh'e öğütüldükten 48 saat 50 ^{o}C'de etüvde kurutulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan kalkopirit konsantresinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kalkopirit konsantresinin kimyasal bileşimi

Bileşen	**%, w/w**
SiO_2	1.54
Cu	17.90
Fe	35.29
S	37.8
Zn	1.85
Pb	0.07

2.2 Analitik Yöntem

Deneylerden ve analizlerden elde edilen çözeltilerdeki metal içerik analizi, atomik absorpsiyon spekrofotometrisi (Perkin Elmer, Analyst 800) kullanılarak gerçekleştirildi.

Kalkopirit konsantrsinin metalik yönden bileşimi $LiBO_2$ ergitme-HNO_3 çözünürleştirme yöntemi (Bailey and Woods, 1974) kullanılarak belirlendi. Kükürt içeriği gravimetrik yöntem (Vogel, 1989) ile tayin edildi.

2.3 Kavurma ve Liç Deneyleri

Kavurma sıcaklığının etkisini belirlemek üzere, 5±0.05 g kalkopirit konsantresi tartıldıktan sonra bir porselen kapsüle (12 cm çapında ve 3 cm yüksekliğinde) konuldu. Konsantre, kapsül içine ince bir tabaka halinde yayıldı. Kapsül, önceden istenilen sıcaklığa kadar ısıtılmış (300-800 ^{o}C arası sıcaklıklar) olan kül fırını içerisine konuldu ve 60 dk bekletildi. Kavurma esnasında ortama ek hava gönderilmemiştir. Ön görülen süre sonunda kavrulmuş kalkopirit konsantresi fırından alınarak bir desikatöre konuldu ve kavrulmuş örneğin oda sıcaklığına kadar soğuması beklendi. Kavrulmuş kalkopirit konsantresi soğuduktan sonra tartıldı. Bu şekilde kavrulmuş olan kalkopirit konsantreleri, 150 mL hacmindeki erlenlere alındı ve üzerlerine 1 g/10 mL katı/sıvı olacak şekilde 0.5 N nitrik asit, hidroklorik asit veya sülfürik asit çözeltisi ilave edildi. Liç çözeltisinin ilavesinden sonra örnekler, oda sıcaklığında (yaklaşık 20 ^{o}C) 60 dakika süre ile 300 dev/dk hızla liç işlemine tabi tutuldu. Daha sonra süspansiyon, mavi bant süzgeç kağıdı kullanılarak katı ve sıvı fazlarına ayrıldı. Sıvı fazda bakır ve demir analizleri yapıldı. Çözeltiye geçen metal miktarının, başlangıçta konsantrenin bünyasinde bulunan metalin miktarına oranının 100 ile çarpımından % kazanılan metal hesaplandı. 200 ve 250 ^{o}C'deki kavurma işlemleri, sıcaklığı 300 ^{o}C'ye kadar çıkabilen etüvde gerçekleştirildi.

Kavurma süresinin etkisini belirlemek amacıyla, 5±0.05 g kalkopirit konsantre

örnekleri 500 ^{o}C'de 15-120 dakika arası değişen sürelerde kavrulduktan sonra 0.5 N nitrik asit, hidroklorik asit veya sülfürik asit çözeltisi ile oda sıcaklığında 60 dakika süre ile 1 g/10 mL katı/sıvı oranında 300 dev/dk karıştırma hızında liç işlemine tabi tutuldu.

3 SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, % 17.90 Cu ve % 35.29 Fe içeren -100 mesh'e öğütülmüş kalkopirit konsantre örnekleri çeşitli sıcaklıklarda ve sürelerde kavrulduktan sonra nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit ile liç edildi. Düşük sıcaklıklardaki kavurma işlemi sayesinde, bakır, yüksek oranda sulu ortama geçebilen Cu^{2+} haline dönerken, kükürtün önemli bir kısmı havanın oksijeni ile birleşerek sülfat formuna geçmektedir. Çalışmada, kavurma sıcaklığı, kavurma süresi ve asit türünün bakır kazanımı üzerine etkileri araştırıldı. Bunun için, bakırın yüksek verimle liç ortamına geçtiği, ayrıca, liç çözeltisinden bakırın kazanılması esnasında sorun teşkil etmesi muhtemel demirin ise düşük oranda liç çözeltisine geçtiği kavurma sıcaklığı ve kavurma süresi belirlenmeye çalışıldı.

3.1 Kavurma Sıcaklığının Etkisi

Kalkopirit konsantresinin 200-800 ^{o}C arası sıcaklıklarda kavrulması sonrasında nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit liçi esnasında çözelti ortamına geçen bakır ve demir miktarları Şekil 1'de görülmektedir.

Bir çalışmada (Sokic et al., 2008), kalkopirit konsantresinin 300 ^{o}C'den 800 ^{o}C'ye ısıtılması durumunda meydana gelen reaksiyonlar belirlenmiştir:

(330-357 ^{o}C)

$$2CuFeS_2+O_2(g)\rightarrow Cu_2S+2FeS+SO_2(g) \quad (1)$$

(404-440 ^{o}C)

$$2CuFeS_2+O_2(g)\rightarrow Cu_2S+2FeS+SO_2(g) \quad (2)$$

(502-555 ^{o}C)

$$FeS+2O_2(g)\rightarrow FeSO4 \quad (3)$$

$$Cu_2S+SO_2(g)+3O_2(g)\rightarrow 2CuSO4 \quad (4)$$

$$2Cu_2S+5O_2(g)\rightarrow 2CuO\cdot CuSO4 \quad (5)$$

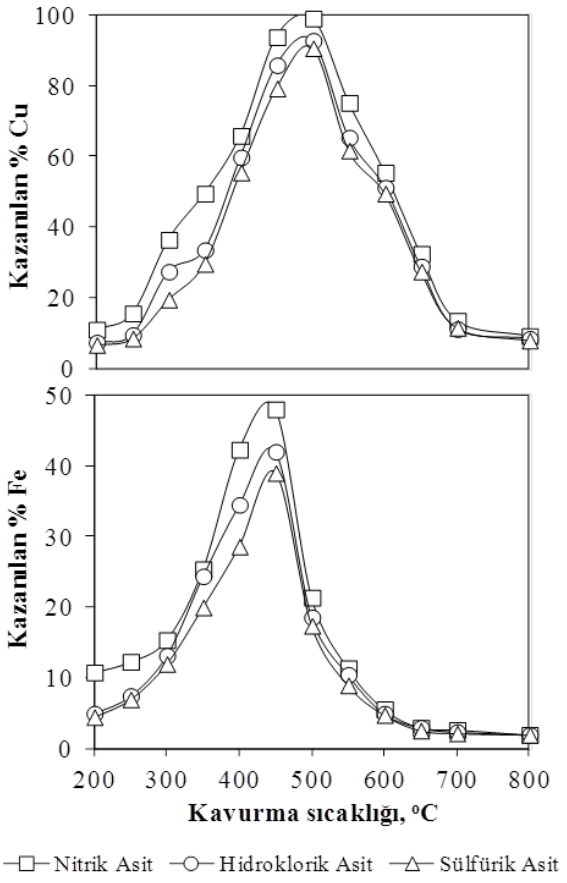
(555-613 ^{o}C)

$$2FeSO_4\rightarrow Fe_2O_3+SO_2(g)+SO_3(g) \quad (6)$$

(750 ^{o}C yukarısında)

$$CuSO_4\rightarrow CuO+SO_3(g) \quad (7)$$

$$CuO\cdot CuSO_4\rightarrow 2CuO+SO_3(g) \quad (8)$$



Şekil 1. Kavurma sıcaklığının etkisi (kalkopirit konsantre kütlesi: 5.0 g; kavurma süresi: 60 dk; liç sıcaklığı: oda sıcaklığı; liç süresi: 60 dk; karıştırma hızı: 300 dev/dk; katı/ sıvı oranı: 1 g/10 mL)

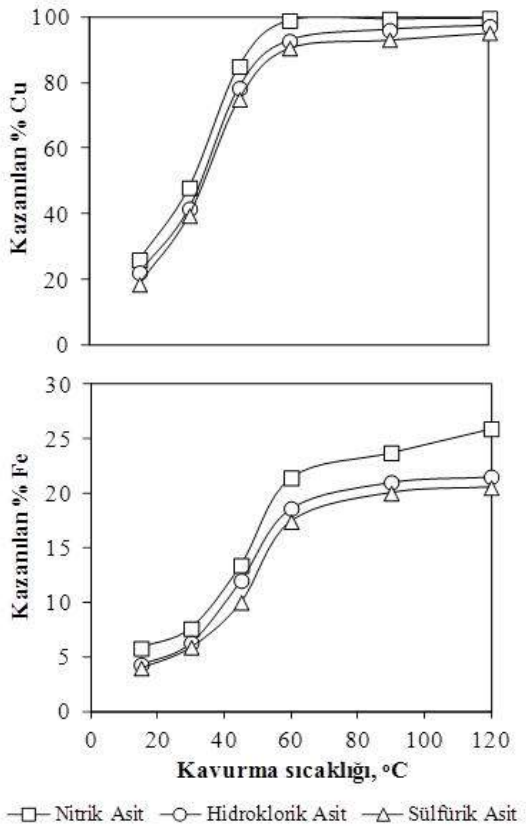
4-5 nolu reaksiyonlardan görüleceği üzere, 500-550 ^{o}C arası sıcaklıklarda bakır, CuSO4 veya CuO.CuSO4 formundadır. 500 ^{o}C'de kavrulmuş kalkopirit konsantresinin su ile liç edilmesi sonrasında bakırın % 60 civarında çözelti ortamına geçtiği belirlenmiştir (Bahar, 2014). 3 nolu reaksiyon gereği demir de bu sıcaklıklarda sülfat formunda bulunmaktadır. Fakat 6 ve 7 nolu reaksiyonlar incelendiğinde demirin oksit formuna dönme sıcaklığının bakırın oksit formuna dönme sıcaklığından daha düşük olduğu görülür. Sülfat bileşiklerinin

oksit bileşiklerine göre sulu ortamdaki çözünürlükleri daha yüksek olduğu için, bu durum kalkopirit konsantresinden kavurma yöntemi ile bakır kazanılması için önemli bir avantajdır.

Şekil 1'den görüleceği üzere 500 ^{o}C'de kazanılan bakır miktarı her üç liç vasıtası için en yüksektir. Her bir asit için, sıcaklık 200 ^{o}C'den 500 ^{o}C'ye artırılması ile elde edilen bakır verimi sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmakta ve 500 ^{o}C'de en yüksek değere ulaşmaktadır. 500 ^{o}C'de elde edilen bakır verimleri nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit için sırası ile % 99.0, % 92.8 ve % 90.6'dır. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda, bakır kazanımı sıcaklığın artması ile beraber azalmaktadır. Bu olayın, bakırın oksit formuna dönüşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca Şekil 1'e bakılarak, tüm sıcaklık değerleri için nitrik asit çözeltisi ile elde edilen liç veriminin en yüksek olduğu söylenebilir. Diğer taraftan yine Şekil 1 incelendiğinde, demirin çözelti ortamına geçmesi için en uygun sıcaklığın 450 ^{o}C olduğu görülmektedir. Nitrik asit çözeltisi, demirin kazanımı için de hidroklorik asit ve sülfürik asitten daha etkili bir liç vasıtasıdır. 450 ^{o}C'de gerçekleştirilen kavurma işlemi sonrası yapılan nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit liçi sonrası demirin sırası ile % 48.1, % 42.0 ve % 38.7'si çözelti ortamına geçmiştir. Bu değerler 500 ^{o}C'deki kavurma için sırasıyla % 21.4, % 18.6 ve 17.4'dir. Demir, liç çözeltisinden elektrolitik yolla metalik bakır elde edilmesi sırasında sorunlara yol açtığından dolayı bakır kazanılacak liç çözeltilerinde olması istenmeyen bir metaldir ve demir derişimi mümkün olduğunda düşük bir seviyede tutulmalıdır (Bahar et al., 2012). Nitrik asit liçi için, sıcaklığın 450 ^{o}C'den 500 ^{o}C'ye çıkarılması ile çözeltiye geçen demir miktarı % 48.1'den % 21.4'e düşmüştür. Bu durumda çözeltinin demir muhtevası, 16.97 g/L'den 7.55 g/L'ye düşmüştür. 7.55 g/L demir içeriği, bakır kazanılacak bir çözelti için yüksek bir değerdir. Bu bilgiler ışığında, bu çözeltiden bakır kazanılmadan önce demirin uzaklaştırılması gerektiği söylenebilir.

3.2 Kavurma Süresinin Etkisi

Kalkopirit konsatresinden kavurma-asit liçi ile bakır kazanılması üzerine kavurma süresinin etkisi Şekil 2'de verilmiştir. 60 dakikaya kadar artan zamanla elde edilen Cu miktarının orantılı olarak arttığı Şekil 2'den görülmektedir. 60 dk süre ile kavrulmuş örneğin nitrik asit ile liç edilmesi sonucunda bakırın % 99.0'u sulu ortama geçmiştir. Zamanla bakır kazanımının artması, başlangıçta porselen kapsülde bulunan kalkopirit konsantresinin sadece üst kısmının havanın oksijeni ile temas ettiği, zaman ilerledikçe ise, hava ve dolayısı ile kavurmayı sağlayacak gerekli miktardaki oksijenin kapsülün tabanında bulunan malzemeye ulaşıp orada kavurmayı sağladığı şeklinde yorumlanabilir. Öte yandan kavurma süresi arttıkça çözelti ortamına geçen demir miktarı da artmaktadır. Bu nedenle kavurma-asit liçi prosesi için en uygun kavurma süresi 60 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Kavurma süresinin etkisi (kalkopirit konsantre kütlesi: 5.0 g; kavurma sıcaklığı: 500 ^{o}C; liç sıcaklığı: oda sıcaklığı; liç süresi: 60 dk; karıştırma hızı: 300 dev/dk; katı/ sıvı oranı: 1 g/10 mL)

4 SONUÇLAR

Kalkopirit konsantresinden bakır elde etmek üzere, kalkopirit konsantresinin durgun atmosferik şartlarda kavrulmasını müteakip nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit ile liçi için kavurma koşullarının incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

500 ^{o}C'ye kadar artan kavurma sıcaklığı ile beraber kazanılan bakır yüzdesi artmış, bu sıcaklıktan sonra ise kazanılan bakır yüzdesi azalmıştır. Bu nedenle en uygun kavurma sıcaklığı 500 ^{o}C olarak belirlenmiştir.

Nitrik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit liçinden elde edilen bakır kazanım yüzdelerine göre asitlerin etkinliği, nitrik asit> hidroklorik asit> sülfürik asit şeklinde sıralanmıştır.

500 ^{o}C'de 60 da kavurma sonrasında elde edilen kavrulmuş kalkopirit konsantresinin, oda sıcaklığında, 1 g/10 mL katı/sıvı oranında, 0.5 N nitrik asit çözeltisi ile 300 dev/dk karıştırma hızında 60 dakika liçi sonucunda bakırın % 99.0'u kazanılmıştır. Aynı şartlarda çözeltiye geçen demir oranı % 21.4'tür.

500 ^{o}C'de, 15-120 dakika arası farklı sürelerde yapılan kavurma işlemleri, en uygun kavurma süresinin 60 dakika olduğunu göstermiştir.

En uygun koşullarda olan 500 ^{o}C'de 60 dk kavurma sonucunda çözeltiye geçen demir miktarı 7.55 g/L'dir. Bu çözeltiden bakırın elektroliz ile metalik halde kazanılması için, çözeltideki demir miktarının azaltılması gerekmektedir.

Nihayi sonuç olarak kavurma-asit yöntemi ile kalkopirit konsantresinden bakır kazanılmasının mümkün olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

Al-Harahsheh, M., Kingman, S. and AlHarahsheh, A., 2008, Ferric chloride leaching of chalcopyrite: Synergetic effect of $CuCl_2$, Hydrometallurgy, 91, s. 89-97.

Bahar, N., 2004, Kalkopirit konsantresinin persülfatlı ortamda liçinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü,Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

Bahar, N., 2014, Recovery of copper from chalcopyrite concentrate by sulphation roasting-water and hydrochloric acid leaching**,** Seoul International Conference on Engineering and Applied Science, Seul.

Bahar, N., Altundoğan, H.S., Tümen, F., 2012, Kalkopiritten elde edilen liç çözeltilerinden demirin uzaklaştırılması üzerine bir araştırma, 10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İstanbul.

Bailey, N. T., Woods, S. I., 1974, A comparasion of two rapid methods for the analyses of copper smelting slags by atomic absorption spectrometry, Anal. Chim. Acta., 69, s. 19-25.

Dutrizac, J. E., 1989, Elemental sulfur formation during the ferric sulfate leaching of chalcopyrite, Canadian Metallurgical Quarterly, 28: 4, s. 337-344.

Marsden, J.O., Wilmot, J.C., 2007, Medium-temperature pressure leaching of copper concentrates-Part I: Chemistry and initial process development, Minerals and Metallurgical Processing, 24:4, s. 193-204.

Olubambi, P.A., Borode, J.O, Ndlovu, S., 2006, Sulfuric acid leaching of zinc and copper from Nigerian complex sulphide ore in the precence of hydrogen peroxide, The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106, s. 765-770.

Hua, Y., Cai, C. and Cui, Y., 2006, Microwave enhanced roasting of copper sulfide concentrate in the presence of $CaCO_3$, Separation Purification Technology, 50, s. 22-29.Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 17, s. 418-422.

Qui, T.S., Nie, G.H., Wang, J.F., Cui, L.F., 2007, Kinetic process of oxidative leaching of chalcopyrite under low oxygen pressure and low temperature,

Sokic., M., Ilıc, I., Zivkovic, D., Vuckovic, N., 2008, Investigation of mechanism and kinetics of chalcopyrite concentrate oxidation process. Metabk, 47:2, s. 109-113.

Vogel, A.I., 1989, Vogel's Textbook of quantitative chemical analysis, 5th ed., John Wiley and Sons, s. 490-495, New York.

Geri Kazanım

Atık Baskılı Devre Kartlarının Ekonomik Potansiyeli ve Çevresel Karakterizasyonu

Economic Potential and Environmental Characterisation of Waste of Printed Circuit Boards

E.Y. Yazici, H. Deveci
Hydromet B&PM Araştırma Grubu, Cevher-Kömür Haz. Abd, Maden Mühendisliği Böl., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ÖZET Atık elektrikli ve elektronik eşyalar (AEEE veya e-atık) zararlı organik ve inorganik maddeler içermektedir. Diğer taraftan AEEE, yüksek temel (özellikle Cu) ve değerli metal (Au, Ag ve Pd) içerikleri nedeniyle önemli bir ikincil kaynaktır. Bu atıkların uygun şekilde yönetilmemesi hem ekonomik kayıplara yol açmakta hem de evsel atıklarla birlikte depolanması durumunda çevre kirliliğine neden olabilmektedir. AEEE'deki ağır ve değerli metallerin önemli bölümü atık baskılı devre kartlarında (ABDK) bulunmaktadır. Bu çalışmada, ABDK'nın temel ve değerli metal içeriğine bağlı olarak ekonomik potansiyeli ortaya konulmuştur. Ayrıca, atık bilgisayarlardan toplanan ABDK'ya (%18,5 Cu, 86 g/t Au, 694 g/t Ag ve 97 g/t Pd) çevresel karakterizasyon testleri uygulanmıştır. TCLP testi (Toxic Characteristic Leaching Procedure) sonuçlarına göre ABDK, yüksek kurşun (Pb) salınımı nedeniyle "zararlı atık" sınıfındadır. SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) ve EN 12457-2 (European Standard Leaching Test) testlerinde de bazı metallerin (Ba/Al/Pb/Cu) yüksek salınım gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, AEEE yönetiminde atık depolama yerine geri dönüşüm/kazanım süreçleri ile metallerin kazanılmasının en uygun çözüm olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık elektrikli ve elektronik eşyalar, atık baskılı devre kartları

ABSTRACT Waste electrical and electronic equipments (WEEE or e-waste) contain hazardous organic and inorganic substances. On the other hand, WEEE is an important secondary resource due to its base (mainly Cu) and precious metal (Au, Ag and Pd) content. Improper management of this waste stream leads to economic losses as well as environmental pollution if disposed in landfills with municipal wastes. The major part of heavy and precious metals in WEEE is present in waste of printed circuit boards (WPCB). This study highlights the economic potential of WPCB with regards to its base and precious metal content. In addition, environmental characterisation procedures were tested using WPCB (18.5% Cu, 86 g/t Au, 694 g/t Ag and 97 g/t Pd) collected from obsolete computers. TCLP test (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) results showed that WPCB should be classified as "hazardous waste" due to high lead (Pb) concentration in the leachate. In the SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) and EN 12457-2 (European Standard Leaching Test) tests, some metals (Ba/Al/Pb/Cu) also determined to be highly solubilised. These results indicated that recovery of metals from WEEE through recycling/recovery processes is the most suitable route for proper management compared with disposing these wastes in landfills.

Keywords: Waste electrical and electronic equipments, waste of printed circuit boards

1 GİRİŞ

1.1 Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların (AEEE) Ekonomik Potansiyeli

Özellikle son yıllarda, artan çevresel kaygılara ve doğal kaynakların hızla tükenmesine bağlı olarak atıkların, çevresel etkisi en düşük ve ekonomik yönden en yüksek fayda sağlayacak şekilde yönetimi giderek daha da önem kazanmaktadır. Atık elektrikli ve elektronik eşyalar (AEEE veya e-atık), atıl duruma gelen ve/veya kullanım ömrü dolan elektrikli ve elektronik eşyaların (TV, bilgisayar, yazıcı, baskılı devre kartları vs.) ürün sahipleri tarafından hurdaya ayrılması ile ortaya çıkan ve %3-5 büyüme hızıyla Avrupa'da en hızlı büyüyen atık türüdür (Bertram vd., 2002; EC, 2006).

AEEE, içerdiği temel ve değerli metaller ile önemli bir ekonomik potansiyele sahiptir. Farklı AEEE türlerinin metal içerikleri ve metal fiyatları göz önüne alınarak yapılan değerlendirmeler AEEE'nin ekonomik değerinin önemli bölümünü değerli metaller (Ag, Au ve Pd) ve ikinci olarak da bakır (Cu) oluşturduğunu ortaya koymuştur (Yazıcı, 2012; Tuncuk vd., 2012). AEEE'nin içerdiği metal (Cu, Fe, Ni vb.) ve özellikle değerli metallerin (Au, Ag, Pd vb.) önemli bölümü baskılı devre kartlarında bulunmaktadır (Goosey ve Kellner, 2002). Çizelge 1'de atık baskılı devre kartlarının (ABDK) içerdiği malzemeler ve tipik oranları sunulmuştur. Farklı ABDK türlerinin temel ve değerli metal içerikleri Çizelge 2'de görülmektedir. Buna göre (Çizelge 1 ve 2), cevherler ile kıyaslandığında ABDK genel olarak daha yüksek oranda temel ve değerli metal içermektedir. ABDK'nın altın içeriğine göre sınıflandırılışı Çizelge 3'de sunulmuştur. ABDK'nın altın içeriği arttıkça ekonomik değeri de yükselmektedir. Altın içeriği 400 g/ton'dan fazla ise "çok yüksek", 50 g/ton'dan düşük ise "çok düşük" olarak sınıflandırılmaktadır. ABDK'daki altın, devre kartı üzerindeki yarı iletken, pin ve konnektörlerde bulunmaktadır (WRAP, 2014). Ancak, yüksek maliyetleri sebebiyle baskılı devre kartlarında daha az oranda değerli metal kullanmaya yönelik araştırmalar sürmektedir (Goosey ve Kellner, 2002). Eski nesil kişisel bilgisayarların (PC) altın içeriği, bilgisayar başına 4 g Au'dan 1 g'a gerilemiştir (Widmer vd., 2005).

Çizelge 1. ABDK'nın içerdiği malzemeler ve tipik oranları (Namias 2013).

Malzeme	**Miktar (%)**
Fiberglas	45-50
Bakır	15-20
Bileşenler/ Entegre devreler	10-25
Değerli metaller	0,4
Pb,Sn,diğer baz metaller	≈5-30

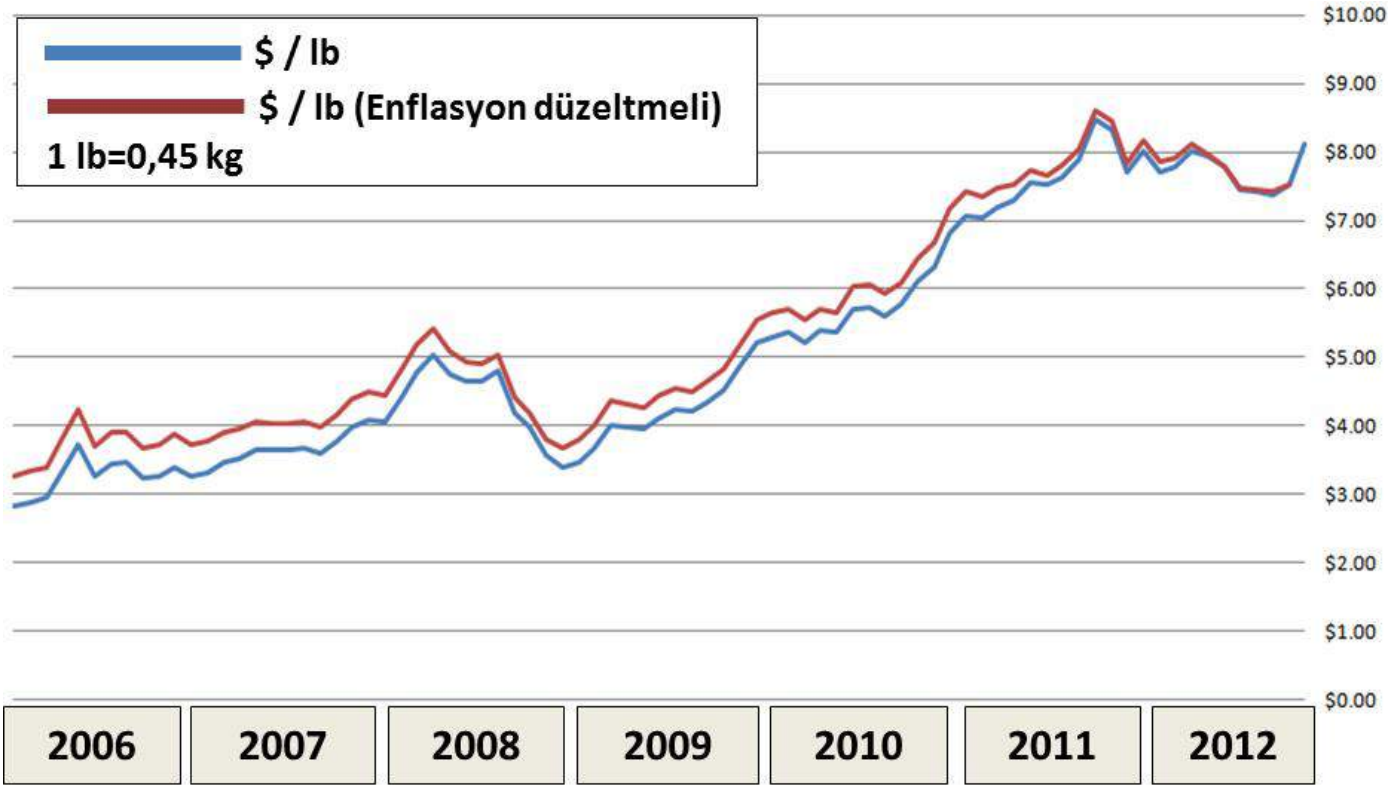
Çizelge 2. Farklı ABDK türlerinin metal içerikleri (Hagelüken, 2006a; Deveci vd., 2010; Yazıcı ve Deveci, 2009).

ABDK türü	**Fe**	**Cu**	**Al**	**Pb**	**Ni**	**Sn**	**Ag**	**Au**	**Pd**
	%						**g/ton**		
ABDK-PC(1)	7	20	5	1,5	1	2,9	1000	250	110
ABDK-PC(2)	3,6	15,5	4,9	3,9	0,2	4,3	380	6	0
ABDK-TV(1)	28	10	10	1	0,3	1,4	280	20	10
ABDK-TV(2)	0,04	9,2	0,75	0,003	0,01	0,72	86	3	3,7
Cevher	**25**	**0,5**	**30**	**5**	**0,5**	**0,5**	**200**	**1**	**-**

Çizelge 3. ABDK'nın altın içeriğine göre sınıflandırılması(Hagelüken,2006b; Umicore,2015).

İçerik/Sınıf	Altın (g/ton)	ABDK türü
Çok yüksek	>400	Ana sunuculardaki devre kartları, bazı cep telefonları vb.
Yüksek	200-400	PC kartları, bazı cep telefonları vb.
Orta	100-200	
Düşük	50-100	TV kartları, monitör kartları, hesap makineleri vb.
Çok düşük	<50	

Baskılı devre kartlarının altın içeriğinin azalmasına karşın metal fiyatlarına bağlı olarak ABDK'nın ekonomik değeri yükselme eğilimindedir (Şekil 1), ancak Eylül 2011'den itibaren fiyatlar daha istikrarlı seyretmektedir. Mayıs 2012'de ekonomik değeri yaklaşık 18 $/kg ABDK'dır (42 TL/kg, 05.01.2015 kuruna göre). Şekil 1'deki veriler "orta sınıf" PC kartlarının metal içeriklerine göre hesaplanmış net değerlerdir. Geri kazanım süreci ile ilgili herhangi bir faaliyete ait (metal ekstraksiyonu, nakliye, örnekleme, analiz, ergitme, rafinasyon, proses kayıpları, yatırım geri dönüşü ve Be/Bi/Ni gibi elementler için cezalar) maliyetleri kapsamamaktadır.



Şekil 1. Baskılı devre kartlarının yıllara göre ekonomik değeri (Resource Recycling, 2015).

1.2 Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların (AEEE) Çevresel Etkisi ve Yasal Düzenlemeler

AEEE'nin zararlı organik (alev geciktiriciler vb.) ve inorganik (Hg, Pb vb.) maddelerin yanı sıra ekonomik değeri yüksek temel (özellikle Cu) ve değerli metaller (Ag, Au ve Pd gibi) içermesi nedeniyle doğrudan bu atıkların yönetimini düzenleyen yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Evsel atıklarla depolanarak bertaraf edilen AEEE'nin Hg, Cd ve Pb kirliliğine neden olduğu bildirilmiştir (Öztürk ve Ayberk, 2008; Widmer vd., 2005). Fishbein (2002), ABD'deki evsel atıklar içindeki kurşun kirliliğinin ikinci büyük kaynağının ABDK olduğunu bildirmiştir. Toprak kirliliğinin yanı sıra, AEEE'deki ağır metaller, yağmur

sularının etkisiyle çözünerek yeraltı ve yüzey sularının da kirlenmesine sebep olabilmektedir (Kaya ve Sözeri, 2007; Öztürk ve Ayberk, 2008; Widmer vd., 2005).

AEEE'lerin çevresel zararlarını azaltmak amacıyla Avrupa Komisyonu, yayınladığı 2002/95/EC sayılı "Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) (Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılması)" yönergesiyle elektrikli ve elektronik eşyaların üretim sürecinde altı maddenin (Pb, Cd, Hg, Cr(VI), polibromürlü bifenil ve polibromürlü difenil eter) kullanımını kısıtlamıştır (EC, 2003a). Bu yönerge, son olarak 2011/65/EU sayılı yönerge ile güncellenmiştir (EU, 2011). Avrupa Komisyonu, 2003 yılından itibaren yürürlükte olan "Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) (2002/96/EC sayılı, Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar)" yönergesini (EC, 2003b) 2012/19/EU sayılı yönerge ile güncellemiştir (EU, 2012). Ancak, bütün çalışmalara rağmen, AEEE'nin geri dönüşüm oranı henüz düşük seviyelerdedir. Büyük bir kısım (%80-85) atık depolama alanlarına depolanmaktadır (Babu vd., 2007; Hadi vd., 2015). İngiltere'de ABDK'nın (50.000 ton/yıl) sadece %15'i geri kazanım işlemlerine tabi tutulmaktadır (Goosey ve Kellner, 2002).

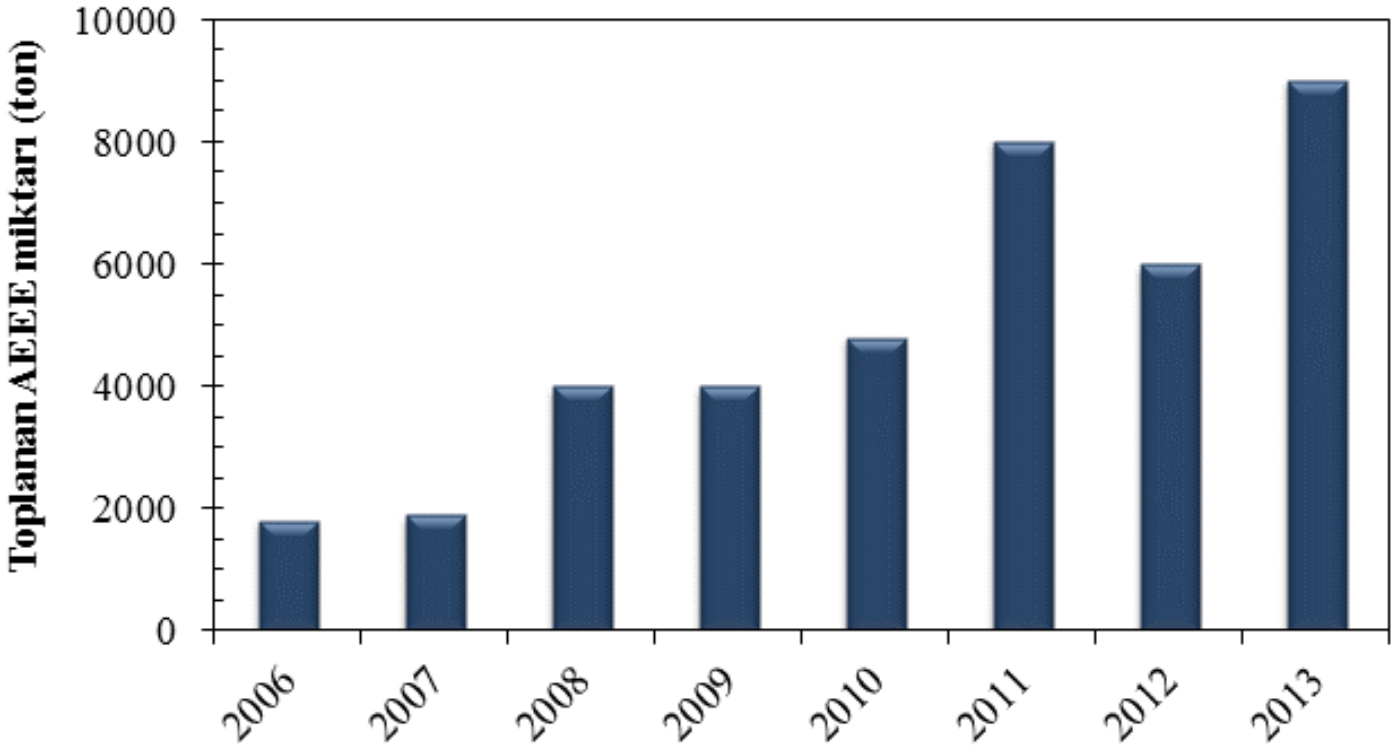
Avrupa Birliği'nin yönergeleriyle uyumlu olarak, Ülkemizde de T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından öncelikle "Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına Dair Yönetmelik" 30.05.2008 tarihinde yayımlanmış ve 30.05.2009 tarihinde yürürlüğe konulmuştur (Resmi Gazete, 2008). "Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği" ise 22.05.2012 tarihinde yayımlanmıştır (Resmi Gazete, 2012). Bu yönetmeliğe göre belediyelerin yükümlü olduğu temel konular şunlardır:

- AEEE'lerin etkin bir biçimde diğer atıklardan ayrı toplanmasını sağlamak,
- Yönetmelikte belirtilen hedeflere uygun olarak getirme merkezleri kurarak AEEE'lerin toplanmasını sağlamak ve kurulan getirme merkezlerine ilişkin olarak halkı bilgilendirmek,
- Toplanan evsel AEEE'leri işleme tesislerine göndermek.

Aynı yönetmeliğe göre elektrikli ve elektronik eşya (EEE) üreticilerinin sorumlu olduğu bazı maddeler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Üreticiler EEE'lerin üretim, ürün temini, ürün geliştirme, AR-GE ve tasarım faaliyetlerinde yönetmelik kapsamındaki zararlı maddelerin kullanımından kaçınmak veya alternatif maddeleri kullanmak için gerekli çalışmaları yapmak,
- Yönetmelikte belirtilen geri dönüşüm ve geri kazanım oranlarının sağlanması ve atıkların azaltılması amacıyla, EEE'lerin tasarımı ve üretimi sırasında, ürünlerin kolayca parçalanmasını, ayrıştırılmasını, yeniden kullanımını, geri dönüşümünü ve geri kazanımını kolaylaştıracak malzeme ve parçaları kullanmak,
- Belediyeler ve dağıtıcılar tarafından toplanan evsel AEEE'lerin; getirme merkezlerinden veya dağıtıcılardan başlamak üzere nakliye maliyetlerini karşılamak, lisanlı tesislerde işlenmesini sağlamak, işleme imkânının bulunmaması durumunda bertarafı için bir sistem kurmak ve maliyetleri karşılamak,
- Evsel olmayan AEEE'lerin toplanması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi amacıyla bir sistem kurmak.

Ülkemizde yıllara göre (2006-2013) toplanan AEEE miktarı Şekil 2'de sunulmuştur. Buna göre, 2006-2013 yılları arasında toplanan AEEE miktarı 1800 ton'dan 9000 ton'a yükselmiştir (Şekil 2). Ülkemizdeki toplanan AEEE'lerin yönetimi genel olarak atıkların toplanması, temel bileşenlerine ayrıştırılması ve ekonomik değerli yüksek malzemelerin (ABDK gibi) yurt dışına ihracını kapsamaktadır. Ülkemizde AEEE geri dönüşüm oranının halen %1-2 gibi çok daha düşük seviyelerde olduğu belirtilmiştir (Kartal, 2015).



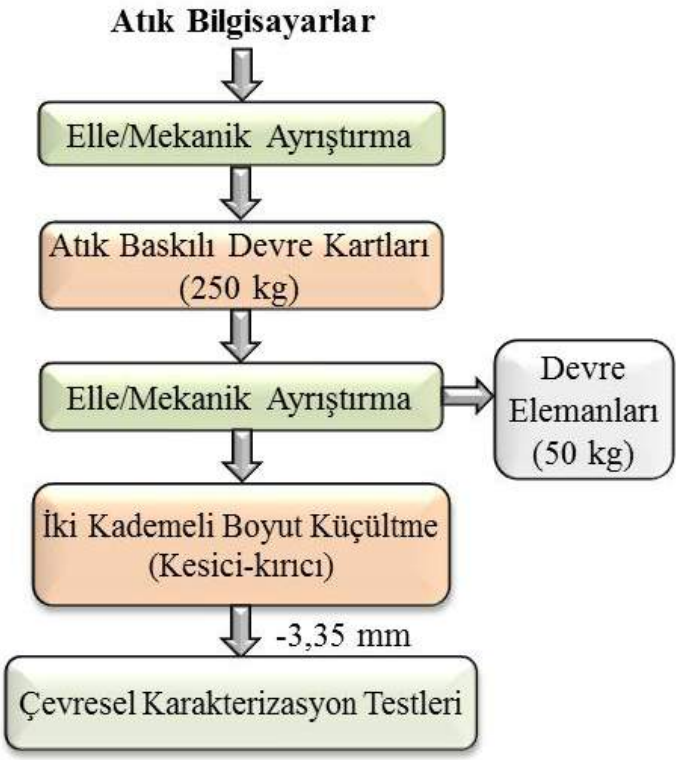
Şekil 2. Ülkemizde 2006-2013 yılları arasında toplanan AEEE miktarı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015).

Bu çalışmada, ABDK'nın "zararlı atık" durumunu ortaya koymak ve bu atıkların evsel atıklarla depolanması durumunda yer altı/yer üstü su kirliliğine neden olabilecek zararlı metalleri belirlemek amacıyla ABDK'ya standart karakterizasyon testleri uygulanmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Atıl duruma gelmiş ve depolanmış olarak bulunan atık bilgisayar, monitör, modem vb. elektronik cihazlardan el ve gerekli yardımcı aletler (tornavida, keski vb.) yardımıyla sökülerek ~250 kg ABDK toplanmıştır. Daha sonra, toplanan ABDK üzerinde bulunan kolayca sökülebilir devre elemanları ayrıştırılmıştır (Şekil 3a). Bileşenleri ayrıştırılmış ABDK (~200 kg), dört bıçaklı bir döner kesici-kırıcı (rotary cutting shredder) kullanılarak, iki kademeli boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. ABDK, birinci kademede -8 mm, ikinci kademede -3,35 mm tane boyutuna ufaltılmıştır (Şekil 3b). Deneysel çalışmalarda uygulanan akım şeması Şekil 4'de gösterilmiştir.

Şekil 3. (a) Baskılı devre kartları ayrılmış AEEE; (b) İki kademeli boyut küçültme uygulanmış ABDK (-3,35 mm).



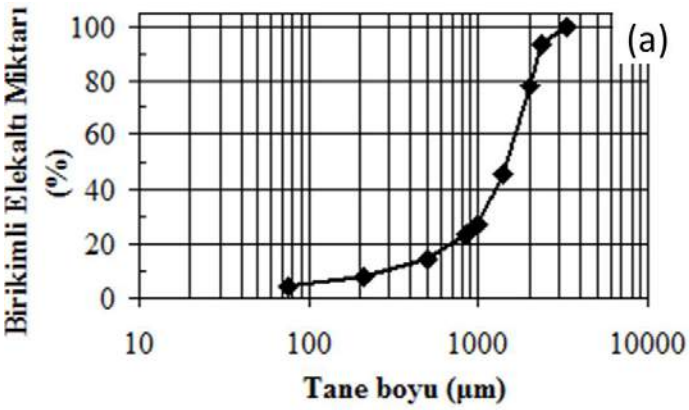
Şekil 4. Uygulanan akım şeması.

2.1 Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyon

Boyut küçültmeye tabi tutulmuş ABDK'nın (-3,35 mm) tane boyut dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır (Şekil 5). Eleme işlemi, standart ASTM elekleri kullanılarak kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, ABDK'nın %80'i 2,1 mm (d_{80}) ve %27'si 1 mm'nin altındadır. ABDK'nın metal içerikleri Çizelge 4'de sunulmuştur. XRD analizi, ABDK'daki kurşun ve kalayın bir bölümünün alaşım (lehim) halinde bulunduğunu doğrulamıştır (Şekil 6).

2.2 Çevresel Karakterizasyon

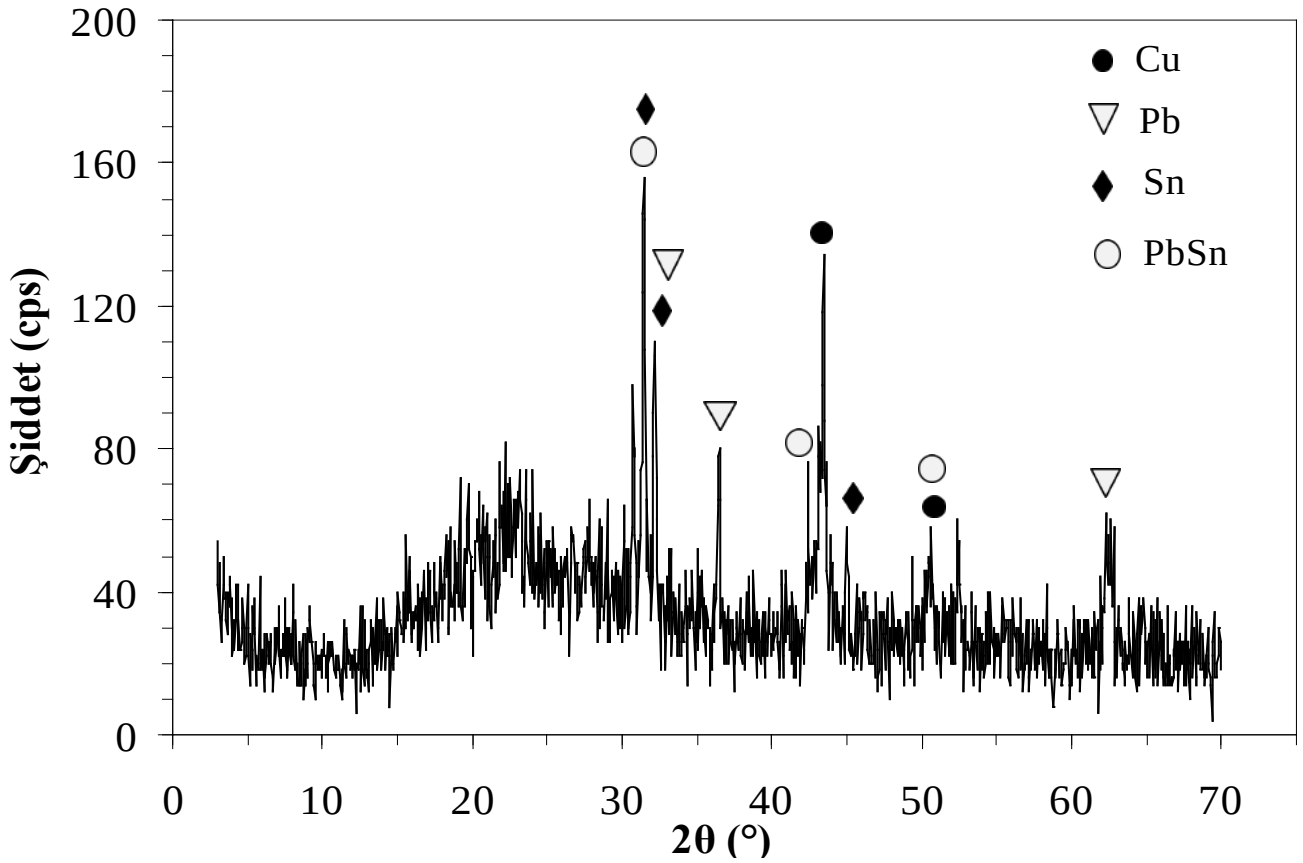
Atıkların çevresel açıdan karakterizasyonu için TCLP (Toxic Characteristic Leaching Procedure), SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) ve EN 12457-2 testleri uygulanmıştır. USEPA (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilen TCLP, AEEE dahil olmak üzere birçok atık malzemenin farklı metallerden kaynaklanan çevresel etkilerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu test, katı atıkların "zararlı atık" sınıfına ait olup olmadığını belirlemek için tercih edilmektedir (Townsend, 2002). SPLP (USEPA testi) ve EN 12457-2 (Determination of Leachability by Water) sırasıyla asidik yağmur suyu ve su etkisi altında atıklardan zararlı bileşenlerin salınımını öngören testlerdir (Townsend, 2002; EC, 2003c; Townsend vd., 2003).



Şekil 5. (a) ABDK'nın (-3,35 mm) tane boyut dağılımı, (b) -3,35+2,36 mm fraksiyonuna ait stereomikroskop görüntüsü.

Çizelge 4. ABDK'nın kimyasal analizi.

Metal	İçerik
Cu (%)	18,5
Fe (%)	2,05
Al (%)	1,33
Pb (%)	2,66
Ni (%)	0,43
Sn (%)	4,91
Au (g/ton)	86
Ag (g/ton)	694
Pd (g/ton)	97



Şekil 6. ABDK'nın X-ışını difraksiyonu (XRD) profili.

Avrupa Birliği tarafından standart kabul edilen EN 12457-2 (European Standard Leaching Test) testinde ekstraksiyon çözeltisi olarak saf su kullanılmaktadır. Uygulanan testler ve koşulları Çizelge 5'de sunulmuştur. Analizler, İndüktif eşleşmiş plazma-atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES, Spectro Genesis) ile yapılmıştır.

2.2.1 TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) testi

TCLP testi -9,5 mm boyutlu malzemelere uygulanır. Bu çalışmada, -3,35 mm boyutundaki ABDK kullanılmıştır. Bu testlerde kullanılacak ekstraksiyon çözeltisi (extraction fluid) standart prosedüre uygun olarak hazırlanmıştır (USEPA, 1997). Testlerde, ekstraksiyon çözeltisi-1 (1 litrede 5,7 mL asetik asit (CH_3CH_2OOH) ve 64,3 mL 1 N NaOH; pH 4,93±0,05) kullanılmıştır. Sıvı:katı oranı 20:1 olacak şekilde katı malzeme (10 g) ve ekstrasiyon çözeltisi-1 (200 mL) polipropilen (PP) kapaklı şişelere ilave edilmiştir. Şişelerin kapakları sıkıca kapatıldıktan sonra şişeler 30 dev/dk hızda 18 saat süreyle karıştırmaya tabi tutulmuştur (Şekil 7). Karıştırma süresi sonunda, sıvı kısım filtrasyon (0,8 μm selülöz nitrat filtre, Sartorius) ile ayrılmıştır. Berrak çözeltiden 50 mL alınmış ve 1 N HNO_3 ilave edilerek <pH 2'ye ayarlanmıştır. Çözeltiden metal analizleri yapılıncaya kadar örnekler buzdolabında (4°C) saklanmıştır. Testler iki tekrarlı yapılmış olup sonuçların ortalaması sunulmuştur.

Şekil 7. Çevresel karakterizasyon testlerinde kullanılan deney düzeneği.

Çizelge 5. Uygulanan çevresel karakterizasyon testleri ve koşulları.

Yöntem	Ekstraksiyon çözeltisi	pH	Tane boyutu (mm)	Sıvı:Katı Oranı
TCLP	Asetik asit/Sodyum hidroksit	4,93 ±0,05	<9,5 mm	20:1
SPLP	Sülfürik ve nitrik asit	4,20 ±0,05	<9,5 mm	20:1
EN 12457-2	Saf su	~ 7,0	<4 mm	10:1

2.2.2 SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) testi

SPLP testinde kullanılacak ekstraksiyon çözeltisi, ağırlıkça 60:40 oranında H_2SO_4:HNO_3 karışımının saf suya pH 4,20±0,05 olacak şekilde ilave edilmesiyle hazırlanmıştır (USEPA, 1997). SPLP testlerinde, TCLP testlerinde verilen prosedür (Bölüm 2.3) uygulanmıştır. SPLP testi sonuçları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (Resmi Gazete, 2004) belirtilen su kalite sınıflarına göre değerlendirilmiştir.

2.2.3 EN 12457-2 (European Standard Leaching Test) testi

Bu testte ekstraksiyon çözeltisi olarak saf su kullanılmış ve sıvı:katı oranı 10:1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Diğer testlerde kullanılan düzenek (Şekil 4) kullanılmış, polipropilen (PP) şişeler (iki tekrarlı) 30 dev/dk hızda 24 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra uygulanan prosedür TCLP testi ile aynıdır. Sonuçlar, EN 12457-2 sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir (EC, 2003b).

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

TCLP testine ait sekiz metalin (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb ve Se) salınımları Çizelge 6'da sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, sadece kurşun (Pb) salınımının test için verilen sınır değerlerin üzerinde (≈92 kat) olduğu bulunmuştur (Çizelge 6). Diğer metallerde de bir miktar salınım gözlenmiş, ancak, derişimler sınır değerlerin altında kalmıştır. Buna göre ABDK, yüksek kurşun (Pb) salınımı nedeniyle "zararlı atık" konumundadır.

Çizelge 6. TCLP testi sonuçları.

Element	Derişim (ppb)	TCLP için sınır değerler (ppb) [a]
Ag	- *	5000
As	21,2	5000
Ba	3647	100000
Cd	30,7	1000
Cr	13	5000
Hg	1,52	200
Pb	**458611**	5000
Se	- *	1000
Son pH	*5,07*	

[a] USEPA, 1997 * Tayin sınırının altında

Benzer bir çalışmada, Yang (1993), TCLP testine göre, TV devre kartlarının ve bazı ekran tüplerinin (CRT) Pb, Zn ve Cd metalleri yönünden zararlı atık sınıfına girdiğini bulmuştur. McPherson (2005), çeşitli atık bilgisayar parçalarının (anakart, ses kartı, video kartı vb.), yüksek metal (Pb, Ag, Ba, Cd ve Cr) salınımlarına sahip

olduğu için (TCLP) zararlı atık olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Li vd. (2006), kişisel bilgisayar parçalarını (anakart, işlemci, entegre devre vb.) kullanarak TCLP testi uygulamış ve kurşun (Pb) salınımının yasal sınırdan (5 mg/L) 30-100 kat daha fazla olduğunu bulmuştur. Yazıcı vd. (2010), elemanlı ABDK kullandığı TCLP testinde, Pb salınımının yasal sınıra göre ≈41 kat daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Görüldüğü gibi, birçok araştırmada, ABDK'nın (ve genel olarak AEEE'nin) zararlı atık sınıfına girdiği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda özellikle Pb salınımının diğer metallere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kurşunun temel kaynağı, ABDK'da kullanılan kurşunlu lehimdir (elektronikte Sn/Pb=63/37) (Townsend, 2002). Townsend vd. (2008), kurşun içeren (Sn-Pb) ve içermeyen (Sn-Bi-Ag, Sn-Ag-Cu, Sn-Bi-Cu ve Sn-Cu) lehimlerin kullanıldığı farklı devre kartlarına SPLP testi uygulamış ve Pb içermeyen lehimlerin kullanıldığı kartların Pb-lehimli kartlara göre daha yüksek (3,8-71 kat) Cu salınımına sahip olduğunu bildirmiştir.

EN 12457-2 testlerinde sınır değerlerden daha yüksek Ba, Cu ve Pb salınımları kaydedilmiştir (Çizelge 8). Bu testte ekstraksiyon çözeltisi olarak saf su kullanılmaktadır. Bu sonuçlara göre (Çizelge 8), oksitleyici olmayan koşullar altında dahi önemli oranda metal salınımı gerçekleşmektedir. Yazıcı vd. (2010), devre elemanlı ABDK'da aynı metallerin (Ba, Cu ve Pb) sınır değeri aştığını belirtmiştir.

Çizelge 7. SPLP testi sonuçları ve su kalite sınıfları.

Element	**Derişim (ppb)**	**Su Kalite Sınıfları (ppb)**		
		I [a]	**II** [b]	**IV** [c]
Ag	- *	-	-	-
Al	**1137**	0.3	0.3	>1
As	13,7	20	50	>100
Ba	501	1000	2000	>2000
Cd	- *	3	5	>10
Cr	- *	20	50	>200
Cu	**37,1**	20	50	>200
Co	2,4	10	20	>200
Fe	8,9	300	1000	>5000
Hg	- *	0,1	0,5	>2
Ni	- *	20	50	>200
Pb	**124**	10	20	>50
Se	- *	10	10	>20
Son pH	*8,51*			

[a] Yüksek kaliteli su; [b] Az kirlenmiş su; [c] Çok kirlenmiş su (Resmi Gazete, 2004) *Tayin sınırının altında

Çizelge 8. EN 12457-2 testi sonuçları ve sınır değerler.

Element	Derişim (ppb)	Sınır değerler (ppb) [a]
Ag	- *	-
Al	3213	-
As	- *	25
Ba	**610**	**300**
Cd	- *	5
Cr	- *	70
Cu	**104**	**100**
Co	- *	-
Fe	- *	-
Hg	- *	2
Ni	7,4	40
Pb	**175**	**50**
Se	- *	7
Son pH	*8,54*	

[a] EC, 2003c *Tayin sınırının altında

ABDK'dan metallerin yüksek salınımı, AEEE yönetiminde atık depolamanın önemli seviyede çevresel kirliliğe neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, hem ekonomik hem de çevresel açıdan en uygun atık yönetimi seçeneğinin geri dönüşüm/kazanım olduğu sonucuna varılmaktadır.

4 SONUÇ

Atık elektrikli ve elektronik eşyaların (AEEE veya e-atık) zararlı organik/inorganik maddeler içermesi, diğer taraftan temel/değerli metal yönünden zengin olmaları nedeniyle en uygun şekilde yönetilmeleri hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan önem arz etmektedir. AEEE'deki temel ve değerli metallerin önemli bölümü atık baskılı devre kartlarında (ABDK) bulunmaktadır. ABDK'nın ekonomik değeri özellikle altın içeriğinin artmasına bağlı olarak yükseltmektedir.

AEEE'nin evsel atıklarla depolanması durumunda yer altı/yer üstü sularının kirlenmesi söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, atıl duruma gelen bilgisayarlardan toplanan ABDK'nın (%18,5 Cu, 86 g/t Au, 694 g/t Ag ve 97 g/t Pd) çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla standart test prosedürlerü uygulanmıştır. TCLP testinde kurşun (Pb) salınımının sınır değerlerin ≈92 kat üzerinde olduğu, bu nedenle ABDK'nın, yüksek kurşun (Pb) salınımı nedeniyle "zararlı atık" sınıfında olduğu belirlenmiştir. SPLP testinde sınır değerleri aşan metaller Al, Pb ve Cu olarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon çözeltisi olarak saf su kullanılan EN 12457-2 testlerinde (oksitleyici olmayan koşullar) sınır Ba, Cu ve Pb metallerinin yüksek salınım gösterdiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, AEEE yönetiminde atık depolamanın su kirliliğine neden olabileceğini ve buna dayanarak AEEE'nin geri dönüşüm/kazanım süreçleriyle değerlendirilmesinin en uygun seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a (109M111 no'lu proje) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Babu, B.R., Parande, A. K. ve Basha, C. A., 2007. Electrical and electronic waste: a global environmental problem, *Waste Management & Research*, 25, 4, 307-318.

Bertram, M., Graedel, T. E., Rechberger, H., Spatari, S., 2002. The contemporary european copper cycle: waste management subsystem, *Ecological Economics*, 42, 1-2, 43–57.

Deveci, H, Yazıcı, E. Y., Aydın, U., Yazıcı, R. ve Akçil, A.U., 2010. Extraction of copper from scrap TV boards by sulphuric acid leaching under oxidising conditions, *Going Green-CARE INNOVATION*, no: 045, Viyana.

EC, 2003a. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 january 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS). *Official Journal* L 037.

EC, 2003b. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 january 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE), Joint Declaration of the European Parliament, The Council and the Commission Relating to Article 9, *Official Journal* L 037.

EC, 2003c. European Council decision establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills, 2003/33/EC, L 11/27.

EC, 2006. Implementation of waste electric and electronic equipment directive in EU 25. European Commission (EC), Directorite-General Joint Research Center, Institute for Prospective Technological Studies, Technical Report Series, Ed.: Savage,M., Ogilvie,S., Slezak,J., Artim, E.

EU, 2011. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS) (güncelleme), *Official Journal* L 174.

EU, 2012. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (güncelleme). *Official Journal* L 197.

Fishbein, F.K., 2002. Waste in the Wireless World: The challenge of cell phones. INFORM Inc., Mayıs, 103 s.

Goosey, M., Kellner, R., 2002. A scoping study: end-of-life printed circuit boards, Intellect and the Department of Trade and Industry, 10 s.

Hadi, Pejman, Meng Xu, Carol S. K. Lin, Chi-Wai Hui, Gordon McKay. 2015. Waste Printed Circuit Board Recycling Techniques and Product Utilization, *J.of Hazard. Mater.*, 283, 234–243.

Hagelüken, C. 2006b. Recycling of electronic scrap at umicore precious metals refining, *Acta Metallurgica Slovaca*, 12, 111–120.

Hagelüken, C., 2006a. Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling - a holistic approach for ınterface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining, *International Symposium on Electronics and the Environment (ISEE)*, USA, 218–223.

Kartal, A., 2015. Atık elektrikli ve elektronik eşyaların belediyelerde toplanması ve uygulamaları, Atık Yönetimi Sempozyumu, 26-29 Ocak.

Kaya, M. ve Sözeri, A., 2007. Elektronik Atık (E-Atık) Geri Dönüşümü/Kazanımı, *AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu (TÜRKAY)*, Mayıs, İstanbul.

McPherson, D. T., 2005. Hazard Assessment of E-Waste From Desktop Computers, Doktora Tezi, Jackson State University, USA.

Namias, J. 2013. The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions. MSc Thesis, Columbia University.

Öztürk, T., Ayberk, S., 2008. E-atıkların genel atık profili içindeki yerinin belirlenmesi, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 564–568, Kocaeli.

Resmi Gazete, 2004. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,* T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Karar: 2004/8289, Sayı: 25687.

Resmi Gazete, 2008. *Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına Dair Yönetmelik*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı: 26981.

Resmi Gazete, 2012. *Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sayı: 28300.

Resource Recycling. 2015. Printed Circuit Board Prices Tumble. *Http://resource-recycling.com/node/2813*.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015. Türkiye'de Atık Yönetimi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, *Atık Yönetimi Sempozyumu*, Ocak.

Townsend, T G., Jang, Y-C. ve Tolaymat, T., 2003. A guide to to use of leaching tests in solid waste management decision making, The Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management (University of Florida, USA) için hazırlanmış rapor, 03-01 (A), 31 s.

Townsend, T., Musson, S., Dubey, B. ve Pearson, B., 2008. Leachability of printed wire boards containing leaded and lead-free solder, *Journal of Environmental Management*, 88, 4, 926–931.

Townsend, T.G., 2002. Evaluation of Leaching Test Results of Lead-Free Solders, Abt. Associates Inc. için hazırlanmış rapor, 10 s.

Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A. Yazici, E.Y., Deveci, H., 2012. 'Aqueous Metal Recovery Techniques from E-Scrap: Hydrometallurgy in Recycling'. *Minerals Engineering* 25,1, 28–37.

Umicore. 2015. Electronic Scrap- Materials We Treat, http://www.preciousmetals.umicore.com/recyclables/eScrap/MaterialsWeTreat/.

USEPA, 1997. Test Methods for evaluating solid waste - physical chemical methods. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, www.epa.gov/SW-846/main.htm.

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M. ve Böni, H., 2005. Global perspectives on e-waste, *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 5, 436–458.

WRAP, 2014. Techniques for Recovering Printed Circuit Boards (PCBs). by H.McCoach, C.White, C.Laundon, IMT002-016. *Waste&Resources Action Programme (WRAP)*, 45 s.

Yang, G. C. C., 1993. Environmental threats of discarded picture tubes and printed circuit board, *Journal of Hazardous Materials*, 34,2, 235–243.

Yazıcı, E. Y. 2012. Elektronik Atıklardan Metallerin Fiziksel ve Hidrometalurjik Yöntemlerle Geri Kazanımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yazıcı, E. Y., Deveci, H., 2009. E-atıklardan Metallerin Geri Kazanımı, *Madencilik*, 48, 3–18.

Yazıcı, E. Y., Deveci, H., Alp, I., Akcil, A.U. ve Yazıcı, R., 2010. Characterisation of computer printed circuit boards for hazardous properties and beneficiation studies, *Int. Mineral Processing Congress (IMPC)*, 4009-401, Avustralya.

Yeraltı Delme Uygulamasında Bit Kullanım Ömürlerinin Arttırılması

Increasing the Lifetime Of The Bits Used At Underground Drilling Operations

Y.Dönmez
Tüprag Metal Madencilik Efemçukuru Altın Madeni İşletmesi Yeraltı Sürekli Gelişim Uzmanı, İzmir

ÖZET Bu çalışma yeraltı üretim aynalarında paralel delme yönteminde kullanılmakta olan bitlerin kullanım ömürlerinin arttırılması üzerine yapılmıştır. Delme işleminde kullanılan bitler delme kalemi içinde en fazla sarf edilen malzemeler olmaktadır. Bitlerin bilenmesinin delici makina ve kullanılan delme takımı üzerindeki etkileri çalışma kapsamında incelenmiştir.

Çalışma İzmir ili Menderes ilçesi Kokarpınar mevkiinde bulunan Tüprag Metal Madencilik Efemçukuru Altın Madeni İşletmesinde yapılmış olup, çalışmada delinen deliklerin tamamı yatay deliklerdir. Delme işlemi jumbolar ile sulu delme şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Kullanılmakta olan bitler 45 mm button, 51 mm retrac ve 64 mm retrac bitlerdir.

Bit bileme öncesi kullanım miktarlarına göre yıllık % 40 daha az bit sarfiyatı olmaktadır. Gerek makina performansları gerekse yıllık ilerleme ve üretim miktarları incelendiğinde bilenmiş bitler ile çalışmada %45 - %50 lere varan verim elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme uygulaması, bit

ABSTRACT This study is based on increasing the lifetimes of bits used in parallel drilling methods underground at production faces. Bits that are used in drilling process are the most consumed consumables in drilling operations. The effect of grinding bits on drilling machines and drilling kits are analyzed in the scope of this study.

This project is studied at Efemçukuru Gold Mine positioned in Kokarpınar-Menderes in İzmir. All of the holes in this study are drilled horizontal. Drilling process was performed with watered drilling method with Jumbos.

45 mm “Button”, 51 mm “Retrac” and 64 mm “Retrac” bits are used in this study.

Finally, when we analyze annual development and bit consumption, after bit grinding studies, approximately 45%– 50% of saving has been made.

Keywords: Drilling operation, bit

1 GİRİŞ

Yeraltı üretiminde üretimin temelini oluşturan delme – patlatma işlerinde kullanılan delme takımları sarfiyat kalemi içinde en fazla yeri tutmaktadır. Delme takımı içinde kullanılan bitlerin ömürleri formasyon, kullanım şekilleri, delici makina ayarları gibi etkenler ile değişiklik göstermektedir.

Çalışmanın yapıldığı Efemçukuru Altın Madeni İşletmesinde kullanılan bitlerin bütçe değerlerinin üzerinde olduğu konusunda problem tespit edilerek konuyla ilgili olarak bir iyileştirme çalışması yapılması istenmiştir. Problem konusunda analiz çalışmaları yapılarak sorunun temel nedenleri tespit edilmiş ve gerekli

aksiyonların alınması ile çalışmaya başlanmıştır.

Çalışma kapsamında yeraltı üretim bölümünden, pilot çalışma için jumbo talebinde bulunulmuş ve bu jumbo ile farklı formasyonlarda delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi esnasında çalışma gözlemlenerek karşılaşılan problemler yerinde görülmüş ve iyileştirme çalışmaları problem bazlı olarak yerinde yapılmıştır.

1.1 Tespit ve Analiz Çalışmaları

Problem tespitleri ve analiz çalışmaları için operatör, eğitmen, vardiya amiri, mekanik ustabaşından oluşan bir ekip kurulmuştur. Bu ekip ile 282 02 numaralı jumbo kullanılarak delme test çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan test çalışmaları sonucunda karşımıza çıkan problemler sarfiyat artışı ve arıza zaman kaybı problemleri olarak iki aşamada değerlendirilmiştir.

Sarfiyat artış nedenleri:

- Hatalı kullanım kaynaklı
- Butonlarda oluşan aşınma ve çatlaklara müdahale edilememesi
- Kullanım takibinin olmaması
- Formasyon (kayaç yapısı) kaynaklı
- Eski tahkimat elemanları(üretim metodu)
- Yanlış bit tipi seçimi
- Arıza ve zaman kaybı
- Delme süresinin uzaması
- Kaliteli ve istenen tipte deliklerin elde edilememesi
- Makina üzerinde gereğinden fazla bitin bulundurulması
- Delici tabanca arızalarının artması
- Delici makina hidrolik hortumlarında patlama
- Delici makina baskı pistonu ve kızağında yaşanan arızalar.

Yukarıda belirtilen problemlerin tespiti sonrasında balıkkılçığı (şekil1.) ve neden neden analizleri (şekil2.) yapılarak kök nedenlerin belirlenmesi ve gerekli aksiyonların alınması çalışmalarına geçilmiştir.

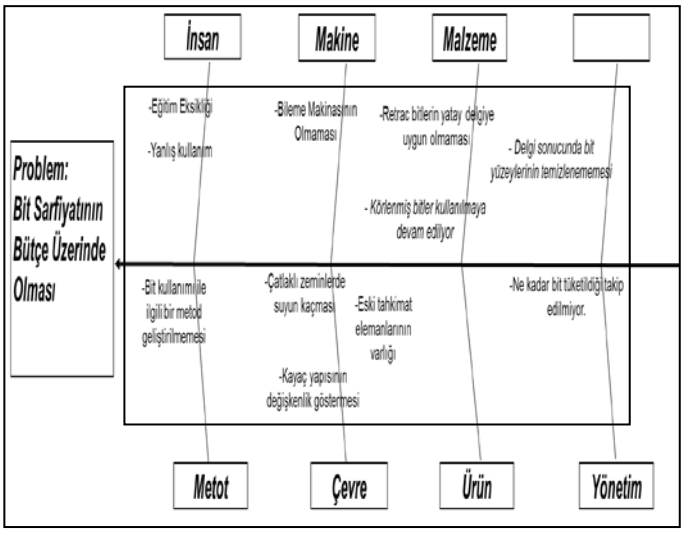
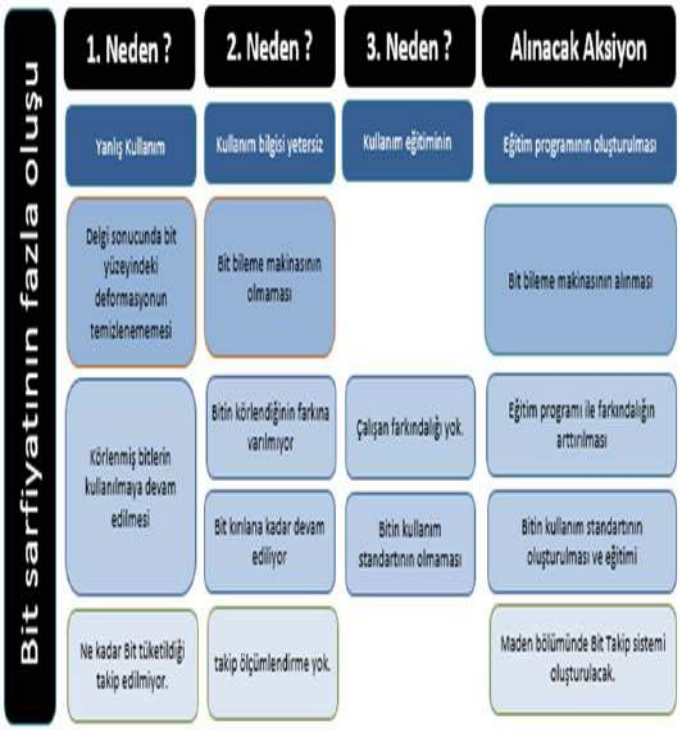


Figure 1. Balıkkılçığı diyagramı.



Şekil 2. Neden Neden Analizi.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen kök nedenlerden, temel kök nedenin; bit bileme makinasının temin edilip uygun atölyenin inşaa edilmesi olduğu sonucuna varılmıştır. Makinanın temini ve atölye kurulumu çalışmaları ile bit test çalışmaları eş zamanlı olarak devam etmiş olup çalışmalarda bitlerin çalışma koşullarına bağlı olarak kullanım ömürleri tespit edilmiştir. Bit kullanım ömürleri tablo 1, tablo 2, tablo 3 ve tablo 4 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bilenmemiş Bit Kullanım Ömrü.

KullanılanBit	Formasyon	150	300	450
45mm Button	Sert-Sağlam			350 mt
51mm Retrac	Sert-Kırıntılı			310 mt
64mm Retrac	Yumuşak-Çok Kırıntılı			260 mt

Tablo 2. 45 mm Bit Saha Uygulaması.

Kul.Bit	Lokasyon	Formasyon	D.Metraj
45 mm	Nos D.line	Sert Sağlam	44
	K.Bel. NW	Sert Sağlam	100
	K.Bel. NW	Sert Sağlam	88
	450 FWS	Sert Çatlaklı	39
	Toplam		271
45 mm	Nos D.line	Sert Sağlam	180
	Sos D.line	Sert Sağlam	170
	450 FWS	Sert Çatlaklı	105
	Toplam		455
45 mm	K.Bel. NW	Sert Sağlam	340
	Toplam		340

Tablo 3. 51mm Bit Saha Uygulaması.

Kul.Bit	Lokasyon	Formasyon	D.Metraj
51mm Retrac	510 # 31	Sert Çatlaklı	60
	575 # 710	Sert Çatlaklı	76
	575 # 603	Sert Çatlaklı	56
	535 # 717	Sert Çatlaklı	58,5
	Toplam		250,5
51mm Retrac	535 xcut7	Killi	70
	535 # 717	Killi Kırıntılı	85
	670 # 31	Sert Çatlaklı	80
	575 # 603	Sert Çatlaklı	83
	Toplam		318

Tablo 4. 64 mm Bit Saha Uygulaması.

Kul.Bit	Lokasyon	Formasyon	D.Metraj
64mm Retrac	575 # 603	Yumşak Kırıntılı	109,2
	535 # 608	Yumşak Kırıntılı	115,6
	670 # 12	Sert Kırıntılı	46,8
	Toplam		271,6
64mm Retrac	590 # 12	Sert Çok Çatlaklı	74,1
	475# FWN	Sert Kırıntılı	54,6
	535 # 717	Yumşak Kırıntılı	117
	Toplam		245,7

Kaya mekaniği birimi ile bitler üzerinde, değişik formasyonlarda test çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara istinaden, kaya yapısı – bit sınıflandırması yapılmıştır. Hangi bitin hangi formasyonda kullanılacağına ilişkin standart tablo oluşturulmuştur. Tablo 5.

Tablo 5. Efem Kaya Standardı Tablosu.

Kaya Standartı	Q	Kullanılacak Bit
EFEM – A	Q>10	45 mm
EFEM – B	10>Q>4	45 mm
EFEM – C	4>Q>1	51 mm
EFEM – D	Q<1	51 mm
EFEM – E	Q<1	64 mm

1.2 Aksiyonların Değerlendirilmesi

Yapılan tespit ve analiz çalışmaları sonucunda belirlenen sorunların çözümüne yönelik olarak yürütülen çalışmalardır.

1.2.1 Bit bileme sisteminin kurulması

Tüm analiz ve tespit çalışmalarında kullanılan bit yüzeylerinde aşınmaların ve kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür. Oluşan bu tip aşınmalara zamanında müdahale edilmemesi nedeni ile bitlerin daha kısa sürelerde kırıldığı veya söz konusu aşınmanın 80. metrelerden sonra hızlanıp biti kullanılamaz hale getirdiği tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerin neticesinde 80 metereye ulaşmış olan bitlerin bilenip yüzeyinde oluşan çatlakların ve aşınmaların düzeltilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bit üretici firmaları ile görüşülüp malzeme alım sözleşmesi karşılığı bedelsiz olarak Bit Bileme Makinası alımı sağlanmıştır. Alınan makina için operatör tahsis edilmiş ve üretici firmadan operatör, saha eğitmenleri ve mekanik çalışanları için kullanım-bakım eğitimleri alınmıştır.

Kullanılacak makinaya ve madenin kullanım ihtiyaçlarına uygun olarak tesis kurulumu için projelendirme ve inşaat çalışmaları yapılmıştır. Atölye içine gelen, kullanıma giden, hurdaya ayrılan bitler için raf sistemleri kurulmuş, operatör ve kullanım alanı bazlı takipler için operatör dolapları oluşturulmuştur. Kullanılacak makinanın çalışmasından kaynaklanan gürültü, parça sıçraması, döner aksam, toz oluşumu gibi risklere karşın makinayı içine alacak bir bileme kabini oluşturulmuştur. Kabin içinde

gerisine toz emiş sistemi kurularak kabin oluşan tozun emilişini sağlanmış ve makina kumandaları kabin dışına konularak açık kabin ile çalışma engellenmiştir.

Bit Bileme Atölyesi Genel Görünüm

Atölye İçi Raf Sistemi

Operatör Bit Takip Dolapları

Bileme Makinası

Bileme Kabini ve Toz Emiş Sistemi

1.2.2 Operatör eğitimlerinin verilmesi

Operatör eğitimleri eğitim bölümü tarafından bileme operatör ve kullanıcı operatör eğitimleri olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Kullanıcı operatör eğitimleri jumbo ile delik delme ve bit kullanım eğitimi olmak üzere iki ana başlığa ayrılarak bu eğitimler ayrı ayrı olarak jumbo operatörlerine verilmiştir. Jumbo ile delik delme eğitimini tamamlamış olan operatörlere bit kullanımı ile ilgili eğitim verilerek hangi formasyonlarda hangi tip bitleri

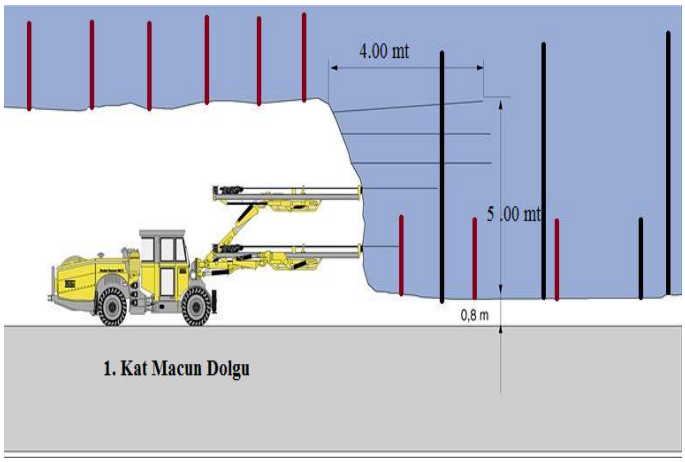
kullanacakları, bitlerin hangi sıklıkta bilemeye getirileceği, bilenmemiş bitler ile çalışmada karşılaşılan problemler konusunda bilgilendirme yapılmıştır.

1.2.3 Bit kullanım takip sisteminin oluşturulması

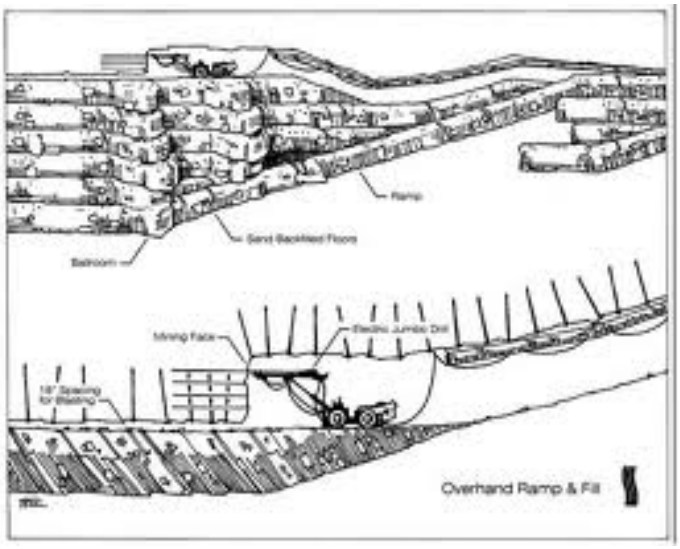
Mevcut sistemde bitler, yerüstü maden depodan alınmakta ve bu alım sırasında herhangibir kontrol mekanizması bulunmamaktaydı. Jumbo operatörü işin aksamaması için her gidişinde bit almakta bu da makina üzerinde bitlerin gereksiz yere taşınmasına ve stoklanmasına neden olmaktaydı. Aynı şekilde yetersiz bilgi akışı nedeni ile makina üzerinde bit bulunduğu düşünülerek bazı operatörler depodan bit almamakta, çalışma esnasında bit olmaması nedeni ile çalışma durdurulup yerüstünden bit gelmesi beklenmekteydi. Makina üzerinde taşınan bitler taşıma yerlerinden düşerek, kabin altında bulunan hidrolik hortumların patlamasına ve duruşlara neden olmaktaydı. Hurda olarak ayrılan bitler gelişi güzel olarak atılmakta bu da hem çevresel olarak olumsuzluklara hem de bit üzerine basma sonucu düşme gibi basit kazalara neden olmaktaydı.

Atölye dışına kurulan, operatör bit takip dolaplarına her operatör için ihtiyacı olan bitler bırakılmıştır. Operatörlere taşıma çantaları verilmesi ile bit ulaşımı kolaylaştırılmıştır. Dolap içleri; kullanımdan gelen bit ve kullanıma gidecek bit olarak bölümlere ayrılmıştır. Raporlama sistemine geçilerek, hangi operatörün hangi aynalarda çalıştığı, ne tipte bit kullandığı raporlanabilir hale getirilmiştir. Kullanımdan gelen bitler, bileme operatörü tarafından ölçüldükten sonra bilenebilir veya hurda olarak ayrılmaktadır. Hurdaya ayrılan bitler atölye dışında bulunan IBC tanklarda depolanarak oluşan çevresel ve iş güvenliği riskleri ortadan kaldırılmıştır. Hurda bitler için üretici firma ile görüşülerek bu bitlerin geri dönüşümü sağlanmıştır.

1.2.4 Eski tahkimat elemanlarından kaynaklanan bit hasarları



Yeraltında üretim ‘Cut And Fill’ yöntemi ile yapılmaktadır. Yöntem gereği cevher damarı içinde 1. Kat ilerlemesi yapılmakta bu ilerleme esnasında 1. Kat tavanına split set ve cable bolt uygulanmaktadır. 1. Kat üretimin tamamlanmasının ardından kata macun dolgu yapılarak 2. Kat cevherin üretimine başlanmaktadır. 2. Kat cevher aynalarının delinmesi esnasında 1. Kat tavanında bulunan tahkimat elemanlarının içine delikler delinmekte bu da bitlerin kırılmasına veya aşınmasına neden olmaktadır.

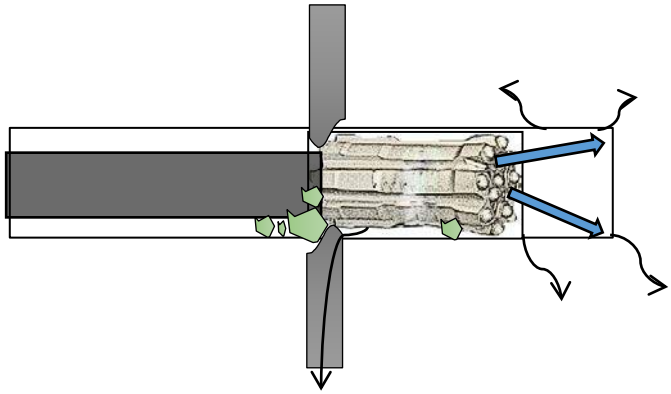


İşletmede bu etkinin ortadan kaldırılması için fiber bolt uygulamasına başlanmış fakat fiber boltların yan yüklerde kırılması nedeni ile uygulamadan vazgeçilerek çelik bolt uygulamasına geri dönülmüştür. Tahkimat elemanlarından kaynaklı hasarlar, kabul edilebilir hasarlar olarak sınıflandırılmıştır.

1.2.5 Yanlış bit seçimi

Yeraltı ayna delme uygulamasında buton bitler ve retrac bitler kullanılmaktadır. Retrac bitler çatlaklı ve yumuşak zeminlerde yaşanan delik içi kırıntının dolum işleminde probleme neden olmasından dolayı seçilmişlerdir. Fakat paralel delme yönteminde yatay deliklerde retrac bitlerin çok fazla aşındığı ve geri çekme işlemi esnasında jumboların darbe kullanarak takımı çekmede güç harcadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda aşağıda ki problemler görülmüştür:

- Yatay delme işlemi esnasında iri kırıntı dökülmesi olan zeminlerde kırıntı delik dışına çıkmamakta, içeride kalan iri parçalar geri çekme esnasında takımın sıkışmasına neden olmaktadır.
- Takımın geri çekilmesi sırasında retrac bit gerisinde ki dişlerin içeride kalan kırıntıya takılması nedeni ile jumbo darbe kullanarak çekme işlemini yapmaktadır. Darbe kullanarak yapılan çekme işlemi delik içinde daha fazla dökuntüye neden olarak delik yapısı bozulmakta ve istenen çapların üzerinde delikler delinmektedir.
- Geri çekme işlemi esnasında kullanılan boş darbe delme takımında kırılmalara, delici tabanca ve jumboda arızaların yaşanmasına neden olmaktadır.



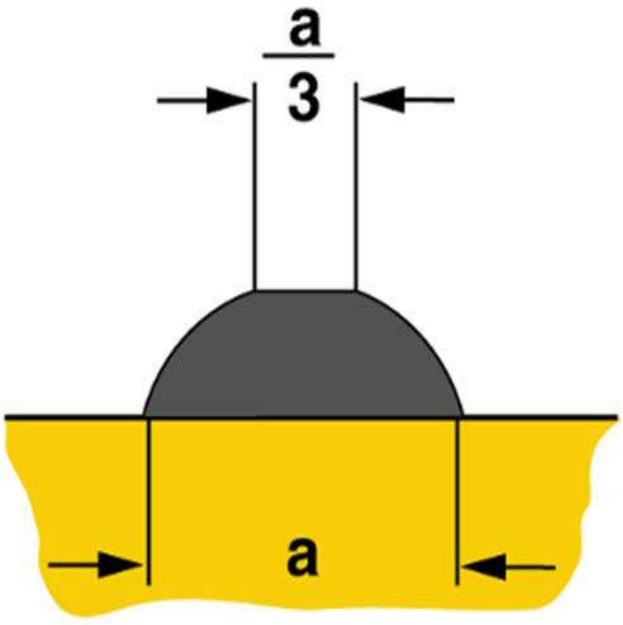
- Retrac bit gerisinde bulunan dişler tahkimat elemanlarına takılarak delici takım ve delici makinada hasarların yaşanmasına neden olmaktadır.
- Retrac bitlerin yan su deliklerinin olmaması nedeni ile su kaçağının yaşandığı çatlaklı zeminlerde bit üzerinde bulunan çember butonlarında ısınma sonucu yanmalar ve aşınmalar olmaktadır.

Söz konusu problemler sadece yatay deliklerde yaşanmış olup dikey deliklerde bu tip problemlerin olmadığı görülmüştür.

Problemin tespiti sonrası 57 mm buton bitler alınarak, yumuşak ve çatlaklı zeminlerde test çalışmaları yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrasında, takım çekme işleminde darbe kullanımına gerek kalmadığı, delik yapısında bozulmaların azaldığı, delik delme süresinin ortalama 30dk. kısaldığı ve oluşan arızaların azalarak makine performansında artış olduğu görülmüştür. Bunun üzerine 57 mm bit delme sarf malzeme stoğuna alınarak 2015 yılında yatay deliklerde retrac bit kullanımının kaldırılıp, ayna delme işlemlerinin 45mm ve 57 mm button bitler ile yapılmasına karar verilmiştir.

2 BİLENMİŞ BİTLER İLE ÇALIŞMA

Bileme atölyesinin kurulumu ve eğitimlerin tamamlanmasının ardından bileme işlemine başlanmıştır. Bilenen bitler ile test çalışmalarına başlanarak bit ömürlerinin ve ne aralıkta bileme yapılacağının tespitine gidilmiştir.



Bir bitin verimli olarak kullanılabilmesi için buton çapının 1/3 ü aşındığında bileme

işlemine alınması gerekmektedir. Sağlam zeminlerde bitler 120 mt ye ulaştığında bu aşınma gerçekleşirken kırıntılı zeminlerde ise 80 mt'de aşınma gerçekleşmektedir. Bundan dolayı işletmede jumbo operatörleri 80 mt (20 delik) delmiş olan bitleri bileme atölyesine götürmektedir.

2.1 Makina Delme Performansına Etkileri

Bileme öncesi yapılan testler ile bileme sonrası yapılan delme testleri esnasında makina delme hızı süreleri gözlemlenmiştir. Bileme sonrasında yaklaşık olarak 30 dk. lık bir kazanç elde edildiği görülmüştür. Karşılaştırmalara ilişkin tablolar aşağıda ki gibidir.

Bilenmemiş Bit ile Delme Süreleri

Bit	Delinen metraj	Bit 1.Kull	Bit 2.Kull.	Bit 3.Kull.	Bit 4.Kull.
45mm	88	45 dk	54 dk.	75 dk.	90 dk.
51mm	80	60 dk	75 dk	95 dk	120 dk
64mm	80	70 dk.	100 dk	130 dk	

Bilenmiş Bit ile Delme Süreleri

Bit	Delinen metraj	Bit 1.Kull	Bit 2.Kull.	Bit 3.Kull.	Bit 4.Kull.
45mm	88	45 dk	48 dk	54 dk	60 dk
51mm	80	60 dk	70 dk	80 dk	95 dk
64mm	80	70 dk.	85 dk	90 dk	102 dk

3 DOĞRULAMA VE KAZANÇ

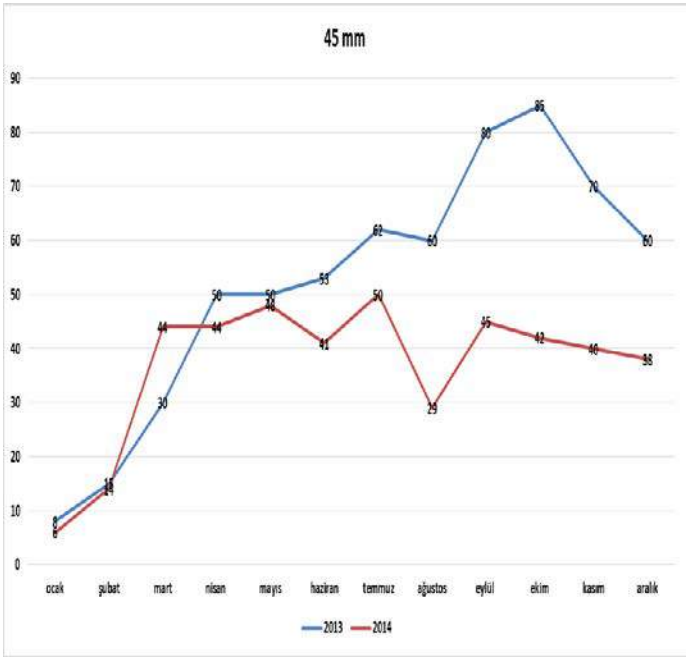
Tüm test çalışmalarının tamamlanmasından sonra kullanım yaygınlaştırılmış ve 2013 yılı ile 2014 yılı verilerinin karşılaştırılmasına geçilmiştir. Doğrulama ve kazanç için yapılan çalışmalarda kullanım adet, maddi kazanç ve adet ton olarak temel üç unsur göz önüne alınmıştır. Bu veriler tablo ve grafikler ile aşağıda anlatılmıştır.

3.1 Kullanım Adet Karşılaştımaları

2014 ve 2013 yıllarında kullanılan bit verileri Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve adet kullanım grafiğinde gösterilmiştir.

45mm Bit Karşılaştırma (Adet)

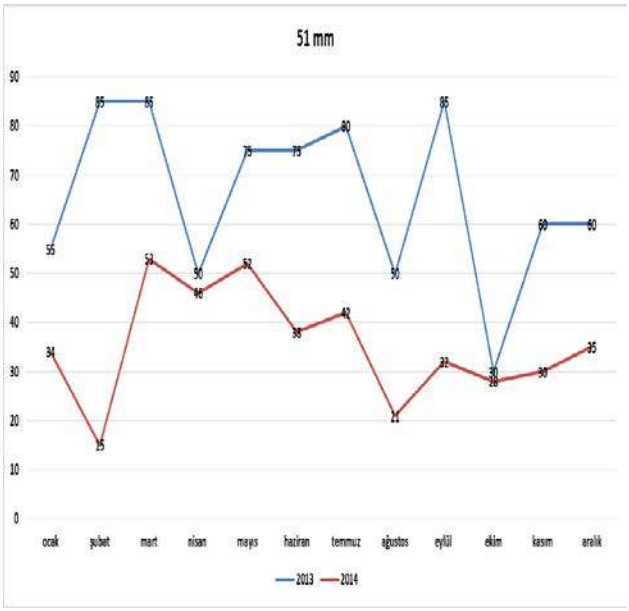
Aylar	2013	2014
Ocak	8	6
Şubat	15	14
Mart	30	44
Nisan	50	44
Mayıs	50	48
Haziran	53	41
Temmuz	62	50
Ağustos	60	29
Eylül	80	45
Ekim	85	42
Kasım	70	40
Aralık	60	38
Toplam	623	441



2013 – 2014 45mm Bit Tüketim Grafiği

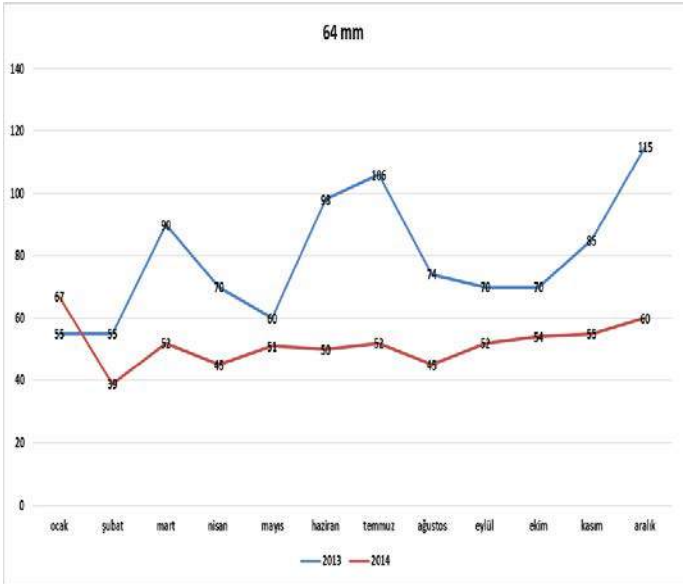
51 mm bit karşılaştırma (Adet)

Aylar	2013	2014
Ocak	55	34
Şubat	85	15
Mart	85	53
Nisan	50	46
Mayıs	75	52
Haziran	75	38
Temmuz	80	42
Ağustos	50	21
Eylül	85	32
Ekim	30	28
Kasım	60	30
Aralık	60	35
Toplam	790	426



64 mm Bit Karşılaştırma

Aylar	2013	2014
Ocak	55	67
Şubat	55	39
Mart	90	52
Nisan	70	45
Mayıs	60	51
Haziran	98	50
Temmuz	106	52
Ağustos	74	45
Eylül	70	52
Ekim	70	54
Kasım	85	55
Aralık	115	60
Toplam	948	622



2013 – 2014 64mm Bit Tüketim Grafiği

Genel olarak bit delme metrajlarına baktığımızda 45mm bitlerin 350 mt'den 700 mt'ye, 51mm bitlerin 310 mt'den 520 mt'ye, 64mm bitlerin ise 260 mt'den 370 mt'ye çıktığını görmekteyiz.

KullanılanBit	Formasyon	200	400	600
45mm Button	Sert-Sağlam		350	**700 mt**
51mm Retrac	Sert-Kırıntılı		310	**520 mt**
64mm Retrac	Yumuşak-Çok Kırıntılı		260	**370 mt**

2013 yılı bit tüketimlerini adet bazında karşılaştırdığımızda 45 mm bitte % 29,2, 51 mm bitte % 46 ve 64mm bitte % 34,3 azalma olduğunu görmekteyiz.

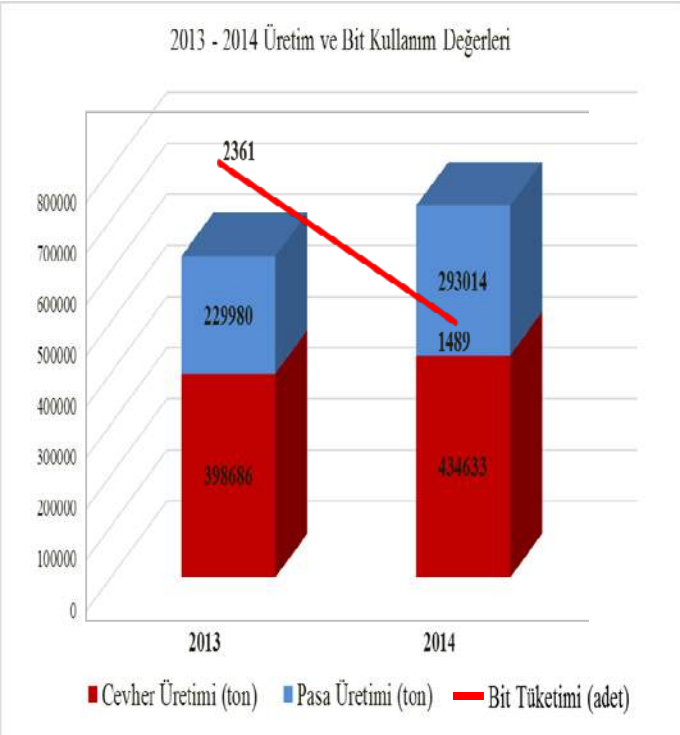
Maddi kazanç olarak bakıldığında yıl bazında tüketim aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

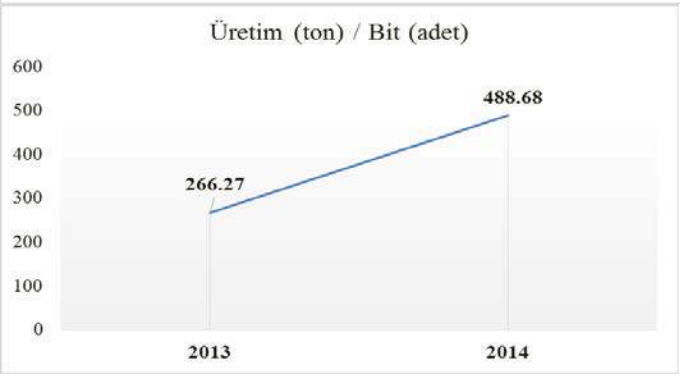
Kullanılan Bit	2013($)	2014($)	Fark($)
45mm Button	38.003	26.901	11.102
51 mm Retrac	58.460	31.524	26.936
64 mm Retrac	118.500	77.750	40.750
Toplam	**214.963**	**136.175**	**78.788**

Tablodan da anlaşılacağı üzere bit bileme sonrasında çıkan fark **78.788$** olarak gerçekleşmektedir. Bu da bir önce ki yıla göre %37 daha az bütçe harcamasının olduğunu göstermektedir.

Fakat tam kazancın görülebilmesi için bu değerlere karşılaştırılan iki yıl arasında ki üretim değerlerinin de eklenmesi gerekmektedir. Üretim değerlerini girdiğimizde çıkan tablo aşağıda gösterilmiştir.

Yıllar	Cevher(t)	Pasa(t)	Kul.Bit(adet)
2013	398.686	229.980	2.361
2014	434.633	293.014	1.489





Tablo üzerinden gittiğimizde 2013 yılında üretilen her 226,27 ton malzeme için 1 bit harcarken, bu değer 2014 yılında 488,68 ton malzeme için 1 bit olarak gerçekleşmiştir. Bu da üretimde % 45,5 daha az bit kullandığımızı göstermektedir.

3.2 Maliyet ve Kazanım

Bileme sisteminin başlandığı 2014 yılı boyunca, sistem için yapılan harcamalara ilişkin maliyet tablosu aşağıda ki gibi gerçekleşmiştir.

Giderler	Tutar ($)
Kurulum	10.000 $
Tamir-bakım	5.000 $
Sarf Malzeme (Bileme ucu)	3.888 $
Işçilik	24.000 $
Toplam	42.888 $

Yıl bazında bileme sisteminin gerçek getirisini incelediğimizde.

2013 yılında 1 ton üretim için 0,34$ bit harcaması yapılmıştır.
2014 yılında ise 1 ton üretim için bu değer 0,187$ olarak gerçekleşmiştir.
Bilemenin yapılmadığını varsayarsak 2014 yılı için toplam maliyet;

0,34$ X (434.000+293.014)=248.808$

olarak gerçekleşecektir. 2014 yılında bit için harcanan meblağ ise 136.175$ dır.
Bu durumda bit bileme sayesinde;

248.808$ - 136.175$= 112.633$

maliyette azalma olmuştur. Çıkan bu değeri aylara bölecek olursak;
112.633$ / 12= 9.386,08$/ay az harcama yapılmıştır. Çıkan bu oranı bit bileme giderlerine dağıtacak olursak. Sistem kurulum giderleri ;

10.000$ / 9.386,08$= 1,06 ay

Diğer tamir-bakım, sarf malzeme, işçilik giderleri ise;

32.888$ / 9.386,08$= 3,50 ay

Toplamda : 3,50 + 1,065= 4,56 ay sonunda harcamalar amorti edilmiş ve karlılığa geçilmiştir. Sistemin 2014 yılı için karı;

112.633$ - 42.888$ = 69.745$

olarak gerçekleşmiştir

KAYNAKLAR

ob – research.com. , 2010,Jaguar Mining – In the line of fire, *Cut and fill*

Behre Dolbear, edgar – online.com,2011, *Overhand Ramp & Fill*, Sayfa 65

Madencilik ve Çevre

İskenderun Demir Çelik (İSDEMİR) Çelikhane Cüruflarının Değerlendirilme Olanakları

Evaluation of Bof Slag in Iskenderun Iron and Steel (ISDEMIR)

Y. Erdoğan
M.K.Ü. Mühendislik Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay

R. Eren
İskenderun Demir Çelik A.Ş., Laboratuvarlar Müdürlüğü, İskenderun/Hatay

ÖZET: Dünyada çelikhane cüruflarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan birçok bilimsel araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar sonucunda çelikhane cüruflarının özellikle kara ve demir yollarında, çimento sanayiinde, tarımda ve cüruf yünü imalatında konvansiyel malzemelerin yerine kullanılabileceğinin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma ile İskenderun Demir Çelik (İSDEMİR) fabrikasında atık olarak bulunan çelikhane cüruflarının değerlendirilme olanakları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İskenderun Demir Çelik (İSDEMİR), cüruf değerlendirme

ABSTRACT: There are many scientific studies to evaluate the steel mill slag in the world. As a result of this research especially in road and rail steel mill slag, cement industry, agriculture and slag wool manufacturing could be used instead of conventional materials of the art and is seen as economically as possible. With this study, Iskenderun Iron and Steel (ISDEMIR) in the factory researched evaluation possibilities of the steel mill slag contained in waste and the results obtained were examined.

Keywords: Iskenderun Iron and Steel (ISDEMIR), bof slag evaluation

1 GİRİŞ

Türkiye'de bulunan Entegre Demir-Çelik tesisleri yılda yaklaşık 4-5 milyon ton çelik üretmektedir. Bu üretimden yılda yaklaşık 1.5-2 milyon ton çelikhane cürufu hasıl olmaktadır. Bu cürufun bir kısmı inşaat ve çimento endüstrisinde kullanılmaktadır. Fakat kalan kısım dışarıda depolanmakta ve büyük bir olasılıkla yer altı suyu kirliliğine neden olmaktadır. Bu cüruflar FeO, MnO, CaO, vs. gibi metal oksitleri açısından zengin olmasına rağmen, cüruf için bugüne kadar yararlı bir kullanım alanı bulunamamıştır. (Sarıçiçek ve Atımtay 2002).

Cürufları değişik amaçlarda kullanabilmek ancak onların kimyasal ve fiziksel özelliklerini tanımakla mümkün olabilir. Cürufu tüketen kuruluşların ısrarla üzerinde durdukları ve cüruflarda aradıkları iki önemli husus bulunmaktadır. Bunlardan birincisi cüruf bileşimindeki CaO, SiO_2, Al_2O_3 ve P_2O_5 oranları, diğeri de cürufun soğutuluş şeklidir.

Cürufun çimento yapımında kullanılması durumunda cüruf yapısındaki CaO, SiO_2 ve Al_2O_3 değerleri önem kazanmakta iken, gübre yapımında kullanılması durumunda P_2O_5 oranı önem kazanmaktadır. Öte yandan cürufun ani soğutulmuş olması yani granüle veya köpük halinde bulunması, hangi amaçla olursa olsun kullanılabilme ve değerlendirebil imkanını kolaylaştırmaktadır.

Metalurjik cüruflar, kalsiyum oksit (CaO), silisyum dioksit (SiO_2), demir oksitleri (FeO, FeO_3), magnezyum oksit (MgO), çinko oksit

(ZnO), çinko sülfür (ZnS) ve pek çok diğer oksit ve sülfür bileşiklerinin karışımı şeklinde bulunurlar(Yıldırım, 1981).

Bu bileşikler gang minerallerinden gelir yada üretici tarafından belli amaçlarla hammadde karışımına verilir. Demir dışı metallerin cüruflarında yukarıda verilen bakır izabe cürufu örneğinde de olduğu gibi; yüksek fırın, dökümhane, çelik ve ferro alaşımlarının cüruflarından farklı olarak % 50'ye varan oranda demir oksit bileşikleri bulunur. Ancak bu demir içeriğinin demir-çelik üretimi açısından bir değeri yoktur.

Cürufların oluşum ve ergime sıcaklıkları, ferro alaşımlarınınkiler dışında 1000-1400°C'ler arasındadır. Saf oksitlerin ergime sıcaklıkları gerçekte bu sıcaklıkların çok üzerindedir. Ancak oksitler birbirleriyle daha düşük sıcaklıklarda birleşmeye meylettiklerinden ergime sıcaklıklarında önemli ölçüde düşme söz konusu olur(Yıldırım, 1984).

Bazik cüruflar asidik cüruflara oranla daha az iç sürtünme ve buna bağlı olarak daha yüksek bir akışkanlık özelliği gösterirler. Asidik cürufların akışkanlıkları camları andırır. Aşırı hızlı soğutmalarda camsı bir özellikte katılaşırlar. Bunlar 700°C'de yumuşar ancak 1300°C gibi oldukça yüksek bir sıcaklık değerinde yeterli akışkanlık derecesine ulaşabilirler.

Çelikhane cürufu, çelik üretimi esnasında çelik içerisindeki empüritelerin oksidasyonu sonucu oluşan oksit ve silikatların oluşturduğu kompleks bir kimyasal yapıya sahip, metalik olmayan yan ürünler olarak tanımlanmaktadır. Cüruflar farklı metalurjik proseslerin ürünleri olabilmektedir.

Bazik oksijen fırınlarında yapılan çelik üretiminde açığa çıkan cüruflar BOF cürufları, elektrikli ark ocağında (EAO) yapılan üretimde açığa çıkan cüruflar ise elektrikli ark fırın (EAF) cürufları olarak adlandırılmaktadır(Özgen, 2001).

Bazik oksijen proseslerinde sıcak maden, hurda ve cüruf yapıcılar konvertöre şarj edilir. Konvertör içerisine daldırılan bir lans aracılığı ile yüksek basınçta oksijen üflenir ve üflenen oksijen şarjdaki empüritelerle birleşir. Bu empüriteler C, Si, Mn, P ve bir miktar Fe'dir. Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bu oksitlerden sıvı halde olanlar kireç ve dolomitik kireç ile birleşerek cürufu oluştururlar.

İşlem bitiminde sıvı çelik bir potaya dökülürken, oluşan cüruf sıvı halde yaklaşık olarak 1100-1500 °C'de özel cüruf potalarına boşaltılarak taşınmakta ve stok sahalarında soğumaya bırakılmaktadır. 1 ton çelik üretiminde yaklaşık 100-150 kg cüruf oluşmaktadır.

Çelikhane cüruflarının yarısı kireç (CaO) olup, geri kalanı sıcak maden ve hurdadaki elementlerin oksitlerinden meydana gelmektedir. Yaklaşık olarak %15-20 oranında FeO içermektedirler.

Fiziksel olarak çelik cürufları koyu gri renkte, tane şekli köşeli ve yüzeyi pürüzlü bir görünüme sahiptirler. Yüksek fırın cürufuna kıyasla çok sert ve dayanıklıdırlar ve özgül ağırlıkları ise %20-25 daha büyüktür(Karaküçük ve Yıldırım, 1978, Eren, 2014).

2 ÇELİKHANE CÜRUFLARININ KULLANIM ALANLARI

Dünyada çelikhane cüruflarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan birçok bilimsel araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar sonucunda çelikhane cüruflarının özellikle kara ve demir yollarında, çimento sanayiinde, tarımda ve cüruf yünü imalatında konvansiyel malzemelerin yerine kullanılabileceğinin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Günümüzde çelikhane cüruflarının farklı uygulama alanlarında maksimum miktarlarda kullanılması için yoğun çabalar sarf edilmektedir(Çizelge 1).

Bunlara Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Chaparrel Steel şirketinin cüruf kullanılarak çimento üretimi uygulaması, Sumitama Kawasaki Yaşlandırma Prosesi (SKAP) ile cürufların stabilizasyonu için hızla yaşlandırılması örnek olarak verilebilir(Ellicott, 2003).

Çizelge 1. Çelikhane cüruflarının ülkelere göre birim ham çelik üretimi başına oluşan miktarları ile kullanım oranları(Ellicott G, 2003).

Ülke	Curuf (kg/thç)	Kullanım (%)
Avustralya	135-187	80-100
Kanada	103-250	40-100
Almanya	103	96
Japonya	96-155	90-100
ABD	70-170	60-100
Hindistan	200	25

Kullanım alanları, her bir ülke ve tesisin özel koşullarına göre değişiklik arz etmektedir.

Örneğin Çin'de çimento sektöründe, Japonya ve Avustralya'da karayollarında, Güney Kore'de sisteme geri döndürülerek yüksek fırın ve sinter proseslerinde kullanılması şeklindedir.

Avrupa'da ise gübre olarak tarımda, toprak iyileştirilmesinde ve yüksek fırın prosesinde kullanım alanı bulmaktadır.

Hindistan'da kullanım miktarlarının en üst seviyelere çıkarılması için çalışmalar devam etmektedir.

Ayrıca cüruflar, yüksek fırın ve sinter tesislerinde, tren yollarında, karayollarında, arazilerin ıslah edilmesi yönündeki kullanımlara ilişkin olumlu sonuçlar alınmış bunların haricinde çimento sektöründe de kullanılmalarının ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Temel ve temel altı malzemesi, toprak set, dolgu, ana yol banketleri ve sıcak asfalt karışımları uygulamalarında agrega olarak çelik cürufunun kullanımı standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu alanlarda kullanılmadan önce uygulama alanına ilişkin özellikleri sağlaması amacı ile çelik cürufları kırılarak elenmelidir.

Hidratasyonun sebep olduğu genleşmeyi önlemek amacı ile yaşlandırma prosesi uygulanmalıdır. Çelikhane cürufları, serbest kireç ve bazı nadir elementler içerdiğinden dolayı toprağın koşullandırılmasında da uygulama alanı bulmaktadır(Ellicott, 2003).

3 İSDEMİR'DEKİ ÇELİKHANE CÜRUFLARININ KULLANILMASINA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Çelikhane ünitesinde çelik üretimi sırasında yılda ortalama olarak 300-500 bin ton kadar skal ve curuf malzemesinin çıktığı ve curuf döküm alanına döküldüğü bilinmektedir(Şekil 1).

Ancak, son yıllarda teknolojik gelişim doğrultusunda çelikhane curufu % 2,5 oranında cevher ile karıştırıldıktan sonra sintere ilave edilmektedir. Bu şekilde çelikhane curufunun geri kazanımı sağlanmıştır.

(a) (b) (c)

Şekil 1. Çelikhane cürufları (İsdemir, 2012)
a= -11mm atık,
b= +11mm , -23mm arası,
c= ince seperatör +23mm)

İsdemir cüruf sahasındaki curufun tamamına yakını müteahhit tarafından ayrıştırma işleminden geçmiştir. Çelikhane curufundan, % 3-5 kadar demir tıpkı bir açık işletme gibi ekskavatörlerle kamyona yüklenerek manyetik kırıcılarla ve separatörlerle steril curufta ayrılarak ekonomiye kazandırılmıştır.

Curuf İçerisindeki Demirli Malzemenin Ayrıştırma Maliyeti: 1993 –1996 yılları arasında Çelikhane curufunu ayrıştıran Firma, curuf içerisindeki demirli malzemenin ayrıştırma işini magnet vinç kullanmak suretiyle yapmıştır. Bu süre zarfında firma tarafından çelikhane curufu içerisinden 103.333 ton demirli malzeme ayrıştırılmış ve İsdemir'e teslim edilmiştir. 1996 yılından bu güne kadar olan dönem içerisinde ise çelikhane cürufu içerisindeki demirli malzemenin ayrıştırılması manyetik tambur kullanmak suretiyle yapılmaktadır. 1996 yılından 2003 Ekim ayı sonuna kadar firma

tarafından toplam 457.131 ton demirli malzeme ayrıştırılmıştır.

Çelikhane curufu içerisindeki demirli malzemenin ayrıştırılması işlemi için müteahhide ödenen miktarlar çerçevesinde hurda kazanım maliyeti ortalama 19 $/ton olarak gerçekleşmiştir (İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004).

Bileşimleri ne olursa olsun, yeterli mukavemet derecesinde cürufları yol stabilize malzemesi, beton briket katkısı, asfalt yol dolgu malzemesi olarak kullanmak kolaylıkla mümkündür. Ayrıca granüle cüruf kış aylarında kaygan yollara serpilerek mucur olarak değerlendirilebilmektedir (Salihoğlu, 1978).

Sanayi cürufları içerisinde bu nedenle geniş kullanılma alanı bulabilmiş olan cüruflar sadece ultrabazik yüksek fırın cürufları ile yüksek fosfor pentaoksit içerikli çelik cüruflarıdır. Dolayısı ile demir-çelik sektörü cüruf problemini bir ölçüde halletmiş sayılır.

Cürufların bileşimleri metalurjik operasyonlarda değiştirilemeyeceğinden diğer üretim yöntemlerinde ortaya çıkan cürufların kullanılma alanları inşaat sektörü ile yol yapım, bakım ve onarım işleridir.

Yapılan gözlem ve araştırmalar cürufların yıllarca bileşimlerinde fazla kimyasal değişme olmadan kalabileceklerini ortaya koymuştur. Cüruflar en etkin çözücülerle bile kolay kolay çözündürülememektedir. Bunların belli bir yerde biriktirilmeleri çevre sağlığı açısından fazla bir sorun getirmeyecektir.

Gerçekte cüruflarla ilgili en önemli sorun onun elde olmayan nedenlerle her gün tonlarca üretilme zorunluluğudur. Bu da stoklama problemini artırmakta ve cürufların bileşimi ne olursa olsun tüketilmesinin gerektiğini göstermektedir.

Cüruf, günümüzde ve gelecekte en iyi biçimde inşaat sektöründe değerlendirilebilecektir. Dolayısı ile cüruf üreticilerinin inşaat sektörüyle iyi bir işbirliği yapmaları, cürufları çevreye atılan zararlı artık olmaktan kurtaracaktır.

Yüksek demir oranlı cüruflardan da demir-çelik üretim hammaddesi olarak yararlanabilmenin yolları araştırılmalıdır. Bu cüruflarda demirden başka bir çok değerli metallere ait bileşikler de demir gibi cürufla birlikte çevreye atılmaktadır(Varol ve Yıldırım, 1985).

Tüm yapılan literatür ve saha çalışmaları sonucunda İSDEMİR çelikhane cüruflarının ülkemizde en etkin şekilde beş farklı alanda kullanımının uygun olacağı görülmüştür. Belirlenen kullanım alanları detaylı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

3.1 Cürufların Karayolunda Kullanımı

Çelikhane cürufu çok yoğun ve sert bir malzemedir. Uygun tane boyutuna kolaylıkla kırılabilmektedir. 200 kN dolayında yaş mukavemet değeri ile mükemmel bir agregadır. İçermiş oldukları az miktardaki kireç nedeni ile mükemmel soyulma dayanımlarına sahiptirler.

Doğal agregalarınkine kıyasla yüksek kayma dirençleri ve dayanıklı yapısı, çok uygun özellikte asfalt agregası olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tekerlek izi direncinin yüksek olması, çelik cürufunun yoğun trafiğin olduğu kavşaklarda ve durma zonlarında kullanımının artmasını sağlamıştır.

Çelikhane cürufu kullanılarak asfalt üretilmesinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

-Stabilitelerinin yüksek olmasından dolayı bazı durumlarda daha ince asfalt döşenmesine imkan sağlamaktadır.

-Kararlılıkları, sertlikleri ve iyi bağlanma özellikleri kaliteli asfalt üretilmesini mümkün kılmaktadır.

-Cüruf agregalarının köşeli bir yapıda olması ve böylece tanelerin daha sıkı kenetlenebilmeleri cüruflu asfaltların tekerlek izi oluşum dirençlerini artırmaktadır.

-Yüksek kayma direncine sahip olmaları nedeniyle yolların güvenliği artmaktadır.

-Cüruf agregalarının bitüm ile kuvvetli bağ oluşturabilme özelliğinden dolayı soyulma direnci yüksek asfalt üretilebilmektedir.

-Cüruf tanelerinin dayanımlarının yüksek olması ve tanelerin birbirleri ile çok iyi kenetlenebilmeleri, yüksek sıcaklık

koşullarında bile asfaltın kalıcı deformasyon direncini artırmaktadır.

-Bünyelerinde daha uzun süre ile ısıyı tutabilmektedirler. Bu özellikleri asfalt döşeme ve sıkıştırma işlemleri için avantaj oluşturmaktadır. Çünkü sıcak asfaltın döşenmesi ve sıkıştırılması soğuk asfalta nazaran çok daha kolaydır(Eren, 2014).

Çelikhane cüruflarının asfalt agregası olarak kullanılması ve bu avantajlarının yanı sıra, kullanımlarını sınırlayan bazı dezavantajlarının olduğu da bilinmektedir.

Özgül ağırlıklarının yüksek olmasından dolayı nakliye maliyetlerinin klasik agregalarınkinden daha pahalı olması ve serbest kireç içerdikleri için potansiyel hacimsel genleşme problemlerinin olmasıdır.

Ancak çok uygun fiziksel özelliklerinden dolayı daha kaliteli ve uzun ömürlü asfalt üretimine imkan sağlamaları, taşıma maliyetlerindeki artışı kompanse edebilmektedir.

Potansiyel hacimsel genleşme problemleri ise cürufta bulunan kirecin hidratasyonu amacıyla uygun yaşlandırma prosesinden geçirilmesiyle çözülebilmektedir(Eren, 2014).

Yaşlandırma prosesi stok sahalarında cürufların atmosferik koşullarda bir süre bekletilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu süre genellikle altı aydır ancak buharlı yaşlandırma prosesinin daha kısa sürelerde oldukça etkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca kirecin hidratasyonu sonucu oluşan hacimsel genleşmenin asfalt uygulamalarında önemli bir problem teşkil etmeyeceği ileri sürülmektedir. Bunun nedeni cüruf agregalarının bitüme olan yüksek kimyasal ilgilerinden dolayı bitümün cüruf yüzeyini kaplayarak suyun taneler arasına girmesini engellemesidir.

Suyun etkisi azaldığından hidratasyonun gerçekleşmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca asfalt düşük oranlarda oluşan genleşmeyi tolere edebilecek visko elastik bir malzemedir.

Yapılan araştırmalar çelikhane cüruflarının, granüle yüksek fırın cüruflarını aktive etmek amacıyla kireç kaynağı olarak kullanılabileceğine işaret etmekte, kaldırım temellerinde ve alt dolgu malzemesi olarak granüle yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve uçucu kül karışımının gelecek vaad ettiği belirtilmektedir.

3.2 Tren Yolu Balastlarında Kullanımı

Travers, vagonların raylar üzerine olan etkilerini geniş bir alana yaymak suretiyle balasta geçiren ve iki sıra ray dizisini yerinde tutarak hat genişliğinin yol boyunca sabit kalmasını sağlayan yol eksenine dikey olarak yerleştirilen ahşap, demir veya betonarmeden imal edilmiş malzemedir.

Travers imaline uygun ormanlara sahip olmayan ülkeler ile sanayisi gelişmemiş ülkelerde, ahşap ve demir traverslerin tedariki zor ve pahalıdır. Çelikhane cürufları beton traverslerin üretilmesi için uygun özelliklere sahiptir. Platform üzerine konulan traverslerin içinde gömülü oldukları kırma taş tabakası balast olarak bilinmektedir. Balastın başlıca üç görevi vardır; bunların başında dingillerden raya ve traverse gelen düşey yükleri platform üzerinde daha büyük alana yaymak ve yatay etkiler sonucunda oluşan ray ve travers çerçevesinin hareketlerine karşı koymak gelir. İkincisi vagonların üzerinde gittikleri yola bir miktar elastikiyet vermektir(Eren, 2014).

Yüksek hızlarda yolda bir miktar elastikliğin olması, konforlu yolculuk ile vagon ve yol bakımı için yararlıdır. Balastın üçüncü işlevi ise platform üzerinde bitkilerin büyümesine engel olması ve bazı durumlarda donmaya karşı platformu korumasıdır.

Çelikhane cüruf agregaları demiryolu balastları için aşağıda verilen özeliklerinden dolayı mükemmel malzemelerdir:

-Aşınmaya karşı yüksek dayanımları

-Dönemeçlerdeki veya kıvrımlardaki lateral hareketlere birim ağırlığının fazla olmasından dolayı yüksek dayanımı

-Yapısında içerdiği yüksek miktardaki boşluklardan dolayı drenaja uygun olması

-İri köşeli tane yapısından dolayı kararlı, sağlam bir taban oluşturarak kıvrımlarda veya dönemeçlerde tren kompartmanlarının kaymasını önlemesi

-Yüksek elektrik direnci ve tren yolunun iletkenliği ile karışmaması nedeniyle tren yolunun sinyal sistemlerine zarar vermemesi

-Hiçbir organik malzeme içermemesi, dolayısıyla çok temiz balast malzemesi olması(Sönmez ve ark. ,2006; Eren, 2014). Cürüfların Balast olarak kullanılması yönündeki en önemli avantajlarındandır.

3.3 Çimento Üretiminde Cüruf Kullanımı

Çelikhane cüruflarının çimento endüstrisinde kullanımına yönelik araştırmalar halen devam etmektedir. Bu araştırmalar kapsamında, çelikhane cürufunun çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilkinde çelikhane curufu doğrudan çimento hammaddesine belirli bir oranda katılarak, fırın değirmeninde beraber öğütülerek prosese sokulmaktadır.

İkinci yöntemde ise tane boyu 20 mm'ye kadar olan çelikhane curufu döner fırının besleme veya çıkış ucundan fırına beslenerek prosese sokulmaktadır. İkinci yöntemde klinker üretiminde yaklaşık % 15'e kadar bir artış sağlanmakta ve CO_2 ile NO_X emisyonları düşmektedir.

Yapılan araştırmalara göre, çelikhane cürufunun geleneksel çimentodan farklı özellikleri

-İlerleyen süreyle birlikte yüksek mukavemet

-Düşük sıcaklıkta hidratasyon

-İyi aşınma direnci

-İyi geçirgenlik

-Mikro genleşme

-İyi donma ve korozyon dayanımı şeklindedir.

Çimento deneyleri kapsamında, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği ARGE Enstitüsü Laboratuarlarında deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneyler ile % 20 çelikhane cürufu + % 80 portland çimento karışımında hacim genleşmesinin standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı, çelikhane cürufunun portland çimentoya % 20 oranında katkı olarak kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir(Bilen, M, 2010, Eren, 2014).

3.4 Gübre Üretiminde Cüruf Kullanımı

BOF cürufu toprak doygunluğu açısından yeteri miktarda CaO ve MgO ihtiva etmektedir. Bu durum, toprağın doğal asitliğini azaltmakta ve toprağın daha verimli bir hale gelmesine sebep olmaktadır. Cüruftaki fosfor ve çeşitli minareler, toprağı tarımsal açıdan gübre gibi daha kullanışlı yaparlar ve toprağa dağılırlar. Avrupa da BOF cürufu büyük ölçüde bu özellikte kullanılmaktadır. Ülkemizdede son zamanlarda BOF cüruflarının gübre olarak kullanılmasına başlanmıştır (Bilen, M, 2010, Eren, 2014).

3.5 Sinter Tesisinde Curuf Kullanımı

Sinter beslemesine %2, %4, %6 ve %8 oranlarında çelikhane cürufu eklenmesi G. Kore'de Pohang işletmelerinde yapılmaktadır. Cürufun ortalama büyüklüğü kireç taşından büyük olduğundan Sinter yatağının akışı geliştirilmiş ve sinterleme zamanı kısaltılmıştır. Ayarlanmış cüruf eklemeleri %2'ye kadar optimaldir (Steel Times International, 2000).

Çoğu çelik üretim cürufları başlıca CaO, MgO, SiO_2 ve FeO içerirler. Düşük fosforlu çelik üretim pratiklerinde bu oksitlerin sıvı cüruf içindeki toplam konsantrasyonları %90 civarındadır. Bu nedenle BOF curufları en basit olarak CaO – MgO - SiO2 - FeO dörtlü sistemi olarak değerlendirilir. Cürufta CaO'in çözünürlüğü, cürufun dikalsiyum silikatla doymuş olmasıyla sınırlıdır. Bu nedenle cürufta her zaman üzeri ince dikalsiyum silikatla kaplı çözünmemiş kireç parçaları vardır.

Magnezya, curufun diğer önemli bileşenidir. BOF cürufu; curuf özelliği taşımasının yanında, bileşiminde önemli miktarlarda Fe ve Mn bulundurması nedeni ile, belli bir değere sahip olan ve fakat genellikle atılan bir maddedir.

Demir çelik üretiminde sıvı ham demirin çeliğe dönüştürülmesinde oluşturulan bu bazik cürufun kimyasal bileşiminde genel olarak, başlıca %15-20 Fe, % 4-9$Si0_2$, %45-53 CaO, %3,7-5,7 MnO, %2 max. MgO, % 0,95max P_2O_5 bulunur. Demir çelik üretiminde, bu maddelerin arasında sadece

fosfor olumsuzluk yaratabilir. Demir cevheri sinteri harmanına BOF cürufu ilavesiyle; sinterin cüruflaştırıcı ihtiyacı karşılanabildiği gibi, atık duruma gelmiş önemli miktardaki Fe ve Mn yeniden kazanılabilmektedir.

Benzer amaçlarla, entegre demir çelik tesislerinde sinter harmanına BOF cürufu ilavesi yapılmaktadır. Çelikhaneden alınan cüruf, kırılıp öğütülerek manyetik ayırmadan geçirilmektedir. Metalik demir kısmı alındıktan sonra sinter harmanına ilave edilmektedir. Bazik oksijen fırını (BOF) cürufunun diğer flaks bileşenleri ile yapılan karışımında; 1,28kg BOF cürufunun 1 kg flaks eşdeğerinde olduğu bulunmuştur. BOF cürufunun sinter harmanına ilave edilme oranı %7 civarındadır (Mumcu ve ark., 2001; Bilen, M, 2010, Eren, 2014).

Bu bilgiler ışığında az miktarda dahi olsa cürufların sinter beslemelerine eklenmesi cüruf değerlendirilmesi açısından önemli bir gelişme olarak görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Günümüzde cüruflarla ilgili yaşanılan en önemli sorun cürufların elde olmayan sebeplerden ötürü her gün tonlarca üretilme zorunluluğudur. Haliyle bu durum cürufların stoklama problemini artırmakta ve cürufların bileşimi ne olursa olsun tüketilmesinin gerektiğini göstermektedir.

Yapılan araştırmalar sonrası, cüruf bileşimlerinin metalurjik operasyonlar ile değiştirilmesinin çok zor olduğu görülmüştür. Bileşimi değiştirilemeyen cürufların en iyi kullanım alanları olarak inşaat sektörü ile yol yapım, bakım ve onarım işleridir.

İsdemir'de var olan cürufların etkin bir biçimde kullanılması amacıyla en uygun çözümün Karayollarında inşaat malzemesi, tren yollarında Balast malzemesi, inşaat sektöründe çimento maddesi, tarımda gübre malzemesi ve sinter tesislerinde geri dönüşüm ile cüruf kullanım olanaklarının uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Sarıçiçek, E.V., Atimtay, A.T.,2002. Demir-Çelik ve Çinko Endüstrisi Atıklarının Atık Gazların Adsorplanmasında Değerlendirilmesi, V. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-5), 2-5 Eylül, Ankara.

Yıldırım M.M., 1981. Malzeme Bilgisi II, Üretim Teknolojisi, F.Ü. Müh. Fak. Basımevi, F.Ü. Yayınları, No: 64, Sayfa, 42-47.

Yıldırım M.M., 1984. Yüksek karbonlu ferrokrom ve üretimi, Metalürji, 32, (5), Sayfa: 17-21.

Özgen, O., 2001. Alkali, Alümina Ve Çinko'nun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi, (Yayınlanmamış).

Karaküçük K., Yıldırım M.M., 1978. Yüksek karbonlu ferrokrom cürufunun granule etüdü, Rapor, 1-25, Elazığ.

Ellicott, G., 2003. Mining the Slag Heap, Industrial Minerals, April, pp. 64-67.

İsdemir Sistem Geliştirme Müdürlüğü, 2004. Çelikhane ve Yüksek Fırın Cüruflarının Dünyadaki Uygulamaları, İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Teknik Hizmetler Genel Müdür Yardımcılığı (Yayınlanmamış Rapor).

Salihoglu L., 1978. Su kirlenmesi, kirlilik parametreleri ve kaynaklan, "Su kirlenmesi ve denetimi", DSİ, 864, 15.

Varol A., Yıldırım M.M., 1985. Baca Filtreleri, 5. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, İstanbul.

Eren, R.2014. İsdemir Yüksek Fırın ve Çelikhane Atıklarının Değerlendirilmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,74 s. Hatay.

Bilen, M., 2010. Çelikhane Curuflarından Liç-Karbonatlaştırma Prosesi ile Kalsiyum Karbonat Kazanılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 124 s. Adana.

Steel Tımes Internatıonal, 2000. (Waste Management of Steel Slug)

Mumcu, A., Arısoy, F., Şeşen, K., 2001. Sinter Üretiminde Bazik Oksijen Fırını (BOF) Cürufunun Kullanılmasının Etkileri, I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi, Zonguldak

Kömür Açık İşletmelerinde Şev Duraysızlıkları ve Etki Sahasının Belirlenmesi

Slop Instabilities and Determination of Impact Area in the Coal Surface Mining

M.S. Delibalta
Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 51245 Niğde

ÖZET Kömür açık işletme şevlerinin önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev duraysızlıkları, büyük maddi hasar ve risk potansiyelleri içermektedir. Şev duraysızlıklarının önlenmesi için öncelikle potansiyel kayma alanlarının belirlenmesi, ayrıca kaymaların tür ve olası hareket miktarının tespiti gereklidir. Ampirik veya teorik bir modelleme ile şev kayma etki uzunluğu analizi yapılabilir. Model işletme koşullarına göre (Durum I, II) yapılan analizlerde şev kayma etki uzunluğu (X_r); normal kuvvetler altında yaklaşık 168,2 metre, şiddetli dinamik kuvvetler etkisinde 403,8 metre olarak hesaplanmıştır. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması, ancak zemin mekaniği ve jeoteknik yönden duraylı (stabil) ortam koşullarına sahip olması ile mümkündür. Bu maksatla araştırmada; kömür açık işletmelerinde şev duraysızlıkları, risk potansiyeli ve etki sahsının belirlenmesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev duyarsızlığı, etki sahası, kömür açık işletme

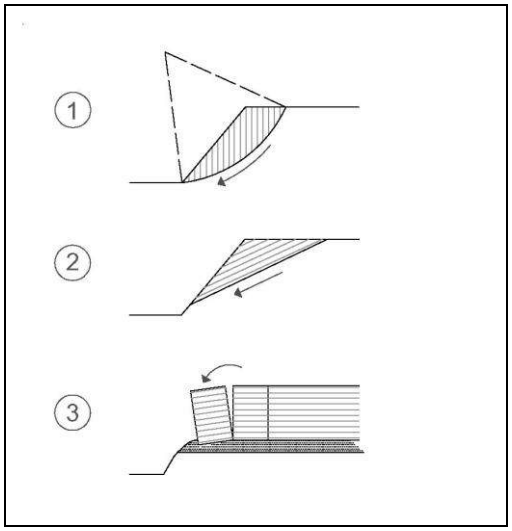
ABSTRACT A significant part of coal open-pit slopes has a tendency to slip or to creep. These unstable slopes, reaching sudden speeds in a short time, may cause serious substantial damages and carry high risk potential. Slope failures primarily to prevent identification of areas of potential further shift the determination of the type and amount of possible movement are required. Empirical or theoretical length of a slope failure effect analysis can be done with modeling. According to the model operating conditions (Alternative I, II) in the calculations, the length of slope failure effect (X_r) is about 168.2 meters under the normal forces and 403.8 meters under the severe dynamic forces have been identified. For these lands, it may only be possible with stable environmental conditions in terms of soil mechanics and geotechnical to attain previous ecologic and economic conditions. Thus, in this study determination of the risk potential and impact area in the coal surface mining slop instabilities were investigated.

Keywords: Slope instability, impact area, coal surface mining

1 GİRİŞ

Yeryüzü şeklini ve görünüşünü değiştiren pek çok jeolojik ve tektonik hareketler vardır. Bunlardan en etkili ve tehlikeli olanları; volkanlar, depremler, heyelanlar ve kitle (kütle) hareketleridir. Bu tür olaylar, hareket eden malzemenin türüne, hızına ve yüzey şekline göre özel isimler alırlar. Kitle hareketleri bazen kayma ile başlar akma ile sonuçlanır. Bazen de akma ile başlar devrilme ile sonuçlanır, yani karmaşık bir kitle hareketi oluşabilir (Şekil 1). Kitle hareketleri, yerkürenin az ya da çok eğimli yüzeylerinde (yamaç) veya mühendislik

amaçlı gerçekleştirilen kazılarda (şevler) meydana gelmekte ve dolayısıyla açık işletmelerde şevlerin duraysızlığı söz konusu olmaktadır.



Şekil 1. Şevlerde farklı hareket mekanizmaları ① Rotasyonel, ② Translasyonel, ③ Devrilme (Fecer, 2004)

Ülkemizdeki toplam kömür üretiminin yaklaşık % 90'nın açık işletme yöntemi ile gerçekleştirildiği dikkate alınırsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir (Ünver ve Kara, 1994).

Kömür açık işletmeleri dekapaj (örtükazı) malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle büyük bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Bunun en önemli koşulu; boşluk suyu basıncının artması ile kesme dayanımının azalması ve statik denge durumunu bozacak yeterli büyüklükteki bir iç veya dış kuvvetin yüzeye etkimesidir. Çok kısa zaman dilimi içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev duraysızlıkları, önemli maddi hasar ve risk potansiyelleri içermektedir.

Ülkemizde 6 Şubat 2011 ve 10 Şubat 2011 tarihlerinde Park Teknik AŞ. Afşin-Elbistan açık işletmesi Çöllolar kömür sahasında meydana gelen şev kaymaları sonucu, yaklaşık 50 milyon m^3 malzemenin 1,5 km^2'lik alana yayıldığı tespit edilmiştir. İlk incelemelere göre 2 Mühendis ve 9 İşçi olmak üzere toplam 11 kişinin heyelan altında kaldığı, büyük maddi hasarın yaşandığı belirlenmiştir (TMMOB, 2011).

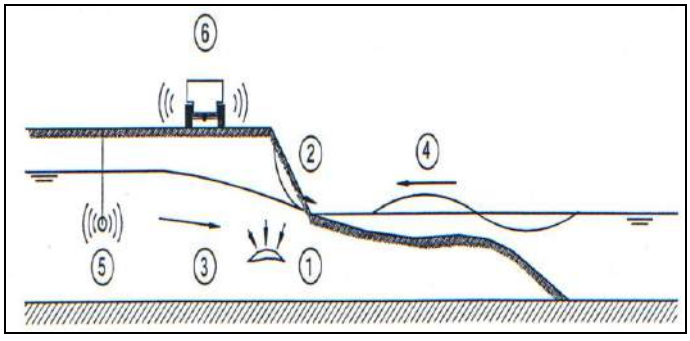
2 AMAÇ VE KAPSAM

Gerek iş güvenliği, gerekse çevresel etki değerlendirmesi (ÇED) bakımından, açık işletme sırasında ve sonrasında bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur (Değerli ve Dikmen, 2005). Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, başta zemin mekaniği ve jeoteknik yönden duraylı (stabil) ortam koşularına sahip olması gerekmektedir (Holtz ve Kovacs, 2002). Bu maksatla araştırmada, temsili bir kömür açık işletmesinde şev duraysızlıkları ve etki sahasının belirlenmesi incelenmiştir.

3 ŞEV DURAYSIZLIK OLUŞUM KOŞULLARI

Şevler; içinde açıldıkları malzemenin ya da yapının türüne göre, zemin şevleri ve kaya şevleri olarak iki gruba ayrılır. Diğer taraftan mühendislik açısından kullanım sürelerine göre, kısa süreli şevler ve uzun süreli şevler şeklinde adlandırılırlar (Ulusay, 2001). Zemin deyince; ayrık, çimentolanmamış ya da az çimentolanmış, kayaçların ayrışmasıyla veya taşınmasıyla oluşmuş, killi, siltli, kumlu ve çakıllı ortam akla gelmektedir. Dolaysıyla; zemin şevleri ile sağlam kayada açılan şevlerin özellikleri ve duraylılıklarına etki eden faktörler de farklı olmaktadır.

Kömür açık işletmelerinde muhtemel bir pasa (zemin) şev duraysızlığının oluşabilmesi, aşağıda belirtilen koşulların açığa çıkmasıyla mümkündür (Şekil 2).



Şekil 2. Şev duraysızlığına neden olan etki kuvvetleri (Delibalta, 2003)

Bunlar;
① Gözenek ve boşluk alanların oturması sonucu çökmesi,
② Lokal / dik şev kaymaları,
③ Yeraltı su tablasındaki akışlar,
④ Yüzey suları ve su dalgalarının etkisi,
⑤ Yeraltında oluşturulan dinamik etkiler (örneğin delme-patlatma veya sarsıntılar),
⑥ Yüzeyde oluşturulan dinamik etkiler (örneğin çalışan iş makinaları vb.),
⑦ Bölgenin depremsellik özelliğidir.

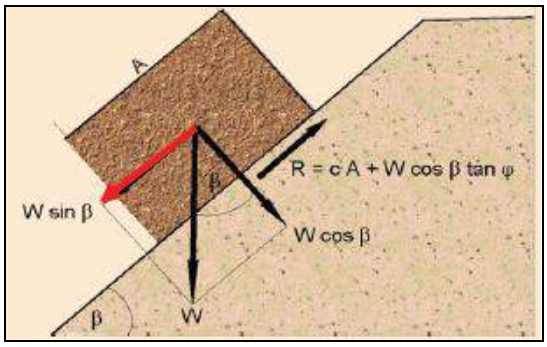
Burada, sadece dinamik etki kuvvetlerinden ⑤ ve ⑥ zamansal olarak kısıtlanabilir. Diğer etki faktörlerinin herhangi bir zamanda gerilme değişimine neden olup olmayacağı, bir kayma oluşturup oluşturmayacağı veya ne zaman meydana geleceği henüz belirsizdir. Ancak; pasa şev kayma riski, işletme koşulları ve ortam büyüklüklerine bağlı olarak, kinematik, analitik ve nümerik bağıntılar ile sayısal olarak belirlenebilmektedir (Sevim vd, 1998; Kramer, 2003; Duncan ve Wright, 2005).

4 MATERYAL VE METOT

Jeolojik ve hidrolojik şartlar, topografya, iklim, bozunma ve arazi kullanımı da dahil olmak üzere, heyelanların özelliklerini ve şevlerin stabilitesini etkileyen çok sayıda faktör söz konusudur. Eksiksiz bir şev stabilite analizi için, tüm faktörlerin etkisi dikkate alınmalıdır. Gerek statik, gerekse sismik şev stabilite analizleri için, işletme koşullarıyla ilgili detay bilgilere ihtiyaç olup, limit denge ve diferansiyel analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Şev kayma etki uzunluğu (X_r) ise, yapılan regresyon analizi eşitlikleriyle belirlenebilmektedir.

4.1 Şev Stabilite Analizleri

Statik durumdaki bir pasa şev kayma riskinin geleneksel yöntemler ile analizinden; blok, dilim ve kama (Fellenius, Bishop, Janbu vb. gibi) yöntemlerinin kullanılması anlaşılmaktadır. Burada; kopan blok, kaymayı kolaylaştıran ve kaymaya karşı koyan kuvvet veya momentler arasında denge koşullarının sağlandığı ideal cisim olarak tasarlanmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Şev stabilite analizinde rijit bir bloğa etkiyen kuvvetler (Westen, 2005)

Genel olarak şevlerin emniyet veya güvenlik katsayısı (G_s);

$$G_s = \frac{\sum \text{Tutucu kuvvetler}}{\sum \text{Kayma kuvvetleri}} \quad (1)$$

$$G_s = \frac{W_i.Cos\beta.\tan\phi}{W_i.Sin\beta} = \frac{\tan\phi}{\tan\beta} \quad (2)$$

eşitlikleri ile belirlenir. Kayma yüzeyleri; dairesel, düzlemsel veya karmaşık olarak gelişebilmektedir (Kızıl ve Köse, 1995; Akbulut, 2012). Esas itibariyle analizlerdeki belirsizlikler, karşılaşılan malzeme davranışının karakterize edilmesinde oluşmaktadır. Potansiyel yenilme yüzeyi üzerindeki zeminin rijit ve tam plastik olduğu kabul edildiğinden, limit denge analizleri şev deformasyonları hakkında net bir bilgi vermemektedir. Oysa doğal şevlerde yenilme yüzeyi boyunca tüm noktalarda aynı zemin dayanımına erişilmez, yani yerel emniyet katsayısı sabit değildir. Geleneksel yöntemler ile özellikle sınır denge koşulunun (G_s>1) tespiti gereklidir, fakat şev stabilitesi için yeterli değildir. Bu nedenle; geleneksel yöntemler ile birlikte, diğer şev stabilite analiz yöntemlerini de dikkate almak gerekmektedir (Duncan ve Wright, 2005).

Sismik şev stabilite analizi; deprem sarsıntısı ile oluşan dinamik gerilmeler, bu gerilmelerin şev malzemesi dayanımı ve gerilme-birim deformasyonu üzerine etkisini de kapsaması dolayısıyla daha da karmaşıklaşmaktadır. Belirli bir şevde egemen gerilmelere bağlı olarak sismik şev

stabilite analizi, ataletsel duraysızlık ve zayıflatan duraysızlık analizi olarak iki kısma ayrılmaktadır.

Ataletsel duraysızlık analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemler; Psödo-statik analiz, Newmark kayan blok analizi, Makdisi-Seed analizi ve Gerilme-deformasyon analizidir. Şev'in psödo-statik analiz ile bulunan yenilmeye karşı emniyet katsayısı (G_{sd}), statik şev limit denge analizinde bulunan emniyet katsayısı (G_s) ile birçok yönden benzerlik göstermektedir. Diğer yöntemlerin tümü, deprem sarsıntısı ile oluşan kalıcı şev yer değiştirmelerini dikkate almaktadır.

$$G_{sd} = \frac{\text{mevcut tutucu kuvvetler}}{\text{psödo-statik kayma kuvvetleri}} \quad (3)$$

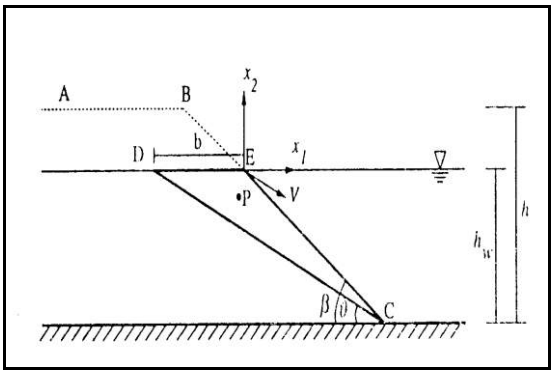
$$G_{sd} = \frac{[Cos\beta - k_h.Sin\beta].\tan\phi}{Sin\beta + k_h.Cos\beta} \quad (4)$$

Burada açıkça görüleceği gibi, sismik katsayı k_h artarken dinamik şev emniyet katsayısı azalmaktadır. Psödo-statik stabilite analizinin en önemli ve zor kısmı, uygun bir sismik katsayının seçimidir. Bu konuda ilk olarak Terzaghi, "büyük" depremler için k_h=0.1; "şiddetli, yıkıcı" depremler için k_h=0.2 ve "afet düzeyindeki" depremler için k_h=0.5 değerlerini önermiştir.

Araştırma koşullarına uygunluğu ve yukarıda belirtilen gerekçeler nedeniyle, açık işletme pasa şev stabilite analizi hipoplastik model ile de hesaplanması ve kontrolü yapılabilmektedir. Hipoplastik model; fiziksel esaslara dayalı, durum değişkenlerinin açık bir matematiksel ifadesi ve geniş ölçüde malzeme parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. Kayma yüzeyleri ve şekline gereksinim olmaksızın, elastik ve plastik deformasyonlar arasında da fark gözetilmez (Şekil 4). Eşitlik; diferansiyel tiptedir ve deformasyonlar, tane gerilmeleri ve boşluk oranı vasıtasıyla tanımladığından, objektif bir gerilme değerini ifade etmektedir. Sabit yük altında şev stabilitesi için gerek ve yeter koşul;

$$\Delta^2 E = \int_v \dot{T}_g \frac{\partial V}{\partial x}.dV > 0 \quad (5)$$

her kinematik hız alanı (v) için sağlanmalıdır. Eğer; $\Delta^2E > 0$ ise şev stabil, $\Delta^2E = 0$ ise kararsız, $\Delta^2E < 0$ ise stabil olmayan denge koşulunu göstermektedir.



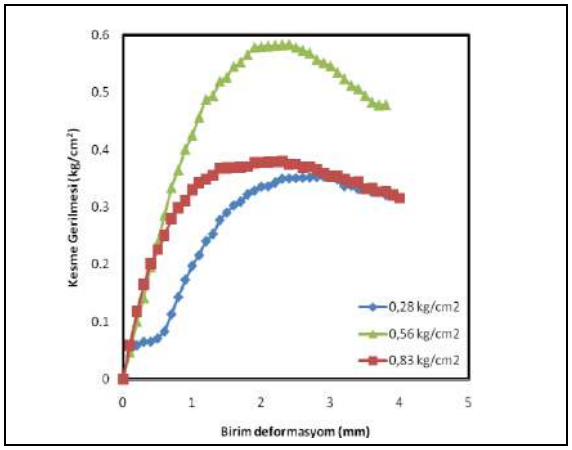
Şekil 4. Şev geometrisi ve parametrik büyüklükler

Öngörülen hipoplastik madde yasasının temel eşitliklerini oluşturan ilgili tüm bağıntılar, MATLAB 6.0 bilgisayar programında yazılmıştır (Delibalta, 2009). Şev stabilitesi yapılacak işletme koşulları ve malzemesinin mekanik özelliklerini belirleyen parametreler ise, yapılan laboratuar testleri ve model deneyler ile belirlenmektedir. Bu maksatla, yapılan örnek deneylere ait bulgular aşağıda verilmiştir.

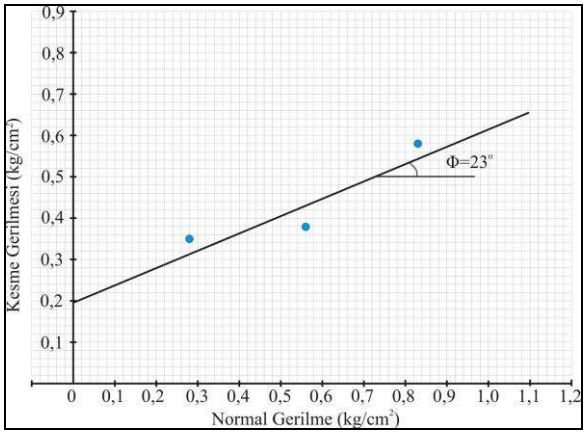
4.2 Laboratuar Testleri ve Model Deneyler

Şev stabilite analizine girdi teşkil eden farklı zeminlerin fiziksel özelliklerini nicel olarak tanımlamada, sıkça laboratuar testleri kullanılmaktadır. Bunun için; zemin yoğunluğu, dayanımı, gerilme-birim deformasyon davranışı birinci derecede önemlidir. Başarılı bir şev stabilite analizi, ancak bu bilgiler elde edildikten sonra gerçekleştirilebilmektedir.

Örnek deney numunesine ait Mohr-Coulomb dayanım parametreleri; konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) yapılan kesme kutusu deneyi ile kohezyon c = 0,2 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı Φ=23° olarak belirlenmiştir (Şekil 5, 6).

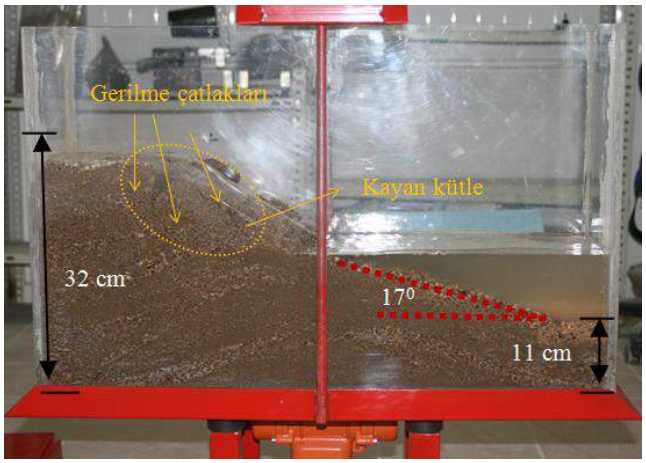


Şekil 5. Deney Kumuna ait kesme gerilmesi-birim deformasyon eğrisi



Şekil 6. Deney kumuna ait kesme kutusu deneyinden elde edilen kırılma zarfı

Zemin mekaniği indeks özellikleri ve mühendislik parametreleri belirlenen iyi derecelenmiş SW-SM zemin numunesi, deney havuzunda (Şekil 7) kuru ve yeraltı su seviyesinin belirli yüksekliklerde bulunduğu ortam koşullarında, farklı şev geometrilerinde oluşturulan model deneyler ile şev stabilitesi analizleri yapılmıştır.



Şekil 7. Yeraltı su seviyesi koşullarında şevin kayma sonrası görünüşü

Yukarıda verilen şev stabilite analizlerinde de görüldüğü gibi, söz konusu eşitlikler sadece ortam koşullarına bağlı olarak bir kayma olup olmayacağı hakkında bilgi vermektedir. Oysa şev duraysızlığı etki sahası hakkında bir değerlendirme yapılmamaktadır. Bundan dolayı, aşağıda verilen bilgilerin koordineli olarak dikkate alınması gerekmektedir.

5 ŞEV KAYMA ETKİ SAHASININ BELİRLENMESİ

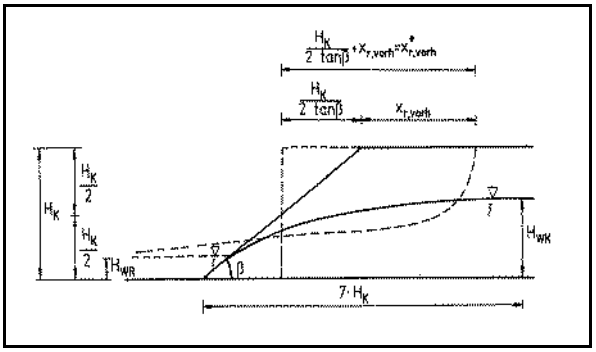
Kayma riski bulunan açık işletme şev alanlarında, emniyet tedbirleri olarak girişe yasak bölgeler ve bu alanların nasıl değerlendirileceği mutlaka belirlenmelidir. Bu amaçla; olası bir kaymanın şev gerisine doğru etki sahasının ve riskli bölgenin sayısal esaslara göre boyutlandırılması gerekmektedir. Pek çok etki büyüklüğüne bağlı bu problemin çözümü için pratik düşünceler;

1. Gözlenmiş etki uzunlukları ve ilgili verilere göre bir değerlendirme,
2. Teorik bir modelleme ile etki uzunluğu analizi yapılabilir.

Burada; mevcut kayma etki uzunluğu $X_{r,vorh.}$ (Şekil 8), bulunan teorik etki uzunluğu ile ilişkilendirilir ve bu ilişki, ilgili etki büyüklüklerine bağlı olarak ifade edilebilir. Önemli parametrik büyüklükler;

- Etkinin tür ve yoğunluğu,
- Döküm teknolojisi, ilerleme yönüne göre kayma yönünün durumu; paralel (p) veya dikey (s) (Şekil 9),
- Kayma koşulları, önlemsiz(u), önlemli(b).

Diğer etki faktörleri; küçük belirsizlikler içermesi, hesaplamada net bir korelasyon sağlamaması ve sonuca düşük etkisi nedeniyle ihmal edilmektedir. Bu nedenle, ilgili parametreler daha çok geometrik büyüklükler ve teknolojik faktörlerden oluşmaktadır (Förster ve Gudehus, 1998).

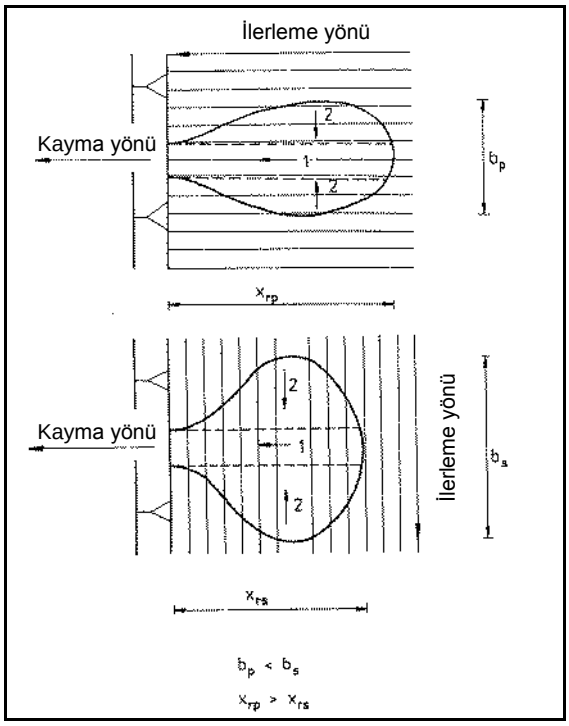


Şekil 8. Kayma etki uzunluğunun ($X^*_{r,vorh}$) belirlenmesi için parametrik büyüklükler

Burada;

H_K: Pasa şev yüksekliği (m),
H_{WK}: Şev içerisindeki su seviyesi(m),
H_{WR}: Şev önündeki su seviyesi (m),
β: Şev açısı (genel eğim) (°).

Riskli bölgenin tespiti ve muhtemel bir şev kayma etki uzunluğunun belirlenmesi, aşağıda verilen teorik iki farklı hesaplama alternatifine (Durum I, II) göre yapılabilir.



Şekil 9. Kayma yönünün ilerleme yönüne bağlı etki genişliği (X_r); paralel(p), dikey(s)

Birinci hesaplama alternatifine göre; beklenen şev kayma etki uzunluğunun (X_r) belirlenmesi, aşağıdaki regresyon analiz eşitliği doğrultusunda yapılır.

$$X_r = \delta_1 . H_K \left[a_1 . e^{bn.\left(\frac{H_{WK}}{H_K}-1\right)^2} - \frac{1}{2\tan\beta} \right] \quad (7)$$

δ_1 katsayısı; regresyon eşitliği vasıtasıyla belirli bir değerin, özellikle etkinin büyüklüğü ile ilgili katsayı olarak dikkate alınır ve aşağıdaki değerler önerilir:

- Normal etki kuvvetleri için; δ_1=1.0
- Geçirgen pasa barajlar ve hızlı yeraltı su seviyesinin yükselmesi halinde; δ_1=1.2~1.8
- Özellikle şiddetli dinamik etkiler için; δ_1=2.0~2.4

İkinci hesaplama alternatifi ile ilgili eşitlikler ise;

$$\alpha = \frac{\frac{X^*_{r,vorh.}}{H_K}}{\frac{X^*_{r,theor.}}{H_K}} \quad (8)$$

$$\frac{X^*_{r,theor.}}{H_K} = 27{,}65 . \left(\frac{H_{WK}}{H_K}\right)^{3{,}27} \quad (9)$$

olup eşitliğin temelinde,

$$\alpha = a_2 . e^{b_2 . \left(\frac{H_{WK}}{H_K}\right)} \quad (10)$$

ilişkisi bulunur ve α oranın elde edilmesi için pasa yığınındaki (H_{WK}/H_K) su koşuluna bağlı bir regresyon analizi uygulanır. Burada; a_1, b_1 ve a_2, b_2 korelasyon katsayılarıdır. Bu hesaplama alternatifinde özellikle şiddetli dinamik etkilerle oluşmuş kaymalar dikkate alınmadığından, önceki eşitlikler bu durum için kullanılmaz.

Böylece; hesaplama alternatifi I ve II sonuçlarına göre, kayma riski taşıyan bölgelerin esaslı bir tespiti mümkündür. Negatif etki uzunluğunun anlamı (Şekil 10'a göre), ayrık yüzeyin eğimli şev bölgesinde bulunduğunu göstermektedir. Böyle durumlar değerlendirmeye esas teşkil etmediğinden, bunlar için δ değeri kullanılmayabilir. Bu durumda, hesaplama daha yüksek su seviyesi koşuluyla ve şev açısıyla tekrar edilmelidir. Tehlike sınırları her defasında gerçek su koşulları oranının (H_{WK}/H_K) ölçüsüne göre belirlenmelidir.

Bundan dolayı, bir şev duraysızlığından sonra, mutlaka yeni durum değerlendirmeleri yapmak gerekmektedir.

Örnek bir açık işletme pasa şev geometrik koşulları ve yükselen yeraltı su seviyesi etkisinde, şev duraysızlık etki sahasının belirlenmesi maksadıyla ölçüm sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Kritik şev duraylılık sınırının bir tahmini, aşağıda önerilen ampirik bağıntıya göre belirlenebilir.

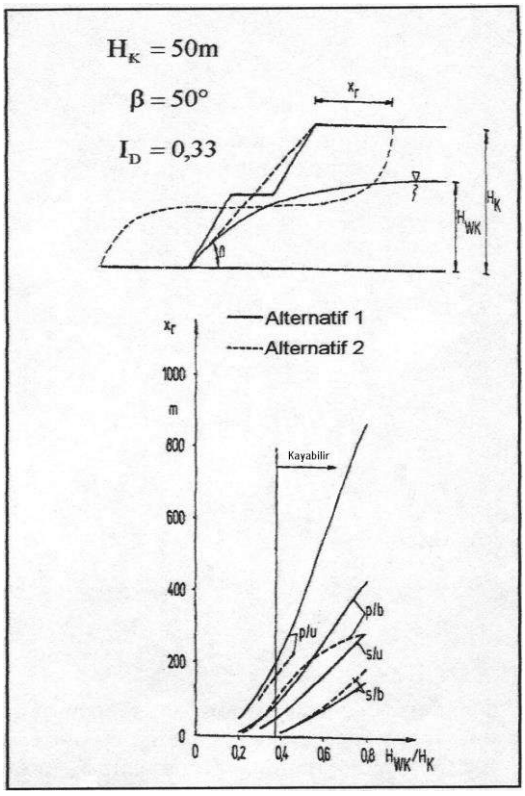
$$\eta = 0{,}8.\left(\frac{H_{WK}}{H_K}\right)^{*} = 0{,}8.0{,}403.I_D^{\,0{,}195}.\left(\frac{1}{\tan\beta}\right)^{0{,}439} \qquad (11)$$

η: Duraylılık (stabilite) değeri (-),

I_D: Pasa bağıl yoğunluk indeksi (-).

Belirtilen verilere göre;

$\eta = 0{,}8.\left(\frac{H_{WK}}{H_K}\right)^{*} = 0{,}26$ 'dan itibaren bir kayma söz konusudur. Bu durumda, H_{WK}'nın 16,2 m'e yükselmesi gerekmektedir. Ayrıca; şev kayma etki uzunluğu (X_r), normal etki kuvvetlerine göre yaklaşık 168,2 m, şiddetli dinamik kuvvetler etkisinde 403,8 m olmaktadır. Riskli bölge olarak tanımlanan bu alanlar, ancak jeoteknik bakımdan stabil hale getirilerek toplumsal kullanıma sunulmalıdır (Delibalta, 2003).



Şekil 10. Şev kayma etki uzunluğunun (X_r) belirlenmesi için bir uygulama

6 ŞEV STABİLİTE YÖNTEMLERİ

Şev duraysızlıklarının önlenmesi için öncelikle potansiyel kayma alanlarının belirlenmesi, ayrıca kaymaların tür ve olası hareket miktarının tespiti gereklidir. Kayma riskinin boyutuna göre, mühendis önleyici bir arazi iyileştirme yöntemi geliştirebilir. Ancak; yöntemin iş güvenliği, ekonomisi ve uygulanabilirliği asla gözardı edilmemelidir. Duraysızlıkların önlenmesi başta, ortam koşullarına bağlı olarak kayma kuvvetlerinin azaltılması ya da harekete direnen kuvvetlerin arttırılmasıyla sağlanabilir. Şev stabilitesinde en çok kullanılan yöntemler; şev geometrisinin değiştirilmesi, istinat yapıları, enjeksiyonlar, kompaksiyon kazıkları, bitki örtüsü kullanımı, şev modifikasyonu ve drenajlardır (Önalp ve Arel, 2004; Bell, 2006). Uygulanacak optimum arazi iyileştirme yöntemi; ilgili sahanın jeolojik, hidrolojik ve zemin mekaniği koşullarına, açık işletme üretim boşluğunun durumuna ve de öngörülen arazi kullanım planına bağlı olarak seçilmelidir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömür açık işletme şevlerinin önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev duraysızlıkları, önemli maddi hasar ve risk potansiyelleri içermektedir. Ülkemizde 6 Şubat 2011 ve 10 Şubat 2011 tarihlerinde Park Teknik AŞ. Afşin-Elbistan açık işletmesi Çöllolar kömür sahasında meydana gelen şev kaymaları sonucu, yaklaşık 50 milyon m^3 malzemenin 1,5 km^2'lik alana yayıldığı tespit edilmiştir. İlk incelemelere göre 2 Mühendis ve 9 İşçi olmak üzere 11 kişinin heyelan altında kaldığı, büyük maddi hasarın yaşandığı belirlenmiştir.

Gerek iş güvenliği, gerekse çevresel etki değerlendirme (ÇED) bakımından, açık işletme sırasında ve sonrasında bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, başta zemin mekaniği ve

jeoteknik yönden duraylı (stabil) ortam koşularına sahip olması gerekmektedir.

Gerek statik, gerekse sismik şev stabilite analizlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, ortam koşullarıyla ilgili detay bilgilere ihtiyaç vardır. Bu maksatla şev kayma riski; işletme koşulları ve ortam büyüklüklerine (geometri, dekapaj sistemi, in-situ durum vb.) bağlı olarak, kinematik, analitik ve nümerik bağıntılar ile belirlenebilmektedir. Özellikle geleneksel şev duraylılık analiz yöntemleri ile sınır denge koşulunun tespiti gereklidir, fakat ortamın stabilitesi için yeterli değildir. Bu maksatla, diğer şev stabilite analiz yöntemlerini de dikkate almak gerekmektedir.

Şev stabilite analizleri; matematiksel denklemler, diyagramlar, hesap tabloları ve çeşitli bilgisayar yazılım programları (örneğin STABGM 2.0, UTEXAS4, STABIL2 ve Silde V-5.0 vb.) ile yapılabilmektedir. Belirli bir şevin stabilitesini değerlendirmede, çoğu zaman birden fazla yöntem kullanılabilmektedir. Fakat; bir bilgisayar programının kullanılması durumunda, sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için, bir başka bilgisayar programı veya hesap tablosu mutlaka kullanılmalıdır.

Şev duraysızlıklarının önlenmesi için öncelikle potansiyel kayma alanlarının belirlenmesi, ayrıca kaymaların tür ve olası hareket miktarının tespiti gereklidir. Model işletme koşullarına göre (Durum I, II) yapılan regresyon analizlerinde şev kayma etki uzunluğu (X_r); normal kuvvetler altında yaklaşık 168,2 metre, şiddetli dinamik kuvvetler etkisinde 403,8 metre olarak hesaplanmıştır. Şev güvenliğini artırmak için en çok kullanılan yöntemler; şev geometrisinin değiştirilmesi, istinat yapıları, enjeksiyonlar, kompaksiyon kazıkları, bitki örtüsü kullanımı, şev modifikasyonu ve drenajlardır. Ancak, seçilen yöntemin çalışma sahasına göre iş güvenliği, ekonomisi ve uygulanabilirliği asla gözardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

Akbulut, İ., 2012. Şev Duraylılığı, MTA Genel Müdürlüğü, Eğitim Serisi No:42, ISBN: 978-605-5310-53-0, Ankara, 160 s.

Bell, F.G., 2006. "Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat", Çeviren Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi, ISBN: 975-6009-65-9, Ankara, s.135-175.

Değerli, E. ve Dikmen, A.C., 2005. "Çevre Mevzuatında Madencilik Sektörü", Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s.1-10, Ankara.

Delibalta, M.S., 2009. "Pasa Şev Duraysızlık Analizine Farklı Bir Bakış", Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Cilt:48, Sayı:4, Ankara, s.45-55.

Delibalta, M.S., 2003. "TKİ-GELİ (Muğla) Bölgesinde Dekapaj Döküm Sahasındaki Şev Duraysızlıklarının İncelenmesi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 154 s.

Duncan, J.M. ve Wright, S.G., 2005. "Zemin Şevlerinin Duraylılığı", Çeviren Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi, ISBN:975-6009-00-4, Ankara, 299s.

Fecker, P., 2004. "Geotechnische Messungen an Hängen und Böschungen", Geotechnisches Ingenieurbüro GmbH, D-76275 Ettlingen, Kapitel **7**, 5 s.

Förster, W. ve Gudehus, G., 1998. "Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen", TU Bergakademie Freiberg, 135 s.

Holtz, R.D. ve Kovacs, W.D., 2002. "Geoteknik Mühendisliğine Giriş", Çeviren Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi, ISBN:0-13-484394-0, Ankara, 723 s.

Kızıl, M.S. ve Köse, H., 1995. "Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 254, İzmir, 114 s.

Kramer, S.L., 2003. "Geoteknik Deprem Mühendisliği", Çeviren Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi, ISBN:0-13-374943-6, Ankara, s.459-501.

Önalp, A. ve Arel, E., 2004. "Geoteknik Bilgisi II, Yamaç ve Şev'lerin Mühendisliği", Birsen Yayınevi, ISBN:975-511-378-9, İstanbul, s.238-310.

Sevim, H., Nasuf, E. ve Kuzu, C., 1998. "Kömür Atıklarının Depolanması", Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri, C 34, Özgün Ofset AŞ., İstanbul, s.603-621.

TMMOB, 2011. Maden kazası mı, İş cinayeti mi?, Madencilik Bülteni, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Sayı:96, Ankara, s.4-5.

Ulusay, R., 2001. "Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Ankara, 385 s.

Ünver, Ö. ve Kara, D., 1994. "Türkiye'de Kömür Madenciliği ve Çevre", TMMOB Maden

Mühendisleri Odası, Madencilik, Cilt:XXXIII, Sayı:2, s.3-9.

Westen, C., 2005. "Landslide Hazard and Risk Assessment", Makerere University Department of Geology, ITC, Eastern Africa, 34 s.

Afşin – Elbistan Kömür Havzasının Yeraltı Suyu Potansiyeli ve Susuzlaştırma Çalışmaları Açısından Değerlendirilmesi

Afşin - Elbistan Coal Basin Groundwater Potential and Evaluation of Dewatering Studies

C. Taştekin, E. Ata, M. Erkasap
EÜAŞ Maden Sahaları Dairesi Başkanlığı, ANKARA

ÖZET Afşin-Elbistan Kömür Havzası; toplam 4,8 Milyar ton görünür rezervi ile Ülkemiz linyit rezervlerinin % 38'ini oluşturmaktadır. Rezervin ortalama AID 1150 Kcal/Kg olup, düşük kalorili bu linyit rezervinin, bölgede kurulacak termik santrallerin yakıtı olarak, elektrik enerjisi üretiminde kullanılması öngörülmüştür. Havzanın termik potansiyeli 9.000 MW, mevcut kurulu güç 2800 MW olup, yatırım potansiyeli 6000 MW'dır.

Havzada halen drenaj çalışmalarının yürütüldüğü iki maden işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde, yaklaşık 1500 adet drenaj kuyusu ile yılda 117.250.848 m³ su drene edilmekte olup, havzadaki maden işletmelerinin proje üretimlerine göre su/kömür oranı: 3,30 m^3/ton olmaktadır. Buna rağmen havzanın hidrojeolojik yapısı nedeniyle lokal susuzlaştırma çabalarının yetersiz kaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada; havzada yürütülen hidrojeolojik çalışmaların bütünsel bir yaklaşımla ele alınıp değerlendirilerek, havza su yönetimi ve havza modelleme çalışmalarının yapılmasının gerekliliği ortaya konulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Linyit, drenaj, yeraltı suyu

ABSTRACT 4.8 billion tons of proven reserves in Afşin-Elbistan Coal Basin account for 38% of Turkey's total lignite reserves. Average LHV (lower heating value) of the reserves is 1150 Kcal/Kg, and these low calorie lignite reserves are designated as fuel of power plants that will be constructed in the area for electricity generation. Potential installed capacity of the basin is 9000 MW, the existing installed capacity is 2800 MW and, potential capacity for investment is 6000 MW.

Currently, there are two mines in the basin where drainage works in progress. According to projected production of mines, water/coal ratio is 3.30 m³/ton. By the use of approximately 1500 drainage wells, 117.250.848 m^3 of water is drained in a year from these mines. But due to the hydrogeological structure of the basin it is seen that local dewatering works are not enough.

In this study; the necessity of basin water management and basin modeling study for the integrated approach to hydro-geological works.

Keywords: Lignite, dewatering, groundwater

1 GİRİŞ

EÜAŞ'a ait olan İR:2595 ruhsat numaralı Afşin-Elbistan Linyit Havzası, 1966-67 yıllarında tarama yöntemi ile bulunmuştur. Havzanın linyit potansiyelini ve rezerv sınırlarını belirlemek için MTA Genel Müdürlüğü ve Batı Alman Otto Gold Firması tarafından 1966-1982 yılları arasında toplam uzunluğu 110.438 m olan 745 adet sondaj yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda havzada, düşük kalorili 3,2 Milyar ton görünür linyit rezervi tespit edilmiştir. EÜAŞ'ın 2005 yılında MTA'ya sözleşme ile yaptırdığı rezerv belirleme ve geliştirme projesi ile toplam 165.375 metre uzunluğunda 1218

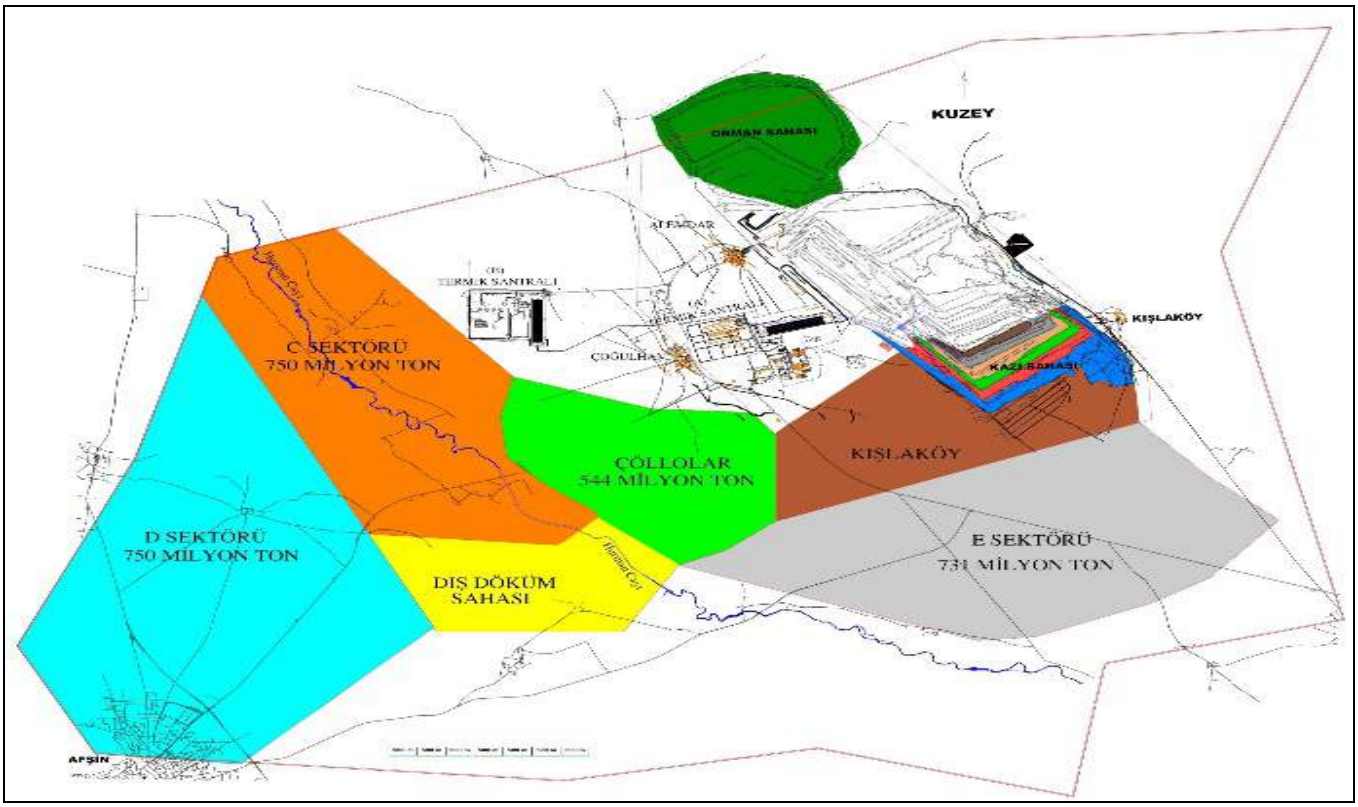
adet sondaj yapılmış, bu sondajlar neticesinde havzanın görünür rezervi; MTA'dan devralınan sahalar ile birlikte 4,8 Milyar ton olarak belirlenmiştir.

Havzada bu güne kadar Kışlaköy ve Çöllolar Kömür sahaları işletmeye açılmış olup diğer alt sektörler yatırım için hazırlanmaktadır.

Kışlaköy Kömür İşletmesi, 1355 MW kurulu güçteki Afşin-Elbistan A Termik Santralinin yakıt ihtiyacını karşılamakta olup, üretim kapasitesi 1050 Kcal/Kg bazında 18,6 Milyon ton/yıl'dır (Şekil 1).

Çöllolar Kömür İşletmesi ise 1440 MW kurulu güçteki Afşin-Elbistan B Termik Santralinin yıllık 1150 Kcal/kg bazında 17,25 Milyon ton yakıt ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olup, Şubat-2011'de meydana gelen iki büyük heyelan nedeniyle linyit üretimine kapalıdır. Bu sahanın tekrar linyit üretimine açılması çalışmaları devam etmektedir.

Havzada halen C+D sektörlerindeki 1,5 Milyar ton ve E sektöründeki 1,25 Milyar ton rezervin termik santralda kullanımı için gerekli maden etüt-proje çalışmaları devam etmekte olup, bu sektörlerdeki toplam kurulu güç yaklaşık 6000 MW seviyesindedir



Şekil 1. Afşin- Elbistan Havzası Sektör Haritası (EÜAŞ)

Bu havzada kurulacak yeni termik santrallar; bu sahadaki dekapaj / kömür oranının düşük, üretim ölçeğinin büyük olması nedenleriyle birim kömür maliyeti ve birim elektrik enerjisi maliyeti bakımından Ülkemizin en avantajlı santralleri olacaklardır.

Afşin-Elbistan Havzasında yaklaşık 3 Milyar tonluk linyit rezervine dayalı olarak kurulması planlanan toplam 6000 MW termik santrallar için; yeni termik santrallerin kurulması ve elektrik enerjisi üretim kapasitelerinin belirlenmesi, kömür stoku, su kaynakları, çevresel yatırımlar, imar ve iskân durumları ve havzadaki kültür varlıklarını içeren bir master plan hazırlanması kararlaştırılmıştır.

Bu master plan çalışması kapsamında, eksik jeoteknik ve hidrojeojik etütler tamamlanmış, arkeolojik sit alanları belirlenmiş, havzada maden işletmeciliği açısından ciddi bir tehdit oluşturan yer altı sularının maden işletme alanından

uzaklaştırılması ve havzanın hidrojeolojik yapısı kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

2 BÖLGESEL JEOLOJİ

Afşin-Elbistan Havzası, batıda ve kuzeyde Binboğalar, doğuda Kızıldağ, güneyde Engizek Dağ silsilesi tarafından çevrilmiş bir havzadır.

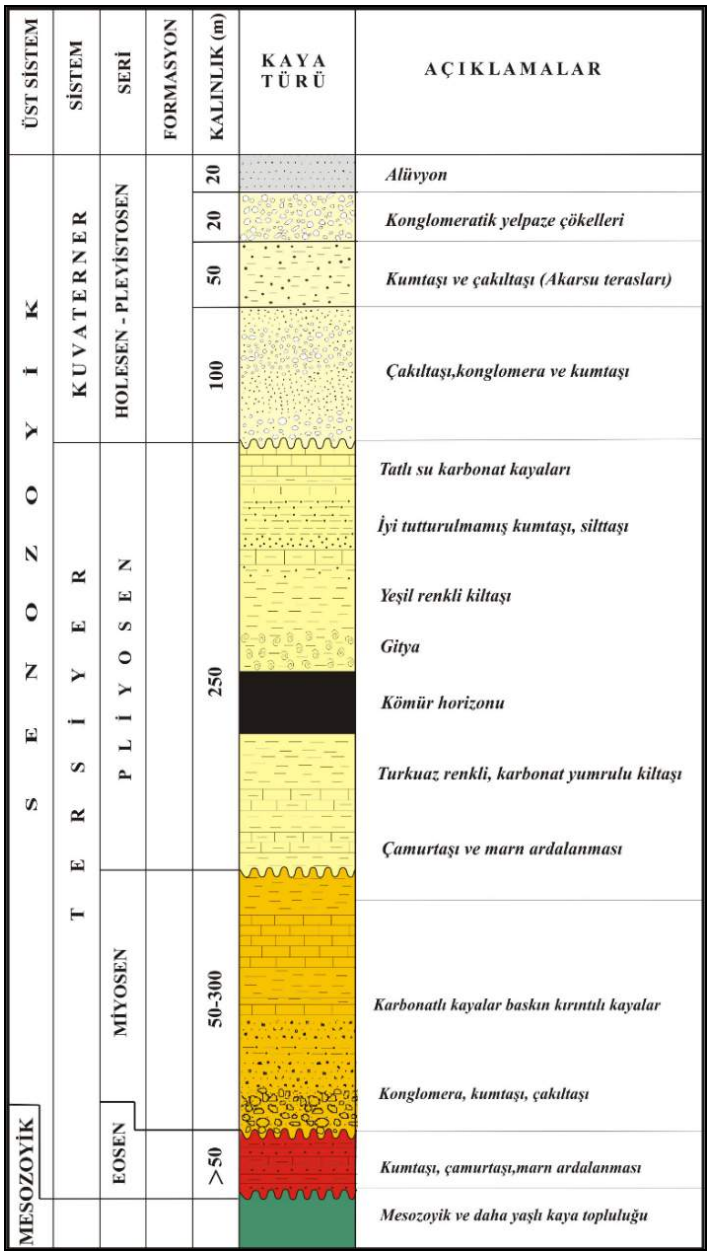
Havza, geçmiş çalışmacılar tarafından tektonik bir çöküntü havzası olarak tanımlanmıştır (Bedi vd., 2009). Havza dolgusu linyit içeren Pliyo-Kuvaterner göl-akarsu çökellerinden oluşur.

Afşin-Elbistan Havzası stratigrafik, sedimantolojik ve yapısal özelliklerine göre farklı iki ayrı evrede tektonik gelişim göstermektedir (Yusufoğlu vd., 2005).

Bölgenin kuzeyi ve yüksek topografik alanlarda Geç Miyosen yaşlı birinci evrede; kıvrımlı yapı gösteren gölsel çakıltaşı, kumtaşı ile seyrek linyit bantları içeren kiltaşı, marn ve killi-kumlu kireçtaşlarından oluşan Karamağara formasyonu gelişmiştir (Şekil 2).

İkinci evrede ise; daha güneyde düşük topoğrafik alanlarda Pliyo-Kuvaterner yaşlı kalın linyit tabakaları içeren altta göl (Ahmetçik Formasyonu Alt Birim), üstte ise akarsu çökellerinden oluşan (Ahmetçik Formasyonu Üst Birim) Afşin-Elbistan Havzası gelişmiştir. Bölgesel ölçekte Geç Miyosen'de oluşan sıkışmalı tektonik rejim sonucu gelişen son nap hareketlerini takiben, bölgesel ölçekte Neotektonik dönemin başlangıcıyla Erken Pliyosen'den itibaren bu ikinci evre havzası birinci evre havzası, üzerinde yapısal uyumsuzlukla gelişmiştir (Bedi vd., 2009).

Havza bazında ve inceleme alanında Kuvaterner yaşlı çökeller; akarsu taraça ve yamaç molozları ve güncel alüvyondan oluşmaktadır (Bedi ve dig., 2009).



Şekil 2. Bölgeye Ait Stratigrafik Dikme Kesit (Bedi ve dig., 2009).

3. HİDROJEOLOJİ

3.1 Hidrojeolojik Özellikler

Yukarı Ceyhan Nehir Havzası 4200 km^2 olup, Afşin-Elbistan Havzası bu hidrojeolojik havza içerisinde yer almaktadır. (Schloemer,1972).

Afşin-Elbistan Kömür Havzası, Batıda Kömürsuyu Dere, Güneyde Göksun Çayı, Kuzeyde Tohma Çayı, Doğuda ise Sarsap Suyu ile sınırlandırılmış olup, bu alan yaklaşık 2000 km^2 dir. Havzada bulunan sürekli akıma sahip en önemli akarsu Hurman Çayıdır. Sahayı Kuzeyden Güneye doğru kesen ve sürekli akış gösteren Hurman Çayı, maden işletmeciliği açısından büyük önem taşır.

Mevsimsel akarsular arasında yer alan Mağaraözü Deresi, yağışlı mevsimde akışa geçmekte ve genelde Temmuz ayının ortalarında kurumaktadır. Havzada sürekli ve mevsimsel akış gösteren çok sayıda kaynak mevcuttur. Binboğa Dağları eteklerinden

boşalan Mağaraözü, Kömürgözü, Gökpınar, Gölpınar gibi kaynaklar yüksek debili kaynaklardır. Havzanın Kuzeydoğusunda, Oğlakkayası mevkiinde de yine kireçtaşlarından boşalan yüksek debili kaynaklar mevcuttur. Bu kaynaklar Hurman Çayına boşalmaktadır.

Ceyhan Nehrine boşalan Pınarbaşı kaynağı da havzada yer alan yüksek debili kaynaklar içinde yer alır; ayrıca havzada mevsimsel boşalıma sahip birçok kaynak bulunmaktadır.

Havzada yayılım gösteren litolojik birimler sutaşıma özelliklerine göre: Geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olmak üzere 3 ana grup altında toplanmıştır (Gökmenoğlu, ve diğ. 2009) .

3.1.1 Geçirimsiz Birimler

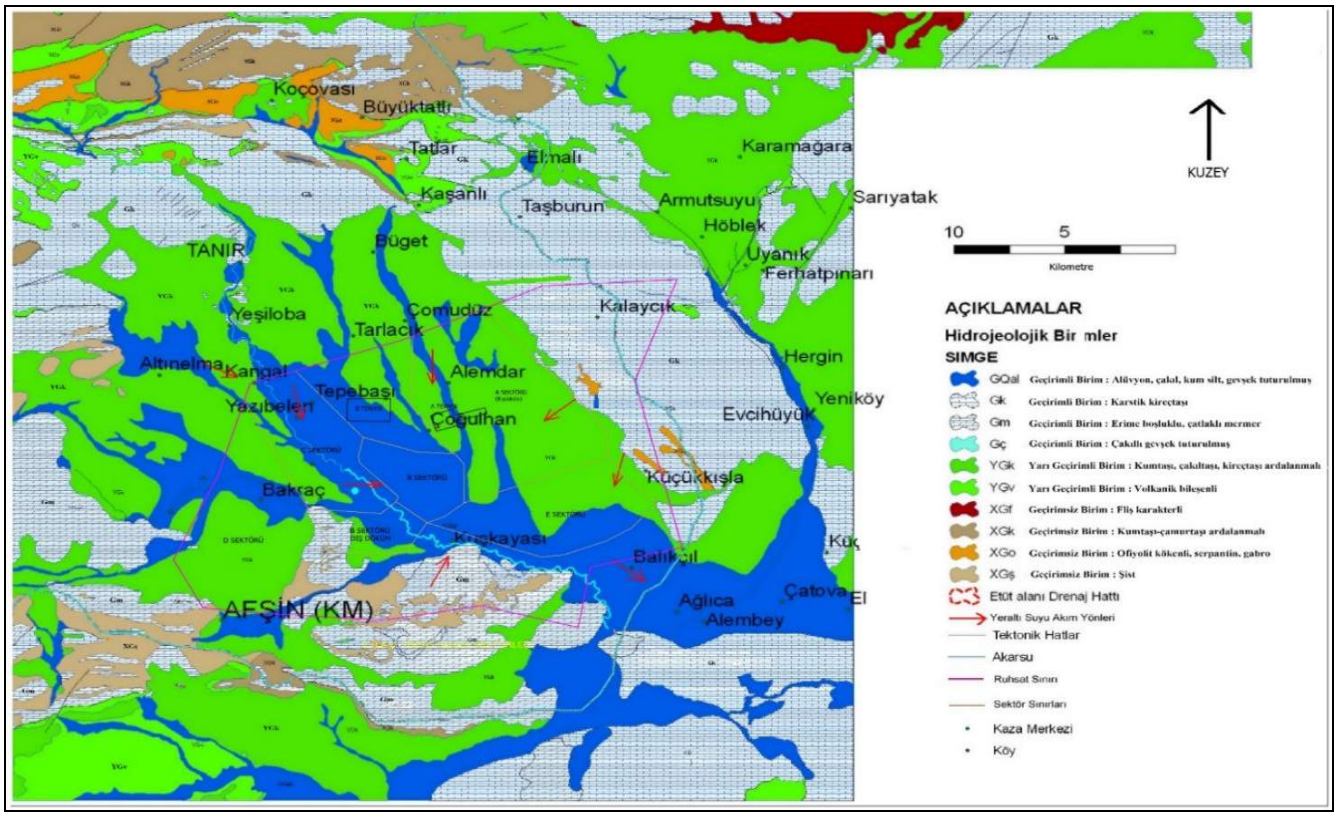
Kömür seviyesinin üstünde yer alan Pliyosen yaşlı Ahmetçik formasyonun yeşil kil, marn düzeyleri, kömür seviyesinin altındaki Miyosen yaşlı Karamağara formasyonunun kiltaşı, silttaşı düzeyleri ve Üst Kretase–Karbonifer yaşlı Bodrum Napının şistler geçirimsiz birimlerdir (Gökmenoğlu, ve diğ.,2009).

3.1.2 Yarı Geçirimli Birimler

Kömür horizonunun altında yayılım gösteren Miyosen yaşlı Karamağara formasyonunun birimler içerisinde geçirimsiz birimler mevcut olsa da, genel olarak birimin ince taneli kırıntılardan oluşması birime yarı geçirimli özellik kazandırmaktadır (Gökmenoğlu, ve diğ. 2009).

3.1.3 Geçirimli Birimler

Havzadaki geçirimli birimleri kömür seviyesinin üstü için alüvyon ve yamaç molozları ile Plio-kuvaterner ve Pliyosen yaşlı Ahmetçik formasyonunun kumlu–çakıllı seviyeler oluşturmaktadır. Kömür seviyesinin altında ise temel birimleri oluşturan bol kırıklı, çatlaklı Orta Trias–Üst Kretase yaşlı, Köseyahya Napının karstik kireçtaşları ile Permiyen yaşlı Bodrum Napının mermerleri akifer özelliği göstermekte olup, bol miktarda yer altı suyu taşımaktadır (Gökmenoğlu, ve diğ. 2009)

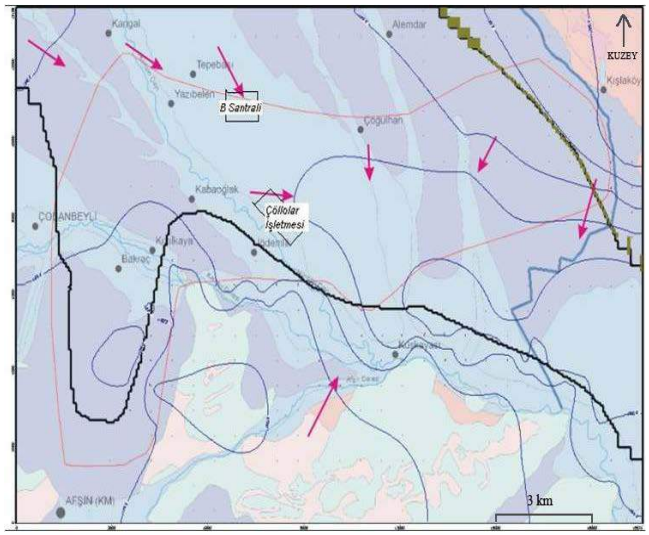


Şekil 3. Bölgenin Hidrojeoloji Haritası (Gökmenoğlu, ve diğ. 2009'dan düzenlenmiştir)

3.1.4 Havzadaki Yeraltı Suyu Akım Yönü

Afşin-Elbistan Kömür Havzasının yeraltı suyu kaynağını; havzayı sınırlayan karstik alandan gelen beslenim, yağmur suları ve Hurman Çayı oluşturmaktadır (Gökmenoğlu ve dig.,2009).

Afşin-Elbistan Kömür Havzasında, yapılan genel değerlendirmeler sonucunda, yer altı suyu akımları, kurak ve yağışlı dönemlerde fazla farklılıklar göstermemektedir. Yağışlı dönem ile kurak dönem sonu seviye farkları 3-5 metre civarında değişmektedir (Gökmenoğlu ve dig.,2009).



Şekil 4. Bölgede Yeraltı Suyu Akım Yönleri (Gökmenoğlu, ve dig. 2009).

Hurman Çayı baz alındığında, çayın doğusunda genel akım Kuzeyden Güneye, Kışlaköy Sektörü bölgesinde ise KD'dan GB'ya doğrudur. Hurman Çayının batı bölgesinde ise yeraltı suyu akımı Batıdan Doğuya doğru gelişmektedir (Gökmenoğlu ve dig.,2009).

4 DRENAJ ÇALIŞMALARI

4.1 Kışlaköy Sektörü

Kışlaköy Linyit İşletmesi; Kışlaköy Sektöründeki 583 Milyon ton kömürün üretilerek Afşin-A Termik Santraline verilmesi için, termik santralle birlikte entegre proje olarak Dünya Bankası ve Avrupa Yatırım Bankası (KFW) kredisi ile kurulmuş ve 1984 yılında kömür üretimine başlamıştır.

Kışlaköy Linyit İşletmesinde, kuruluşundan bu güne kadar 1440 adet drenaj kuyusu açılmış olup, toplam 1.072 milyon m^3 su drene edilmiştir. Bu güne kadar 375 milyon ton kömür üretilmiş olup, su/kömür oranı 2.85 m^3 / 1 ton kömür olarak gerçekleşmiştir. (Kışlaköy Faaliyet Raporu).

Drene edilen suların %92'si, işletmenin güney doğusunda bulunan karstik kireçtaşlarından, diğer kısmı ise sedimanter araziden yapılmıştır. Mevcut durumda 97 adet çeşitli derinliklerde karstik drenaj kuyusu ile 733 adet sedimanter drenaj kuyusu bulunmaktadır. Kışlaköy Sektöründe toplam drenaj miktarı 2.876 lt/sn'dir.

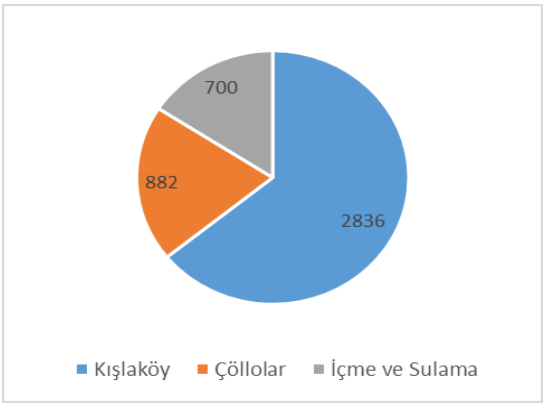
4.2 Çöllolar Sektörü

Çöllolar Linyit İşletmesi, Çöllolar Sektöründeki 431,25 milyon ton kömürün üretilerek Afşin-B Termik Santraline verilmesi için özel sektör eliyle kurulmuş ve 2009 yılında kömür üretimine başlamıştır. Ancak 06.02.2011 ve 10.02.2011 tarihlerinde meydana gelen iki büyük heyelan nedeniyle halen kömür üretimine kapalıdır.

Çöllolar sahasında mevcut durumda 555 adet drenaj kuyusu açılmış olup, 882 lt/sn toplam debi ile drenaj yapılmaktadır (Çöllolar Faaliyet Raporu).

4.3 Havzaya Ait Drenaj Miktarı

Havzadaki mevcut iki işletmeden toplam 3.718 lt/sn drenaj yapılmaktadır. Ayrıca 300 lt/sn içme suyu ihtiyacı ve 400 lt /sn sulama suyu ihtiyacı da havzadaki kuyulardan sağlanmaktadır. (Gökmenoğlu ve dig.2009).



Şekil 4. Sektörlere Ait Mevcut Drenaj Miktarları (lt/sn)

Havza iki işletmeden yapılan drenaj, içme ve sulama amaçlı yapılan drenaj ile birlikte toplam yeraltı suyu drenaj miktarı 4.418 lt/sn, yıllık 139,4 milyon m^3 tür. DSİ verilerine göre (URL-1) Ülkemizde üretilebilir yeraltı su rezervi yılda 14 milyar m^3 olup, havzada yapılan üretim, bu rezervin yaklaşık % 1'i seviyesindedir. 29.000 ha alana sahip Afşin-Elbistan Kömür Havzasında, bu büyüklükte yer altı su drenajı yapılması, havzadaki madencilik çalışmalarının ne kadar zor koşullar altında yapıldığını göstermektedir.

Başka bir karşılaştırma yapacak olursak, sadece iki işletme tarafından drene edilen su miktarı günde ortalama 321.235.200 lt'dir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine (URL-2) göre Türkiye'de günlük su tüketimi kişi başı ortalama 216 litre olup, havzada bir günde yapılan drenajla yaklaşık 1,5 milyon kişinin günlük su tüketimi karşılanabilmektedir.

5 YERALTI SUYU BİLANÇO HESAPLAMALARI

Bölgede en kapsamlı hidrojeolojik çalışma EÜAŞ tarafından 2005-2009 yılları arasında MTA'ya yaptırılan "Afşin-Elbistan Kömür Havzası HB ve HD Sektörlerinin Jeoloji, Rezerv ve Hidrojeoloji Raporu" adlı çalışmadır.

Adı geçen çalışmadaki bütçe hesaplamaları **Tablo-1**'de verilmiştir.

Tablo 1. Hidrolojik Denk Bütçe Bileşenleri.

Bütçe Bileşeni	Beslenme $x10^6$ m^3/yıl	Boşalım $x10^6$ m^3/yıl
Yağış	839,97	
Buharlaşma		413,57
Kaynak boşalımı		134,58
Yüzeysel akış		264,17
Kuyulardan çekim		33,11
Toplam	839,97	845,43

Raporun hazırlandığı tarihte kuyulardan çekim (drenaj+ şahıs kuyuları) 33,11milyon m^3/yıl olarak hesaplanmış ve hidrolojik denk bütçe bu şekilde oluşturulmuştur.

Bu rapordaki verilerin belirlendiği tarihten bu güne kadar 8 yıl geçmiş, bu sürede havzada birçok hidrjeolojik çalışma ve drenaj faaliyeti planlanarak hayata geçirilmiştir. Bugünkü durum itibarıyla havzadaki drenaj kuyularından 117.250.848 m^3/yıl (Kışlaköy ve Çöllolar Faaliyet Raporları) ve şahıs kuyularından 22.089.848 m^3/yıl (Gökmenoğlu ve dig.,2008) drenaj yapılmaktadır.

Bu yüksek drenaj miktarlarına ulaşılmasına rağmen yeraltı su seviyesinde bariz bir düşüm elde edilememiştir.

Bu durum, **Tablo- 2** ve **Tablo-3**'de verilen Kışlaköy ve Çöllolar Sahalarına ait YASS (yeraltı su seviyesi) gözlem kuyularına ait ölçüm değerlerinden görülmektedir.

Tablo 2. Çöllolar sektörü gözlem kuyularına ait ölçümler. (koyu hücreler YASS'deki yükselmelere işaret etmektedir)

Tüm Akiferler için YASS Kotları			
Kuyu No	Derinlik	Su Seviye KOTU 01.04.2014	Su Seviye KOTU 31.102014
OW-40	184	1.096,72	1.098,80
OW-41	166	1.132,31	1.149,19
OW-42	184	1.095,47	1.144,87
OW-43	184	1.154,85	1.153,75
OW-44	180	1.171,85	1.172,49
OW-45	186	1.103,15	1.107,36
OW-46	184	1.170,70	1.170,90
OW-47	174	1.122,42	1.123,12
OW-54	176	1.108,13	1.115,00
OW-65	184	1.125,44	1.126,25
OW-79	169	1.103,36	1.102,39
T-53	96	1.150,00	1.145,38
T-55	104	1.154,58	1.152,66
T-57	126	1.142,32	1.141,39
T-60	140	1.134,22	1.118,35
T-161	176	1.134,63	1.132,12
T-167	53	1.155,68	1.145,94

Tablo 3. Kışlaköy sektörü gözlem kuyularına ait ölçümler (koyu hücreler YASS'deki yükselmelere işaret etmektedir)

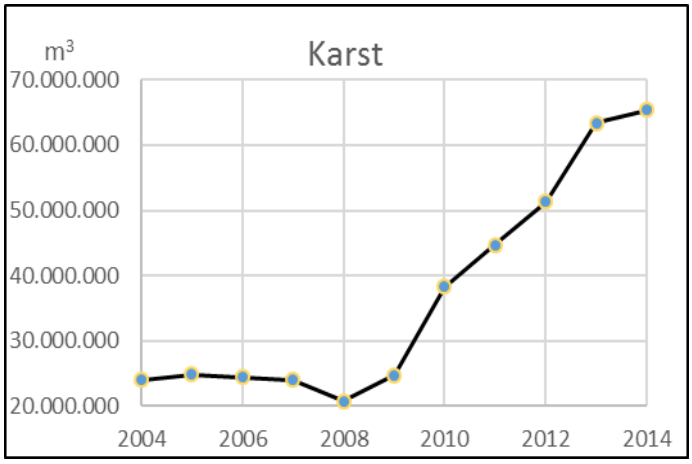
	YASS KOTLARI (m)			
	Kuyu Adı	18.10.2013	22.04.2014	28.10.2014
Tüm Akifer	G-l	1267,77	1268,00	1267,54
	G-2	1248,50	1247,90	1248,42
	G-3	1206,30	1205,19	1204,36
	G-4	1201,39	1201,30	1201,38
	G-5	1194,31	1195,21	1195,65
	G-6	1174,10	1174,83	1175,26
	G-7	1177,70	1177,56	1177,89
	G-8	1160,91	1163,47	1160,92
	G-9	1164,86	1164,96	1164,08
	G-10	1154,73	1157,66	1157,83
	G-11	1156,64	1155,59	1154,75
	G-12	1157,17	1157,55	1157,07
	G-13	1155,63	1156,06	1156,67
	G-14	1166,12	1165,51	1165,27
	G-15	1172,24	1172,26	1172,21
	G-16	1175,31	1171,95	1171,83
	G-17	1164,91	1166,45	1168,25
	G-36	1172,23	1172,21	1171,95
	G-37	1173,15	1168,01	1165,82
	G-38	1163,49	1162,56	1162,58
	G-39	1163,76	1164,28	1163,22
	G-41	1170,12	1169,81	1167,33
	G-42	1164,43	1163,07	1162,44
	G-43	1159,90	1160,05	1160,16
	G-44	1158,52	1157,55	1157,57
	G-45	1160,04	1160,06	1159,86
	G-46	1161,18	1159,72	1160,50
	G-47	1166,02	1166,00	1166,18
	G-48	1174,00	1173,22	1172,60
	G-49	1195,95	1192,52	1189,79
	G-50	1197,14	1231,68	1217,39
Tüm Akifer	G-51	1155,00	1147,78	1138,57
	G-52	1159,15	1138,38	1134,00
	G-53	1073,67	1075,31	1075,10
	G-54	1207,52	1190,07	1167,50
	G-55	1178,03	1173,62	1173,57

Bu durumun sebepleri üzerine yürütülen çalışmalar; Hurman Çayı kaynaklı yüzey beslenimi, temel kireçtaşı kaynaklı beslenim ve havza sınırını oluşturan karstik araziden yanal yeraltı suyu girişlerinin, yapılan drenaj miktarından fazla olduğu ve bu kaynaklara yönelik bir çalışmanın yürütülmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

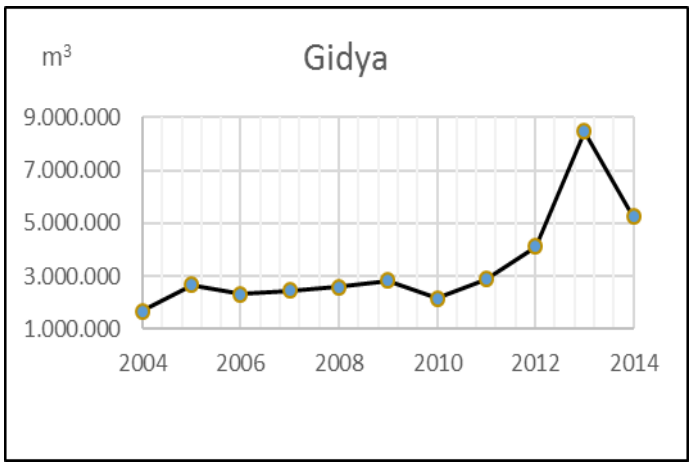
6 AFŞİN-ELBİSTAN KÖMÜR HAVZASININ HİDROJEOLOJİK GELECEĞİ

Havzadaki YAS seviyesinin düşürülerek, güvenli ve sürdürülebilir madencilik koşullarının sağlanması için havzadaki Kışlaköy Sektörünün sınırını oluşturan karstik araziden yanal yeraltı suyu girişlerini önlemek üzere yeni karstik drenaj kuyuları açılmış olup Ekim-2014 tarihi itibarıyla, 97 adet Karstik kuyu ile 733 adet sedimanter kuyu işletmedir.

Son 10 yıla ait drenaj miktarları grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. Kışlaköy Sektörü yıllara göre Karst Drenaj miktarı (2014 Aralık ayı hariç)



Şekil 6. Kışlaköy Sektörü yıllara göre Gidya Drenaj miktarı (2014 Aralık ayı hariç)

Havzadaki, Çöllolar Kömür Sahasında, güvenli koşullarda sürdürülebilir madencilik yapabilmeyi sağlamak üzere Çukurova Üniversitesi tarafından, havzadaki Çöllolar Kömür Sahasını hedefleyen bir "Entegre Susuzlaştırma Projesi" hazırlanmış ve bir susuzlaştırma konsepti geliştirilmiştir.

Bu susuzlaştırma konseptine göre, hem kömür altındaki temel kireçtaşını oluşturan karstik zeminlerin drenajı hem de kömür altına kadar inen katmanların drenajı için kuyular açılması gerekmektedir.

Bu projeye göre ilk 5 yılda mevcut drenaj kuyularına ek olarak Karst Akiferi drenajı için 91 adet, sedimenter akifer drenajı için 770 adet kuyu açılacaktır. Bu çalışma ile Çöllolar Sektöründeki drenaj miktarı yıllık ortalama 27.833.208 m^3/yıl'dan ortalama 128.439.689 m^3/yıl'a (4.6 kat) yükseltilmiş olacaktır.

Bunların yanında, önümüzdeki süreçte Afşin-Elbistan Havzasında C+D sektörleri ve E sektörünün yatırıma açılmasına çalışılmaktadır.

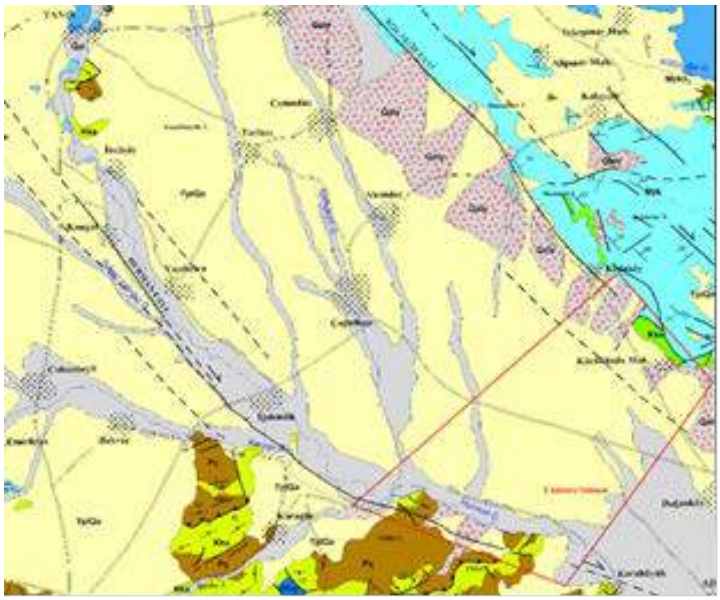
Havzadaki C+D sektörlerinin ekonomik şekilde işletilebilmesi için havza ortasından geçen Hurman Çayının deplase edilmesi gerekmektedir. Ayrıca Hurman Çayına paralel olarak geçen Hurman Fayı nedeniyle C+D sektörlerinde de karsik zeminlere ve kömür altına kadar inen drenaj kuyuları açılması gerekmektedir.

Özellikle E sektöründeki hidrojeolojik etütlerde, Hurman Çayının üst kesimlerinde yer altı suyu akarsuyu beslerken, E sektörü bölgesinde ise akarsuyun yer altı suyunu beslediği gözlenmiştir. (Gökmenoğlu ve dig.,2009).

Bu durumda C sektöründe etkili bir drenaj yapılmadan Hurman Çayı Sektör dışına alınsa dahi yatağın çalışmaya devam edebileceği tehlikesi ortaya çıkmaktadır.

D Sektörü için, Bakraç köyünün güneyinde, kömür seviyesinden hemen sonra temeli oluşturan mermerlere girilmesi, mermerlerdeki hidrostatik basıncın yüksek olması nedeni ile işletmecilik sorunları yaratabileceği düşünülmektedir. (Gökmenoğlu ve diğ., 2009)

E Sektörü ise Hurman ve Kışlaköy Fayları ile doğudan ve batıdan sınırlandırılmıştır (Şekil.5).



Şekil 5. E Sektörü Jeoloji Haritası (Bedi ve dig., 2009)

MTA tarafından E sektöründe tamamlanan rezerv sondajları çalışması sırasında bazı kuyularda, kömür seviyesinden sonra karstik akifere girildiği ve bu kuyuların artezyen üretimi yaptığı gözlenmiştir. Bu nedenle, özellikle temel birimlerin kesildiği bölgelerde de karst drenajına önem verilmelidir (Gökmenoğlu ve dig.,2014).

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

- C, D ve E sektörlerinde kömür üretimi yapılabilmesi için havza tabanındaki karstik akiferde hidrostatik basıncın düşürülmesi gerekmektedir.
- Kışlaköy, Çöllolar, C, D ve E sektörleri aynı havza içerisinde yer aldığından aynı sistemden beslenmekte olup, hidrojeolojik açıdan birbirleriyle yanal ve düşey yönde ilişkilidir. Bu nedenle havzanın sektörel bazda değil bütüncül bir yaklaşımla ele alınması ve havza su yönetiminin yeniden planlanması gerekmektedir.
- Kışlaköy ve Çöllolar Sektörleri ile şahıs kuyularından, 2014 yılı itibarıyla havzadan yaklaşık 140 milyon m^3 yeraltı suyu drene edilmiştir. Bu değerin yıllara göre sürekli artış göstermesi, gelecekte yatırıma açılacak C+D ve E sektörlerinde de

benzer ölçekte yeraltı suyu drene edilmesi halinde, Havza bazında hidrostatik yükte çok önemli düşüşlerin olacağı, bu durumun havzadaki zeminlerin jeomekanik parametrelerinde olumlu veya olumsuz birçok değişimlere yol açabileceği, bu değişimin boyutları ve havzadaki madencilik faaliyetlerine ve elektrik üretim tesislerine etkilerinin ne seviyede olacağı ise henüz bilinmemektedir.

- Havzadaki yüksek miktarda yeraltı suyu çekiminin, zeminlerde nasıl bir sonuca yol açacağına dair bir belirleme yapılabilmesi için; havza bazındaki bütün drenaj faaliyetlerini gerçek zamanlı olarak izlemek, sonuçları değerlendirmek ve sektörlerde devam eden drenaj faaliyetlerini yönlendirebilmek için havzada etkili bir drenaj ağı kurulmalı, bütün kuyu ve drenaj bilgileri tek bir merkeze transfer edilerek izlenmeli ve değerlendirilmelidir.
- Bu büyüklükte bir yeraltı suyu drenajının yönetilebilmesi ve yönlendirilebilmesi için, birçok mühendislik dalının katkı sağlayabileceği EÜAŞ, MTA ve Üniversitelerin birlikte çalışabileceği araştırma merkezi niteliğinde bir yapının kurulmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

AEL., 2014. Afşin-Elbistan Linyit İşletmeleri *2014-Kasım Ayı Faaliyet Raporu*, Elbistan.

Bedi, Y. ve diğerleri, 2009, Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evrimi (Göksün-Sarız-Elbistan) Arası. *MTA Derleme Raporu* No:11150 (yayımlanmamış).

Besbelli, B. Ve diğerleri, 2008, Afşin-Elbistan Kömür Havzası HB Ve HD Sektörlerinin Jeoloji, Rezerv Ve Hidrojeoloji Raporu (yayınlanmamış).

EÜAŞ., 2014. Kömür sahası vaziyet planı, ruhsat no: 2595, Ankara.

GÖKMENOĞLU, O. Ve diğerleri, 2014, AEL Kömür Havzası E Sektörü Hidrojeoloji Etüdü ve Kışlaköy Sektörü Hidrojeoloji Sondajları Raporu (yayınlanmamış).

Park Teknik A.Ş, 2014. Çöllolar Linyit İşletmesi *2014-Kasım Ayı Faaliyet Raporu*, Afşin.

Schloemer,1972. Hydrogeologisdıe Voruntersuchung im Bereich des zükünftigen Braunkohlen-Tagebaues bei Elbistan, Hannover.

URL-1, http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari

URL-2, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16171

Asit Maden Drenajı Karakterizasyonu ve Uygulamaları
Characterization and Applications of Acid Mine Drainage

K. Kahramanoğlu, M.M. Taşkın, Ş. Özdemir
Mitto Madencilik Mühendislik ve Müş. Orm. İşleri İth. İhr. Dış Ticaret Ltd. Şti.

ÖZET Eski dönem madencilik faaliyetleri dünya genelinde önemli bir çevresel kirlilik mirası bırakmıştır. Ülkemiz için elde edilecek veriler özellikle Asit Maden Drenajı (AMD) tahmini için çok önemli geçmişe dönük kayıtlar sağlayabilmektedir. AMD hakkında, geçmişte yaşanan global ölçekteki sorunlar ve bunlardan çıkarılan derslerle birlikte, gerek akademik gerekse endüstriyel anlamda araştırmalar yapılmakta ve buna paralel olarak gelişen teknoloji ile birlikte AMD'nin çevresel bir sorun olmaması için global anlamda yoğun bir çaba göstermektedir. Her maden sahasının kendine özgü bir karakteristiği olduğu için çözüm yöntemleri de bu karakteristiğe uygun bir şekilde uygulanmalıdır. Bunun için de sahanın jeolojik, topoğrafik, mineralojik, hidrojeolojik, çevresel ve madencilik anlamında iyi okunması, kullanılacak yöntemlerin de başarısını kuşkusuz artırır. Buna bağlı olarak uygulanan yöntemler temelde aynı prensiplere dayansa da, uygulama olarak madenden madene farklılık göstermesi kaçınılmazdır. Bu bildiri kapsamında AMD'nin doğru bir şekilde karakterize edilmesinde bakanlıklar, müdürlükler ve maden şirketleri tarafından izleme ve yönetim prosedürlerinin neler olduğu ve nasıl uygulandığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit maden drenajı, maden karakterizasyonu, statik ve kinetik test

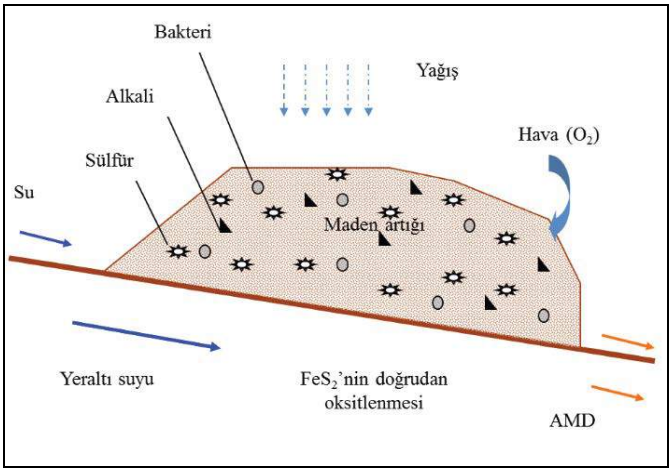
ABSTRACT Previous mining activities have induced substantial amount of environmental pollution all around the world. The data acquired domestically is very significant to constitute a database covering retroactive information in estimation of Acid Mine Drainage (AMD). In recent decades, both academic and industrial researches have been carried out on AMD via utilizing achievements from the recent global-scale problems; and resultant technological improvements have been employed intensively to prevent AMD to be an environmental problem. Since each mine site holds its own characteristics, solution methods must be applied regarding these attributes. In this sense, successful understanding of site geology, topography, mineralogy, hydrogeology, and environmental and mining concept in the site ensures the accomplishment of AMD technique to be applied. Although the methods are based on similar principles, their applications differ from mine to mine. Under the scope of paper, how to characterize correctly of AMD continuous monitoring and management procedures of AMD by ministries, directorates and mining companies are investigated.

Keywords: Acid mine drainage, mine characterization, static and kinetic test

1 GİRİŞ

Başta pirit olmak üzere, markazit, pirotin gibi sülfürlü metalik mineral içeren kömür, baz metal, uranyum ve değerli metal madencilik faaliyetleri sırasında (cevher üretimi, cevher ya da pasa stoklama, atık yığınlama vb.) hava ve nem ile teması neticesinde çözünerek sulu ortama H^+ iyonu vermesiyle asidik karakter kazanmasına yol açan kimyasal, jeokimyasal, fizikokimyasal, fiziksel ve biyolojik sürece "Asit Maden Drenajı" denir (Karadeniz, 2008). Kayaçların doğal ortamlarında hava ve nem ile teması sonucu yükselen asitlik değerleri ile birlikte artan çözünebilir metallerin

ortama katılması sonucunda da Metal Liçi (ML) oluşumu çevresel faktörlerin olumsuz etkilenmesinde rol oynar (Anonim, Acid Rock Drainage Prediction Manual", 2008). AMD oluşumunun örnek bir şematik görünümü Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. AMD oluşumunun şematik görünümü (British Columbia Task Force, 1989)

Sülfürlü metalik mineraller asit oluşturma karakteri gösterirken, diğer bir yandan karbonat, silikatlar ve oksitli mineraller başta olmak üzere bazı mineraller hava ve nem ile temas ettiğinde sulu ortama OH^- iyonu vererek ortamı bazikleştirir ve tamponlama görevi üstlenir. Bir madencilik faaliyetinde asiditeye sebep olacak minerallerin varlığı, AMD oluşumunun kesin bir kanıtı olmamasının yanında, sahanın tamponlama karakterinin olması AMD oluşumunun gerçekleşmeyeceği anlamına gelmemektedir.

AMD oluşturma potansiyeli Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) kapsamında dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Bu kapsamda gerçekleştirilecek çalışmalarda, su kalitesi kontrollerinin, maden alanlarında oluşacak pasa ve cevher yığınlarının, açık ocakta oluşacak şevlerin, yeraltı ocaklarındaki maden duvarlarının ve proses atıklarının muhafaza edildiği atık barajında alınacak önlemlerin asit kaya drenajı kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir (Güneş, Güneş, Akıncı, Bektaş, & Özdemir, 2013).

AMD kaynaklarından oluşabilecek sızıntılar ile yeraltı sularına taşınacak olan asidik karaktere sahip maden sularının etkisiyle kimyasal, fiziksel ve ekolojik dengenin bozulmaması, ve buna paralel olarak insan dahil bölgede yaşamını devam ettiren canlıların olumsuz bir şekilde etkilenmemesi için, AMD doğru bir şekilde karakterize edilerek, devamlı bir şekilde izleme ve yönetim prosedürlerinin uygulanması gerekir.

Asit oluşturma ya da nötralizasyon kapasiteleri belirlenen alanlarda, daha bilinçli önlemler alınabilir ve olumsuz çevresel etkiler doğru bir yönetim planı ile giderilebilir. Faaliyet sahibi alanı terk etmiş olsa bile, uzun yıllar boyunca asit üretme kapasitesine sahip olan birimlerin varlığının göz ardı edilmesi, bölge için oldukça önemli tehlikeler yaratmaktadır. Bu nedenle, ÇED kapsamında AMD konusunun tam olarak karakterize edilmesi, faaliyet dönemi ve faaliyet sonrası dönemde de sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir.

Doğru bir şekilde karakterize edilen ve yapılan jeokimyasal modellerle iyi yönetilen AMD, bir yandan çevresel kirliliğin önlenmesi açısından, bir yandan da maden işletmesi için uzun vadede yaşayacağı sorunları engellemek ve bu sorunlar için öngörmediği maliyetleri engellemesi açısından oldukça önemlidir.

AMD'den kaynaklı sızıntıların yüzey sularına taşındığı gösteren örnek bir resim Şekil 2'de sunulmuştur.

Şekil 2. Örnek bir asit maden drenajı.

AMD belirleme çalışmaları kapsamında izlenecek yöntemler şunlardır:

- Maden karakterizasyonunun belirlenmesi,
- Sahayı temsil edecek numunelerin alınması,
- Mineralojik analizlerin yapılması,
- Numunelerden elde edilecek verilerin tanımlanması,
- Numunelerin asit üretme ya da asit nötürleştirme potansiyellerini saptanması amacıyla kullanılan jeokimyasal testlerin (statik ve kinetik testler) yapılması,
- Jeokimyasal modellemeler,
- İzleme çalışmaları,
- Önleme ve arıtma çalışmaları.

2 ASİT MADEN DRENAJI OLUŞUM MEKANİZMALARI

Pirit genellikle daha sık rastlanan AMD'ye neden olan ve genellikle ekonomik değeri olmayan sülfit mineralidir. Cevherin işlenmesi sırasında piritin oksitlenmesi tesis işlemlerini de olumsuz etkiler. Karbonat içeren kayaçlar ve reaktif silikalar genelde sisteme doğrudan tamponlama kapasitesi sağlar (Karadeniz, 2010).

AMD'yi, redox tepkimeleri üzerinden açıklamak gerekirse, şu şekilde özetlenebilir:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H2O \xrightarrow{\text{bakteri}} 2Fe^{2+} + 4SO^{2-} + 4H^{+} \quad (1)$$

$$4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \xrightarrow{\text{bakteri}} 2Fe(SO_4)_3 + 2H_2\ O \quad (2)$$

$$FeS_2 + Fe_2(SO_4)_3 \xrightarrow{\text{bakteri}} 3FeSO_4 + 2S \quad (3)$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 + H_2O \xrightarrow{\text{bakteri}} CaSO_4.2H_2O + CO_2 \quad (4)$$

I, II, III numaralı denklemlerde verilen reaksiyonlarla AMD üretilirken, IV numaralı reaksiyonda verilen denklemle tamponlanmaktadır. Bu denklemler AMD'yi çok genel anlamda tanımlamaktadır. Ancak, asit drenajının oluşması malzemenin fiziksel ve mineralojik özelliklerine, bertaraf yöntemine ve iklim şartlarına göre farklı şekillerde oluşabilir.

Madencilik faaliyetleri sırasında kayaçların ana kayadan ayrılması, kırılması ya da öğütülmesi gibi işlemler ile yüzey alanlarının artması, asit oluşturma potansiyellerini de arttırmaktadır.

AMD'nin oluşması için temel olarak 3 şart gereklidir (Environmental Australia, 1997).

1) Kayanın sülfür içeriğinin %0,3'den büyük olması,
2) Sülfür içeren kayanın oksijen ve nem ile temasa geçmesi ve
3) Kayacın oluşan asidi tamponlama kapasitesinin düşük ya da hiç olmaması.

Mevcut 3 şart'a ek olarak katalizör görevi gören bakteriler, sıcaklık, pH, redoks denge durumları da birincil etkileyicidir.

Yığını oluşturan malzemenin tane boyutu, yüzey alanı, gözeneklilik, geçirgenlik, iletimlilik, gevreklik gibi fiziksel özellikleri ile işletmenin bulunduğu bölgenin iklim diğer coğrafik nitelikleri diğer faktörler olarak değerlendirilmektedir (Environmental Australia, 1997). Bu metaller hava ve su ile etkileşim sonucundaki mobilizasyonları da bu kapsamda ayrıca sorgulanmalıdır.

Maden suları termodinamik ve jeokimyasal reaksiyonlar açısından demir ve sülfit oksitleyici bakterilerin üremesi için uygun ortamlar olup, bu bakteriler AMD tepkimelerinde katalizör olarak davranmaktadırlar.

Bu bakteriler tipik olarak pirit gibi sülfitli minerallerin ya da Fe^{+2} iyonunun Fe^{+3}'e yükseltgenme tepkimeleri sırasında oksijen ile birlikte ürer ve asit üretimini hızlandırırlar. Öte yandan, mikroorganizmalar üremelerini ve başka hayati işlevlerini devam ettirebilmek için enerji kaynağına, yeni hücre sentezinde karbonat ve diğer bazı elementlere ihtiyaç duyarlar. İndirgenmiş demir ve oksijenin eş zamanlı varlığı, bunları oksitleyen asit sever (acidophilic) bakterilerin gelişip büyümesine katkı yapar. Fe^{2+}'in abiyotik şartlarda ve katalizör olmaksızın oksitlenmesi yavaştır. Ayrıca pH 3,5-3,0 aralığına indiğinde de durur. Ancak o seviyeye kadar, pirit oksitlendiğinde tepkime ürünü olan proton, sülfat ve Fe^{2+}'in sudaki konsantrasyonları yükselir. Mikroorganizmalar enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla Fe^{2+}'i oksitlerken, tepkime hızını büyük ölçüde arttırarak süreci de etkilemiş olurlar (Karadeniz, 2010).

Çizelge 1. Sülfit Cevheri Bakterisi ve Yaşam Koşulları (U.S. Environmental Protection Agency, 1994)

Mikroorganizma	pH	Sıcaklık (C^0)	Oksijenli Ortam	Beslenme Şekli
Thiobacillus thioparus	4,5-10	10-37	+	Ototrof
T. ferrooxidans	0,5-6,0	15-25	+	Ototrof
T. thiooxidans	0,5-6,0	10-37	+	Ototrof
T. neapolitanus	3,0-8,5	8-37	+	Ototrof
T. denitrificans	4,0-9,5	10-37	+/-	Ototrof
T. novellus	5,0-9,2	25-35	+	Ototrof
T. intermedius	1,9-7,0	25-35	+	Ototrof
T. perometobolis	2,8-6,8	25-35	+	Ototrof
Sulfolobus acidocalderius	2,0-5,0	55-85	+	Ototrof
Desulfovibrio desulfuricans	5,0-9,0	10-45	-	Hetetrof

3 MADEN KARAKTERİZASYONU

AMD'nin tanımlanması açısından bakıldığı zaman öncelikle çıkarılacak olan madenin, yan kayacın ve buna bağlı parametrelerin iyi karakterize edilmesi gerekir.

En kısa zamanda, düşük maliyetle karakterize edilecek ve yerinde önlenerek uygulanacak AMD algoritması, hem çevre kirliliği oluşturmaması ve ekolojik hayatın olumsuz etkilenmemesi açısından, hem de bu prosedürleri uygulayacak olan işletmenin sorunsuz bir şekilde madencilik faaliyetlerini sürdürmesi açısından önem arz etmektedir.

Maden karakterizasyonu belirlenirken, aşağıdaki soruları cevaplamak yeterli veriyi toplamada yardımcı olacaktır.

- AMD oluşması muhtemel midir ve potansiyel kaynaklar nelerdir?
- Ne tür kimyasallar bekleniyor?
- Tahmini başlama süresi nedir ve ne kadar süre boyunca üretilecek?
- Alıcı ortama taşınan kirleticilerin izlediği yollar nelerdir ve izlenen yol boyunca zayıflama ihtimali nedir?
- Beklenen çevresel etkiler nelerdir?
- AMD'yi önlemek veya azaltmak için neler yapılabilir?

Bu anahtar soruları cevaplayabilmek için, çok sayıda disiplinden (jeoloji, mineraloji, hidrojeoloji, hidroloji, jeokimya, biyoloji, meteoroloji ve maden gibi) uzmanlar gereklidir. Cevherin ya da ana kayanın jeolojik ve mineralojik özellikleri madencilik faaliyeti sonucunda oluşacak drenajı tanımlarken, arazinin iklimi ve hidrolojik/hidrojeolojik özellikleri maden drenajının mevcut bileşenlerini ve alıcı ortama taşınıp taşınmadığını, taşındıysa nasıl gerçekleştiğini tanımlar.

Madenin işletme öncesi ve işletme sırasında yapılacak olan pasa ve cevher malzemesinin detaylı karakterizasyonu ile toplancak veriler AMD oluşumunu ilk olarak değerlendirmede yardımcı olacaktır. Böylelikle, maden daha işletmeye başlamadan çevreye olan deşarjın kaynağı, büyüklüğü ve konumu tespit edilebilmektedir.

3.1 Numune Alma

Madencilik faaliyetlerinden dolayı oluşacak AMD karakterizasyonu için söz konusu maden sahasının doğru bir şekilde okunması en temel bileşenlerden biridir. Bu sebepten dolayı, numune alma işleminin, AMD olma olasılığı olan bölgelerin, alansal dağılımını, litolojik dağılımını ve jeokimyasal özelliklerini ve atık karakterizasyonunu yüksek bir oranda temsil etmesi gerekmektedir. Numune alma yöntemleri planlama aşamasındaki bir proje ile maden üretim süreci başlayan bir maden ile üretimi tamamlamış kapanma döneminde olan projelerde AMD için izlenecek yöntemler farklılık göstermektedir.

Örnekleme çalışması yapılırken göz önünde bulundurulan faktörler şunlardır;

- Kayaçların oksidasyon (redox) durumları,
- Cevher beklenen litolojiler, dağılımları, ve ortalama tenörleri,
- Kayaçların alterasyon tipleri,
- Kayaçların sülfit ya da karbonat içerme olasılıkları,
- Kayaçların alansal, hacimsel ve yüzdesel dağılımları,
- Sondaj karot incelemesi sırasında yapılan gözlem çalışmaları ve
- AMD/ML oluşturması muhtemel maden birimlerinin yerleşimleri ve dizaynları.

Bu kapsamda, Çizelge 1'de verilen uluslararası standardlarda kabul görmüş malzemenin tonajına göre alınacak minumum numune sayılarına ilişkin çizelge kullanabilir.

Çizelge 1. Uluslararası standardlarda kabul görmüş (Price ve Errington, 1997) alınacak numunelerin minumum sayıları.

Malzemenin tonajı(ton)	Minumum Numune Sayısı
<10.000	3
<100.000	8
<1.000.000	26
<10.000.000	80

3.2 Mineralojik Analiz

AMD potansiyeli belirleme çalışmalarında başlangıç olarak; uygulaması görece kolay, kısa süreli, düşük maliyetli ve izleyen süreçlere yön veren eleme niteliğindeki testler yaptırılmalıdır. Asit üretme potansiyeli, numunenin mineralojik yapısında yer alan sülfürlü mineraller dikkate alınarak genellikle hesaplama yoluyla bulunurken, nötürleştirme potansiyeli, seçilen yönteme göre az çok değişkenlik arz eden basit testlerle deneysel olarak tespit edilir. Bu sebeple, maden karakterizasyonu belirlerken tam kayaç ve iz element mineralojik analizlerin yapılması ve mineralojik tayine ek olarak XRD testi yaptırılması gerekmektedir. Tam kayaç ve iz element analizlerinde çıkan sonuçlar kıtasal bolluk değerinin katları ile karşılaştırılır. Literatürde kıtasal boluk değeri, GAI (Geological Abundance Index) olarak da geçmektedir. GAI bir elementin numune içerisindeki zenginleşme değerini göstermektedir. Genel olarak kıtasal bolluk içerisindeki konsantrasyonunun 3 katı ya da 5 katı üzerinde bir konsantrasyonda olan elementler anomali göstermiş kabul edilir.

3.3 Tanımlama

Sahayı temsil eden numunelerin alınmasından sonra, elde edilen verilerin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve biyolojik açıdan değerlendirilmesi ve tanımlanması bu süreci takip edecek jeokimyasal testlere karar vermek için temel oluşturmaktadır.

3.4 Statik ve Kinetik Testler

Statik testler sahayı temsil eden numunelerin asit üretme ve asit nötürleştirme potansiyellerini saptamak amacıyla kullanılan çabuk sonuç veren jeokimyasal testlerdir. Ancak statik testler minerallerin sadece asit üretme ve asit nötürleştirme potansiyellerini ölçer, bu minerallerin çözünme hızları gibi dinamik parametreler hakkında bilgi vermez. Bu yüzden statik testler ileride yapılacak olan kinetik testler ya da jeokimyasal modeller için bir öngörü oluşturur.

Statik testler kapsamında asit baz analizi (Sobek Metod), kısa süreli liç testi (EPA 1312 Metod, Katı:sıvı 1:4), net asit üretme testi (NagpH) yapılmaktadır. Tesis atığı karakterizasyonu kapsamında asit baz analizi ve eluat test kriterleri takip edilmektedir.

Kısa süreli liç testi, olası sızıntı karakteristikleriyle ilgili bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla yürütülen testlerdir. Her litolojiden alınan numuneler 1:4 katı/sıvı oranlı deiyonize su ile temas sızıntı testine tabi tutulur. Daha sonra, elde edilen sızıntı suları uluslararası ölçekte kullanılan su kalite standartlarıyla karşılaştırılır. Belirtilen standart değerlerden daha fazla konsantrasyona sahip sızıntılar, olası problemli element olarak adlandırılır ve ek incelemeye tabi tutulur. Temas sızıntı testinde her bir litoloji için elde edilen ortalama sızıntı konsantrasyonlarının Su

Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Su Kalite Kriterleri ve Sağlık Bakanlığı İçme Suyu Kılavuz Değerleri ile karşılaştırılır.

Statik test sonuçlarına göre yapılmasına karar verilen kinetik testler, temelde doğada gerçekleşen asit üretme sürecinin bir simülasyonu niteliğindedir. Laboratuvar koşulları altında da yapılabilen kinetik testler, gerekli görüldüğü, ya da sahanın atmosferik koşullarını daha iyi temsil etmesi amacıyla maden sahasında da gerçekleştirilebilir. Statik testlerden gelen teorik sonuçların analiz edilmesinden sonra jeokimyasal bir model oluşturmak için tepkime kinetiklerinin, salınım hızlarının ya da mekanizmaların belirlenmesi kinetik testler ile mümkündür.

Laboratuvar ortamında yapılan kinetik testler, birincil reaksiyon oranlarının atmosferik (doğal) aşınma koşullarında belirlenmesinde, metal salınım oranlarının tespit edilmesinde, asit üretimindeki ve nötürleştirmedeki zamana bağlı değişiminin ortaya çıkartılabilmesinde, uzun dönem drenaj suyu kalitesindeki değişimin simüle edilebilmesinde ve statik testlerin doğrulanmasında faydalı olamaktadır. Bu amaçla, malzeme örneklerinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından talep edilen 20 haftayı aşkın bir süre boyunca hava ve suyla temas ettirilmesi ile kayaçların uzun süreli oksitleşme reaksiyonları simüle edilmektedir. Başka bir deyişle, kinetik testler doğal proseslerin daha kısa zaman süresine sıkıştırılmış bir simülasyonudur.

Laboratuvar ortamında kinetik testlerin birçok çeşidi bulunmasına rağmen AMD/ML çalışmalarında en çok kullanılan 2 yöntem Nem Hücresi Testi ve Kolon Liç Testi'dir. Ancak bunlar içerisinde de en çok tercih edilen yöntem Nem hücresi testidir. Nem hücresi testi genel olarak (ASTMD5744-12) 1 haftalık periyotlarda 3 gün kuru hava, 3 gün nemli hava ve haftanın son günü de belirli miktarda distile su verilerek liç suyunun analiz edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu testte amaç, kayaçları abartılmış atmosferik koşullara maruz bırakılarak AMD/ML üretim miktarlarının, metal mobilite miktarlarının ve hızlarının ve ne kadar sürede oluşturacağının simüle edilmesidir. Aslında bu test ile, pasa ya da atık alanlarında oluşabilecek AMD/ML durumlarının küçük ölçekli olarak yapılması ve kısa sürede sonuç alınması ile uzun vadede karşılaşılacak problemlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Şekil 2'de nem hücresi testi kapsamında yapılan bir analize ait görsel sunulmuştur.

Şekil 2. Örnek bir nem hücresi testi.

Laboratuvar ortamında ölçülecek uzun vadede oluşacak jeokimyasal davranışlara atmosferik koşulların ve sezonsal farklılıkların da etkisini görmek için arazi ölçekli kinetik test (varil testi) yapılabilmektedir. Arazi kinetik testlerinin en büyük avantajı sahaya özgü arazi koşulları altında, gerçek atmosferik koşullara maruz bırakılmış kayaçların uzun vadeli jeokimyasal farklılıkları tespit edilebilmesidir. Buna ek olarak arazi kinetik testleri daha büyük ölçekte daha büyük numune miktarları ile yapıldığı için, sistemin mineralojik dağılımı açısından gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlar. ÇED raporu süreci içerisinde laboratuvar testleri ile en kötü senaryo koşulunu göstermek Çevre ve Şehircilik Bakanlığı açısından daha önemli bir durumken, gerçek koşulları göstermek de AMD/ML yönetimi açısından önemlidir. Bu yüzden arazi ölçekli kinetik testler maden açılana kadar veya reklamasyon çalışmasına kadar olan dönemde AMD/ML izlemesi için önerilebilir. Mitto Madencilik Danışmanlık firması tarafından Batı Anadolu Madencilik San ve Tic A.Ş. Lapseki-Kestanelik Projesi kapsamında gerçekleştirilen arazi ölçekli

kinetik teste ait çalışma Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3. Arazi ölçekli kinetik test.

3.5 Modelleme

Maden sahalarının değişen jeolojik, mineralojik ve tesis durumlarından dolayı ortaya çıkan farklılıklar atık, artık ya da stok yığınlarında da farklılık oluşmasına neden olmaktadır. Yürütülen kinetik testler gerçeğe yakın bir yaklaşım sağlarken, zaman ve maliyet açısından problem yaratabilmektedir. Jeokimyasal statik ve dinamik testlerin maliyetlerini indirmek için matematiksel ve jeokimyasal modellemeler PHREEQC, MINTEQ vb. programlarla yapılabilmektedir. Sülfür minerallerinin oksitlenmesi, tampon etkisi gösteren minerallerin çözünmesi, redoks tepkimeleri, bakteri katalizleri içerisinde barındıran bu modeller, parametrelerin zamana bağlı değişimini ve davranışını simüle etmek için kullanılır (Sherman, 2011). Ampirik modeller ise değişkenler arası istatistiksel ilişkiler temeline dayanmaktadır. Modelde yapılan kabul, modeli oluşturana kadar elde edilen verilerle örtüşmeli ve yapılan karakterizasyon çalışmalarını desteklemelidir.

4 İZLEME

AMD/ML karakterizasyonu yapılıp alınacak çevresel önlemler belirlendikten sonra operasyon döneminde ve maden kapanma sonrası dönemini de kapsayacak şekilde AMD/ML izlemesi yapılmalıdır. Bu kapsamda izlenmesi gereken parametreler karakterizasyon çalışmalarında test edilen parametrelerin zaman içerisindeki değişimleri olmalıdır. Yönetmeliklerin istediği su izleme parametrelerinin yanı sıra temel anlamda kinetik testlerde sorgulanan parametreler için izlemeler yapılmalıdır. Süreç içerisinde AMD/ML oluşumunu gösteren değişimler düşen pH değerleri, artan sülfat konsantrasyonları, artan metal konsantrasyonları ve metal hidroksit çökelimleri olacaktır.

AMD/ML çalışmalarında izleme çalışmaları potansiyel olarak AMD/ML üretecek maden birimleri ve bu birimlerin etkilediği alanlarda yapılmalıdır. Örneğin, yeraltı ocak duvarlarında ya da yerüstü ocak şevlerinde sülfitli minerallerin oksijene ve suya maruz kalması ile AMD oluşumu gözlenecektir. Ocak kapanmadan önce ocak içerisindeki suların toplandığı havuzlarda AMD izlenmelidir. Ayrıca şevlerde yapılacak öncel duvar istasyonları ile bu önceden tahmin edilerek gerekli önlem de alınabilir. Operasyon sırasında susuzlaştırma işlemlerinde yeraltı suyunun bu mineraller ile etkileşimi azalır, ancak madencilik faaliyeti sona erince bu bölgeler su ile dolarak yeraltı suları bu kayaçlarla etkileşime geçer. Ayrıca açık ocakta yapılacak geri doldurmalar da AMD/ML oluşmasına sebep olabilir. Bu yüzden hidrojeolojik özellikler de oldukça önemlidir. Tamamen su altında kalan madenler sınırlı miktarda ve kısa süreli AMD'ye sebep olurken, şevlerde bulunan kayaçların sülfit reaktifliğine ve yüzeylenmesine bağlı olarak kısmi su altında kalan madenler daha uzun süreli AMD'ye sebep olabilirler. Bu sebeple, operasyon sırasında maden kapanmadan önce, maden içerisindeki suların havuzda toplanarak izlemelerin yapılması ve susuzlaştırma yapılırken alınan suyun analizinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca maden kapandıktan sonra ocak gölü oluşurken yine havuzlarda toplanacak suların izlenmesi ile maden gölünün su kalitesi ortaya koyulabilecektir. Maden şevleri üzerinde yapılacak duvar istasyonları ile kayacın AMD potansiyeli belirlenebilir. Çizelge 2'de izleme kaynakları kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 2. İzleme kaynakları, yolları ve etki alanları.

Kimyasal Kaynaklar	Fiziksel Yollar	Biyolojik Etki Alanı
Pasa Malzemesi	Hava	Sucul Yaşam
Tesisi Atığı	Vadoz Zon	Karasal Yaban Hayat
Cevher Stok	Yeraltı Suyu	Bitki Örtüsü
Yığın Liç Stok	Yüzey suyu ve sedimanlar	Beşeri Hayat
Yeraltı Çalışmaları (Duvar)		
Ocak Şev Duvarları		

5 ÖNLEME VE ARITMA

AMD'nin en etkili ve maliyeti düşük çözümü asit üretme potansiyelini kaynağında önlemektir. AMD karakterizasyonu yapılmamış, modeller ve yönetim planları oluşturulmamış sahalar için potansiyeli kaynağında önlemek, problemi minimize etmek adına çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda havza madenciliği ölçeğinde çalışıp, atıl durumda olan ve kapanmış madenleri kanun, yönetmelik ve mevzuatlar kapsamında kümülatif olarak değerlendirmek gerekmektedir. Bu bağlamda, AMD çalışmaları devletin uzun süre çevre emniyeti politikası kapsamında zorunlu hale getirilmelidir.

Asit üretmeye başlamış sahalarda global olarak uygulanan aktif ya da pasif arıtma sistemlerinin uygulanması düşünülmelidir. Aktif arıtma kapsamında ağırlıklı olarak kimyasallar kullanılarak daha yüksek maliyeti olan işlemlerle yapılmaktayken, pasif arıtmada her ne kadar son yıllarda geliştirilmeye başlanmış olsa da global ölçekli bir çok başarılı örneğe sahiptir. Her iki yöntemde de uygulanacak arıtma sistemlerinin çevre yönetmeliklerine uygun olması zaruridir.

Maden drenaj sularının iyileştirilmesi açısından temel olarak 3 yöntem bulunmaktadır. Aktif arıtma, pasif arıtma ve in-situ arıtma. Uluslararası boyutta bir çok uygulanmış ve geçerliliği kanıtlanmış, ya da hala denenmekte olan arıtma yöntemleri bulunmaktadır. En sık rastlanan yöntemler şu şekilde verilebilir:

- Nötralizasyon
- Metal uzaklaştırma
- Tuzsuzlaştırma
- Spesifik hedef kirleticiyi iyileştirme

5.1 Aktif Artıma Sistemleri

Aktif arıtma sistemleri insan gücü, bakım ve dışarıdan elektrik gücü gibi gereksinimlere gerek duyan teknolojilerdir. Aktif arıtma sistemleri havalandırma, nötralizasyon, metal çöktürme, metal giderimi, kimyasal bozundurma, membran işlemleri, iyon değişimi ve biyolojik sülfat giderimini içermektedir. Aktif arıtma sistemlerinden havalandırma ve nötralizasyon/hidroliz işlemlerini bu bölümde detaylandırmak gerekirse;

5.1.1 Havalandırma

Genelde büyük bir problem olarak görülen çözünmüş Fe^{+2} havalandırma yöntemi ile iyileştirilir. Oksijen sadece 10 mg/L düzeyinde su içerisinde çözünebilir, eğer Fe^{+2} 50 mg/L üzerinde bir konsantrasyondaysa, suyun havalandırılması gerekmektedir. Düşük Fe^{+2} konsantrasyonlarında bile, havalandırma çözünmüş oksijen seviyesini yükselterek demir ve manganezin oksidasyonuna neden olur ve kimyasal arıtma verimliliğini arttırarak maliyetleri düşürür. Ayrıca, yeraltından gelen maden suları içerisinde bulunan çözünmüş CO_2 konsantrasyonunu da azaltır. Havalandırma sayesinde pH artar ve kimyasal kullanımı azalır. Havalandırma işlemi iyileştirme öncesi ya da iyileştirme sırasında yapılabilir. Şekil 4'de bir kömür madeninde yapılan havalandırma sistemi görülmektedir.

Şekil 4. Örnek bir havalandırma düzeneği.

5.1.2 Nötralizasyon/Hidroliz

Nötralizasyon ve hidroliz yöntemi AMD iyileştirme çalışmalarında bir çok global projede kullanılmaktadır. Farklı özellikteki alkali karakterdeki materyallerin kullanımı ile bu işlem gerçekleştirilir. Bazı alkali özellikteki malzemeler ve özellikleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Alkali malzemeler ve özellikleri

Alkali Birleşik / Materyal	Alkali İhtiyacı (ton/ton asidite)[1]	Nötralizasyon Verimliliği (% uygulanan alkali)[2]	Maliyet ($ / ton yığın)[3]
Kireçtaşı, $CaCO_3$	1.00	30 - 50	10 – 15
Sönmüş Kireç, $Ca(OH)_2$	0.74	90	60 – 100
Sönmemiş Kireç, CaO	0.56	90	80 – 240
Soda Külü, Na2CO3	1.06	60 - 80	200 – 350
Kostik soda, NaOH	0.80	100	650 – 900
Magna Kireç, MgO	0.4	90	Projeye Özgü
Uçucu Kül	Malzemeye Özgü	-	Projeye Özgü
Fırın Külü	Malzemeye Özgü	-	Projeye Özgü
Cüruf	Malzemeye Özgü	-	Projeye Özgü

1 Alkali Ihtiyacı $CaCO_3$ cinsinden verilmiş olup, asidite başına gereken alkali malzeme miktarını yansıtmaktadır.
2 Nötralizasyon verimliliği kimyasalın AMD asiditesinin nötralizasyonuna yönelik verimliliğidir. Örneğin, eğer 100 ton asit nötralize edilecekse, yaklaşık 82 ton (100x0.74x0.9) sönmüş kireç kullanılırsa suda asitlik nötralize edilebilir.
3 Fiyatlar alınan miktara ve yere göre değişkenlikler gösterir.

5.2 Pasif Arıtma Sistemleri

Kimyasal ilavesi gerektirmeden, pasif olarak değerlendirilen ve aktif arıtmaya alternatif olarak geliştirilen pasif arıtma yeni dönem kullanılan bir yöntemdir. Maliyet açısından düşük, bakım ve işletme de uygulanırlığı kolay olması nedeniyle giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerden beklenen, metallerin indirgenme veya yükseltgenme reaksiyonlarıyla kimyasal anlamda çöktürülerek sudan uzaklaştırılması ve suyun pH değerinin söz konusu ortamdaki canlıların yaşamlarını idame ettirecekleri seviyeye yükseltilmesidir. Pasif arıtma yöntemlerinin başlıca uygulandığı yerler: doğal ve suni bataklıklar (yükseltgen ve indirgen şeklinde de ayrımlar bilinmekte), anoksik kireçtaşı drenleri (ALD), ardışık alkali üreten sistemler (SAPS), kireçtaşı havuzları ve açık kireçtaşı kanallarıdır. Kimi zaman birden fazla sistem bir arada da kullanılabilmektedir.

Arıtma sistemin başarısı; suyun (çözeltinin) kimyasal yapısına, debisine, arazinin topoğrafyasına ve ortamın karakterine bağlıdır. Bu nedenle, uygulanacak yöntemin seçimi ve tasarımından önce, bu parametrelerin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır (Karadeniz, 2005).

SAPS metodu, anoksik kireçtaşı drenleri ile organik malzemeden oluşan bir katmanın, diğer bir ifadeyle, suni bataklığın ardışık olarak yerleştirildiği sistemlerdir. En üstte 1-2 m derinlikte asit havuzu yer alır. Altta, 20-

30 cm kalınlığında organik bir katman bulunur. Tabandaki drenaj boruları ile organik katman arasında ise, 30- 50 cm kalınlığında kireçtaşı vardır. Drenaj borularıyla aerobik havuza alınan çözeltideki metaller çökelir. Sonrasında, hidrolik başlıklar vasıtasıyla çözelti organik malzeme içinden geçirilir. Böylece, bünyesindeki oksijen tüketilirken, sülfat ve demir indirgenir. Ardından, anoksik nitelikteki kireçtaşı dreninden geçirilen çözeltinin asiditesi azaltılır. Ardışık alkali üreten sistemler asidik karakterli, metal iyon konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen içeriği yüksek olmayan drenaj çözeltileri için etkindir.

6 UYGULAMADAKİ YERİ VE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Dünya'da AMD/ML ilk olarak 1689 yılında Pennslyvania'da bir kömür işletmesinde meydana gelmesi ile ortaya çıkmıştır (GARD Guide, 2013). Ülkemizde önemli örneklerden birisi ise 1940'lı yıllarda terkedilen Balya Pb-Zn madeni atıklarıdır. Bu bağlamda Mitto Madencilik, "*Terkedilen Balya Pb-Zn Madeni Atıklarında Asit Maden Drenajı Verileri ve ÇED*" konulu Tubitak projesini Dokuz Eylül Üniversitesi ile birlikte yürütülmektedir.

Türkiye'de AMD sorgulaması Çevresel Etki Değerlendimesi (ÇED) Yönetmeliği kapsamında yapılmaktadır. Faaliyet alanı, ÇED Yönetmeliği gereği Ek-1 listesinde (25 hektar ve üzeri çalışma alanında açık işletmeler veya 150 hektarı aşan açık işletme yöntemi ile kömür çıkarma) ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından AMD sorgulanmaktadır. Ancak, Ek-2 kapsamında (Ek-1 kapsamında yer almayanlar) değerlendirilen bir proje ise cevheriniz kömür, bakır dahi olsa bu değerlendirme yapılmamaktadır. Oysa ki, 1 gram da cevher çıkartılıyor olsa AMD oluşumu söz konusu olabilmektedir, çünkü burda olay sülfürlü mineral içeren kayaçların hava ve nem ile temasıdır. Söz konusu sorgulamalar sadece metalik madenler kapsamında yapılmakta olup, hala bugün kömür madenlerinde AMD sorgulanmamaktadır. Yalnızca madencilikte değil, kazı gerektiren her türlü faaliyette asit drenajı konusu irdelenmelidir. Yol çalışmaları kapsamında, yol kenarlarında dahi asit kaya drenajı oluşabilmekte ancak, Türkiye koşullarında bu durum göz ardı edilmektedir.

AMD konusunda biçok yanlış algı bulunmaktadır. Yapılan projelerde en sık karşılaşılan sorunlardan biri de rengi turuncu olan her cevherin sülfürlü olmamasına rağmen asit oluşturacağı sanılmasıdır. Projesi Mitto Madencilik tarafından yürütüle, Çanakkale'de bir demir sahasında, tamamı oksitli litolojilerden oluşan sahanın AMD oluşturulacağı iddia edilerek, kurumlar tarafından testler yaptırılması istenmiş, yapılan testler sonucu yanıldıkları ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde, Yozgat'da yapılan bir mangan ocağı projesinde de yine ilgili kurumlar sahada oksitli cevher ve yan kayaçlar olmasına karşın aynı görüşleri sormuştur. Eksik bilinen bu gerçeklerin farkına varılarak bilinç oluşturulması gerekmektedir.

Günümüzde AMD konusundaki farkındalık bir yandan da giderek artmaktadır. Örneğin, Mitto Madencilik tarafından yürütülen bir cevher zenginleştirme tesisi projesinde, kurumlar (MİGEM, DSİ, vb.), yüksek pirit ihtiva eden sülfit cevherleşmesi olduğuna istinaden AMD hakkında jeokimyasal özelliklerin belirtilmesini, statik ve kinetik testlerin sonuçlarını ve AMD oluşması durumunda alınacak önlemler ile pasa yönetim planını talep etmektedir.

Aynı zamanda yönetmeliklerin, kurum ve kuruluşların yanı sıra yaptırılacak analizler konusunda da sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Türkiye'de birçok testi yaptırabilecek yeterliğe sahip laboratuvarlar bulunmamaktadır. Statik ve kinetik analizler kapsamında yaptırılacak birçok test Türkiye'de yapılamamakta, yurtdışına gönderilmektedir. Bu sorunlar doğal olarak maliyeti de arttırmaktadır. Bir diğer konu da, kinetik testlerin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından minumum 20 hafta yaptırılmasının talep edilmesidir. Oysaki, her projenin ömrü kendi içinde değişiklik göstermekte olup bu testlerin

süresi proje ömrüne göre belirlenmelidir. Yalnızca projenin işletme aşaması değil, kapatma ve kapatma sonrası yapılacak olan izlemelerin süresi de bu kapsamda değerlendirilmeli ve testler ona göre simüle edilmelidir. Türkiye koşullarında, mevsimlerin 3 ay yağışlı, 3 ay da kuru olduğu düşünülürse, 6 aylık bir süreci 1 haftada simüle etmek doğru bir adım olmaktadır. Örneğin, 8 yıl işletilmesi planlanan bir projede, 2 yıl rehabilitasyon işlemlerinin süreceği ve 10 yılda kurumlar tarafından izlemelerin yapılması istendiği düşünülürse, 20 yıllık bu projede testlerin en az 40 hafta yapılması uygun olacaktır.

7 ÖNERİLER VE SONUÇLAR

AMD'nın belirgin özellikleri düşük pH, yüksek metal konsantrasyonu, yüksek oranda çözünmüş katı ve askıda katı madde içeriğidir. Böylelikle AMD, dereler, çaylar, nehirler ve göller gibi alıcı ortamlara karıştığında, söz konusu alanlardaki canlı yaşamını olumsuz yönde etkileyebilir. Hatta kimi türler tamamen yok olabilir. Bağlantılı olarak besin zinciri zamanla zayıflayabilir ve neticede ekosistem çökebilir (Karadeniz, 2008). AMD büyük bir çevre kirliliği sorunudur ve henüz daha oluşumu başlamadan yerinde önlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, uygulanacak yöntemler iyi irdelenmelidir.

Proje planlama aşamasına başlanıldığı anda, maden karakterizasyonuna bağlı olarak jeolojik, mineralojik, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve kümülatif açıdan değerlendirme sonrasında, sülfür içeren cevher varsa (kömür, altın, gümüş, molibden, bakır, kurşun vb.) maden arama faaliyetlerinden kapanma dönemine kadar yukarıdaki işlemler sırasıyla uygulanarak (statik ve kinetik testler vb.) asit üretme potansiyeli olan birimlerin belirlenmesi, AMD'ye ilişkin olası senaryoları, önceden öngörmeyi sağlar.

AMD önleme çalışmaları kapsamında yerinde önleme stratejisinin uygulanması ve bu kapsamda, kurum ve kuruluşlarla ortak bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir.

AMD kaynaklarından oluşabilecek sızıntılar ile yeraltı sularına taşınacak olan asidik karaktere sahip maden sularının etkisiyle kimyasal, fiziksel ve ekolojik dengenin bozulmaması ve buna paralel olarak insan dâhil bölgede yaşamını devam ettiren canlıların olumsuz bir şekilde etkilenmemesi için, AMD doğru bir şekilde karakterize edilerek, arama döneminden maden kapanma dönemine ve hatta belirlenecek maden kapanma sonrası dönemde dâhil olucak şekilde izleme ve yönetim prosedürlerinin uygulanması gerekmektedir.

Çevrenin korunması, doğal kaynaklardan vazgeçileceği anlamına gelmemelidir. Madencilik faaliyetlerinin oluşturabileceği olumsuz etkilerin önceden tespit edilmesi, bu etkilerin en aza indirilmesi veya giderilmesi için çevresel planlama yapılabilir. AMD sadece su kirliliğine neden olan tek yönlü bir kirletici değildir. Hem doğrudan, hem de dolaylı olarak sayısız çevre sorunlarına yol açar ve ekonomik sonuçları oldukça büyüktür (Şanlıyüksel Yücel & Baba, 2013).

Başlangıç aşamasından ocağın kapatılmasından sonraki döneme kadar yapılacak tüm işlemler önceden planlanmalıdır. Böylelikle, artan çevre bilinci ile birlikte yaptırımlarla uygulanması gereken kanunlar ve standartlar çerçevesinde yürütülmesi gereken madencilik faaliyetleri ile AMD çevresel sorun olmaktan çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

Anonim. (2008). Acid Rock Drainage Prediction Manual. Mend Project 1.16.1b, North Vancouver, Canada.

British Columbia Task Force. (1989). Draft Acid Rock Drainage Technical Guide. Vancouver, British Colombia, Canada: S. Robertson and Kirsten Inc.

Environmental Australia. (1997). Managing Sulphidic Wastes and Acid Drainage. Best Practice Environmental Management in Mining , 69.

GARD Guide . (2013). Acid Rock Drainage. Retrieved from The Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide): http://www.gardguide.com/index.php?title=Chapter_1#1.1.1_Acid_Rock_Drainage

Güneş, C., Güneş, S., Akıncı, G., Bektaş, G., ve Özdemir, Ş. (2013, Kasım 8-10). Terkedilen

Balya Pb-Zn Madeni Atıklarında Asit Maden Drenajı Verileri ve ÇED. Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi .

Karadeniz, M. (2005). Asit Maden(Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, (pp. 91-97). Ankara.

Karadeniz, M. (2010, Aralık). Sülfürlü Madenlerin Çevre Sorunu: Asit Maden Drenajı. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Büllteni , pp. 36-43.

M.Karadeniz. (2008). Sülfürlü Madenlerin Sorunu Asit Maden Drenajı ve Çözümü. Ankara.

Price, W.A., J. Errington. (1997, May 31-June 6). Guidelines for the prediction of acid rock drainage and metal leaching for mines in British Columbia Part I. General procedures and information requirements. In Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, , pp. p. 1-14.

Sherman, D. (2011). Geochemical Modelling of Acid Mine Drainage. Retrieved from Advanced Aqueous Geochemistry Lecture Notes: http://mineral.gly.bris.ac.uk/AqueousGeochemistry/AcidMineDrainageAAG.pdf

Şanlıyüksel Yücel, D., ve Baba, A. (2013). Türkiye'de Asit Maden Göllerine Çan (Çanakkale) Havzası'ndan Güncel Birkaç Örnek. Mavi Gezegen , 5.

U.S. Environmental Protection Agency. (1994). Technical Document, Acid Mine Drainage Prediction. Washington, USA,: The Office of Solid Waste.

Karbonatlı Formasyonlardaki Gizli Riskler Ve Çözüm Önerileri
Carbonate Formations Hidden Risks and Solutions

M.Çelik
Demir Madencilik A.Ş., Zonguldak

C. Bozok
Demir Madencilik A.Ş. Zonguldak

ÖZET Bilindiği üzere dünyamızın 4/3 ünü su, gerisini karalar oluşturmaktadır ve bizler bu kara parçalarının üzerinde yaşamaktayız. Üzerinde yaşadığımız ve bize sağlam gibi görünen bu kara parçaları aslında sanıldığı kadar sağlam yapılar ve zeminler değildirler, dünyamızdaki bu kara parçalarının bir kısmını da karbonat kökenli kayaçlar oluşturmakta ve bir çok yerleşim alanı da bu kayaçların üzerinde bulunmaktadır. Karbonat kökenli ve bünyesinde bir çok karstik boşlukları barındıran bu jeolojik yapılar; Fiziksel olarak boş veya dolu gözeneklerden oluşan bir sünger görünümlü olmaları, kimyasal olarak da her türlü asidik yüzey sularına aşırı reaksiyon vermeleri, bunlara ilave olarak da her hangi bir yeraltı madencilik faaliyetleri veya çok az da olsa ana plaka yükselmeleri sonucu negatif yönde YASS dengelerini etkilemekte ve kalker kökenli jeolojik oluşumların bünyesinde bulunan karstik boşlukları büyütmekte, birleştirmekte ve bu oluşumları sonucu yüzeyde bulunan yerleşim alanları için önemli riskler oluşturmaktadırlar. Bildirimizin amacı; bu ve benzeri risklerin belirlenmesi ve olası çözüm önerilerimizi kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbonat kökenli kayaçlar, yeraltı madencilik faaliyetleri, risk

ABSTRACT As it is well known, ¾ of the Earth's surface is covered with water and land cover the rest and we live on this land. The lands we live on which look steady are not as stable and steady as we think. Carbonate based rocks form some of these lands and many settlements are on them. These geological structures which are carbonate based and consist many carstic gaps ; since they are physically empty or sponge like whose pores are solid and chemically, they overreact to any acidic surface water, in addition to this, they affect YASS balances negatively as a result of any mining activity or main plate elevation even if just a hint and they enlarge-combine the carstic gaps which are included in limestone based geological formations and they pose a significant risk for the settlements on the surface due to these formations. The aim of our notice includes identification of such risks and our solution offers.

Keywords: Carbonate based rocks, underground mining activities, risk

1 GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız dünya su, hava ve karalardan oluşan bir denge sistemidir, her üçünde de yaşam devam etmektedir. Biz her ne kadar karalar üzerinde yaşıyor olsak da yaptığımız ve yapacağımız faaliyetler; denizde , karada, ve atmosferdeki yaşam dengelerini direk etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında Zonguldak bölgesinde yerinde yaptığımız araştırma ve tespitlerde yerleşim alanlarının zeminini oluşturan karbonat kökenli kayaçların aşınma hızları, son on yılda meydana gelen ve obruk boyutlarında oluşan çöküntüler

yerinde incelenmiştir. (fotoğraflar1, 2, 3, 4, 5) Yine aynı bölgede yaklaşık 110 yıl ve 10 yıl arasında değişen zamanlarda yapılan yeraltı çalışmaları ve bu çalışmalarda açılan boşluklarda sıvı hale gelip akan ve daha sonra bu zaman dilimi içerisinde taşlaşarak klasik anlamda mağara oluşumlarını andıran yapıların oluşum hızları yerinde fotoğraflanmıştır. Yine aynı bölgede yeraltından gelen ve sebebi tespit edilemeyen patlama sesleri çalışmalarımıza yön vermiştir.(21 Ocak 2014 tarihli Ulusal ve yerel basından, kendi tanıklığımızdan)

Ülkemizde aynı jeolojik yapıya sahip Konya, Antalya, Karaman ve Zonguldak illerindeki yapıların benzerliği ve son olarak Karaman- Ermenek'teki maden faciasının sebepleri arasında; Yüzey sularının ve asidik yağmurların etkileri, yeraltı çalışmalarından kaynaklanan ve negatif yönde seviye kaybeden yeraltı su seviyelerini de içeren bir animasyon çalışması yaparak konu çok boyutlu olarak irdelenmeye çalışılmıştır.

Figür 1.

Figür 2.

Figür 3.

Figür 4.

Figür 5.

Fotoğraflardan 1, 2, 3 çok yakın zamana ait bir yeraltı ocağında çekilmiştir ve 10 yıllık bir oluşumu göstermektedir. 4. Fotoğraf yine bir yeraltı işletmesinde çekilmiştir ve yaklaşık 110 yıllık bir geçmişe sahiptir. 5. Fotoğraf Zonguldak bölgesinde 2012 yılında

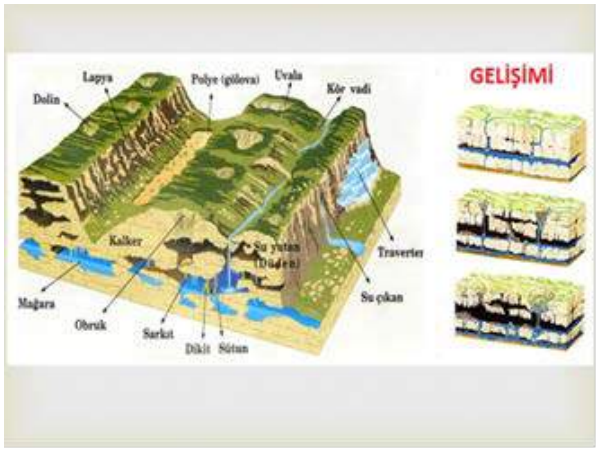
Gelik'deki bir mahalle arasında oluşan çöküntüye ait olup, şans eseri can kaybı yaşanmamıştır.

Şekil 1. Türkiye'nin karstik sahaları.

2 BOZULAN DENGELER

2.1 Asitli Yağmurlar:

Gelişen sanayi toplumları ve buna bağlı olarak kullanımları artan asidik kökenli ve yüksek çözünürlüklü kimyasalların neden olduğu asit yağmurları, karbonat kökenli kayaçlarla hızlı bir şekilde reaksiyona girmeleri sonucu yavaş ve emniyetli bir şekilde oluşumlarını sürdürürken, birden bire bu oluşumları hızlanmış ve çözünürlükleri artmış, bünyelerinde bulunan süngerimsi yapıları içerisindeki karstik boşluklar hızla büyümüş, birleşmiş, YASS dengeleri negatif yönde bozulmuş birbirleriyle birleşmeler sonucu oluşan boşluklar yüzey sularını emerek dengelerin bozulmasını hızlandırmıştır.



Şekil 2. Kalkerli yapılardaki oluşumlar.

2.2 Kimyasallar:

Son yüz yıllarda insanların günlük kullandıkları kimyasal temizlik malzemelerinin kimyasal yapılarında yapılan yüksek çözünürlüklü değişimler, atık sulardaki asidik oranlarını artırmış ve üzerlerinde yerleşim alanlarının bulunduğu karbonatlı kayaçlarda çözülmeler hızlanmış, buna bağlı olarak karstik boşluklar hızla büyümüş, birleşmiş ve küçük mağara oluşumlarından büyük mağaralar oluşmasına, hatta yerleşim alanları için ciddi riskler oluşturan obruk oluşumlarına sebep olacakları riskleri bünyelerinde barındırır olmuşlardır. Burada bir not düşmek gerekirse; Bu tip oluşumlar risk öncesi her hangi bir belirti vermezler ve birden bire ortaya çıkarlar.

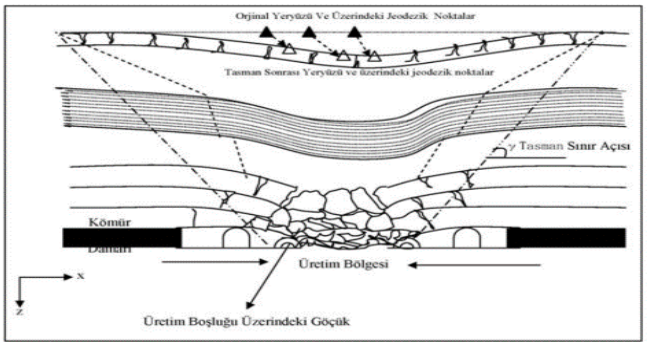
2.3 Yükselen Plakalar

Bu oluşum her ne kadar dünyanın kendi olgusu ise de bu etken de, yükselmeye bağlı olarak negatif yönde ilerleyen YASS dengesini bozmakta ve aşağıya çekilen su dengesinin boşalttığı boşluklar yine diğer etkenlerle çözünen karbonatlı kayaçlarda boşluk oranını artırmakta ve belli bir oranda risk oluşturmaktadır. Ancak bu oluşum insan faktörünün dışındadır.

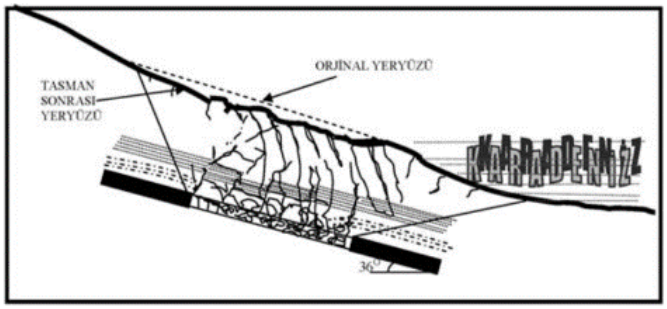
2.4 Yeraltı Madencilik Faaliyetleri:

En önemli etkenlerin başında gelmektedir. Üretim amacıyla açılan boşluklar yine dünyamızın dengesini koruma refleksine bağlı olarak boşluklarını doldurmaya zorlanması ve bu oluşum sonucunda tasmanların meydana gelmesi, oluşan çatlakların karbonatlı kayaçlara ulaşması ve bu çatlaklardan giren suyun madenciler tarafından dışarı atılması, bu döngü içerisinde oluşan boşluklar ve kırılan, çatlayan kalkerli blokların bünyesindeki suların aşağıya çekilmesi, bu çekilme sonucu oluşan boşluklar çatlaklar aracılığıyla birleşmeye zorlanması, gibi nedenlerle kalkerli zeminlerde bozulan dengeler ve buna bağlı olarak dünyamızın yeniden denge kurma telaşı hem madencilik faaliyetlerini

riske sokmakta, hem de yer üstünde bulunan yerleşim alanları için ciddi riskleri bünyesinde barındırmaktadır. Yeraltı madencilik faaliyetlerinde terk edilen üretim noktaları ve açılan boşluklar zamanla üst yapıda bulunan kalkerli bünyedeki suyu boşluklarına çekerek bünyesinde tutması ve askıda beklemesi, daha sonra yapılacak madencilik faaliyetleri için ciddi riskler oluşturması, kalkerli yapıların oluşturacağı yeraltı boşlukları ve obruk oluşumlarının yerleşim alanlarına vereceği zararlardan daha tehlikelidir. Kalker kökenli kayaçların bir diğer özelliği de elastik davranmaması, normal bir tasman çöküntüsü yerine çatlaması ve ani kırılmaların olmasıdır ki asıl tehlike budur.



Şekil 3.



Şekil 3-4. Yeraltı faaliyetleri ve tasman şekilleri.

3 KULLANILAN KİMYASALLAR

Gerek sanayide kullanılan kimyasallar ve gerekse temizlik malzemeleri üretenler, ürünlerinin yüksek çözünürlüklü olduğunun reklamını bile yaparak çevreye ve dünyaya vermiş olduğu zararların değil farkında olmak, bu malzeme ve üretimleri için gurur duyduklarının reklamını bile yapmaktadırlar. Uluslararası birliktelikler yapılarak bu maddelerin kullanımına bir kısıtlama getirilmediği sürece herkesin üzerinde yaşadığı bu dünya hiç kimse için güvenli olmayacaktır ve bu hızla; asitli yağmurlar, temizlik amacıyla kullanılan yüksek çözünürlüklü maddeler ve kontrolsüz yapılan yeraltı madencilik faaliyetleri kontrol altına alınmadığı, yaşanan facialardan ders alınmadığı sürece, söz konusu jeolojik yapıların ciddi riskleri olabileceği görüşündeyiz.

4 SONUÇ

Sonuç olarak bu bildirinin hazırlanış amacı bazı oluşumlara bire bir tanık olduğumuzdan ve bu yönde yapılan bilimsel çalışmalardan da anlaşılacağı üzere bu tip jeolojik yapılar ciddi riskler oluşturmasına rağmen çözümsüz olmadıkları görüşündeyiz.

Son yüz yılımızda gelişen sanayi ve buna bağlı olarak oluşan tehlikeli atık sular, asit yağmurları, yeraltı madencilik faaliyetleri sonucu, yer üstünde yaşayan canlıları güvende tutmak için yaşanmış ve yaşanacak su baskınlarına, obruk oluşumlarına vs. karşı çözüm üretmek veya çözüme yardımcı olmak üzere hazırlanmıştır.

5 ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yaşadığımız teknoloji çağında uzaydaki her hangi bir gezegende yaşam arayan, buralardan numuneler alarak uzak yıldızları bile inceleyen bilim çağında, kendi ayaklarımız altındaki jeolojik yapıları incelemek, araştırmak, yapısal sorunların röntgenini çekmenin zor olamayacağı görüşündeyiz. Gerekli teknolojileri kullanarak bildirimizde bahsi geçen zeminler ve jeolojik yapıları inceleyerek, oluşmuş veya oluşacak boşlukların tespiti, yeraltı su seviyelerinin takibi gibi bulguları inceleyerek, dengesi bozulmuş veya bozulma eğilimindeki yapıların tespit edilmesi ve bu risklerin bertaraf edilmesi için yüzeyden açılan sondaj delikleri ile enjekte edilecek dolgu malzemeleri, duraylılığı artırabileceği ve yer üstü-yeraltı emniyetinin sağlanacağını görüşündeyiz. Bir başka husus da tüm dünyada asit yağmurlarına neden olan sanayi atıkları ve kimyasallarına ve bu tür malzeme kullanımında bir disipline gidilmesi ve asit yağmurlarının önüne geçilmesi için yapılacak Uluslararası Çalışma Gruplarının

oluşturulması çözüme katkı yapabileceği görüşündeyiz

6 TEŞEKKÜR

Her türlü zorluklar ve engellemelere rağmen bilimsel çalışmalar konusunda prensiplerinden ödün vermeyen başta TMMOB ve yöneticilerine, bu çalışmalarda görev alan ve bu yönde çalışmalara ışık tutan ve bize hoşgörü gösteren değerli bilim kuruluna, bu güne kadar bu yönde bilimsel çalışmalar yaparak bizlere ışık tutan tüm bilim insanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

GÜ, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı1 (2004) 249-269

AKGÖZ, M. (2007). "Erdemli-Silifke Arasının Karst Hidrojeolojisi ve Karst Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulması", *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ATALAY, İ. (1988). "Toros Dağlarında Karstlaşma ve Karstik Alanların Ekolojisi", *Jeomorfoloji Dergisi, Sayı*: 16, s.: 1-8.

SÜR, A. (1994). "Karstik Yerşekilleri ve Türkiye'den Örnekler", Ankara Üniversitesi *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Sayı: 3, s.: 1-28.

ZEYBEK, H. İ. (2004). "Türkiye'de Karstik Alanların Korunma Gerekliliği ve Alınabilecek Bazı Önlemler*", Doğu Coğrafya Dergisi*, Cilt: 9, Sayı: 11, s.: 93-116

Alagöz, Cemal Arif (1973). Türkiye Karst Olayları Hakkında Bir Araştırma, Türk Coğrafya Kurumu Yayını No:1, Ankara.

Ardos, Mehmet (1995) Türkiye Ovalarının Jeomorfolojisi-I, Çantay Kitabevi, İst.Bozyiğit, Recep (2000). Fethiye ve Konya'nın Kuraklık Yönünden Karşılaştırılması, Sel. Ün. Eğitim Fak.Derg. Sayı: 9, s.10-33. Konya.

Canik, Baki ve Arıgün, Zafer (2001). Karapınar-Kızören(Konya) Dolayındaki Obrukların Oluşumu ve Karapınar Volkanizmasının Bu Olaya Etkisi, Karapınar Sempozyumu Bildiri Kitabı, s.295-303, Konya.

Çörekçioğlu, İlhami (1985). Konya-Karapınar-Kızören Arasındaki Obrukların Oluşumu ile İlgili Hidrojeoloji Etüt Raporu, DSİ. IV. Bölge Müdürlüğü, Konya.

Doğu, Ali Fuat, Çiçek, İhsan, Gürgen, Gürcan (1994). Orta Toroslarda (Seydişehir-Gülnar) Karstlaşma Tipleri, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafya Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi Sayı:3, s.129-139, Ankara.

Göçmez, Güler ve İşçioğlu, Ahmet (2004). Konya Kapalı Havzasında Yer altı Suyu Değişimleri, I. Yeraltı Suları Ulusal Sempozyumu (23-24

Göçmez, Güler, Eren, Yaşar, Aydın, Yüksel ve Söğüt, Ali Rıza (2001). Karapınar Çevresinde Yeni Oluşan Obruk, Karapınar Sempozyumu Bildiri Kitabı, s.305-316.

Madencilik Faaliyetleri ve Çevresel Etki Değerlendirme Kararlarının Değerlendirilmesi

Evaluation of Mining Operations and Environmental Impact Assessment Decision

A.Bilgin
Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin

ÖZET Kalkınmada önemli yeri olan madencilik faaliyetlerinin kanun ve yönetmelikler kapsamında işletilmemesi sonucunda önemli çevre problemleri ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de 2872 sayılı Çevre Kanununa bağlı olarak ilk Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) yönetmeliği 7 Şubat 1993 yılında yayınlanmıştır. Böylelikle, çevre kirliliğinin önlenmesinde yasal zorunluluk oluşmuştur. ÇED yönetmeliği 1993 yılından günümüze 7 (17 defa değişikliğe uğramıştır) kez revize edilmiştir. Bu çalışmada; ÇED yönetmeliği kapsamında 1993 yılından günümüze Ek-1 listesinde yer alan ve madencilik alanında alınan ÇED kararları yıllara, bölgelere ve olumlu/olumsuz sonuçlanmasına göre dağılımları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma verileri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan bilgilerden temin edilmiştir. Çalışma sonucunda; 1993 yılından 2014 yılına kadar 3654 ÇED kararından 31 tanesinde olumsuz karar verilmiştir. Petrol ve madencilik çalışmalarının %98,5 olumlu, % 1,5 sinin olumsuz sonuçlandığı görülmektedir. Toplam olumsuz ÇED kararlarının %45,2'i petrol-madencilik, %16,1 sanayi yatırımları, %12,8 atık kimya tesisleri, %9,7 ulaşım ve kıyı, %6,5 turizm ve konut, %6,5 tarım - gıda ve %3,2'i enerji yatırımları alanında olmuştur. Yapılan bu çalışma madencilik sektörünün ÇED yönetmeliği kapsamında uygulamalarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirme, madencilik faaliyetleri

ABSTRACT Mining activities occupy an important place in economic development. However, failure to conduct such activities in accordance with the applicable laws and regulations can lead to significant environmental problems. In Turkey, the first Environmental Impact Assessment (EIA) Regulation was issued on 7 February 1993 within the scope of the Environment Law Number 2872. With this regulation, the prevention of environmental pollution became a legal obligation. Since 1993, the EIA Regulation has been revised seven times. In this study, we statistically evaluated with respect to year, region and positive/negative outcomes the distribution of EIA decisions on mining activities that have been taken since 1993 within the frame of the EIA Regulation (the relevant EIA decisions are listed in Annex-1). The study data was based on the information published by the Ministry of Environment and Urban Planning. Based on the study results, we determined that 31 of the 3654 EIA decisions taken between 1993 and 2014 were negative. In addition, the outcome for 98,5% of petroleum and mining applications were positive, while the outcome for 1,5% of these applications were negative. Among the negative EIA decisions; 45,2% were related with mining investments, 16,1% with industry investments, 12,8 % with waste chemical facilities, 9,7% with transportation investments in coastal areas, 6,5% with tourism and housing investments, %6,5 agriculture - food and 3,2% with energy investments. This study illustrates the current practices and activities of the mining industry within the scope of the EIA regulation.

Keywords: Environmental impact assessment, mining facilities

1 GİRİŞ

Modern toplumun gelişmesi, ihtiyaçlara göre mal ve hizmetlerin tedarik edilmesine bağlıdır. Madencilik sektörü hammadde tedarik zincirinde hayati bir konum işgal eden küresel ekonomi için önemli güçlerden biridir. Fakat madencilik faaliyetlerinin çevreye zarar vermeden işletilmesi gerekmektedir (Castilla-Gómez ve Herrera-Herbert, 2014) .

Madencilik projelerinin çevresel ve sosyal etkileri farklıdır. Madencilik faaliyetlerinden sonra uzun süre etkileri sürmektedir. Madenciliğin çevresel etkileri projelendirmenin ilk aşamasında dikkatle değerlendirilmelidir. - Maden işletmelerinin potansiyel çevresel etkileri; cevher niteliği ve kaya kütlesi, jeolojik ve jeoteknik parametreler, çıkarma yöntemi, üretilen atıkların doğası ve miktarı (katı, sıvı, ya da gaz) ve yerel çevresel bileşenin yapısı önemli rol oynamaktadır. Madencilik şirketi yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde paydaşlar sürdürülebilir kalkınma için çevreyi muhakkak göz önünde bulundurmalıdır (Christmann vd., 2007).

Madencilik faaliyetlerinin yasal zorunluluklar çerçevesinde işletilmemesi sonucunda yoğun olarak arazi bozulmalarına ve doğal çevrenin tahrip olmasına neden olmaktadırlar Faaliyetlerin yapıldığı alanlarda ve özellikle açık işletme yöntemi ile çalışılan sahalarda, çalışmalar tamamlandıktan sonra topografya, jeolojik yapı, röliyef, su rejimi, iklim ve peyzaj tamamen değişmekte ve bitki örtüsünün de tahrip olmasına neden olmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucunda doğrudan ve dolaylı olarak çevre bozulması meydana gelmektedir. Doğrudan bozulma maden ocağı sahasındaki örtü ve atık yığınları ile bitki örtüsünün yok edilmesi ile oluşur. Dolaylı bozulma, madencilik faaliyetleri hafriyat alanları, maden binaları ve zenginleştirme tesislerinin bulunduğu alanlardaki toprak yapısı, su ilişkileri, kimyasal özellikler, toprak ve bitki örtüsü, yerel iklim, insan ve hayvan sağlığının değişime uğraması gibi olaylar olarak görülebilir (CSB, 2013).

Madencilik faaliyetlerinde asit maden drenajı önemli bir konu olarak gündeme gelmektedir. Çevresel açıdan özellikle sülfürlü cevher içeren madenlerin işletilmesi sırasında, işletmeden sonraki evresinde, cevher hazırlama işlemlerinin sona erdirilmesinden sonra önlem alınmazsa önemli çevre kirliliği yaratmaktadır. Bu tip kirlenmeler atık depoları ve atmosfere açık duran galeri, kuyu ve ocak şevlerinden oluşacak atmosferik suların sızıntıyla yer altı suyunu veya yeryüzünde akan su kaynaklarını ve toprağı kirletebilmektedir. Ayrıca atık havuzlarının duvarlarının kaya/dolgu barajlarının çeşitli nedenlerle (heyelan, deprem ve aşırı yağış gibi doğal riskler) çökmesi durumunda büyük çaplı ağır metal kirlenmelerinin oluşması mümkündür (Anıl, 2014).

Ülkemizde 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 10. Maddesi ile ÇED ilk kez mevzuatımıza kazandırılmıştır. Çevre Kanunu, çevreye önemli etkileri olabilecek faaliyetlerle ilgili projelerin, planlama aşamasından başlayarak çevreye olabilecek etkilerinin önlenmesini amaçlamış ve çerçevesini çizdiği konunun usul ve esaslarının düzenlenmesini Yönetmeliğe bırakmıştır. Türkiye'de ÇED süreci 7 Şubat 1993 tarihinde yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği ile yasal bir süreç olarak tanımlanmıştır. ÇED Yönetmeliği 23 Haziran 1997, 6 Haziran 2002, 16 Aralık 2003 ve 16 Aralık 2004, 17 Temmuz, 2008, 3 Ekim 2013 ve 25 Kasım 2014 tarihlerinde revize edilmiştir. ÇED Yönetmelikleri değiştirilirken hem kapsamları değiştirilmiş hem de ilk ÇED Yönetmeliğindeki belirsizlikler giderilmeye çalışılmıştır.

ÇED çalışmaları 25.11.2014 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğin Ek-1 (Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi) ve Ek-2 (Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi) olmak üzere iki kapsamda

incelenir. Ek1 listesinde yer alan projeler için "ÇED Gerekli" veya "ÇED Gerekli Değildir" kararı verilir. Ek-2 listesinde yer alan projeler için "ÇED Olumlu" veya "ÇED olumsuz" kararı verilir. ÇED çalışmaları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülür. ÇED Yönetmeliği kapsamında projeler enerji yatırımları, sanayi yatırımları, ulaşım ve kıyı yatırımları, tarım ve gıda, atık kimya tesisleri ve turizm ve konut olmak üzere altı başlık altında değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada 1993 yılından 2014 yılına kadar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmış olan Ek-1 kapsamındaki petrol ve madencilik ÇED kararları ve ÇED Yönetmeliklerindeki değişiklikler incelenmiştir.

2 MATERYAL METOT

Bu çalışmada, 1993 yılından 2014 yılına kadar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanmış ÇED Yönetmeliğinin Ek-1 listesinde yer alan petrol ve madencilik projeleri incelenmiştir. Veriler Bakanlık web sayfasından alınmıştır ve değerlendirilmiştir.

2.1 Madencilik Projeleri ve ÇED Yönetmeliği

1993 yılından 2014 yılına kadar yayınlanmış olan ÇED Yönetmelikleri madencilik sektörü açısından incelendiğinde;

- 1993 ve 1997 yılında yayınlanan yönetmelikler en dar kapsamlı yönetmeliklerdir. Söz konusu yönetmeliklerde; madencilik faaliyetleri kapasiteleri belirtilmemiştir.
- 2002, 2003 ve 2008 yılı yönetmeliklerinde projelerin kapasiteleri belirlenmiş ve madencilik faaliyetleri işletmelerine göre ayrı değerlendirilmiştir.
- 2013 ve 2014 ÇED yönetmeliklerinin kapsamları genişletilmiştir. Ayrıca maden arama faaliyetleri; 30/06/2011 tarih ve 27980 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik gereğince maden, jeotermal kaynak petrol ve doğalgaz arama faaliyetleri ÇED Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmiştir. Yönetmelikler arasında farklılıkların gösterildiği Çizelge 1.'de verilmektedir.

Çizelge 1. ÇED Yönetmeliklerinin madencilik projeleri açısından değerlendirilmesi

	1993	**1997**	**2002**	**2003**	**2008**	**2013**	**2014**
Ek-1 LİSTESİ							
5- Asbest çıkartılması ve asbest içeren ürünleri işleme veya dönüştürme tesisleri:	x	x	x	x	x	x	x
a) Asbest madeni işletmeleri ve zenginleştirme tesisleri,			x	x	x	x	x
b) Son ürün olarak friksiyon (Sürtünme) maddesi üreten 50 ton/yıl ve üzeri kapasiteli tesisler,		x	x	x	x	x	x
c) 200 ton/yıl ve üzeri asbest kullanan diğer tesisler,		x	x	x	x	x	x
ç) 10.000 ton/yıl ve üzeri kapasiteli, son ürünü asbestli beton olan tesisler,		20.000 ton/yıl >	x	x	x	x	x
27- Madencilik projeleri:	x						
a) 25 hektar ve üzeri çalışma alanında (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) açık işletmeler,		X (Alan büyüklüğü belirtilmemiş)	x	x	x	x	x
b) 150 hektarı aşan (Kazı ve döküm alanı toplamı olarak) çalışma alanında açık işletme yöntemi ile kömür çıkarma,			x	x	x	x	x
c) Biyolojik, kimyasal, elektrolitik ya da ısıl işlem yöntemleri uygulanan cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisleri,			20.000 ton/yıl (atık tesisleri yok)	x	x(atık tesisleri dahil değil)	x	x

	1993	1997	2002	2003	2008	2013	2014
ç) 400.000 ton/yıl ve üzeri kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesisler.					100.000 m3/yıl >	x	x
25 hektar ve üzeri alandan hammadde çıkarılması veya her türlü işlemden geçirilmesi projelerinden 100.000 m3/yıl ve üzeri olan tesisler			x	x			
EK-2 LİSTESİ							
49- Madencilik projeleri:			x				
a) Madenlerin çıkarılması, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)		x	x	x	x		x
b) Yıllık 5.000 m^3 ve/veya 250.000 m^2 ve üzeri kapasiteli mermer ve dekoratif taşların kesme, işleme ve sayalama tesisleri,			x	x	x	10 ha	x
c) 1.000.000 m^3/yıl ve üzerinde metan gazının çıkartılması ve depolanması,			x	X (10.000 ton/yıl >)	x	x	x
ç) Karbondioksit, kaya gazı ve diğer gazların çıkartıldığı, depolandığı veya işlendiği tesisler, (Atölye tipi dolum tesisleri hariç)			x(10.000 ton/yıl >)		x	x	x
d) Kırma, eleme, yıkama ve cevher hazırlama işlemlerinden en az birini yapan tesisler, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)			x (Atık tesisleri hariç)	x	x	x	x
e) Cevher zenginleştirme tesisleri ve/veya bu zenginleştirme tesislerine ilişkin atık tesisleri, (Ek-1 listesinde yer almayanlar)			x	x	X	x	x
50.000 ton/yıl ve üzeri tuzun çıkarılması ve/veya her türlü tuz işleme tesisleri.			x	x	x	X(Kapasite belirtilmemiş)	
Aynı sahada toplam 3 000 m ve üzerinde sondajla yapılan aramalar,			x	x	x	x	x
50- Kömür işleme tesisleri (Havagazı ve kok fabrikaları, Kömür briketleme tesisleri, Kömür yıkama tesisleri			x	x	x	x	x
51- Petrokok, kömür ve diğer katı yakıtların depolama, sınıflama ve ambalajlama tesisleri, (Perakende satış birimleri hariç)			x		x	x	x
52- Kireç fabrikaları ve/veya alçı fabrikaları,			x			x	x
Manyezit işleme tesisleri, Perlit ve benzeri maden genleştirme tesisleri,						x	x
55- Maden, petrol ve jeotermal kaynak arama projeleri, (Sismik, elektrik, manyetik, elektromanyetik, jeofizik vb. yöntemle yapılan aramalar hariç)							x

2.2 Madencilik Projelerinin ÇED Kararlarının Değerlendirilmesi

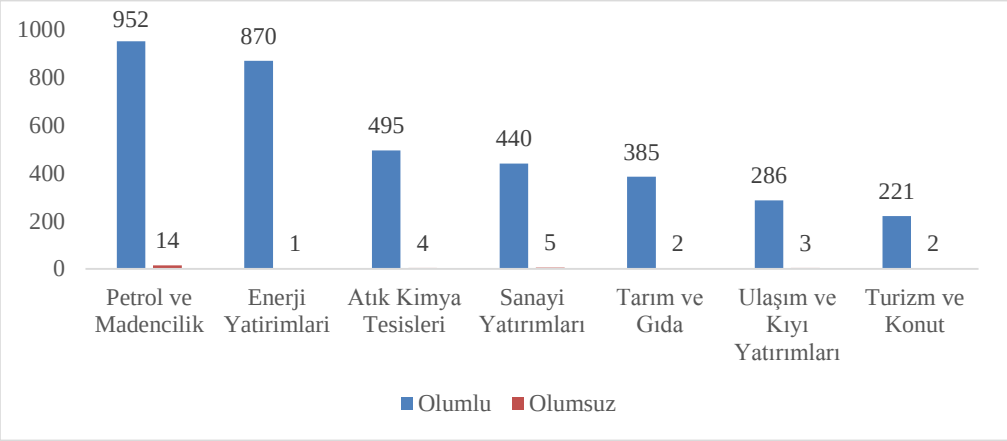
1993 yılından 2014 yılına kadar geçen 21 yıllık sürede toplam 3654 ÇED kararından 31 tanesine olumsuz karar verilmiştir. Bu ÇED kararlarından petrol ve madencilik alanında alınan en fazla ÇED olumlu (966) ve olumsuz (14) karar verilmiştir. İkinci olarak enerji yatırımları ÇED olumlu (870) ve ÇED olumsuz (1) karar verilmiştir. Olumsuz ÇED kararlarının %45,2'i petrol-madencilik, % 16,1 sanayi yatırımları, %12,8 atık kimya tesisleri, %9,7 ulaşım ve kıyı, %6,5 turizm ve konut, %6,5 tarım - gıda ve %3,2'i enerji yatırımları alanında olmuştur. (Şekil 1). Olumsuz ÇED kararlarının dağılımına bakıldığında Kum Ocağı (4), Mermer Ocağı (2), Taş Ocağı, Feldispat Ocağı ve diğer tesislerdir (Şekil 2).

Petrol madencilik projeleri ÇED karar sayısına bakıldığında en fazla kalker ocağı (191) ve kırma eleme tesisleri (77), feldspat ocağı (56) ve altın madenciliği (40) alanında olduğu görülmektedir (Şekil 3).

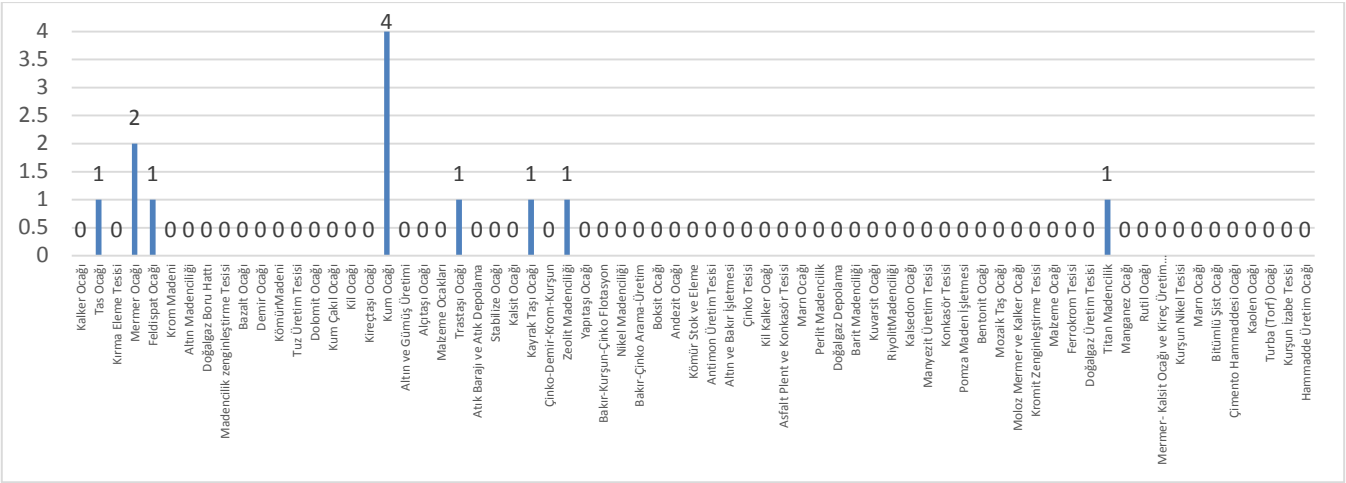
Petrol Madencilik alanında alınan ÇED kararlarının en fazla Marmara ve İç Anadolu Bölgesi'nde,—en az ise Doğu Anadolu bölgesinde olduğu görülmektedir.

ÇED Olumsuz kararların ise en fazla Marmara Bölgesi'nde (7), ikinci olarak Ege

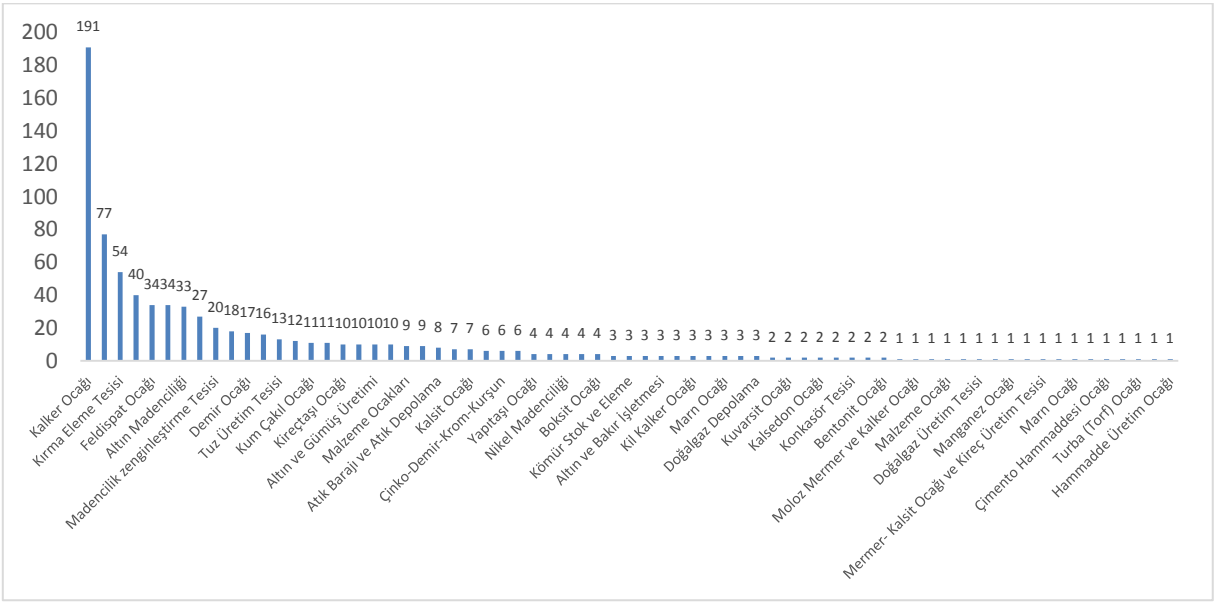
Bölgesi'nde (4) olduğu görülmektedir (Şekil 4).



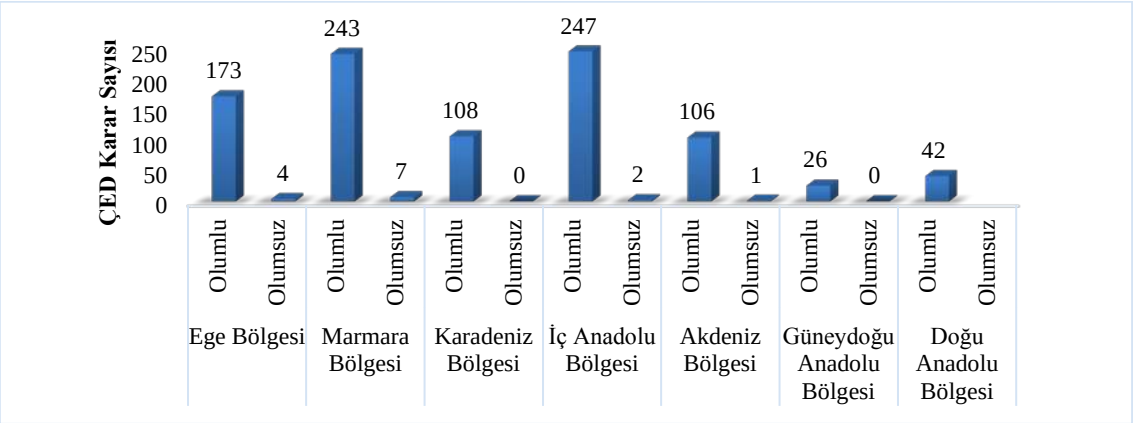
Şekil 1. ÇED Olumlu ve Olumsuz Kararları (25.11.2014)



Şekil 2. Petrol Madencilik projeleri ÇED Olumsuz Kararları (25.11.2014)



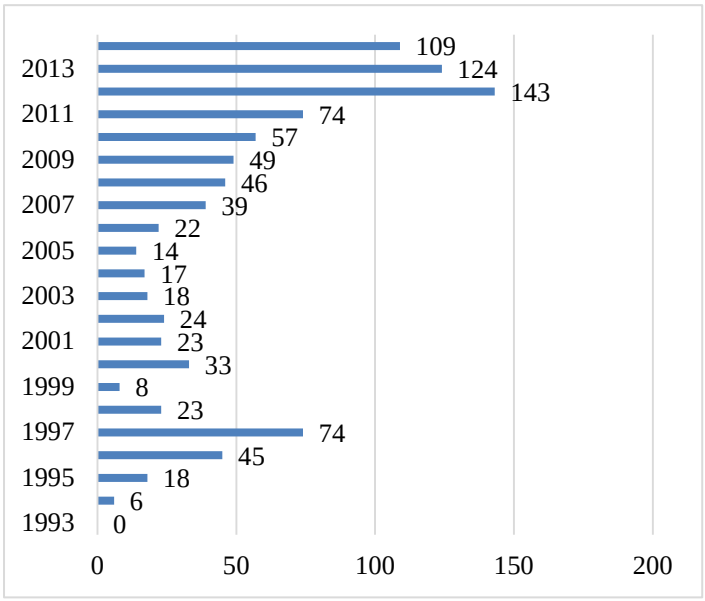
Şekil 3. Petrol-madencilik projeleri gruplara göre ÇED karar sayısı (25.12.2014)



Şekil 4. Petrol-madencilik projeleri ÇED kararlarının bölgelere göre dağılımı

2.3 Madencilik Projelerinin ÇED Kararlarının Yıl Bazında Değerlendirilmesi

1993 yılından 2014 yılına kadar olan petrol madencilik faaliyetleri incelendiğinde özellikle 2011 yılından sonra onaylanan ÇED sayısının fazla olduğunu görmekteyiz. Özellikle kalker ocağı tesislerinin ÇED kararları bu sayıyı arttırmıştır. 2012 yılında 46 adet, 2013 yılında ise 35 adet kalker ocağı için ÇED kararı verilmiştir.



Şekil 5. Petrol Madencilik Projeleri ÇED Kararlarının Yıl Bazında Sayısı (25.11.2014)

3 SONUÇLAR:

Türkiye'de 1982 yılında Çevre Kanunu'nun yayınlanmasına bağlı olarak çıkarılan 1993 yılı Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği hem kapsamı dar hem de yönetmelik uygulanmasında belirsizliklerin olduğu bir yönetmeliktir. Avrupa Birliğine uyum çerçevesinde çıkarılan 2002, 2003 yönetmeliklerinde kapsamların genişletildiği ve uygulamadaki belirsizliklerin giderilmeye çalışmıştır. Toplamda 1993 yılından beri ÇED Yönetmeliği 7 (17 defa değişikliğe uğramıştır) kez revize edilmiş ve en son 25.11.2014 yılında tekrardan yayınlanmıştır. 2013 ve 2014 yılı yönetmeliklerinde madencilik projeleri açısından değerlendirildiğinde önceki yönetmeliklerden farklı olarak cevher zenginleştirme tesisleri faaliyetlerine ek olarak atık tesislerinin dâhil edildiği, tuz işleme tesislerinde kapasite sınırlaması var iken bu sınırlamaların kaldırıldığı, manyezit işleme tesisleri, perlit ve benzeri maden genleştirme tesislerinin bu yönetmeliklerde ÇED kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Ayrıca maden arama faaliyetleri 2013 ve 2014 yılında yayınlanan yönetmeliklerde ÇED Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmeye başlanmıştır.

Bu çalışma; 1993 yılından 2014 yılına kadar ÇED Yönetmeliğindeki değişiklikleri göstermektedir. Yönetmelik kapsamında uygulamaları göstermesi açısından, uygulamalardaki durumumuzu görmek ve

ileriye yönelik planlamalar yapmak açısından önemlidir.

KAYNAKLAR:

Anıl, M., 2014, Parajenezlerinde Sülfürlü Mineraller İçeren Maden Yataklarında Oluşabilecek Asit Kaya (Maden) Drenajlarının Çevresel Etkileri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(1), 1-26.

Christmann, P., Arvanitidis, N., Martins, L., Recoché, G., Solar, S., 2007, Towards the sustainable use of mineral resources: a European geological surveys perspective Miner. Energy – Raw Mater. Rep., 22 (3–4), 88–104.

Castilla-Gómez, J., Herrera-Herbert, J., 2014, Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact assessment Minerals Engineering.

CSB, 2013, Çevresel Etki Değerlendirme Etkiler-Önlemler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 176syf.

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi 25.11.2014, Sayısı29186

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi 07.02.1993, Sayısı21489

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi 23.06.1997, Sayısı 23028

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Resmi Gazete Tarihi 06.06.2002, Sayısı24777

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Resmi Gazete Tarihi 16.12.2003, Sayısı25318

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Resmi Gazete Tarihi 17.07.2008, Sayısı 26939

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği Resmi Gazete Tarihi 03.10.2013, Sayısı 28784

Madencilik Faaliyetlerine Ait Çevresel Etki Değerlendirme Raporlarında Kümülatif Etki Kavramı

Cumulative Impact Concept in Environmental Impact Assessment Reports of the Mining Operations

E.Doğutepe
Çevre Y. Mühendisi, Çevre Baş Mühendisi, Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Ankara

ÖZET Madencilik ve enerji yatırımları başta olmak üzere tüm sektörlerin son dönemde tartıştığı en güncel konularından biri "çevresel kümülatif etki" kavramıdır. Yatırımcılar için çevresel kümülatif etki, planlanan her yeni projede büyük bir belirsizlik ve çözümsüz bir sorun olarak geri dönmektedir. Bu belirsizliği yaratan en büyük unsur, ülkemiz mevzuatlarında henüz kümülatif etki kavramının belli sınırlar içerisine oturtulmamış olmasıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı' nın, Hidroelektrik Santraller için Dünya Bankası ile birlikte hazırlamış olduğu kılavuz dokümanın dışında, uygulayıcı ve denetleyicilerin "kümülatif etki" çalışmalarında nasıl yol izlemesi gerektiğini ifade edici hiçbir doküman, kılavuz ve belge bulunmamaktadır. Buna rağmen, madencilik sektörü faaliyetlerinin ÇED Kararları, raporda kümülatif etki değerlendirme olmaması nedeniyle reddedilmektedir. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin "Genel Formatı" içerisine yalnızca bir başlık şeklinde giren kümülatif etki kavramı, madencilik sektörü temsilcilerinin, hukuk karşısında elini kolunu bağlamıştır. Bu süreçte yapılması gereken en öncelikli hareket, kümülatif etki değerlendirmesinin yapılabilmesine yön verici olabilecek tek muhatabın, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı' nın, konuyla ilgili ivedi yasal düzenlemeye gitmesidir. Elbette bu sürecin nasıl ve ne zaman işletilebileceği ile ilgi bir zaman dilimi tahmin etmek mümkün değildir. Dolayısıyla sektör temsilcilerinin bu belirsizlik nedeniyle yatırımlarını gerçekleştirmede zaman kaybetmesi kabul edilebilir olamaz. Her ne kadar kümülatif etki değerlendirme için resmi bir kılavuz yayınlanmamış olsa da, firmaların yeni başlatacağı yatırımlar için konusunda uzman kişiler tarafından yapılacak yasal zemine oturtulmuş bilimsel çalışmalar ile "doğru" çevresel kümülatif etki değerlendirme yapması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirme, madencilik, kümülatif etki kavramı

ABSTRACT The most current debated subject for all but primarily mining and energy sectors is "cumulative environmental impact" term. Cumulative environmental impact becomes an unsolved problem and a major uncertainty in each planned project for investors. The most important factor, which causes this uncertainty is that cumulative impact term has yet not been defined with certain terms in local laws and regulations. Except the guiding document prepared by Ministry of Environment and Urban Planning and World Bank together, there aren't any documents, guides or paper for implementers and inspectors using. However, the EIA decisions of mining operations are rejected by cumulative impact assessment reason. Cumulative Impact term, which is included in the "General Format" of EIA Regulations as just one header binds the mining sector representatives legally. The primary action to be taken during this period is that, as the unit authority, Ministry of Environment and Urban Planning must urgently make legal regulations. It is certainly impossible to estimate the time and way of running this process. Thus, it is not acceptable for investors to waste time by this uncertainty. Although there is no official guide published for cumulative impact assessment, it is possible for the companies to have "straight" cumulative

environment affect assessment with legal scientific studies made by qualified experts for their new investments.

Keywords: Environmental impact assessment, mining, cumulative impact concept

1 GİRİŞ

İlk olarak 1993 yılında yayımlanan ve en son 25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren ÇED Yönetmeliği gereği, yönetmeliğin Ek-1 ve Ek-2 listelerinde kapasiteleri belirlenmiş olan madencilik ve cevher zenginleştirme tesisleri için ÇED Raporları veya Proje Tanıtım Dosyaları hazırlatılmaktadır. Bugüne kadar herhangi bir madencilik faaliyeti için hazırlatılıp sunulmuş olan ve ÇED Gerekli Değildir Kararı alınmış olan Proje Tanıtım Dosyası ile ilgili olarak "kümülatif etki değerlendirme" nedeniyle karşılaşılmış olumsuz bir durum söz konusu olmamıştır. Ancak yönetmeliğin Ek-1 listesinde yer alan Çanakkale bölgesindeki madencilik faaliyetlerinin ÇED raporlarında "kümülatif etki değerlendirme" olmaması nedeniyle ÇED Olumlu Kararları iptal edilmiştir.

Bu olumsuz karar daha sonra sunulacak olan ÇED Raporları ve çıkacak ÇED Olumlu Kararları için emsal teşkil edebilecektir. Dolayısıyla sektör temsilcilerinin "kümülatif etki değerlendirme" konusunda ortak bir payda da birleşmesi, çalışmalarında ortak bir metot belirleyerek hazırlayacakları ÇED Raporlarında bu yöntemlerle yol alması, yasal belirsizliğin olduğu ve herkesin farklı yorumladığı bu süreci aşmada büyük kolaylık sağlayacaktır.

2 ÇED RAPORLARINDA KÜMÜLATİF ETKİ DEĞERLENDİRMENİN YERİ

ÇED, bir faaliyetin gerçekleşmeden önce, fizibilite çalışmaları tamamlandıktan sonra, mevzuatlar çerçevesinde ele alınan çevresel etkilerinin değerlendirilmesi neticesinde, etkilerin şiddeti ve etki yoğunluğu göz önünde bulundurularak faaliyetin o bölgede yapılıp yapılamayacağına karar verildiği bir süreçtir. Bu sürece dahil olan çok sayıda paydaş bulunmaktadır. Bu paydaşlar, faaliyet sahibi, ÇED Raporunu hazırlamaya yetkili danışman firma, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, yöre halkı başta olmak üzere tüm resmi kurum ve kuruluşlar, sivil toplum örgütleri ve üniversitelerdir. ÇED Yönetmeliği gereği ilgili Bakanlık tarafından verilen format doğrultusunda hazırlanan ÇED Raporları, bu süreç içerisinde komisyon üyesi olarak belirlenmiş olan resmi ve diğer kurum kuruluşların mevzuatlara dayanarak belirttikleri görüşleri doğrultusunda değerlendirilir.

1993 yılında ilk yönetmeliğin yayımlanması ile birlikte Ek-1 ve Ek-2 listelerindeki faaliyetlere ait başvurular, sektörlerin yoğunluk gösterdiği bölgelerin ortaya çıkmasında ve bu bölgelerde tedbir alınması konusunda çalışmaların başlatılmasında etkili olmuştur. Ağır sanayi, termik santraller ve çimento fabrikaları gibi kaynak ihtiyacı ve lojistik ihtiyaçlardan dolayı aynı bölgelerde yoğunlaşan faaliyetler ile madencilik sektörü gibi yer alternatifi bulunmayan faaliyetler her zaman yöresel hassasiyetlerin oluşmasına neden olmuştur. ÇED mevzuatının yürürlüğe girmesi ile birlikte Ek-1 faaliyetleri için yapılan halkın katılımı toplantıları, yöre halkının bu gibi çevresel sorunlarını duyurabildiği önemli ve güncel platformlar olmuştur. ÇED yönetmeliğinin uygulanmaya başladığı ve halkın tepkilerinin yoğunlaştığı dönemlerde, Çevre Bakanlığı tarafından, yöresel anlamda yoğunluk gösteren faaliyetlerin yarattığı hava kalitesi etkilerini "kümülatif "olarak ele alan birtakım projeler üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan en önemlileri İzmir-Aliağa, Kocaeli-Dilovası ve Hatay-İskenderun bölgeleri gelmekteydi. Bu bölgelerde mevzuatlara göre sınır değerlerin tespiti sonrasında yapılan hava kalitesi çalışmaları sonucunda, bölgede yapılacak her yeni sanayi tesisi başvurusu için bölgenin taşıma kapasitesi, hava kalitesi kümülatif etkileri göz önünde bulundurularak

değerlendirilmiştir; Şimşir ve Bayram (2011), TMMOB İzmir İl Koordinasyon Kurulu (2012). Ancak bu güne kadar madencilik faaliyetlerinden dolayı çevresel kümülatif etkilerin ortaya konduğu Bakanlık yada bir başka resmi kurum tarafından yürütülmüş bir proje bulunmamaktadır.

25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan ÇED Yönetmeliği ekindeki "Genel Format "içerisinde bir başlık şeklinde değerlendirilen kümülatif etki kavramı, madencilik sektörünün bundan sonraki döneminde mutlak suretle tüm ÇED çalışmalarında ele alması gereken bir başlık olmalıdır.

Dünyada, Amerika ve Avrupa Birliği ülkelerinde kümülatif etki değerlendirme 90'lı yıllardan beri ele alınmakta olup bu konuyla ilgili kılavuz ve yönetmelikler yayımlanmıştır. Madencilik faaliyetleri için de yine dünyanın farklı ülkelerinde yapılmış çeşitli kümülatif etki değerlendirme raporlarına ulaşmak mümkündür; Council on Environmental Quality Executive Office of the President (1997), EC DG XI Environment (1999). Ancak çok önemli bir nokta burada unutulmamalıdır. Hiçbir zaman bir ülkenin mevzuatları ve o ülkede uygulanan projeler bir başka ülke için birebir uygulanabilir ve çözümleyici olamaz. Sosyal, kültürel, ekonomik, coğrafik ve benzeri birçok etken değerlendirilerek, yapılmış olan çalışmalar kılavuz alınmalı kendi ülkemize ve projelerimize özel çalışmalar geliştirilmelidir. Uygulanamayan, sorunlara çözüm olamayan projeler için harcanan zaman ve bütçeyi karşılayabilecek kapasiteye sahip bir ülkede yaşamadığımızı bir kez daha hatırlamak gerekir.

Bu nedenledir ki mahkemelerin vermiş olduğu iptal kararları, madencilik sektörü için hazırlanacak olan ÇED Raporu çalışmaları için milat olarak alınmalı ve ÇED Raporlarında kümülatif etki değerlendirme mutlaka bir başlık olarak ele alınmalıdır.

Sektör temsilcilerini bu konu hakkında tek bir paydada buluşturabilmek adına aşağıda kümülatif etki değerlendirme çalışmalarının ana unsurları açıklanmaya çalışılmıştır. Her bir yatırımcıyı ve uygulayıcıyı, belirlenmiş resmi bir sınırı olmadığı için farklı düşündüren "kümülatif" kavramını somutlaştırmak, çözüm odaklı olabilmesini sağlamak için şu sorulara cevap verebilmek gerekir.

- Hangi parametreler kümülatif etki değerlendirme kapsamında ele alınmalıdır?
- Ne kadarlık bir alan içerisinde bu etkiler değerlendirilmelidir?
- Ne kadar süre ile kümülatif etki değerlendirme izlenmelidir?

Bu üç soruya karşılık gelecek somut yaklaşımlar, belirsizlik süreci içerisinde sektöre çok önemli yol gösterici kaynak olacaktır

3 KÜMÜLATİF ETKİ DEĞERLENDİRME KAPSAMINDA ELE ALINACAK ETKİLERİN BELİRLENMESİ

Bir madencilik faaliyeti için kümülatif etki değerlendirme çalışmaları, ÇED süreci içerisinde yapılan çalışmaların kapsamı biraz daha genişletilerek kolay şekilde yapılabilir. Çünkü kümülatif etkileri değerlendirilecek parametreler ÇED Yönetmeliği kapsamında ele alınan parametrelerden farklı olmayacaktır. Bir madencilik faaliyeti için çevresel etkileri değerlendirilecek parametreler şunlardır:

- Hava Kalitesi Etkisi
- Gürültü ve Vibrasyon Etkisi
- Yüzey ve Yeraltı Suyu Etkisi
- Toprak Kalitesi Etkisi
- Flora-Fauna (Doğal Yaşam) Etkisi
- Arazi Kullanım Etkisi(tarım, mera, orman alanları v.b.)
- Yöreye Özgü Özel Alan Etkileri (korunan alanlar, peyzaj alanları, kültürel miras alanları, altyapı projeleri, sosyo-kültürel yapı v.b.)

Bu parametrelerin azaltılması yada arttırılması projenin türü ve proje alanının bulunduğu topografya göz önünde bulundurularak çalışmaları yapacak uzmanlarca değerlendirilmelidir. Örneğin kapsamında atık barajı bulunacak olan faaliyetler için bu parametrelere jeoteknik etüt değerlendirmeleri dahil edilebilir, öte

yandan yeraltı madencilik faaliyetlerinde yeraltı suyuna ilişkin değerlendirilmesi gereken daha farklı parametreler söz konusu olabilecektir. Sonuç olarak iş akım şemasına göre ele alınacak kriterler de değişebilecektir.

Etki parametreleri belirlenirken faaliyeti çok iyi tanımlayabilmek gerekir. İş süreç mekanizmasının doğru tanımlanması ortaya çıkabilecek etkilerin de doğru ele alınmasını sağlayacaktır. Örneğin açık ocak madencilik faaliyetinden kaynaklanacak etkiler, yeraltı madenciliğinden kaynaklanacak etkiler, cevher zenginleştirme tesislerinden kaynaklanacak etkiler ve atık barajlarının yaratabileceği etkiler biribirine benzer olabileceği gibi büyük farklılıklar da gösterecektir.

Parametrelerin belirlenmesinin ardından bir faaliyetin o bölgede yaratabileceği kümülatif etkilerin ortaya konabilmesi için faaliyete başlanmadan önceki mevcut durumun yani arazinin güncel kullanım durumunun doğru analiz edilmesi gerekir.

4 KÜMÜLATİF ETKİ DEĞERLENDİRMENİN YAPILACAĞI PROJENİN ETKİ ALANININ BELİRLENMESİ VE MEVCUT DURUM TESPİTİ

Madencilik faaliyetinin gerçekleştirileceği bölgenin, mevcut durum tespiti için teknik değerlendirme kadar madencinin bu işler için ayıracağı bütçe de en az bu durum kadar önemlidir. Her yatırımcı, her madencilik faaliyeti için aynı fizibilite ve izin süreci bütçesine sahip değildir. Dolayısıyla büyük bir yük ve angarya olarak görülen ÇED öncesi çevresel veri toplama çalışmaları, sektörde önyargıların oluşmasına, konunun çözümsüzmüş gibi bir olgu olarak geri dönmesine neden olmaktadır. Ancak şu bir gerçektir ki, konu ile ilgili olarak hiçbir bütçe ayırmadan da bu yasal süreçleri doğru şekilde geçmek mümkün olamayacaktır. Ve bu durum, beraberinde yatırımların gerçekleştirilemeyeceği yasal engeller olarak geri dönecektir.

Proje alanının mevcut durum tespiti çalışmaları için belirlenen parametrelerin saha ölçümlerinin başlatılabilmesi için masa başı ve ön arazi çalışmaları ile proje alanı topografyasının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Masa başı çalışmaları proje alanına ait çeşitli ölçeklerdeki haritaların (topografik, jeolojik v.b.), resmi kurumlardan elde edilebilecek özel haritaların (meşcere, çevre düzeni, arazi kullanımı, korunan alanlar v.s.), yöreye has sosyo-kültürel yapıyı yansıtan kayıtlı verilerin, bölgedeki diğer sektörler ve faaliyetlere ait verilerin detaylı olarak toplanmasını içermelidir. Veri tabanı ne kadar zengin tutulursa yapılacak çalışmanın gerçekliği o kadar yüksek olacaktır. Kümülatif etki değerlendirmenin önemli noktalarından birisi de proje etki alanı içerisinde kalan, madencilik faaliyeti öncesi bölgede var olan ve ayrıca izinleri onaylanmış henüz faaliyete geçmemiş olan tüm yatırımların da kümülatif etki içerisinde ele alınması gerekliliğidir. Ülkemizde yatırımı planlanmış ve ÇED olurları alınmış tüm projelere ait veriler İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüklerine başvurularak sağlanabilmektedir.

Ön saha çalışmaları ve literatür taramalarının tamamlanmasının ardından mevcut durum tespiti çalışmalarının başlatılabilmesi için "taslak etki" alanı belirleme çalışmasının yapılması gerekmektedir. Bu aşamadaki etki alanının "taslak" olarak tanımlanmasındaki amaç saha ölçümlerinin henüz yapılmamış olmasından kaynaklı net etki alanının belirlenemeyecek olmasıdır. Taslak alan belirlenirken en yakın yerleşim yerleri, faaliyetin içerisinde bulunduğu su toplama havzası, yöredeki hassas yapılar, halihazırda işlemekte olan tesisler dikkate alınmalıdır. Bu ve benzeri noktalar ele alınarak hava, su, toprak, gürültü v.b. çevresel parametrelerin ölçüm noktaları harita üzerinde ve saha çalışmaları ile yerinde gözlem yapılarak belirlenmelidir.

Tüm bu ölçüm çalışmalarının bir sefere mahsus yapılması mevcut durum tespiti için yeterli olmayacaktır. Çünkü mevsimsel şartlar göz önüne alındığında bölgenin yağışlı yada kurak mevsimi gibi hem ekosistem üzerinde hem de su kaynakları

açısından farklı etkiler yaratabilecek dönemler mutlaka ayrı ayrı ele alınmalıdır. Diğer yandan flora incelemelerinde vejetasyon dönemi olarak bilinen ilkbahar-yaz ayları, faunalar için üreme dönemleri gibi yılın belli zamanlarında yapılacak arazi etütleri yine çevresel veri toplama çalışmalarının yılda en az iki defa yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Her bir arazi incelemesi, her bir analiz yatırımcı için ek maliyet getirmiş olsa da bu çalışmaların, işinde uzman kişilerce mevzuatlara uygun koşullarda yapılması ve sunulması madencinin yatırımının hukuk karşısındaki teminatı olacaktır.

Tüm saha ölçümleri yapılıp analiz sonuçları alındıktan sonra projenin kapasitesi yani üretim miktarları dikkate alınarak çalışmaların en başında belirlenmiş olan tüm çevresel ve sosyal etki parametreleri için ayrı ayrı etki alanı mesafeleri belirlenmelidir. Proje alanının coğrafik konumu, meteorolojik şartlar, bölgenin sosyal yapısı tek bir etki alanı içerisinde değerlendirildiğinde sağlıklı bir netice elde edilmesi söz konusu olamayacaktır. Örneğin İç Anadolu'da düz bir topografyada su kalitesi izleme için belirlenecek etki alanı mesafesi, Doğu Anadolu'da dik ve engebeli bir arazide belirlenecek etki alanı mesafesi ile aynı olduğu takdirde yapılan çalışma doğru sonuç vermeyecektir. Öte yandan hava kalitesi değerlendirmesi yaparken topografik olarak hiçbir engel olmayan alanlardaki kirletici yayılımı ile engebeli bir arazideki yayılım yine aynı olmayacaktır. Bu nedenle her bir proje için ve her bir parametre için ayrı etki alanları belirlenmelidir.

Kümülatif etki değerlendirmeye yöredeki işletilmekte olan tesisler ve planlanan projeler dahil edilirken, analiz sonuçlarına ve mevzuatlarda belirtilen kabul edilebilir sınır şartlarına göre netleştirilen, etki alanı içerisine giren faaliyetler dikkate alınır. Parametreler incelenirken etki alanında var olan faaliyetin yine aynı parametre etkisi kümülatif etki içerisine dahil edilir. Sonuç olarak mevcutta var olan etki, planlanan madencilik faaliyetinin işletmeye başlaması ile birlikte oluşabilecek etki ve ÇED Oluru almış planlanan bir başka faaliyetin etkisi de detaylı olarak kümülatif etkiye dahil edilmiş olacaktır. Analitik olarak hesaplanabilecek çevresel etki parametrelerinin yanı sıra, sosyal etki değerlendirme gibi daha soyut parametrelerin de kümülatif etki içerisinde ele alınması gerekir.

Madencilik sektörünün, son 20 yıldır ÇED Yönetmeliği ile birlikte yoğun şekilde gündemine giren sosyal etki değerlendirme, en yakın yerleşim yerleri başta olmak üzere, bölgesel ve hatta bazı projelerin hassasiyetine göre ulusal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Sosyo-kültürel yapının kümülatif etki değerlendirme kapsamı, bölgedeki insanların yaşam tarzlarının, gelir düzeylerinin, beklentilerinin ortaya konacağı anket ve görüşme toplantıları ile belirlenmelidir. Diğer yandan Muhtarlıklar, Belediye ve Kaymakamlıklardan alınacak veriler ile de desteklenen bilgiler yöre insanına özgü sosyal sorumluluk projelerinin oluşturulmasında faydalı olacaktır. Faaliyetin başlaması ile meydana gelecek yöresel farklılıkların ardından, sonlu projeler olan madencilik faaliyetlerinin o bölgeden ayrılması sonrası oluşabilecek etkilerinde kümülatif etki altında ele alınması gerekmektedir.

5 ÇEVRESEL ETKİ PARAMETRELERİNİN NE KADAR SÜRE İLE İZLENMESİ GEREKTİĞİ

Bilindiği gibi çevresel etki parametreleri, ÇED Yönetmeliği kapsamında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan komisyon tarafından belirlenen sürelerce izlenmektedir. Ancak bu süreler, faaliyetlere özgü oluşması muhtemel etkiler bazında değil, rutin olarak tüm faaliyet türleri için verilen aynı tip zaman dilimleri haline gelmiştir. Oysaki her bir proje, kendi özelinde bulunduğu coğrafya, iklim ve çevresel kirletici yoğunluklarına göre etkiler yaratacağından bu durum göz önüne alınarak izleme süresi belirlenmelidir. Kümülatif etki değerlendirme sürecinin izlenmesi gereken zaman dilimi, çalışmaların yasal platformda da geçerliliğinin olabilmesi için ÇED

komisyonunun ön gördüğü izleme süresince yapılabileceği gibi, çalışmaları yapacak uzmanlarca parametreler için ayrı ayrı izleme süreleri belirlenerek de yapılabilir.

Bir madencilik faaliyetinde hava kalitesi etkileri faaliyetin sona ermesi ile birlikte son bulurken, su kalitesi etkisi uzun yıllar izlenmesi gereken bir parametre olabilmektedir. Dolayısıyla etki alanı mesafesi belirlenirken izlenen yöntem izleme periyotları belirlenirken de uygulanmalıdır. Her bir parametre için, kirletici yoğunluğu ve etkileyeceği alan göz önünde bulundurularak izleme süresi belirlenmelidir. Sürecin bu şekilde işletilmesi proje bütçesinin de ekonomik kullanılmasını sağlayacak, gereksiz tür ve sayıda analiz yapılmasının önüne geçilecektir.

Asıl üzerinde durulması gereken önemli husus, madencilik faaliyetlerinde ÇED Yönetmeliği kapsamında kapama sonrası izleme sürelerinin, Maden Kanunu'nun tanımış olduğu ruhsat hakkı süreleri ile örtüşmemesidir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından, ÇED Yönetmeliği EK-1 listesinde yer alan faaliyetlerin Nihai ÇED Raporlarında, faaliyetin arazi hazırlık, işletme, kapama ve kapama sonrası izleme süreleri ile ilgili olarak 5 yıl, 10 yıl, 15 yıl ve/veya 30 yıllık izleme yapılması için taahhütler verilmesi talep edilmektedir. Özellikle ruhsat sahası içerisinde, 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik çerçevesinde 1inci ve 2nci sınıf olarak tanımlanmış bir atık barajı mevcut ise bu süre 30 yıl olarak belirlenmektedir.

Ancak Maden Kanununa göre bir ruhsat için verilen işletme izni süresince yada izin süresinden daha kısa zaman içerisinde rezervin tamamı üretilir ise ve devamında üretime değer rezerv bildirimi yapılamıyor ise ruhsat hakkı sonlandırılır. Bu durumda Nihai ÇED Raporlarında belirtilen uzun dönemli izleme süreçleri için birbiri ile örtüşmeyen mevzuatların yarattığı problemler ortaya çıkabilir. Ruhsat sahasında resmi hakkınız ortadan kalktıktan sonra sahanın başka bir firmaya devredilmesi sonrasında bir önceki proje için izleme yapılabilmesi sıkıntılara neden olabilecektir.

Sonuç olarak, ülkemizdeki altın madenciliği sektörü başta olmak üzere, tüm madencilik faaliyetlerinin izin süreçlerini sağlam temellere dayandırılabilmesi, yasal düzenlemelerin doğru çerçeve içerisinde tanımlanabilmesi ile mümkündür. Kişilerin uzmanlıkları doğrultusunda oluşturdukları sınırlar ve bu sınırlar içerisinde yapılmaya çalışılan teknik araştırma ve analizler ne kadar doğru ve bilimsel olursa olsun, yasal dayanağı olmadığı surece hukuk önünde her zaman zayıf kalacaktır. Bu nedenle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından vakit kaybetmeden "çevresel kümülatif etki değerlendirme"nin yasal çerçevesinin çizilmesi gerekmektedir.

Yasal şartları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen kümülatif etki değerlendirme süreci için yapılması gereken tüm çalışmalar ÇED yönetmeliği çerçevesinde hazırlanan ÇED raporları içerisinde sunulmalıdır. Faaliyet sahibi adına, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş olan firmalarca ÇED süreci içerisinde, kümülatif etki değerlendirme çalışmaları çevresel veri toplama sürecine paralel olarak yürütülmelidir. Kümülatif etki değerlendirme çalışmaları için gerekli olan çevresel parametrelere ait veriler ise yine Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve/veya taşra teşkilatları tarafından hazırlanmalıdır. Bölgesel olarak faaliyet gösteren yada ÇED oluru almış ileriye dönük olarak faaliyete başlayacak olan her türlü işletmeye ait veri bu şekilde resmi dayak altına alınmış olacaktır. Dolayısıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yasal düzenlemeleri gerçekleştirilmesi, bölgesel veri tabanlarını oluşturulması sonrasında çevresel kümülatif etki değerlendirme çalışmaları ÇED uzmanlarınca ÇED süreci içerisinde tamamlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Council on Environmental Quality Executive Office of the President, 1997. *Under the National Environmental Policy Act, Considering Cumulative Effects*,

EC DG XI Environment, 1999. *Nuclear Safety & Civil Protection, Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*

Şimşir S, 2011. *Sanayi Bölgelerinde Uçucu Organik Bileşik(VOC) Emisyonlarının Envanteri ve Modellemesi*

TMMOB İzmir İl Koordinasyon Kurulu, 2012. *Aliağa Bölgesi Değerlendirme Raporu*

Maden Kanunu 1985.

ÇED Yönetmeliği 2014.

Şırnak Kömür Madeni Atık Marn-Şeyl Yığınlarının Zirai Tarım Alanı Olarak Rekültivasyonu ve Çevre Etki Değerlendirmesi

Agricultural Recultivation for Şırnak Coal Mine Marn-Shale Fill Dumps and Environmental Impact Assessment

Y. İ. Tosun
Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl.

ÖZET Şırnak atık yığın etek şevlerinin üzerine, kömür madenciliği devam ederken toprak örtü kaplanarak tarım arazisine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Yöre toprağı ve humus (organik zemin) ile Şırnak kazan taban külü malzemeyi kapsayan üst zemin toprak oluşturularak bir arazi iyileştirme uygulaması yapılmıştır. İki farklı doğal humus ve kül karışımı alanlar toprak özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Doğal toprak ve humus belirli oranlarda karıştırılarak toprağın organik karbon içeriği arttırılmış ve genellikle topraklarda yetersiz miktarda bulunan kullanılabilir fosfor içeriği geliştirilmiştir. Mevcut potasyum ve magnezyum muhtevası kazan külü ile iyileştirilmiştir. Toprağın besin içeriği hem organik karbon hem de K ve Mg içeriği ile iyileştirilmiştir. pH 7,1 ile 8,2 arasında değişmiştir. Ortalama P and K içerikleri Avgamasya S3 and S4 şevlerinde sırasıyla 20 and 40 mg/kg olmuştur. Sonuç olarak, humus ve kazan külü ile ıslah toprak kalitesi geliştirilebilmektedir. Erozyon toprağın organik karbon ve azot içeriğini düşürmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kömür, çevre etki değerlendirilmesi, zirai tarım

ABSTRACT During coal mining the agricultural recultivation with the landfill cover over waste dump slopes was aimed. The local earth soil, Şırnak boiler bottom ash and humous (as organic soil) were used. Two different organic soil mixture in the study field were compared. Natural soil and humous were mixed at certain levels in order to improve the organic carbon and the phosphorous contents. Available potasium and magnezium contents were improved by the bottom ash. The average pH ranges from 7.1 to 8.2 at the dumping slope sites. Average available P and K levels were over 20 and 40 mg/kg, respectively at both Avgamasya S3 and S4 sites. Finally, the quality of the recultivated land soil was developed with the bottom ash and humuous. The organic carbon and nitrogen levels at the tailings site were low due to topsoil loss.

Keywords: Coal, environmental impact assessment, agricultural reculvitation

1 GİRİŞ

Kömür Madencilik faaliyetlerinde oluşan atıklar çevreyi hem doğal hem de ekonomik olarak tehdit etmektedir. Diğer endüstriyel üretim faaliyetleri gibi kömür madenciliğin de atıklar için eğer gerekli önlemler alınmaz ise çevre açısından olumsuz sonuçlar doğabilmektedir. Kömür madenciliğinde çıkarılan atık malzemenin genelde çok büyük bir kısmı ekonomik değer taşımamaktadır. Özellikle açık ocaklarda çıkan hafriyat şeyl geride çevreye ve doğal yaşamı tehdit eden sahalar oluşturmaktadır. Sahada depolanması ve tehdit oluşturmadan çevreye kazandırılması gerekmektedir. Şırnak ili kömür ocaklarının atıl olarak bırakılan şeyl ve marn yığınları 20-30 m yükseklikte, şehir yerleşimine hatta Üniversite kampüsü ne 1,2 km yakın bir konumda bulunmaktadır. Kötü

yönetilmesi durumunda önemli çevresel ve ekolojik tehdit oluşturma riski vardır. Kayaç dokusundaki sülfürlü mineraller suyun asidik karakterli biyolojik dere ve göl besin zincirini tehdit oluşturur (Vadillo vd., 1999, Wu ve Hilger, 1984). Kömür madeni atık yığınları ve bozulmuş topografya günümüzde iyi değerlendirilerek tarıma kazandırılabilir.
Maden atık yönetiminde birincil amaç, maden atık alanlarının toprak örtüsü ile çöp sahalarının gömülmesi gibi örtülmesi olmaktadır (Mc Bean vd., 1995, Tchobanoglous vd., 1977, Tchobanoglous 1993). Fizibilite olarak Şırnak Avgamasya yöresi toprak örtüsü veya humuslu toprak örtüsü belirli derinlikte ve sulama sistemi ile çevreye çok yararlı hale getirilmektedir. Ancak kömür ocağı işletmeciliğinde açığa çıkan asidik maden sularının nötralize edilerek sulama sisteminde değerlendirilmesi gerekmektedir (Kumar vd, 2006, Kjeldsen vd. 1998).

Günümüzde, kömür maden atık sahaları için, duraylılık ve çevresel performans kriterlerini sağlayabilecek şekilde toprak örtülmesi ve ileri mühendislik tasarımları oluşturulması gerekmektedir (Mallı vd., 2011, Delibalta, 2012). Maden atıkları ile ilgili küresel ve Avrupa Birliği (AB) düzeyinde yapılan sıkı yasal düzenlemeler neticesinde kömür madenciliğinde "Atık Yönetim İşletmeciliği" gerekir (Ünal vd., 1996, Şimşir vd. 2007).

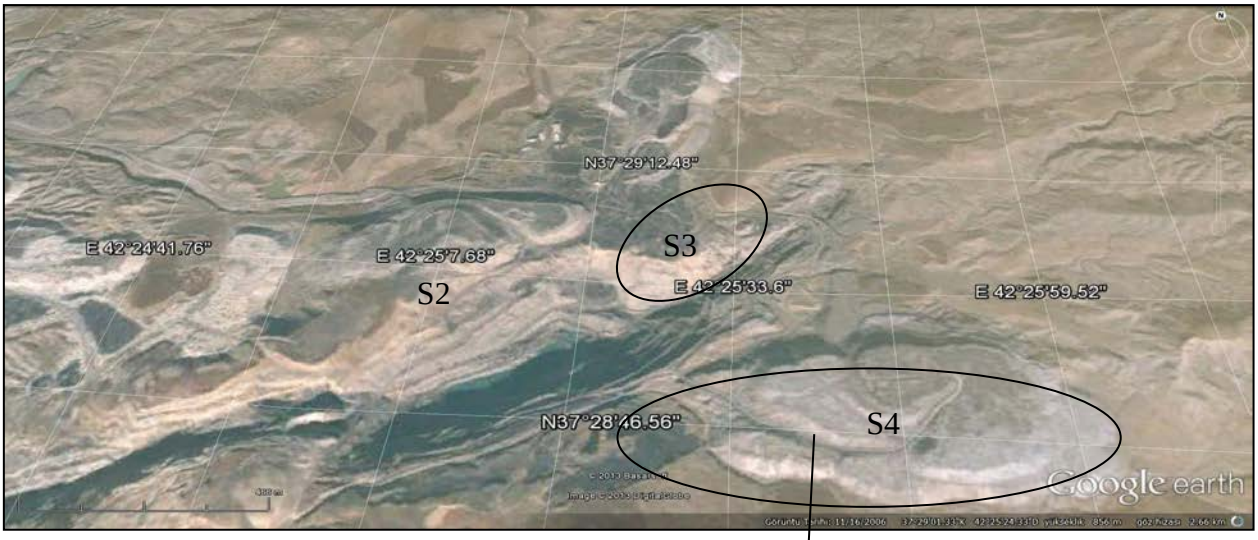
Maden atıklarının kimyasal olarak çevreyi kirlettiği ve yağmur sularının asidik sulara dönüşerek toprağın faydalı minerallerini çözerek kısırlaştırdığını tespit etmişlerdir (Singh, 2009, Eyüpoğlu vd., 1996). Ayrıca bitki büyümesini engelleyen bor flor klor gibi anyonların suya karışmasına neden olduğu belirlenmiştir (Singh, 2010, Kjeldsen vd., 1998). Bu nedenle pH gibi parametrelerin toprak oluşturulmasında önemli olduğu ve takip edilmesi gerekliliği tanımlanmıştır (Ryan, 1985, Poulsen vd., 2005). Organik karbonun varlığı da suni oluşturulan topraklarda en önemli bileşen olmuştur (Çimrin ve Boysan, 2006). Ayrıca P ve K içeren gübreler gibi bitki büyümesi sağlayacak gübrelerle beslenmesi gerekliliği belirlenmiştir. P ve K seviyeleri 20 and 40 mg/kg üzerlerindeki değerlerde başarılı bitki büyümesi sağlamıştır. Ayrıca toprağın geçirimliliği de önemli olduğu tanımlanmıştır (Eyüpoğlu vd., 1996).

Kömür madenciliğinde ekonomik değer taşımayan yan kayacı sürekli olarak atık sahalarında istiflenmektedir. Bu yan kayaç kil minerallerini ve sülfürlü demir minerali piriti içerir ve toprağın asidikliğini su ile reaksiyona girerek arttırır. Şırnak ili ocak çevresinde bu dökümler geniş bir alanı (yaklaşık 30 hektar) oluşturmaktadır. Maden işletmecilik mevzuatı ile uyumlu olarak, bir peyzaj ıslahı veya rekultivasyon istenmektedir. Arazinin bitki büyümesine izin veren en ideal ve pratik iyileştirme işlemi doğal humus ile toprak kaplama yaparak (Güçdemir ve Usul, 2004) organik madde içeriğini artırmak ve besin durumunu iyileştirmektir. Fiziksel olarak niteliği iyileştirilmiş toprak yapısı en başta sağlanmalıdır. Ayrıca, yeni suni toprakların biyolojik çeşitliliği artırmak suni organik malzemeyi örtmek gerekir (Güzel vd., 1994). Bununla birlikte, arazi iyileştirme için hayvan çiftliği atığı humus özellikle karışım olarak organik örtüde toprağı oluşturmalıdır (Ülgen ve Yurtsever, 1995). Genellikle kil ile karıştırılmaktadır. Ancak iri boyutlu kumsu uçucu kül de başarılı bir karışım oluşturmaktadır.

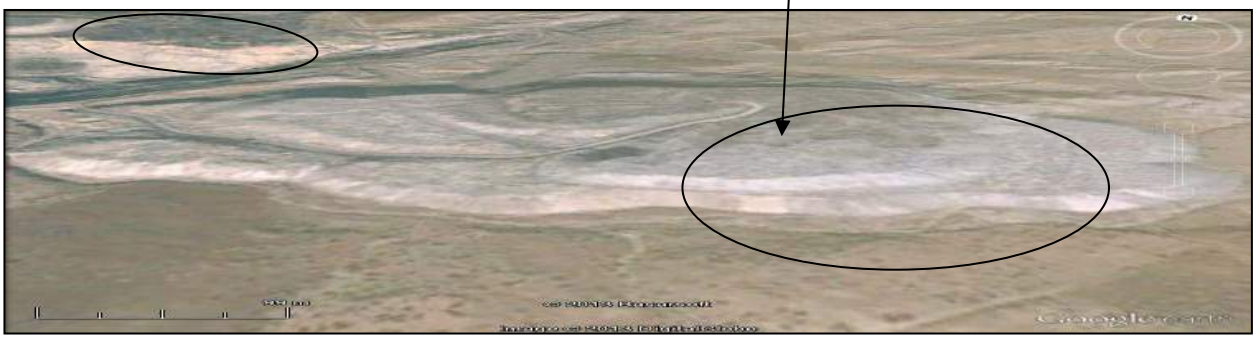
Suni kökenli topraklarda yerel şartlara ve erozyona bağlı heterojen birikintiler oluşmaktadır. Kömür atığı organik madde içerse de, farklı derinliklerde parça kaya dokusu ilave gerektirebilir. Doğal topraklarda olduğu gibi insan kaynaklı kirletici unsurlar oluşabilmektedir (Çimri ve Boysan, 2006, Canter, 1996). Toprak oluşturan kirletici faktörlerin tam anlaşılması için mevsimlere ve süreye bağlı incelemeler yapılmalıdır (Gregory ve Nortcliff, 2013).

Bu çalışmanın amacı, Şırnak kömür ocağı atık şeyl yığınlarının doğal humus ve Şırnak kazan külü kullanılarak oluşturulan suni toprak örtü ile tarıma elverişli hale getirilmesidir.
Bu çalışmada, ayrıca Şırnak kömür maden atık sahalarının tasarımı, çevre toprak numunelerinin analizleri yapılarak uygun örtü toprak türünün belirlenmesi ve uygun

sulama sisteminin tasarımı yapılmıştır. Alternatif toprak örtü dolguluma sistemleri irdelenerek, Şırnak ili kömür ocağı atık yığınlarının tarım alanına dönüştürülmesi ile ilgili ÇED mevzuat üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 1. Şırnak İli Kömür Ocağı Yığınlarının Uydu Haritası ve Avgamasya S3 Çalışma Alanının Topografik Haritası 1/1000.



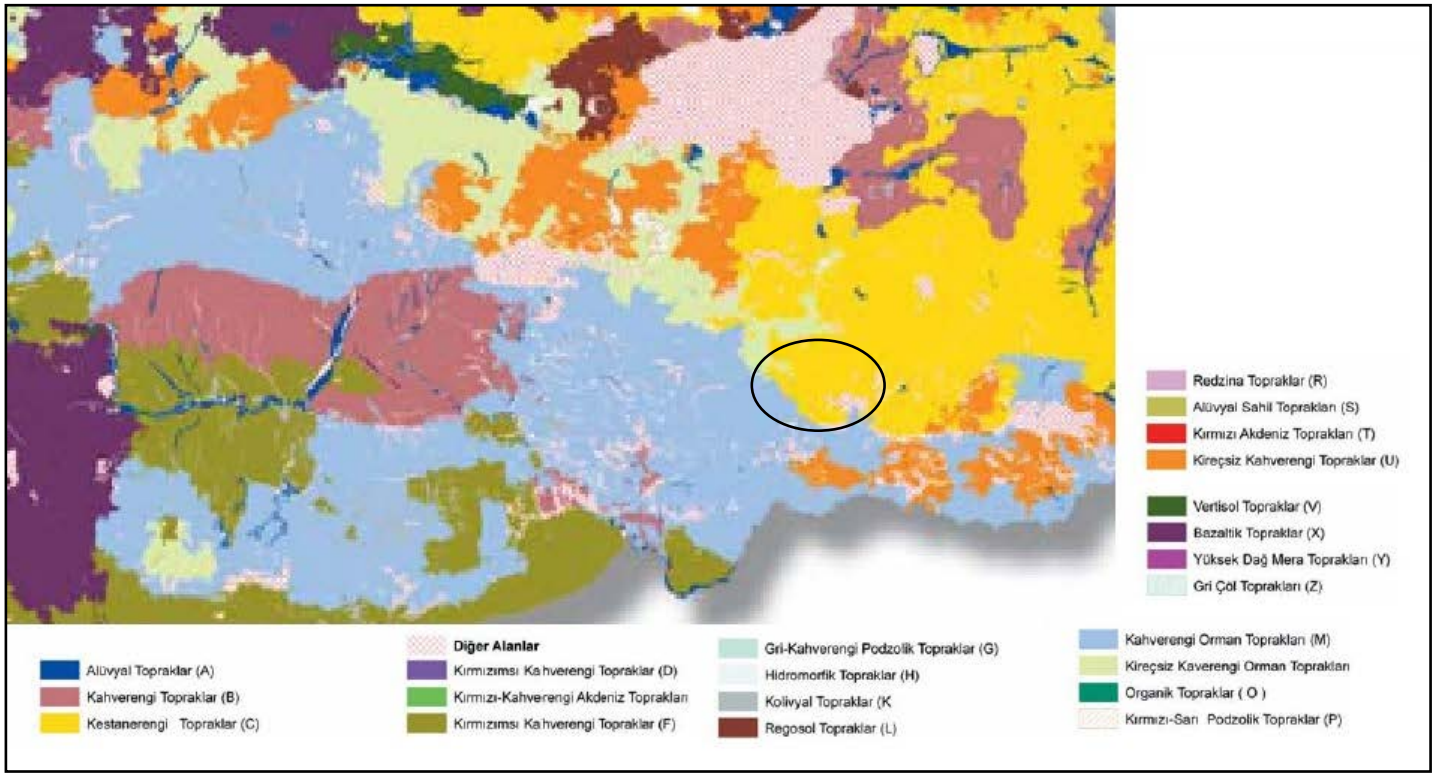
Şekil 2. Şırnak İli Kömür Ocağı Yığınlarının Uydu Haritası S4 Topografik Haritası 1/1000.

2 METOT

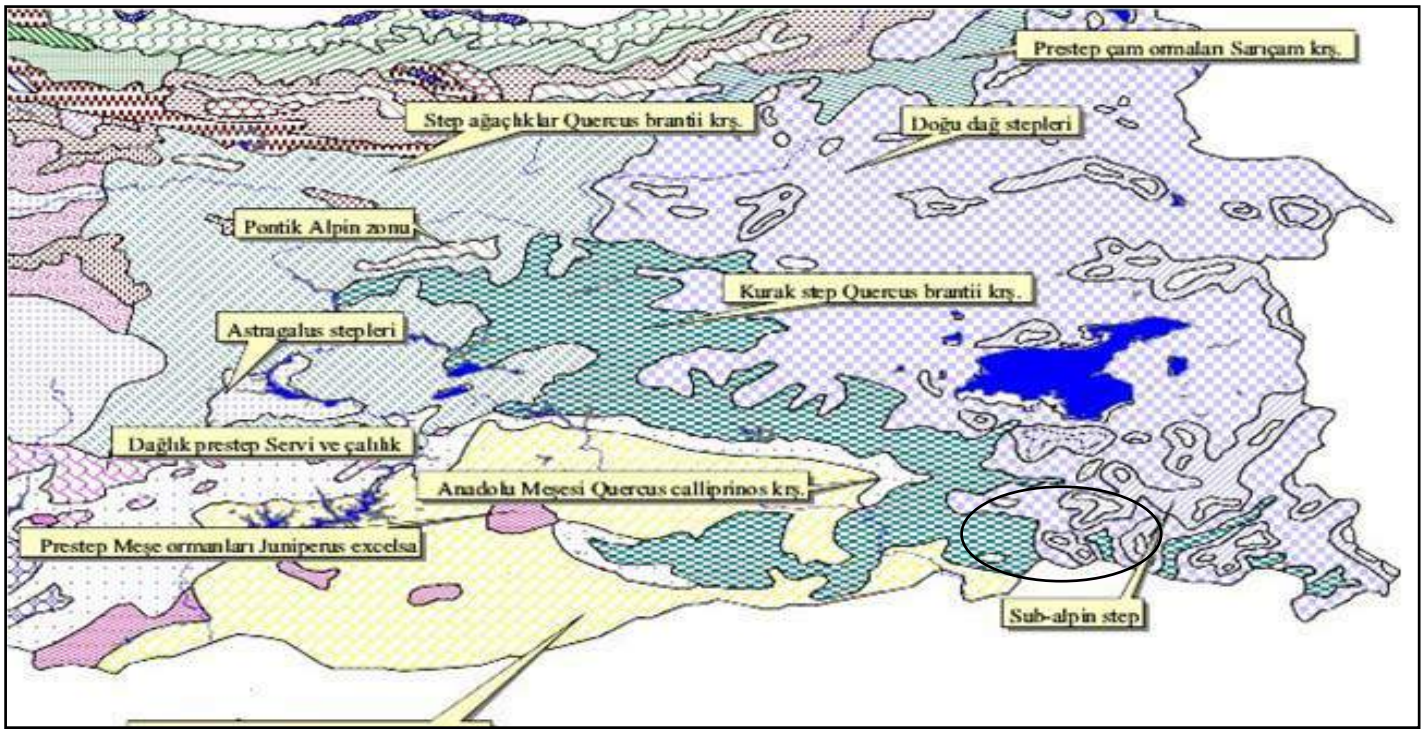
2.1 Rekültivasyon Alanı

İki atık şeyl yığma dökümü yapan madencilik şirketine ait alanda çalışmalar yapılmıştır. Avgamasya S3 (3 hektar) ve Avgamasya S4 (5 hektar) örtü oluşturulmuştur. Her iki yığma şeyl yamaçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Doğal humus bir yıl test için önce hektar başına 10 ton yaklaşık toplam 25ton olacak miktarda yayılmıştır. Her bir örtü alanında bir kısmı yerel humus malzemesi ve özellikle yerel Şırnak kazan külü (hektar başına 30 t yaklaşık toplam 90t olacak miktarda) ve doğal toprakla (hektar başına 40 t yaklaşık toplam 120t olacak miktarda) karıştırılıp toprak örtü teşkil edilmiştir. 1m derinliğinde ocak atığı kumsu şeylli agrega ve üzerine 30cm kalınlığında toz kül ve 20 cm kalınlığında humus, taban külü ve doğal toprak karışım örtü oluşturulmuştur. Türkiye'nin toprak örtüsü incelendiğinde Şekil 4 de görüldüğü gibi yöre toprağının orman toprağı ile kireçsiz orman toprağı olduğu (daire içinde) belirlenmiştir. Ayrıca yöre toprak analizi de bunu desteklemektedir. Türkiye'nin bitki örtüsü incelendiğinde Şekil 5 de görüldüğü gibi yöre bitki örtüsünün kırsal step bitki örtüsü olduğu görülmüştür. Yöredeki 1200m

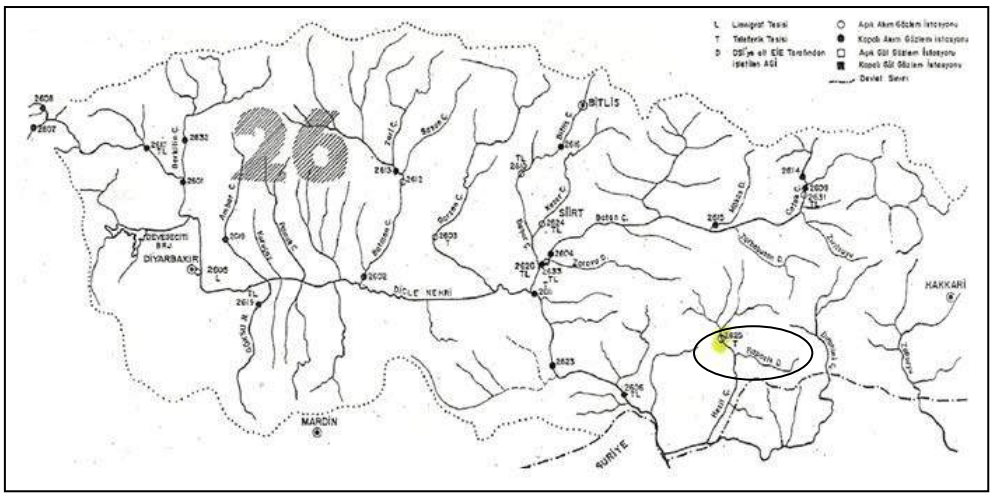
kodunun karasal iklimde aşırı erozyona maruz bıraktığı toprak örtünün havzalarda 5m derine indiği ancak tepelerde 10-20cm derinliklerde kaldığı gözlenmiştir. DSİ nin su istasyonlarından alınan verilere göre Şırnak İli'nin su gelirinin ortalama 17 m^3/sn olarak Hezil dere kolları ile sağlandığı belirlenmiştir. Şekil 6 de görüldüğü gibi Havzanın 1400m kodundaki 4 ana dere kolundan beslendiği belirlenmiştir.



Şekil 4. Türkiye Doğu ve Güneydoğu Anadolu Toprak Örtü Dağılımı.



Şekil 5. Türkiye Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bitki Örtü Dağılımı.



Şekil 6**.** Güneydoğu Anadolu DSİ Su İstasyonları ve Yüzey Su Gelir Dağılımı.

İnceleme alanının yamaç kesiti haritada ayrıca görülmektedir. Ancak yer altı su seviyesi maden atığı marn, marnlı şeyl yığma dolguların 30-40 m altında bulunmaktadır.

Zemindeki su içeriği, kil oranından önemli ölçüde etkilenecektir. Zeminin içindeki kil yüzdesine göre değerlendirildiğinde zemin örnekleri kohezyonsuz veya az kohezyonlu özellik göstermektedir.

Yığınların bulunduğu sahalardan alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerle elde edilen tane birim hacim ağırlıkları Çizelge 1'de (γ_{doygun}) gösterilmiştir. Tane boyutuna göre zemin cinslerinin belirlenebilmesi için, tane dağılım deneyi gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilerek birleştirilmiş zemin sınıflamasındaki adları kumlu zemin olarak belirlenmiş ve bileşenleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Yoğun yağışlar, sismik, yer altı su seviyesinde yaşanan değişimler, erozyon, iklim, ayrışma gibi süreçler, topografyası kritik alanlarda yamaç toprak akması 30 m aralıklı 50 cm derinliğinde marn kaya dolgusu ile engellenmiştir. Bu etkiler toprak kaymasını minimize etmiş ve yamaç malzemesinin erozyonunu düşürmüştür. (Bishop, 1955; Höek, 1970). Yamaçlarda gelişen ot büyümesi, kanal inşası, alt yapı faaliyetleri gerçekleştirilmesi gibi önlemler toprak erozyonunu gidermiştir.

2.2 Toprak Analizleri

Ara zemin ve toprak özellikleri yaygın olarak kullanılan yöntemler ile belirlenmiştir. Toprak niteliği ve humus örtünün etkisi de kök toprak analizi ile değerlendirilmiştir.

Kök toprak çözelti pH'ı, damıtılmış su ve topraktan oluşan süspansiyon içinde potansiyometrik olarak ölçülmüştür. Toprak pH (pH_{KCl}) 0.2 M KCl sulu çözelti (1/2.5 ağırlık/hacim) ve okside (özellikle organik) karbon içeriği (CO_x) modifiye Tyurin yöntemi ile titrasyonla belirlenmiştir. Humus kalitesi (0,1/20 ağırlık/hacim) sodyum pirofosfat (0.05 mol) absorbansların oranı ile değerlendirilmiştir. 400 ve 600 nm dalga boylarında absorbans (A400/A600) UV spektrometre ile ölçülmüştür. A400/A600 oranı küçük değerler daha kaliteli humus temsil eder. Yörenin ve çalışmada kullanılan toprak analiz sonucu Çizelge 1 de verilmiştir. Toprağın organik C miktarı ve Fe miktarı yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca K ve P miktarları yüksektir.

Karbonatların içeriği hacimsel % 10 HCl ile reaksiyona girdikten sonra belirlenmiştir. Parçacık boyutu dağılımı, manometre ile tespit edilmiştir. Mevcut besin (Ca, Mg, K, P) Mehlich 3 çözeltisi ile tespit edilmiştir. Fiziksel özellikler (kaba yoğunluğu, γ_{doygun}, gözenek) silindirler halinde toplanan bozulmamış toprak numunelerin üzerinde hesaplama kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Çalışma alanında kullanılan Toprak Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Analiz Verileri (20 Numune).

% Bileşen	Şırnak Toprak	Şırnak Kazan Taban Külü
Kum (%)	38,51	63,35
Silt (%)	24,64	22,61
Kil (%)	36,85	7,04
$CaCO_3$(%)	39,48	0,48
Organik M (%)	3,28	5,28
Toplam Tuz(%)	0,51	1,51
pH	7,35	8,75
Alınabilir P_2O_5 mg/kg	0,19	1,09
Alınabilir K_2O mg/kg	1,32	2,32
Fe mg/kg	115	2110
Mn mg/kg	74	376
Cu mg/kg	4	28
Zn mg/kg	7,6	341
Gözenek,%	14,7	36,2
γ_{doygun}(g/cm^3)	1,98	1,32

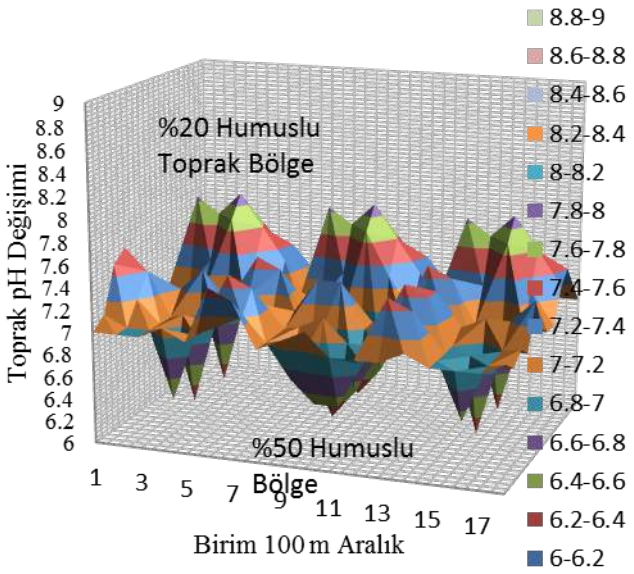
3 SONUÇLAR VE YORUM

Üst örtü olarak çalışma alanlarında %20 humuslu toprak ve %50 humuslu toprak örtü kullanılmıştır. Bunların senelik ürün durumda, karşılaştırması Şekil 7 ve 8 de görülmektedir. Bu çalışma alanındaki Avgamasya S4 yığın yamaç numunelerinde %20 humuslu toprakta hem organik karbon içeriği yüksek, asit reaksiyon içeriği, küllü toprak olan örtü malzemede daha yüksek kalsiyum, magnezyum ve fosfor içeriğine sahiptir (1544, 16 ve 119 mg/kg). %20 humuslu toprak örtülü ve %50 humuslu toprak örtülü bu alanlar arasında okside karbon içeriği karşılaştırması yapıldığında Avgamasya S4 yamacında %20 humuslu toprakta %12 artış ve %50 humuslu toprakta % 23 artış belirlenmiştir(Çizelge 2 de Organik Madde). Her iki yığın üzerindeki örtülerin toprak verileri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

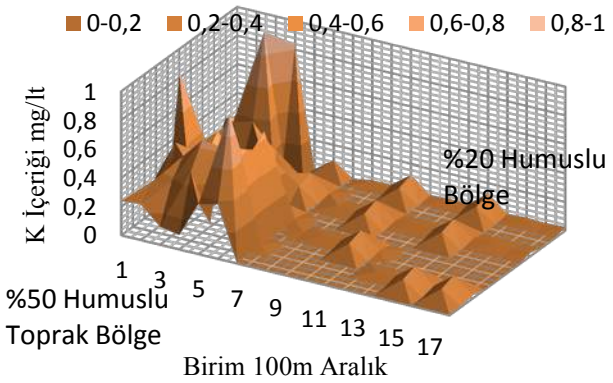
Avgamasya S3 yığın yamaç numunelerinin %20 humuslu toprağında karbon içeriği (42,8 mg/kg), alt A400 / A600 oranı ile gösterilen iyi humus kalitesi, yüksek pH_{H2O} ve pH_{KCl} (pH= 8,15 ve 8,38, sırasıyla) ve daha düşük K içeriği (94,1mg/kg) görülmüştür. Avgamasya S3 şev yığması ve Avgamasya S3 yığın yamaç doygun kaba yoğunluğunun (2,1 kg/lt) yüksek olduğu ve gözenekliğin (%12) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

%50 humuslu toprağın pH üzerindeki etkisi incelendiğinde pH ın Avgamasya S3 yığın yamacında (Şekil 7 de görüldüğü gibi) 6,4 ile 6,8 arasında değiştiği belirlenmiştir. %20 humuslu toprak bölgede pH 7,5 ve üzerinde olmuştur. Her iki örtü içinde pH değerleri bitki büyümesi için uygundur. %20 humuslu topraklarda (Avgamasya S3 yığın yamacında) örtünün kirlenmesi daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, tüm pH değerleri nötr veya hafif asit olup değerleri, tüm topraklarda yeterli karbonat içeriği sayesinde, bitki büyüme ve daha fazla toprak ıslahı için oldukça elverişli olmuştur.

Bununla birlikte, humus örtüsüz topraklar da okside karbon önemli bir miktarda vardır. Kısmen kömür atık kalıntıları neden olmuştur. Bitkisel toprak örtüsü de alt organik madde kalitesini artırmıştır. Avgamasya S3 yığınındaki örtü toprağında organik madde daha fazla ve nemli olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7. Avgamasya S3 Çalışma alanında kullanılan Toprak Numunelerinin pH Analiz Verileri.



Şekil 8. Avgamasya S3 Çalışma alanında kullanılan Toprak Numunelerinin K Analiz Verileri.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, dağlık alanlardaki arazi topolojiye uygun olarak kullanılmamakta ve yanlış arazi kullanımı toprak erozyonu olasılığını arttırmaktadır.

Çizelge 2. Yığınların yamaçlarından senelik alınan toprak numuneler üzerinde yapılan kimyasal ve fiziksel testlerden elde edilen sonuçlar (20 Numune).

Numune	Avgamasya S4 Toprak (%10Kül) +Humus%20	Avgamasya S4 Toprak (%10Kül) +Humus %50	Avgamasya S3 Toprak (%10Kül) +Humus %20	Avgamasya S3 Toprak (%10Kül) +Humus %50
Gözenek,%	10.9	23,7	16,8	35,4
Kum, %	31,51	16,51	38,36	19,51
Silt, %	24,64	12,64	21,64	12,64
Kil, %	30,85	19,85	26,14	16,85
$CaCO_3$,% (aktif Ca mg/kg)	37,48(1544)	19,48(471)	39,78(1365)	19,48(352)
Mg mg/kg	16	22	14	19
Organik Madde(Okside C) mg/kg	51,2	32,8	42,8	21,8
Toplam Tuz mg/kg	61	21	41	21
pH	7,65	6,3	8,10	7,5
Alınabilir P_2O_5 mg/kg	69	119	59	125
Alınabilir K_2O mg/kg	0,17	0,79	0,14	0,62
Fe mg/kg	88	45	115	45
Mn mg/kg	54	24	74	24
Cu mg/kg	11	4	4	4
Zn mg/kg	39,6	4,6	52,6	4,6
Gözenek,%	7,7	16,2	18,7	27,1
γ_{doygun}(g/cm^3)	2,18	1,93	2,1	1,73

3.1 Nohut Ekimi ve Zeytin Dikimi

Yığınların rekültivasyonunda zirai alan oluşturulması için gerçekleştirilen örtülerde yağışlar, arazi eğimi ve yer altı su seviyesinde yaşanan değişimler toprak erozyonuna kısmen etkili olmuştur. Karasal iklim, don yörede kasım ve aralık aylarında görüldüğünden ekinlerin 1 senelik takibi esnasında etkili bir değişime neden olmayacağı düşünülmüştür. Çizelge 2 de görüldüğü gibi doğal parametrelerin ekim için yörede avantajlı olduğu düşünülmüştür. Ancak humus kullanımı suni toprak örtü oluşmasında zaruri görülmüştür. Bir yıl sonra Avgamasya S3 ve Avgamasya S4 yığın örtü topraklar incelendiğinde, humus ve taban kül örtünün belirgin olumlu etkisi görülmüştür. %50 Humuslu bölge ile %20 humuslu, kül ve toprak karışımlı bölgeler belirgin farklılık göstermiştir. %50 Humuslu bölgede 1 ay gibi sürede çimlenme görülürken, %20 humuslu bölgede 3 aylık süre sonunda belirgin bir bitki büyümesi gözlenmiştir.

Avgamasya S3 yığın yamacında fosfor içeriği biraz artmıştır. Humus artışı nohut ekimi yapılan alanda verimi arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 9). Bitki çeşitliliği azalmıştır.

Şekil 9. Avgamasya S3 Çalışma alanında Nohut Ekimi.

Avgamasya toprakları kil bünyeli, pH'ları nötr ve tuzsuz, organik madde bakımından yetersiz kireçlidir. P yönünden değişkenlik göstermiştir. K yönünden fakir, bitkiye yarayışlı Fe, Mn ve Cu içeriği bakımından tüm topraklarda önerilen dozun üzerinde; sırasıyla 88, 54 ve 11 mg/kg, Zn bakımından 52 mg/kg içeriğe sahiptir. Ancak yer yer Ti, Cr gibi mineral noksanlığı olan topraklardır. Topraklar organik maddece zenginleştirilmelidir. Soğuk karasal iklime step olarak hâkim olduğundan organik madde erozyonla yok olmaktadır.

Bunun aksine, mevcut kalsiyum, magnezyum ve potasyum muhtevası Avgamasya S3 ve Avgamasya S4 yığın yamacında ilgili reaktif Ca taban külünden dolayı, 471 mg/kg ve 352 mg/kg dır. Her iki ekili arazide K_2O değerleri 0,62 mg/kg ve 0,79mg/kg değerinde bulunmuştur. Bu da taban külünden kaynaklanmıştır. Ayrıca %20 humuslu toprakta Ca, Mg ve P içeriği hala yeterince vardır.

%20 humuslu toprak örtü ile %50 humuslu örtü deki çözülebilen içerikler farklılık oluşturmuştur. Avgamasya S3 yığın yamacında Avgamasya S4 toprak malzeme ile karşılaştırıldığında çok az kil içerdiğini göstermiştir. Kum içeriği ile taban kül örtü malzemeleri genellikle poroz daha iyi fiziksel özelliklere yol açabilmiştir. Toplam porozite Avgamasya S3 yığın yamacı için %20 humuslu toprakta % 19 (Çizelge 2) organik örtü ile üzerinde %50 humuslu toprakta %27 e yükselerek bitki büyümesinde önemli derecede etkili olmuştur.

Şekil 10. Avgamasya S4 Çalışma alanında Zeytin Ekimi.

Avgamasya S4 yığın yamacında üzerinde toplam porozite oldukça azalmıştır. Ancak, kütle yoğunluğu (γ_{doygun}) artmıştır. Bu durum Şekil 10 da görüldüğü gibi erozyona uğrama yüzünden olmuştur. Avgamasya S3 yığın yamacında yüksek gözenek oranı daha iyi havalandırma ve kolay süzülme ve su taşıma sağlanmıştır. Genellikle, organik zemin toprak oluşturan süreçleri kolaylaştırabilir toprak kalitesinin yanı sıra bitki gelişimini başlayarak geliştirir.

Kil içeriği de doğal üst toprak örtüde azalmıştır. Ancak, toplam ve kılcal porozite killi toprak ile azalmıştır. Topraklı humus örtünün pH etkisi çalışma kapsamında iki farklı şevde farklılık göstermiştir. Organik karbon içeriği toprak gözenekliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Gözeneklilik ve toprak pH arasındaki ilişki muhtemelen dolaylı olmaktadır. Artan organik madde içeriği ile topraklarda pH'ı azaltmak mümkündür. Buna karşılık, humus örtülü alanlarda, organik karbon içeriği gözeneklilik sınırlayıcı bir faktör olmuştur. Humus kaplama sırasında toprak işleme ve nem koşullarının etkisi muhtemelen önemli bir rol oynamıştır.

4 SONUÇ

Okside olabilen karbon yüksek miktarda istenir. %50 humuslu toprakta düşük pH lı topraklar olmuştur ve bulunan organik madde kalitesi düşük olduğu görülmüştür: Mevcut kalsiyum ve magnezyum içeriği olumlu etki oluşturmuştur. Yöre toprak pH ı

karbonatlar ve kil içeriği ile ilişkilidir. okside karbon içeriği ve kül içeriği ile desteklenmiştir. Yüksek kum içeriği nedeniyle çalışılan topraklarda kil içeriği önemli ölçüde düşük kalmıştır. Böylelikle doğal organik madde oluşumu artmamıştır.

Bundan dolayı her yıl çiftlik gübresi vb. organik gübreler ve azotlu gübreler uygulanmalıdır. Fosfor ve çinko noksanlığından dolayı toprak analizlerine dayanarak noksan olan topraklarda, fosfor ve çinkolu gübreleme yapılmasında fayda vardır. Gelecekte tarımsal üretimi artırmak için fosfor gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca bitki döllenmesi içinde tavsiye edilir.

Çalışma alanlarında pH 7.1 ve pH 8.2 olmuştur. Zemindeki organik azot ve karbon oranları erozyondan ötürü çok düşük olarak belirlenmiştir. P ve K oranları %20 humuslu toprak çalışma alanlarında orta seviyelerde özellikle sırasıyla yaklaşık 40 ve 20 mg/kg gibi değerlerde yeterli olmuştur.

Genelde iyi toprak özellikleri de farklılıklar göstermiştir. Humus örtünün açık bir etkisi Avgamasya S3 yığın yamacında belirgin iken, Avgamasya S4 yığın yamacında pek farklılık göstermemiştir. Örneğin pH_{KCl}, iki yığın rekültivasyon alanında farklılık arz etmiştir.

Mevcut kalsiyum ve magnezyum muhtevası kazan külü ile iyileştirilmiştir. Toprağın besin içeriği hem organik karbon hem de P ve Mg içeriği ile iyileştirilmiştir. Kil içeriği de doğal üst toprak örtüde azalmıştır. Ancak, toplam ve kılcal porozite azalmıştır. Bitkiler, yağış sularının kitle içine süzülmesini kolaylaştırmakta ve yüzeysel akışı yavaşlatmakta ve azaltmaktadır. Bu ise kütlelerin erozyona uğramasına engel olmaktadır. Kökleri derine ulaşan bitkilerin kökleri mekanik olarak kitlelerin dengesini artırır. Ayrıca yer altı sularını absorbe ederek kütlelerin kurumasına sebep olurlar bir başka deyişle kayaçların su içeriğini azaltırlar. Çalışma alanının bitki örtüsünden yoksun olması duraylılık açısından olumlu olan bu etkilerden faydalanmayı engellemekte ve dolayısıyla yamaçları dengede tutan tutucu kuvvetlerde azaltma olmaktadır. Bu sebeple bitki örtüsü bakımından zenginleştirilmesi organik örtü kalınlığı için önemli bir parametredir. Ancak derinliği 30 cm ye varan toprak akmasını önlemek için tahıl bitki örtüsü özellikle arpa ekimi etkili olacaktır. Çalışma alanında gerçekleştirilen nohut ekimi neticesinde, gelecekte çok büyük boyutlu nohut ekimi uygun rekültivasyon örtüleri belirlenmelidir. Ayrıca çalışma alanının proje kapsamında kentsel kullanıma açılacak olması sebebiyle de bölgede peyzaj yöntemleri araştırılması ve geliştirilmesi ayrı bir önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Bishop, A.W., 1955, The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes, *Geotechnique*, Vol. 5, 7-17.

Canter L.W., 1996. *Environmental impact assessment*. McGraw-Hill, New York

Çimrin KM, Boysan S. 2006. Van yöresi tarım topraklarının besin elementi durumları ve bunların bazı toprak özellikleri ile ilişkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 16(2): s.105-111.

Delibalta M.S., 2012, Madencilik ve çevre ilişkilerinin ekonomik boyutu, Madencilik ve çevre yönetimi semineri, Afyonkarahisar, s.21.

Deliboran A., Coşkun M., Abrak S., Seyhanlıgil N., 2014, Şanlıurfa-Karaali yöresinde serada yetiştirilen biber ve hıyar bitkilrinin beslenme durumunun toprak ve yaprak analizleriyle değerlendirilmesi, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1, s.138-147, http://dergi.siirt.edu.tr/

Eyüpoğlu F, Kurucu N, Talaz S. 1996. Türkiye Topraklarının Bitkiye Yarayışlı Bazı Mikro elementler (Fe, Cu, Zn, Mn) Bakımından Genel Durumu. *Toprak ve Su kaynakları Araştırma Yıllığı*. Yayın No: 98, 1996, Ankara.

Gregory, P.S., Nortcliff, S., 2013, Soil conditions and plant growth, Wiley-Blackwell Pub., ISBN 978-1-4052-9770-0

Güçdemir İH, Usul M. 2004. Toprak Analiz Sonuçlarına Göre Gübre Tavsiyeleri. *Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre*, 11-13 Ekim 2004, Tokat.

Güzel N, Ortaş İ, İbrikçi H. 1991. Harran Ovası Toprak Serilerinde Yararlı Mikroelement Düzeyleri ve Çinko Uygulamasına Karşı Bitkinin Yanıtı. *Çukurova Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi* 6(1): 15-30 Adana.

Höek, E., 1970, *Estimating the Stability of Excavated Slopes in Opencast Mines*, Institution of Mining and Metallurgy, A105, A132

Kjeldsen P., Grundtvig A., Winther P., Andersen J.S., 1998. Characterization of an old municipal landfill (Glindsted, Denmark) as a groundwater pollution source: landfill history and leachate

composition. *Waste Management Resources*, 16, s.3–13

Kumar M., Ramanathan A.L., Rao M.S., Kumar B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 50, s.1025–1039

Mallı T., Köse H., Deliormanlı A.H., Karakuş D., 2011, Linyit açıkişletm madenciliğinde reklamasyon ve rekültivasyon uygulamasının teknik ve ekonomik değerlendirmesi, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, ISBN 978-605-01-0113-3, İzmir, s. 103-112.

Mc Bean A.E., Rovers A.F., Forquhar J.G., 1995. *Solid wastes landfill engineering and design*. Prentice-Hall PTR, New York, 500 pp

Poulsen T.G., Moldrup P., Sorensen K., Hansen J.A., 2002. Linking landfill hydrology and leachate chemical composition at a controlled municipal landfill (Kastrup, Denmark) using state space analysis. *Waste Manag Res* 20:445–456

Ryan C.R., 1985. Slurry cut off walls applications in control of hazardous waste. In: Johnson A.L. et al (eds) *Hydraulic barriers in soil and rock*, ASTM STP 874. American Society for Testing and Material, Philadelphia, pp 9–23

Singh R.K., Datta M., Nema A.K., 2009. A new system for groundwater contamination hazard rating of landfills. *Journal of Environmental Management*. 91:344–357

Singh R.K., Datta M., Nema A.K., 2010. Review of groundwater contamination hazard rating systems for old landfills. *Waste Manag Res*, 28. s.97–108

Şimşir F., Pamukçu Ç.,Özfırat M.K., 2007, Madencilikte rekültivasyon ve doğa onarımı, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 2, s.39-49.

Tchobanoglous G., Theisen H., Eliassen R., 1977. *Solid wastes: engineering principles of management issues*. McGraw-Hill, NewYork, 621 p. ISBN 0-07-063235-9

Tchobanoglous G., 1993. *Integrated solid waste management, engineering principles and management issues*. McGraw-Hill, New York

Ülgen N, Yurtsever N, 1995. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü *Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66*, s.230, Ankara.

Ünal E., Kara, D., Vatan, B., 1992, Açık ocak kömür madenciliği sırasında bozulan işletme sahalarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi, Madencilik, 31, 1, s.5-16.

Vadillo I., Carrasco F., Andreo B., Garcia de Torres A., Bosch C., 1999. Chemical composition of landfill leachate in a karst area with a Mediterranean climate (Marbella, Southern Spain). *Environmental Geology*, 37, s.326–332

Wu J.S., Hilger H., 1984. Evaluation of EPA's hazard ranking system. *Journal of Environmental Eng* 110:797–807

Metal Madenlerinden Üretilen İnce Taneli ve Sülfürlü Atıkların Yerüstünde Güvenilir Olarak Depolanabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of Safely Disposal Possibilities of Fine Grained and Sulphidic Wastes Generated from Metallic Mines

A. Başçetin, O. Özdemir, S. Tüylü, D. Adıgüzel
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul

ÖZET Madencilik sektörü önemli bir ekonomik değer yaratmakla birlikte beraberinde çevresel sorunları da getirmektedir. Bu sorunların başında her yıl madenlerden yüksek miktarlarda üretilen maden atıkları gelmektedir. Özellikle metal madenciliğinde konsantre üretimi sonucu arta kalan ekonomik yönden değersiz ve yüksek sülfür içeren atıklar, su ve oksijen varlığında asitli sızıntı suyu üretimine neden olarak çevreye önemli derecelerde kalıcı zararlar verebilmektedirler. Bu atıkların yerüstünde geleneksel yöntemler kullanılarak depolanmasıyla sebep olduğu çevresel zararların yeni teknolojiler ve yöntemlerle beraber önemli ölçüde azaltılabileceği veya bertaraf edilebileceği çeşitli araştırmalarda ortaya konulmuştur. Bu yöntemlerden biriside atıkların depolanmasında kullanılan macun teknolojisidir. Atıkların bir kısmı macun dolgu şeklinde yeraltına tahkimat destek amaçlı olarak kullanılırken diğer bir kısmı da yerüstünde macun atık depolama şeklinde değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, yerüstü macun depolama koşulları laboratuvar ortamında oluşturulmuş ve macun malzemenin yüzey çatlak miktarı ve hacimsel su içeriği arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Metal madeni, ince taneli ve sülfürlü atık, yerüstünde depolama

ABSTRACT While mining industry has an important economic value it also has some environmental issues. One of those issues is high amounts of mine wastes produced by yearly basis. Especially the highly sulphidic wastes which have not an economical value generated during beneficiation processes in metal mining can make significant and permanent impacts onto environment by causing acidic seepage waters in the presence of water and oxygen. Various researches showed that the environmental hazards related to the conventional surface disposal methods for the wastes can be significantly reduced or completely avoided by using new technologies and methods. One of those methods is the paste technology which is being used for disposal of mining wastes. A portion of the generated wastes is being used as underground backfill to support the roof while another portion is disposed on surface as the paste form. In this study; the surface paste disposal conditions were occured in labaratory scale, and relationship between the crack formation and volumetric water content in surface paste disposal method was presented.

Keywords: Metallic mine, fine grained and sulphidic wastes, surface storage

1 GİRİŞ

Tüvenan cevherlerin üretimi ve zenginleştirilmesi işlemleri sonucunda, önemli miktarda maden proses atığı açığa çıkmaktadır. Bu atıkların çevreye olan olumsuz etkileri çok yönlü olabilmektedir. Özellikle metalik madenlerde (altın, gümüş, bakır ve kurşun vb.) görülen siyanür yada sülfür içeriği yüksek proses atıklarına jeokimyasal açıdan daha dikkat edilmesi

gerekmektedir. Dolayısıyla çevreye zarar verebilecek bu tür atıkların, depolanacağı yerdeki izolasyonu (geçirimsiz tabakaların oluşturulması), tesisten nakli, stabilitesi, emniyeti, su ve toprak kalitesi üzerindeki etkilerine bağlı olarak düzenleme şekli ve kontrolü başlıca dikkat edilmesi gereken hususlardır. Bu nedenle, maden atıklarının yerüstünde güvenli bir şekilde depolanabilirliği çevresel açıdan oldukça önemlidir.

Genellikle yerüstü atık barajlarına veya denizlere boşaltılan maden proses atıklarını, son yıllarda önemi giderek artan macun teknolojisi ile yerüstünde güvenli bir şekilde depolayabilme yöntemi araştırılmaktadır. Bu çalışmalar yerüstü macun depolama işleminin geleneksel atık barajlarında en büyük problemlerden biri olan serbest su miktarının minimize edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca daha az parçacık ayrışması yani diğer bir ifade ile daha homojen bir malzemenin oluşması, malzemenin daha stabil olmasına neden olan hidrojeoteknik özelliklerinin gelişmesi ve yerüstü macun malzemesine gerekli olduğu durumlarda hidrolik bağlayıcının ilave edilmesi ile de oluşturulan macunun dayanımı, duraylılığı ve asit nötralizasyon potansiyeli arttırılmış olduğu görülmüştür. Bu uygulama beraberinde özellikle atık depolama sahası bulunması zor işletmelerde bir yer kazanımı sağlamaktadır. Macun teknolojisinin yer altı uygulaması olan macun dolgu yöntemi de ülkemizde özellikle metal madenciliği sektöründe kullanılmaktadır. Ancak ortaya çıkan atık miktarının büyük oluşu yerüstünde depolamayı zorunlu hale getirmektedir.

Yer altı macun dolgu karışımında ağırlıkça %75-85 arasında filtreden geçirilmiş katı malzeme kullanılmaktadır. Bu miktarda katı oranına sahip malzemeyi uzak mesafelere pompalamak mümkün olmadığından yerüstü macun depolamada yaklaşık olarak ağırlıkça katı oranı %65-75 arasında değişmektedir. Yerüstü macun depolamada istenilen katı oranı genellikle yüksek yoğunluklu tikinerler kullanılarak sağlanmaktadır. Macun malzemeye maliyet, jeoteknik ve jeokimyasal koşullar göz önüne alınarak ağırlıkça katı içeriğinin en fazla %2'si oranında bağlayıcı madde katılabilir. Su ilavesi ise genellikle toplam karışım içinde ağırlıkça % 25-35 arasında değişmektedir (Brzezinski, 2001; Kesimal vd., 2002; Grabinsky vd., 2002; Verburg, 2002; Theriault vd., 2003; Benzaazoua vd., 2004; Dechamps vd., 2011; Yılmaz, 2010).

Maden atıklarının duraylılığı, dayanımı ve asit maden drenajı (AMD) özellikleri bakımından güvenilir bir şekilde yerüstü macun bertarafı yöntemi ile depolanabilmesi bu çalışmanın öncelikli amacını oluşturmaktadır. Ayrıca yerüstünde depolama için optimum macun atık malzemesi karışımının sağlanması ve çevreye duyarlı olarak uygulanabilirliğinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada, yerüstü macun depolamada çatlak oluşumu ve hacimsel su içeriği arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

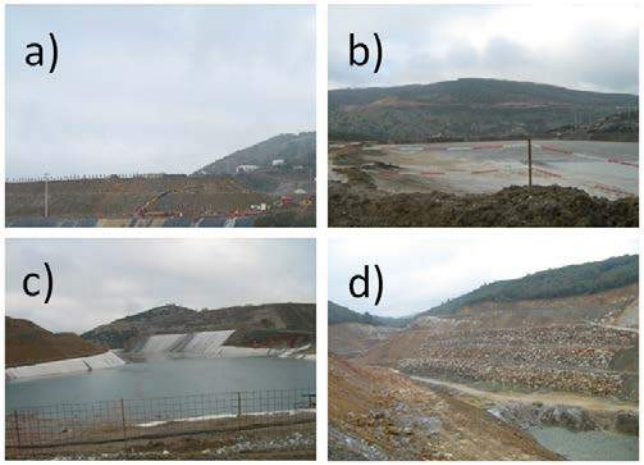
2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Sahası

Çalışma sahası Marmara bölgesinde yer alan bir Pb-Zn yer altı madenidir. Bölge kış ayları yağmurlu, yaz ayları ise sıcak ve kurak geçen ılıman ile soğuk arası bir iklime sahiptir. Söz konusu sahada aç-kapa yeraltı üretim yöntemi ile çalışılmaktadır. Bu yöntem kapsamında tahkimat dolgu malzemesi agrega ve çimento (%6) karışımıdır ve dolgunun beklenen dayanımı 28 gün sonunda 2–5 MPa arasındadır. Karışımın slamp değeri yaklaşık 11–12 cm olduğundan dolgu malzemesi yerleştirilirken pompalanma güçlüğü nedeniyle kamyon ile taşındıktan sonra dozer ile boşluğa malzeme sıkıştırılmaktadır.

Yeraltından çıkarılan tüvenan cevherin zenginleştirme süreci kırma, öğütme, flotasyon ve filtreme işlemlerini içermektedir. Zenginleştirme tesisine günlük olarak beslenen ortalama 4800 ton cevherden ortalama 400 ton konsantre elde edilmektedir. Geriye kalan 4400 ton atık malzemesi ise, %15-20 arası pülpte katı oranında atık barajına boşaltılmaktadır. Pb-Zn yeraltı madenine ait 4 atık sahası mevcut

olup, bunlardan biri kapanmışken, biri dolu, diğerine atık deşarjı devam etmekte iken en sonu ise inşaat halindedir (Şekil 1). Atık deşarjı ile inşaatı devam eden barajların ileriki yıllarda birleştirilmesi planlanmaktadır. Buna rağmen barajların kapasiteleri çok uzun ömürlü olmadığı için yeni atık sahası alanları belirlenip üzerinde planlamalar yapılmaya başlanmıştır.



Şekil 1. Atık barajlarının görünümü, a) Kapanan atık barajı, b) Dolan atık barajı, c) Kullanılan atık barajı, d) Yapımı devam eden atık barajı.

2.2 Yöntem

Bu çalışmada öncelikle çalışma sahasından %20 katı oranında (tesisten çıkan atık malzemenin pülpte katı oranı) proses çıkışı atık malzeme temin edilmiştir. Deney ve analizler esnasında atık malzeme üzerindeki boşluk suyu boşaltılmış ve yaklaşık %30-40 arasında su içeriğine (ağırlıkça su/kuru miktarı) sahip olduğu daha önceki yapılan çalışmalarla tespit edilen atık malzeme bu çalışmada kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde çalışma kapsamında gerçekleştirilecek olan deney ve analiz programı 3 temel aşamadan oluşmaktadır.

1. Malzeme (atık, karışım suyu) özelliklerinin belirlenmesi),
2. Karışım tasarımı,
3. Macun malzemenin laboratuvar ortamında depolanması.

Bu çalışmaya konu olan temel malzeme cevher hazırlama tesisinden çıkan ince atıklardır. Atık malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri uygulanacak atık bertarafı yöntemleri için çok önemlidir. Bu nedenle macun yapımında kullanılacak atık malzemesini karakterize etmek için maden proses atığının su içeriği ve özgül ağırlığı, tane boyut dağılımı, Atterberg kıvam limitleri, permeabilite (Hidrolik iletkenlik) ve mineralojik bileşimi deney ve analizlerle belirlenmiştir.

Macun karışımında kullanılacak malzemelerin özellikleri belirlendikten sonra, macun malzeme için ağırlıkça %65-75 arasında katı ve ağırlıkça %25-35 arasında su ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır.

Macun malzemesinin bileşenleri olan proses atık malzemesi ve su boru nakliyatı için uygun homojen bir karışım elde edilecek şekilde karıştırılmıştır. Bu karışımın uzak mesafelere pompalanabilmesi için yerüstü macun depolamada kabul edilen 250 mm slamp değerini tutturması gerekmektedir. Karışım tasarımı yapılırken bu slump değeri dikkate alınmıştır.

Macun malzemenin karışım oranları belirlendikten sonra, laboratuvar ortamında depolanma şartlarının simule edilmesi amacıyla 200×70×50 cm boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde macun atık kabini kullanılmıştır (Şekil 2). Bu kabinin alt tarafına, sızıntı sularının drene olabileceği malzeme kaçağına izin vermeyecek boyutlarda jeotekstil malzeme yerleştirilmiştir (Bascetin vd., 2013, 2014).

Şekil 2. Atık depolama deney kabini.

Şekil 2'de verilen deney kabini içerisinde macun malzeme tabaka tabaka şeklinde depolanmıştır. Kabinin içine dökülecek macun malzeme yüksekliği, macunun arazide yayılım genişliği dikkate alınarak her bir tabakada 4 cm olacak şekilde belirlenmiştir. Kabin içerisinde toplam 11 adet tabaka üst üste gelecek şekilde depolanması planlanmıştır. Bu tabakalar oluşturulurken, bir önceki tabaka kür

süresinin tamamlanması ve stabilitesini kazanması amacıyla 8 gün beklendikten sonra diğer tabaka dökülmüş ve bütün tabakalar bu süre geçtikten sonra dökülmüştür. Bu çalışma kapsamında kullanılması düşünülen sensörler (oksijen, su emme potansiyeli, hacimsel su içeriği) 1., 5. ve 10. tabakalara yerleştirilmiştir. Aşağıda kullanılan sensör türleri ve yardımcı ekipmanları yer almaktadır.

- Su potansiyeli (emme) sensörü: Malzemenin su emme potansiyelininin belirlenmesinde kullanlır
- Nem ve sıcaklık sensörü: Bu sensör çevresindeki ortamın dielektrik geçirgenliğini kullanarak malzemenin nem ve sıcaklık değerini ölçer.
- Analog Datalogger: Verilerin düzenli olarak kaydedilmesinde kullanılmaktadır.
- Oksijen sensörü: Bu sensör malzemedeki oksijen (O_2) gazının miktarını ölçen bir galvanik hücre tipi sensörüdür.

Bu çalışma kapsamında macun atık malzemesinin yüzey çatlak analizide yapılmıştır. Buna göre ImageJ 1.47v paket programı kullanılarak herbir tabakanın çatlak yoğunluğu değeri belirlenmiştir.

3 BULGULAR

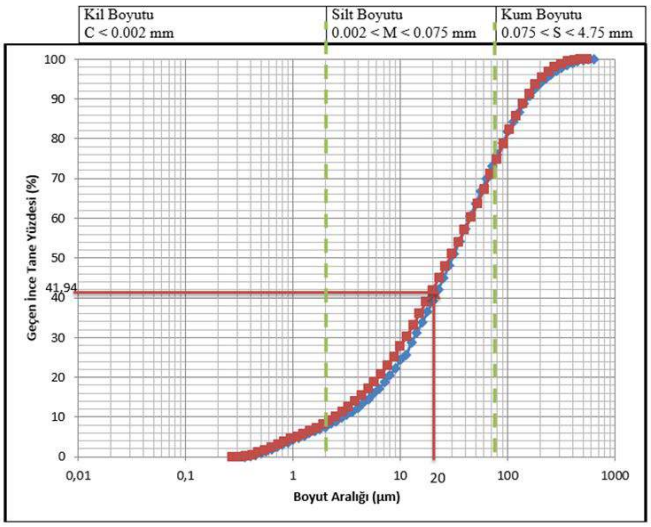
3.1 Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma sahasından alınan Kurşun-Çinko proses atıklarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri laboratuvar ölçümleri ve analizleri yapılarak belirlenmiştir. Buna göre atık malzemesinin jeoteknik özellikleri Çizelge 1'de ve tane boyut dağılım grafiği Şekil 3'de verilmiştir.

Kurşun-Çinko Proses atıklarının tane boyut dağılım aralığı 0.316 µm ile 549.541 µm olduğu tespit edilmiştir. Macun karışımlarının tane boyut dağılımlarında istenen 20 µm'dan daha ince tane oranı en az %15 olmalı maddesi, bu atık analizinde %41,94 olduğu için fazlasıyla karşılanmıştır. Atık malzemesinin tane boyut dağılımı TS 1500 standardına göre %8'i kil, %72'si silt ve geriye kalan %20'lik kısmı ince kum boyutlarından oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 1. Atık malzemesinin jeoteknik özellikleri.

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	3,15
Likit Limit	19,60
Plastik Limit (ort.)	15,19
Plastisite İndeksi	4,41
Sınıflama	ML&CL
Optimum su muhtevası	%11,36
Maks. kuru birim hacim ağırlık (g/cm^3)	2,09
Permeabilite katsayısı (cm/sn)	4,27963.10^{-6}



Şekil 3. Proses atığı tane boyu dağılımı.

Söz konusu atık malzemenin XRD analiz sonuçlarına göre atıkların mineralojik kompozisyonu aşağıda yer alan minerallerden oluşmaktadır;

1. Kalsit ($CaCO_3$)
2. Kuvars (SiO_2)
3. Feldspat grubu mineraller (Albite= $Na(AlSi_3O_8)$)
4. Pirit (FeS_2)
5. Kil grubu mineraller
6. Mika grubu mineraller olarak belirlenmiştir.

3.2 Karışım Tasarımı

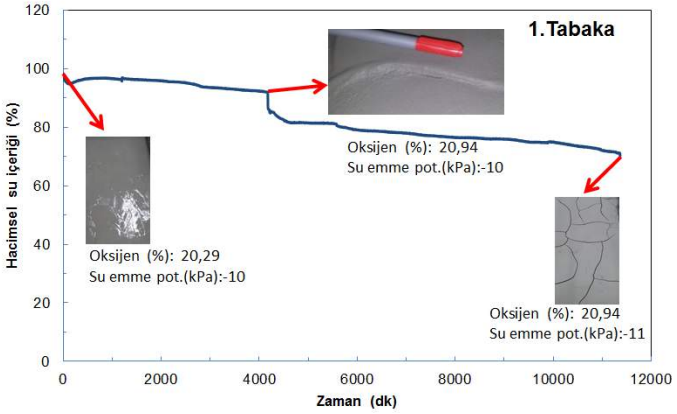
Bu çalışma kapsamında yaklaşık üç aylık bir süre sonunda tabaka dökümleri tamamlanmıştır. 25 cm slump değerine göre hazırlanan macun malzeme tabakalarının su içeriği ve slump değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Macun malzemenin tabaka su içerikleri ve slump değerleri.

Tabaka No	Macun malzeme Slump değeri (cm)	Toplam kütledeki su içeriği (%)
1	24,5	27,17
2	24,5	27,87
3	25	28,30
4	25,5	28,97
5	25,5	28,94
6	25	28,43
7	26	30,44
8	25,5	28,73
9	24,5	27,81
10	25	28,40
11	25	28,65
Ort.	**25**	**28,52**

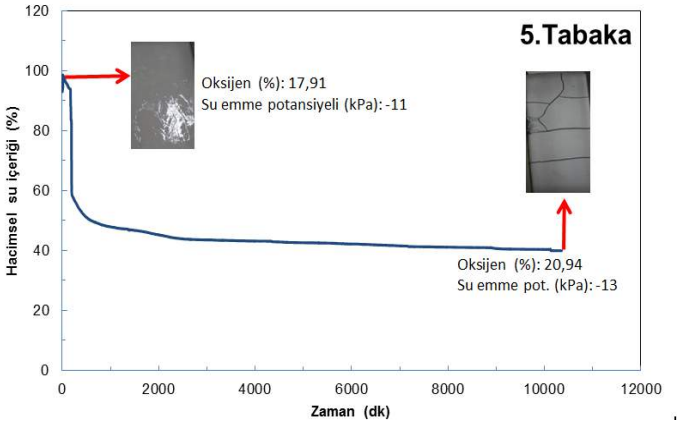
3.3 Macun Malzemenin Laboratuvar Ortamında Depolanması

Çizelge 2'de verilen değerlere göre hazırlanan karışımlar tabaka tabaka şeklinde deney kabinlerine depolanmış ve üzerinde 1., 5. ve 10 . tabakalarda oksijen miktarı, hacimsel su içeriği ve su emme potansiyeli ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4, Şekil 5,Şekil 6).



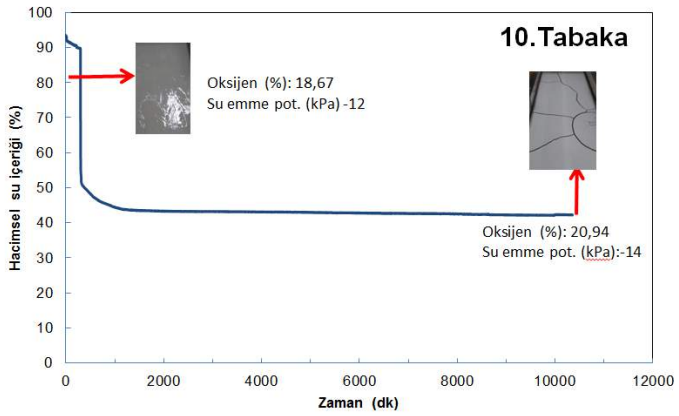
Şekil 4. Tabakanın zamana bağlı hacimsel su içeriği değişim grafiği.

1. tabaka dökümünde hacimsel su içeriği (VWC) değeri %100 iken 8 gün sonra %70 VWC değerine kadar düşmektedir (Şekil 4). Macun malzeme ilk olarak döküldüğünde 20,29 olan oksijen değerinin 8 gün sonra çatlaklar nedeniyle havadaki oksijen değeri olan 20,94'e ulaştığı görülmektedir. Aynı zamanda hacimsel su kaybına göre malzemenin emme kuvvetinde küçük bir artış ölçülmüştür.



Şekil 5. Tabakanın zamana bağlı hacimsel su içeriği değişim grafiği.

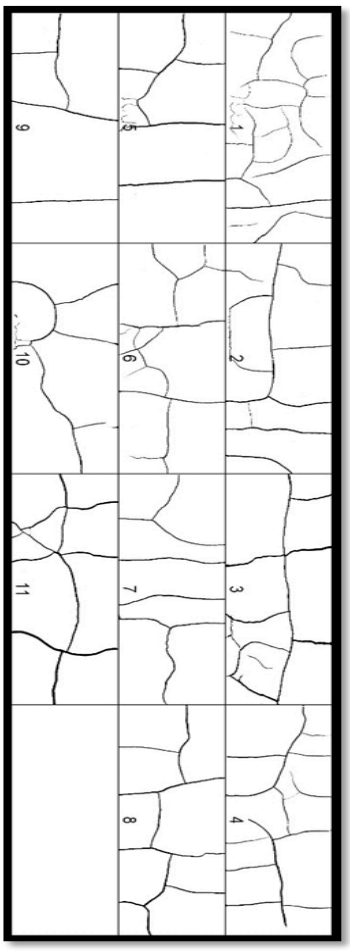
Şekil 5'te görüldüğü üzere malzemenin hacimsel su içeriğinde yaklaşık 150 dakika sonra hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir. 8 gün sonunda ise su emme kuvveti -13 kPa değerine ulaşırken hacimsel su içeriği %40 dolaylarında sabitlenmiştir.



Şekil 6. Tabakanın zamana bağlı hacimsel su içeriği değişim grafiği.

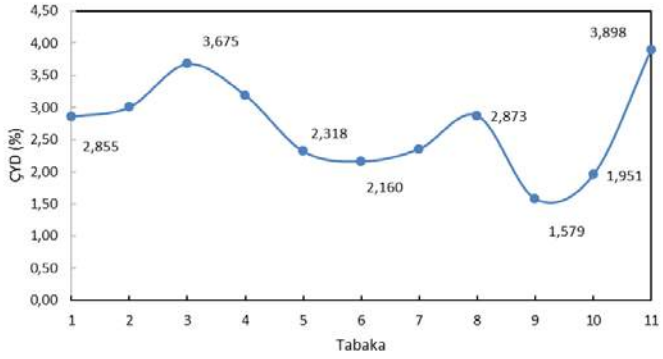
10. tabaka ile 5. Tabaka su içerikleri açısından benzer bir davranışlar göstermektedir. Ancak su emme kuvveti alt kısımlarda yer alan tabaka sayılarının artmasına bağlı olarak artış göstermektedir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında tabakaların yüzey çatlak analizleride yapılmış ve çatlak yoğunluk değerleri de belirlenmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8).



Şekil 7. Tüm tabakaların 8 gün sonundaki çatlak görünümleri.

Macun malzeme tabakalarının kuruma sürelerindeki çatlak dağılımlarına bakıldığında, özellikle kısa mesafeli çatlakların oluştuğu gözlemlenmektedir.



Şekil 8. Tabakaların çatlak yoğunluğu değerleri (ÇYD).

Şekil 8'den de görüldüğü üzere 8. Tabakadan sonraki çatlak yoğunluğundaki hızlı düşüşün nedeni olarak, konsolide olan alt tabakalardaki taneler arası boşlukların giderek azalması sonucu 9. tabaka dökümü sonrasında macun malzemenin yüzeyine toplanan boşluk sularının yavaş bir şekilde alt tabakalara geçmesi olarak gösterilebilmektedir. 9. tabakadan sonra ise belirgin bir şekilde su emme kuvvetindeki artışlara bağlı olarak çatlak yoğunluğunun özellikle son tabaka en yüksek noktasına ulaştığı belirlenmiştir.

4 SONUÇLAR

Çalışma kapsamında yapılan deney ve analizlere göre; 1. tabaka için tabaka dökümünden yaklaşık 4000 dak, 5.tabaka için 150 dak ve 10. tabaka için ise 240 dak sonra çatlak oluşumları başlamıştır. Çatlak oluşumları başladığında hacimsel su içeriğinde ani bir düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca macun malzemenin oksijen miktarları da çatlaklardan havanın girmesi sonucunda artmıştır.

1.tabakaya göre 8 gün sonundaki hacimsel su içreğinin diğer tabakalara göre daha az olmasının nedeni macun malzemenin su emme potansiyeli değeri ile ilişkilendirilebilir. 1. tabakanın altında farklı bir tabak olmaması nedeniyle sadece yerçekimi kuvvetiyle suyunu kaybetmektedir. Fakat 5. ve 10.tabakaların altında yer alan tabakalar bir emme kuvveti oluşturarak malzemenin hızlı kurumasını sağlamaktadır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kabin deneylerinden alınan VWC ve su emme potansiyeli sensör sonuçları, macun tabakalarının suya doygun kaldığını göstermektedir. Bunun nedeni olarak atık malzemesinin ince taneli yapısı ve geniş tane yüzey alanlarının suyu tutması olarak ifade edilebilir. Ayrıca atığın tane boyu dağılımına bakıldığında yaklaşık %10'unun kil boyutunda olması ve mineralojik kompozisyonunda da kil minerallerinin bulunması, macun malzemenin suyu bünyesine hapsederek az miktarda sızıntı suyu vermesini sağladığı düşünülebilir.

Birçok avantaja sahip ve endüstriyel uygulaması da Dünyada çok az olan yerüstü macun depolama yöntemi kullanılarak, metalik madenlerde yerüstünde atık depolama için en uygun macun atık malzemesi karışımının sağlanması ve

jeoteknik özellikleri ile beraber çevreye duyarlı olarak ülkemiz madenciliğinde uygulanabilirliğinin incelenmesi bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır. Böylece, yerüstü macun depolama yönteminin kullanılmasıyla verimli su tüketimi ve maksimum atık bertarafı sağlanacak ve ülkemiz açısından sürdürülebilir maden kaynaklarının üretimine önemli bir katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Bascetin A., Tuylu S., Adiguzel D., Akkaya U., Binen I.S., 2013,. Investigation of suitability of Pb-Zn mine tailings for surface paste disposal, *23rd World Mining Congress*, 11-15 August, s. 301, Montreal, CANADA

Bascetin A., Tuylu S., Adiguzel D., Akkaya, U.G., 2014. The study of surface paste disposal technology for Pb-Zn mine tailings, *SME Annual Meeting*, Preprint 14-020, Feb. 23-26, Salt Lake City, UT-USA.

Benzaazoua, M., Perez, P., Belem, T., Fall, M., 2004. A laboratory study of the behaviour of surface paste disposal, *Proceedings of the 8th International Symposium on Mining with Backfill*, , September 19–21, s. 180–192, Beijing, China.

Brzezinski, L.S., 2001. Surface disposal of thickened tailings, *Mining Environmental Management*, 9(5), September, 2001, s. 7–12.

Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière B., and Aubertin M., 2011. Laboratory study of surface paste disposal for sulfidic tailings: Physical model testing, *Minerals Engineering*, 24, 794–806.

Grabinsky, M.W., Theriault, J., Welch, D., 2002. An overview of paste and thickened tailings disposal on surface., *Proceedings of the First Symposium on Mine Waste and Environment*, Rouyn-Noranda, , s. 5-12, Quebec, Canada.

Kesimal A., Yılmaz E., Erçıkdı B., Alp İ., Yumlu M. ve Özdemir B., 2002. Laboratory testing of cemented paste backfill,, *MADENCİLİK*, 41(4), s. 11-20.

Theriault, J., Frostiak, J., Welch, D., 2003. Surface disposal of paste tailings at the Bulyanhulu gold mine, *Proceedings of the 2nd Mining Environment Conference*, s. 1-8, Sudbury, Ontario.

Verburg, R.B.M., 2002. Paste technology for disposal of acid-generating tailings, *Mining Environmental Management*, 13(7), s. 14-18.

Yılmaz, E., 2010. A field investigation of the behaviour of fine-grained, sulphide-rich paste tailings under a surface disposal condition, *Post-Doc Project Final Report, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue* (UQAT), Canada.

TMMOB Türkiye Maden Mühendisleri Odası

ISBN: 978-605-01-0705-0