

TÜRKİYE 21. ULUSLARARASI MADENCİLİK KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI

6-8 MAYIS 2009 / ANTALYA

Editörler
Dr. Nejat TAMZOK Dr. Bülent TOKA



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI



TUMKS2009 / ANTALYA/ 6-8 MAYIS 2009

Maden Mühendisleri Odası
Kütüphanesi

**TÜRKİYE 21. ULUSLARARASI
MADENCİLİK KONGRESİ
BİLDİRİLER KİTABI**

Editörler

Dr. Nejat TAMZOK
Dr. Bülent TOKA

TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

Bu kitabın basım masrafları DEMİR EXPORT A.Ş. tarafından karşılanmıştır.

*Bu Kongre TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu)
tarafından desteklenmiştir*

Tüm hakları saklıdır © 2009

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın
bu kitap ya da bu kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde yayınlanamaz.

Baskı: Grup Matbaacılık, Ankara, Turkey

Tel: +90 (312) 384 73 44 Fax: +90 (312) 384 73 46

Oda Yayın No: 155

ISBN 978-9944-89-714-3

© TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Adres: Selanik Cad. No:19/3 06650 – Kızılay, Ankara-Türkiye

Tel : +90 (312) 425 10 80

Faks : +90 (312) 417 52 90

Web : www.maden.org.tr

E-posta : maden@maden.org.tr

ÖNSÖZ

1969 yılının Şubat ayında birincisi gerçekleştirilen Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongre'sinin Önsöz'ünde "1. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi'ni, bunu izleyecek daha nice mükemmel Kongrelerin başlangıcı sayıyoruz." denilmektedir. Bu amaç doğrultusunda Odamız, geçen kırk yıllık sürede Kongrenin ismini önce "Türkiye Madencilik Kongresi" ve 2000'li yılların başında da "Uluslararası Madencilik Kongresi" olarak değiştirerek hem ulusal hem de uluslararası düzeyde bilimsel ve teknik-teknolojik gelişmelerin yanı sıra sektörümüzü yakından ilgilendiren yasal, ekonomik ve sosyal konuların da tartışıldığı ve çözüm önerilerinin sunulduğu platform haline getirmiştir. Kongre kitapları bir başvuru ve kaynak kitap olma özelliğini taşımaktadır. Ayrıca, iki yılda bir kongre etkinliği kapsamında bir araya gelen 500 civarında meslektaşımız ve sektör temsilcilerinin arasındaki iletişim ve bilgi alışverişi de önemli bir sosyal aktivite olarak değerlendirilmelidir.

Bu kongrede de gerek yurtdışı ve gerekse yurtiçinden uzmanlar tarafından 114 bildiri Kongre kapsamında sunulmuştur. Ayrıca içlerinde kamu kurumlarının da bulunduğu toplam 28 madencilik firması sergiye katılmıştır:

Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisinin gerçekleşmesinde katkılarını esirgemeven kamu ve özel sektör kuruluşlarına, bildiri ile katılan değerli uzmanlara, bildirileri değerlendiren Bilimsel Kurul Üyelerine, yaklaşık bir yıllık süredir özveriyle çalışan Kongre Yürütme Kurulu Üyelerine ve Kongrenin gerçekleşmesinde emeği geçen herkese teşekkürü borç biliriz.

Asım KUTLUATA
Kongre Yürütme Kurulu
Başkanı

Mehmet TORUN
Yönetim Kurulu
Başkanı

Yönetim Kurulu

Başkan : Mehmet TORUN
II. Başkan : Fatma Berna VATAN
Yazman : Nahit ARI
Sayman : Cemalettin Sağtekin
Üyeler : Niyazi KARADENİZ
İbrahim YILMAZOĞLU
Mehmet GÜLER

Yürütme Kurulu

Başkan : Asum KUTLUATA
Sekreter : Nadir AVŞAROĞLU
Üyeler : Yusuf Ziya AKGÖK
Nahit ARI
Ali ÖNEMLİ
Nejat TAMZOK
Bülent TOKA
İbrahim YILMAZOĞLU

Bilimsel Kurul

Dr. Hamdi AKÇAKOCA
Dr. Ata Utku AKÇIL
Dr. Nuri Ali AKÇİN
Dr. Hürriyet AKDAŞ
Yusuf Ziya AKGÖL
Dr. Raşit ALTINDAĞ
Dr. Mesut ANIL
Dr. Ergin ARIOĞLU
Dr. Ali İhsan AROL
Dr. A. Fatma ARSLAN
Dr. Vedat ARSLAN
Dr. M. Ümit ATALAY
Dr. Ümit ATICI
Nadir AVŞAROĞLU
Dr. Hamit AYDIN
Yusuf AYDIN
Dr. Kerim AYDINER
Dr. Mustafa AYHAN
Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR
Dr. Turan BATAR
Dr. Oktay BAYAT
Dr. İrfan BAYRAKTAR
Dr. İsmail BENTLİ
Dr. Nuh BİLGİN
Dr. Mustafa BİRİNCİ
Dr. Volkan BOZKURT
Dr. Mehmet CANBAZOĞLU
Dr. M. Emin CANDANSAYAR
Dr. Yakup CEBECİ
Dr. Ahmet Kemal CENGİZ
Ekrem CENGİZ
Dr. Atilla CEYLANOĞLU
Dr. İlknur CÖCEN
İmam ÇELİK
Dr. M. Sabri ÇELİK
Dr. Emin Cafer ÇİLEK
Dr. Alaattin ÇAKIR
Dr. Yaşar ÇİLİNGİR
Dr. Hanifi ÇOPUR
Dr. Dilek ÇUHADAROĞLU
Dr. A. Hamdi DELİORMANLI
Dr. Ahmet DEMİRCİ
Dr. Halim DEMİREL

Dr. Nuray DEMİREL
Hürriyet DEMİRHAN
Dr. Hacı DEVECİ
Dr. Vedat DİDARİ
Dr. Çağatay DİKMEN
Ahmet DİNÇER
Dr. H. Şebnem Başkan DÜZGÜN
Dr. İ. Gökay EDİZ
Dr. Zafir EKMEKÇİ
Dr. Birol ELEVİLİ
Zerrin ENTOK
Dr. Selamet Gürbüz ERÇELEBİ
Dr. Bülent ERDEM
Dr. Mustafa ERDOĞAN
Dr. Levent ERGÜN
Dr. Bahri ERSOY
Dr. Metin ERSOY
Mücella ERSOY
Dr. Şinasi ESKİKAYA
Abdulgani EŞİYOK
Dr. Hasan GERÇEK
Dr. İsmail GİRGİN
Dr. Ali AKAR
Dr. Mete GÖKTAN
Dr. M. Cemal GÖNCÜOĞLU
Uğur GÖNÜLALAN
Dr. Kazım GÖRGÜLÜ
Dr. Nilgün GÜLEÇ
Dr. OGUZ GÜNDOĞDU
Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
Oğuz GÜNER
Dr. Özcan GÜRİSOY
Dr. Tefik GÜYAGÜLER
Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN
Dr. Çetin HOŞTEN
Dr. Halil İPEK
Dr. Üner İPEKOĞLU
Dr. Ali KAHRİMAN
Dr. Fikri KAHRAMAN
Galip KALAYCIOĞLU
Mehmet KARADENİZ
Dr. Dogan KARAKUŞ
Dr. Nuray KARAPINAR

Dr. Celal KARPUZ
Dr. Cemal KAYA
Dr. Erol KAYA
Mehmet KAYADELEN
Musa KAYNAR
Dr. Mevlüt KEMAL
Dr. Ayhan KESİMAL
Halil İbrahim KIRŞAN
Dr. Yaşar KİBİCİ
Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Dr. Alaettin KILIÇ
Dr. Sait KIZGUT
Dr. Sabiha KOCA
Dr. Adnan KONUK
Dr. Halil KÖSE
Dr. Seyfi KULAKSIZ
Dr. Haldun KURAMA
Dr. Orhan KURAL
Asım KUTLUATA
Dr. Cengiz KUZU
Şaban KÜÇÜK
Selami LELOĞLU
Dr. Yedigâr V. MÜFTÜOĞLU
İlhan ODABAŞI
Dr. Turgay ONARGAN
Dr. Ahmet Hakan ONUR
Dr. Güner ÖNCE
Ali ÖNEMLİ
Dr. Bahri ÖTEYAKA
Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Dr. M. Evren ÖZBAYOĞLU
Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU
Dr. Yılmaz ÖZÇELİK
Dr. Hüseyin ÖZDAĞ
Dr. Metin ÖZDOĞAN
Dr. Ümit ÖZER
Mesut ÖZTÜRK
Hakkı Tanık ÖZKAHRAMAN
Dr. Şafak G. ÖZKAN
Dr. Fyûp SABAH
Sabahatdin SAKATOĞLU
Dr. Cem SARAÇ
Dr. M. Saim SARAÇ
Dr. Ömer Lütfi SÜL
Dr. Ender SÖNMEZ

Dr. Cem ŞENSÖĞÜT
Dr. Şakir ŞİMŞEK
Dr. Adem TAŞDEMİR
Dr. Nejat TAMZOK
Dr. Abdullah Erhan TERCAN
Dr. Bülent TOKA
Dr. Selami TOPRAK
Dr. İhsan TOROĞLU
Mehmet TORUN
Mehmet TUĞRAN
Dr. Levent TUTLUOĞLU
Dr. Nuray TOKGÖZ
Halil TÜRKMEN
Dr. İbrahim UĞUR
Dr. İsmail UĞUR
Dr. Veli UZ
Sait ULUIŞIK
Dr. Yaşar ÜÇBAŞ
Dr. Ahmet ÜÇER
Dr. Ali UÇAR
Dr. Bekir Zühtü UYSAL
Veli ÜNAL
Dr. Taner ÜNLÜ
Dr. Tuğrul ÜNLÜ
Dr. Bahtiyar ÜNVER
Ömer ÜNVER
Dr. Mahir VARDAR
Berna Fatma VATAN
Dr. Ercüment YALÇIN
Dr. Ahmet YAMIK
Dr. Olgay YARALI
Dr. Hüseyin YAVUZ
Dr. Mahmut YAVUZ
Dr. Meftuni YEKELER
Ömer YENEL
Levent YENER
Liyaddin YEŞİLKAYA
Fehmi YILDIRIM
Dr. Mehmet YILDIRIM
Dr. Ahmet YILDIZ
Necati YILDIZ
Öner YILMAZ
Mustafa YÖRÜKOĞLU
Dr. A. Ekrem YÜCE

İçindekiler

Ekonomi ve Hukuk

Sürdürülebilir Madencilik Faaliyetleri Kapsamında Türk Çimento Sektörünün Güncel Durumu <i>T. Gezbul</i>	1
Dünyada ve Türkiye’de Taşkömürü <i>V. Didari, E. Karaçam</i>	7
Türkiye ve Dünya Demir – Çelik Sektöründeki Gelişmeler <i>İ. H. Kırşan, E. Ertürk, M. Şahiner</i>	19
Sürdürülebilir Kalkınma ve Madencilik: Dünyada Maden Hukukuyla İlgili Yeni Yaklaşımlar <i>M. Topaloğlu</i>	35
Avrupa Birliği ve Türkiye’de Sürdürülebilir Madencilik <i>Ş. Şafak</i>	49
Türkiye’de Kömürün Enerji Üretimindeki Rolü <i>C. Şensöğüt, H. Akçakoca, M. Aydın</i>	57
Madencilik Yatırımlarının Geliştirilebilmesi <i>T. Tufan</i>	71

Maden İşletme - Kaya Mekaniği

Muğla Beyaz Mermerinin Dairesel Testere ile Kesiminde Optimum Makina Çalışma Koşullarının Birim Aşınma ve Birim Enerji Gözönüne Alınarak Belirlenmesi <i>Y. Özçelik, F. Bayram, S. Kulaksız, N. E. Yaşutlu</i>	85
Batı Anadolu Antik Mermer (Doğaltaş) Ocak İşletmeleri ve İşletme Teknikleri <i>S. Kulaksız</i>	97
Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi: Kendiliğinden Yerleşen Beton Örneği <i>K.E. Alyamaç</i>	107

Afyonkarahisar Andezitlerin Isıl Modifikasyonu ve Mühendislik Özelliklerine Olan Etkisi <i>M. S. Başpınar, S. Gürca</i>	117
Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Doğrudan ve Dolaylı Olarak Belirlenmesi: Doğu Pontidler Bej Kireçtaşları Üzerine Örnek Bir Çalışma <i>A.E. Babacan, H. Ersoy, K. Gelişli</i>	123
Kollu Zincirli Kesicilerin Traverten Ocaklarında Blok Üretimi Verimlilik Analizi <i>A. Saruşık, Ş. Demirel, A. Şinşek, G. Saruşık</i>	131
Menderes Masifi Güney Kesimindeki (Milas-Muğla) Ege Bordo Mermerlerinde Gözlenen Süreksizliklerin Blok Boyutuna Etkisinin Araştırılması <i>M. Bağcı, A. Yıldız</i>	145
Çelik Tel Donatılı Püskürtme Beton <i>İ. M. Yerlikaya</i>	155
Pnömatik Ön Gerilmeli Ahşap Domuzdamı ve Uygulamaları <i>R. Dağdelen, T. Özkan, A.H. Demirler, C. Yamudi</i>	163
Kozlu 1 No'lu Kuyusunun Derinleştirilmesi ve İhraç Sisteminin İncelenmesi <i>F. Alp, B. ARIK, Halim Bultan, Ali Akçın</i>	175
Çekme-Kepçe (Dragline) Bum Gerilme Dağılımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi <i>N. Demirel</i>	189
TOPSIS Tekniği Kullanarak Hidrolik Yerkazar Seçimi ve Duyarlılık Çözümlemesi <i>M. Yavuz</i>	195
Bilgisayar Destekli Enli Dilim Çekme-Kepçe Kazı Modeli <i>B. Erdem</i>	203
Çekme-Kepçe Modellleme Tablası Üzerinde Çalışmalar <i>T. Doğan, S. Ercins, B. Erdem</i>	217
Elektrikli Yerkazar Kepçeleri ve Başarımını Etkileyen Değiştirgenler <i>M. Özdoğan</i>	229
Kumtaşı Örneğinin Sayısal Modelleme Çalışmaları Öncesi Mikro Özelliklerinin PFC3D'de Kalibre Edilmesi <i>O. Su, N.A. Akçın</i>	243
Madencilik Yatırım Projelerinin Yeni Bir Yazılım ile Değerlendirilmesi <i>N. Kavaklı</i>	253

Yüzey Dalgaları / Temel Kaya Etkileşiminden Kaynaklanan Zemin Büyütmesinin 3-B Modellenmesi <i>A.Z. Can, B. Ecevitoglu, G.G.U. Aldas</i>	261
İstanbul'da Mekanize Tünel Kazısına Bir Bakış ve Bunların Maden Mühendisliği ile Olan İlişkileri <i>N. Bilgin, H. Çopur, C. Balcı</i>	267
Tünellerde Kazı Öncesi ve Sonrası Belirlenen Kaya Kütle Sınıflarının Karşılaştırılması: Konakönü Tüneli Örneği, Trabzon <i>A. Kaya, F. Bulut</i>	277
Bir İçme Suyu Tünel Kazısında Titreşim Ölçümüne Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı <i>Ü. Özer, Ali Kahrıman, M. Aksoy, D. Adıgüzel, A. Karadoğan, Ali Kahrıman</i>	285
Kaya Saplamalarının Bilgisayar Destekli Tasarımı <i>Ö. Uysal, K. Erarşlan, Ş. Yuvka, S. Beyhan, H. Akçakoca, T. Aktaş</i>	293
Çan Açık Ocağı Kocabaş Çayı Civarı Şev Duraylılığı Analizleri <i>C. Karpuz, L. Tutluoglu, A. Koçyiğit, A. Koçal</i>	301
Arhavi-Hopa (Artvin) Karayolu Şevlerinin Duraylılığı <i>B. Karşlı, Ş. Ceryan</i>	313
Piritli Atıklardan Üretilen Çimentolu Macun Dolgunun Dayanım ve Deformasyon Özellikleri <i>B. Erçikdi, F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci, İ. Alp</i>	323
Harşit (Giresun) Granitinden Elde Edilen Kırtılmış Malzemenin Beton Agregası olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>A. Mustu, A.O. Yılmaz, M. Çapık</i>	337
Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinde Kesme Hızının Kesme Performansına Etkisinin Araştırılması <i>İ. Karakurt, G. Aydın, K. Aydın</i>	347
Hafriyat Malzemelerinin Dolgu Amaçlı Olarak Kullanılmasında Malzeme Özelliklerinin Etkisi <i>A. Kaya, S. Alemdağ, F. Bulut, H. Ersoy</i>	355
Hekimhan-Deveci Siderit Yatağının Rezerv ve Kalitesinin İncelenmesi ve Türkiye Demir-Çelik Endüstrisi İçin Önemi <i>Ü. Özer, M. Erol</i>	363

Çevre

TTK Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi Yer altı İşyerlerinde Gürültü Düzeylerinin Değerlendirilmesi <i>A. Fişne, G. Ökten</i>	373
Madencilğin Türk Çevre Mevzuatı Açısından Analizi <i>H. Ceylan, A. Tarhan</i>	383
İzmir Belkahve Bölgesi Kalker Ocaklarının Yeniden Yapılandırılması <i>G. Konak, D. Karakuş, A.H. Onur, Ç. Pamukçu, H. Köse, E. Yalçın</i>	395
Açık İşletme Arazi Dönüşüm ve Rehabilitasyon Yöntemlerinde Yeni Gelişmeler <i>M. S. Delibalta</i>	405

Cevher Hazırlama

Linyit Yakıtlı Termik Santrallarda Kömür Yıkama, Harmanlama Ve Homojenizasyon Uygulaması <i>C. Taştekin</i>	415
Kömür Yıkama Tesislerinde Ağır Ortam Kayıplarının Nedenleri –Eski Çeltik Kömür Yıkama Tesisinin Analizi <i>S. Yüce, İ. Alp, S. Sarı, R. Arabacı, H. Karagöz</i>	423
Türkiye’de Kömür Hazırlama Tesisleri, Performans Ölçümünün Önemi ve Bir Örnek Uygulama <i>V. Arslan, M. Tanrıverdi, S. Şen, B. Er</i>	433
FGX Cihazı ile Soma Kömürlerinin Temizlenmesi <i>H. Hacifazhoğlu, S. Buyurgan</i>	443
Termik Santral Uçucu Küllerinden Hafif Agrega Üretimi <i>M. Tanrıverdi, T. Çiçek</i>	451
Çayırhan Termik Santral Taban ve Uçucu Küllerinin Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği <i>M. Uçurum, Ö.Y. Toraman, E. Yoğurtçuoğlu, A. Bilgil</i>	457
Gazlaştırma Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamalar Bazında Bugünü ve Geleceği <i>G. Ateşok, A.A. Sirkeci</i>	465
Tüvenan Tinkalden Tek Kademedeki Kalsinasyon-Otojen Öğütme-Separasyon (KÖS) Metoduyla Mikronize Kalsine Tinkal Üretimi <i>O.Yılmaz, Y.Yalçınoğlu, İ.Kayandan, T.Ergül, C.Demirbağ, H.Akçin, T.Uludağ, B.Şentürk</i>	477

Emet-Espey Bor Tesisi İnce Gölet Artıklarından Flotasyonla Arsenik Minerallerinin Uzaklaştırılabilirliğinin Araştırılması <i>A. Uçar, M. Yargan</i>	487
Kırka Boraks Tesisi Kil Pestili ve DSM Elek Üstü Atığının Çini Bünyelerde Kullanımının Araştırılması <i>N. Ediz, İ. Bentli, İ. Tatar, Ö. Çakıroğlu, E. Arat</i>	493
Biyoliç Yöntemiyle Feldspat Cevherinden Demirin Uzaklaştırılması <i>V. Arslan, O. Bayat</i>	503
Ön Havalandırma ve H ₂ O ₂ İlavasının Mastra Altın Cevherinin Siyanür Liçine Etkisi <i>B. Öztürk, K.T. Perek, F. Arslan</i>	515
Kışladağ (Uşak) Altın Cevherinin Siyanür Liçi <i>F. Arslan, T. Özikinci, K.T. Perek</i>	521
Feldspat Flotasyonunda Nano Boyutlu Empüritelerinin Etkisi <i>İ. Gülgönül, C. Karagüzel, M. Çınar, E. Sabah, S. Özgen, M.S. Çelik</i>	529
K-Feldspattan Na-Feldspatın Flotasyonla Seçimli Ayrımında Ba ⁺⁺ İyonlarının Etkisi <i>İ. Bentli, İ. Gölğönül, M.S. Çelik</i>	539
Kırmataş Üretiminde Hammadde Tane Boyutunun Kırma – Sınıflandırma Tesisi Üretim Maliyetlerine Etkileri <i>İ.Topal, B.Elevli, H.Akçakoca</i>	545
Karmaşık Yapılı (Sülfür+Oksit) Pb-Zn Cevherinden Gravite Esaslı Zenginleştirme İle Pb Konsantresi Üretimi <i>A.E.Yüce, C. Er</i>	555
Nanomanyetik Kullanarak Sulardan As (V) Uzaklaştırılması <i>T. Türk, İ. Alp, İ. Erkan</i>	563
Afyon Bölgesi Kilinin Karakterizasyonu ve Seramik Yer Karosu Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması <i>H. Çelik, Ö. Ertürk, N. Day</i>	571
Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Macun Dolguda Bağlayıcı Olarak Kullanılabilirliği <i>F. Cihangir, A. Turan, B. Erçikdi, A. Kesimal, H. Deveci</i>	579
Cevher Hazırlama ve Metal Kazanımında Mikrodalga Enerji Kullanımı <i>Ö.Y. Toraman</i>	587

Diğer

Uyum Analizi ile Türkiye Taş Kömürü Kurumu Ocaklarındaki İş Kazalarının İncelenmesi <i>M. Önder, E. Adıgüzel</i>	597
Koçarlı (Aydın) Demir Cevheri: Jeofizik ve Jeolojik Bulguları <i>T. Gönenç, E. Timuç, M. Utku, M. Çolak, Z. Erhan, C. Sarı</i>	607
Mermer Sahalarında Boşlukların, Çatlakların ve Blok Veriminin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması <i>M. Ş. Yıldız, E. Gülerdoğan, F. A. Yüksel</i>	621
Çeşitli Kaynaklara Bağlı Olarak Enerji Sektöründen Açığa Çıkan Küresel Metan Emisyonlarının Bölgesel Analizi <i>G. Aydın, İ. Karakurt</i>	628
Kalecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Jeolojisi ve Jeoteknik Özellikleri <i>H. Ersoy, A. Özdemir, B. Yalçınalp</i>	639

Ekonomi ve Hukuk

Sürdürülebilir Madencilik Faaliyetleri Kapsamında Türk Çimento Sektörünün Güncel Durumu

Actual Situation of Turkish Cement Sector in the Scope of Sustainable Mining Activities

T. Gezbul

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara

ÖZET Çimento üretimi aslında tüm mühendislik birimlerinin yer aldığı bir proses olmasına rağmen ağırlıklı olarak bir madencilik faaliyetidir. Çimento hammadde kaynaklarının araştırılması ve çıkarılması madenciliğin ana konusu olup bunların işlenerek piyasaya uç ürün olarak sunulması yine madenciliğin alt branşlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bugün tamamı özel sektör tarafından işletilen Türk Çimento Sektörü, başlangıcından bu yana hem hammadde ocak işletmeciliği hem de üretim teknikleri açısından çok büyük mesafeler kaydetmiştir. Çimento hammaddeleri için çevreyle uyumlu ve sürdürülebilir ocak işletmeciliği, artan kullanım oranlarına rağmen tüm madencilik sektörü içerisinde örnek sayılabilecek bir kurumsal birliktelik sonucu ortaya çıkmıştır. Tüm madencilik sektörü içerisinde çimento sektörünün hem istihdam, hem üretim rakamları hem de ülke ekonomisine katkısı sektörün üretimde Avrupa'da birinci ve dünyada üçüncü sıraya yerleşmesini sonuçlamıştır.

ABSTRACT Cement production is actually a mining activity in general, although all of engineering branches are involved in the whole process. Exploration and extraction of cement raw materials are the major subject of mining activities and additionally final products are produced and conveyed to the markets again by means of sub-branches of mining. All of Turkish Cement Sector is currently active with private investors and since privatization it improved a lot in terms of raw materials quarry activities and process technologies. Environmental friendly and sustainable quarry activities for the extraction of cement raw materials have positively been resulted as a case corporate study among all mining sector activities in Turkey with increased volume of raw materials. It also resulted that Turkish Cement Sector is now ranked at the top of the list in Europe and third in the world in production; it is a matter of greater amount of and qualified labourship, higher quality production and production figures and positive contribution to the Turkish economy.

1 ÇİMENTO

Çimentonun temel ürünü klinkerdir. Klinker, klinker hammaddelerinin çeşitli proseslerden geçirilerek, yoğun yakıt ve elektrik kullanarak döner fırınlarda klinker pişirme işlemi ile üretilir. Çimento öğütme tesislerinde, klinkere belli oranlarda katkı maddeleri ilave edilip birlikte öğütülmesi ile çeşitli tür ve özelliklerde çimento üretilmiş olur.

Tipik bir entegre çimento fabrikası aşağıdaki altı alt sistemden oluşur:

1. Hammadde sağlama sistemi (taş ocağı)
2. Yakıt hazırlama sistemi
3. Hammadde (farin) hazırlama sistemi
4. Klinker pişirme sistemi (döner fırın)
5. Klinker soğutma sistemi
6. Çimento öğütme sistemi

Hammadde ocaklarından klinker hammaddesi olan; kalker, marn ve kil çıkarılır. Bu işlemin gerçekleşmesi sırasında yoğun bir madencilik faaliyeti – iş makinesi, dolayısıyla da yakıt kullanımı söz konusudur. %100 saflıktaki kalker, $CaCO_3$ dan oluşur (saf kireçtaşı). Kalker, en saf şekliyle beyazdır. Killi maddeler ve demir bileşikleri, kalkerin rengini değiştirir. İçinde silis, killi maddeler ve demir oksit bulunan kalkerlere marn denir.

Çimento üretiminde klinker oluşturabilmek için dört temel oksitin var olması gerekmektedir:

1. Kireç (CaO)
2. Silika-silis (SiO_2)
3. Alümina (Al_2O_3)
4. Demir (Fe_2O_3)

Bu bileşenler nadiren tek kaynaktan sağlanabilir. Genellikle kimyasal kompozisyonu tutturabilmek için ikili, üçlü, dördü ve hatta beşli karışımlar kullanılabilir.

Bu karışım oranları üretilecek çimento tipleri ile de doğru orantılı olarak ayarlanabilmektedir. Klinker oluşturma aşamasına gelinceye kadar yapılan faaliyetlerin tamamı gerçek madencilik faaliyettir; çevreyle uyumlu olarak ve sürdürülebilir madencilik kapsamında yapılan bu faaliyetler en göz önünde olan ve tüm faaliyet sahiplerinin en çok hassasiyet gösterdiği konudur.

Üretim sürecinde;

- Kireçtaşı (% 60-75)
- Kil-Marn (% 25-40)
- Diğer katkılar – pirit külü, demir cevheri, boksit vb. (% 1-10) kullanılarak yaklaşık olarak 1,6 ton hammadde karışımı hazırlanır;
- Kırma – Öğütme işlemine sokulan bu karışım
- 1.500 derece civarında döner fırında pişirme işlemine tabi tutulur
- Burada yaklaşık olarak 120 kg kömür kullanılır
- Sonuçta 1 ton KLİNKER elde edilmiş olur.
- İlave katkı maddeleri (alçıtaşı, puzolan, curuf vb.) ile öğütme işlemi tamamlanarak ÇİMENTO üretilmiş olur.

2 TARİHÇE

Türkiye’de ilk çimento üretimi 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darca’da üretilmiştir. Yıllar

içerisinde tülkenin heme her ilinde açılan fabrikalarla 2009 yılı itibarıyla 46 adet entegre çimento fabrikasına ve 17 adet öğütme-paketleme terminali sayısına ulaşılmıştır.

1998 yılının başında özelleştirme çalışmalarının tamamlanması ile tamamen özelsektör statüsüne kazanan Türk Çimento Sektörü'nde yerli sermayenin dışında Frans, İtalya, Portekiz, Belçika, Almanya ve İrlanda sermayesi de önemli bir yer teşkil etmektedir.

GSMH içindeki payı %1 civarında olan sektör, teknik ve idari yöneticileri, kalifiye ve düz işçileri ile taşeron elemanları olmak üzere 14.000'in üzerinde kişiye istihdam sağlamakta (2008 yıl sonu itibarıyla), çimento sektörüne hizmet sunan diğer sektörlerle birlikte bu rakam 25.000 civarına ulaşmaktadır.

1997 yılında Türk Çimento Sektörü'nün bölgeler toplamında klinker kapasite rakamı 32 milyon ton'un üzeri ve çimento kapasite rakamı 53 milyon ton'un üzeridir. Bu yıllarda başlayan özelleştirme ve yatırım teşviklerinin yanında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün kontrolünde yenilenen Maden Kanunu ve ilgili yönetmeliklerle alınan ruhsat güvenceleri ile birlikte yeni fabrikaların açılması sağlanmıştır; böylece 2008 yılı sonu itibarıyla, Türk Çimento Sektörü'nün klinker kapasitesi 56 milyon ton'un üzerine ve çimento kapasitesi 94 milyon ton'un üzerine çıkmıştır.

1999 yılı sonunda Türkiye'de üretilen 1 milyon ton'un üzerinde klinker ve 3,4 milyon ton'un üzerinde çimento ihracatı yapılmış olmasına rağmen, 2008 yılı sonunda 2 milyon ton'a ulaşan

klinker ve 10,5 milyon tonu aşan çimento ihracat rakamlarına ulaşmıştır.

Türk Çimento Sektörü, üretim, çevre ve iş güvenliği konularında Avrupa standartlarında çalışmaktadır. Birliğe bağlı fabrikalar ISO 9000 yönetim sistemlerini uzun yıllardan beri kurmuş bulunmaktadır. İhracatı yapılan tüm ürünler CE markasına sahiptir. Üretilen ürün kalitesi düzenli olarak kontrol edilmektedir. Türkiye'de uygulanan standartlar AB ile uyumlu hale getirilmiştir.

3 MADENCİLİK FAALİYETLERİ

3.1 Maden İşleri Genel Müdürlüğü Verileri (Ruhsatlar ve Üretim Rakamları)

Çimento hammaddelerinin araştırılması, çıkarılması ve işletilmesi uzun yıllar boyunca Taşocakları Nizamnamesi ile yürütülmekteydi. Daha sonra Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün kontrolünde yenilenen Maden Kanunu ve ilgili yönetmeliklerle sağlanan ruhsat güvencesi yatırımcının çimento sektörü gibi uzun yıllar boyunca fabrikalarının düzgün ve sürekli çalışma rahatlığına ulaşmasını sağlayacak koşulları ortaya getirmiştir.

Çimento ana hammaddeleri Maden Kanunu'nun yeni sınıflaması içerisinde genellikle II. Grup (kalker) ve I b Grubu (kil, marn) içerisinde yer almaktadır. 2008 yılı sonu Maden İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre yaklaşık 750'nin üzerinde I b Grubu işletme ruhsatı mevcuttur ve bunların tamamına yakını çimento sektörüne aittir; II. Grup ruhsatlar ise 18.000 civarında Arama Ruhsatı ve 2.600 civarında İşletme Ruhsatı olarak bildirilmektedir. Bu

sayıların çimento sektörü ile ilgili kısmı 2.000 civarında Arama Ruhsatı ve 500 civarında İşletme Ruhsatı şeklindedir.

Çimento ve inşaat hammaddeleri toplam üretimi kapsamında Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne 2003 yılında bildirilen kalker ana hammaddesi kullanımına ait rakam 60 milyon tonun üzerindedir ve yaklaşık olarak 30 milyon tonluk kısmı çimento üreticileri tarafından üretilmiştir. Yukarıda bahsedilen ruhsat güvencesi ile yatırımcının önünün açılması sağlandıktan sonra yapılan araştırmalar ve üretimler sonucu 2008 yılı sonunda Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne bildirilen bu rakam 200 milyon tonun üzerine çıkmıştır ve bunun 60 milyon tona yakın rakamı çimento sektörü için ana hammadde olan kalker üretimine denk düşmektedir.

Bu rakamlar I b Grubu ruhsatlar içerisinde üretilen diğer ana hammadde kaynakları olan kil ve mam için hesaplandığında Türkiye genelinde 2003 yılı sonunda yaklaşık olarak 6 milyon ton civarı iken (tamamına yakını çimento sektörü tarafından üretilmiştir), 2008 yılı sonunda bu rakam 20 milyon ton'un üzerine çıkmıştır.

Katkı maddelerinden olan tras (puzolanik kayaç) rakamları incelendiğinde 2003 yılı sonunda 2 milyon civarı toplam kullanım mevcuttur (tamamı çimento sektöründe kullanılmıştır); 2008 yılı sonu itibarıyla bu rakamı 3,5 milyon ton civarına ulaştırmıştır.

3.2 Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Verileri

2008 yılı sonu itibarıyla Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye kuruluşlar tarafından bildirilen rakamlar

kapsamında Avrupa Çimento Birliği (Cembureau) standartlarına uygun sınıflamalara girilerek çimentoda kullanılan ana hammaddeler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Si kaynakları
 - kum: 536.529 ton
 - döküm kumu: 74.134 ton
- Ca kaynakları
 - Ca kaynakları: 50.088.500 ton
 - Atık kireçtaşı: 40.032 ton
- Fe kaynakları
 - Fe-içeren malzemeler: 744.151 ton
 - Pirit külü: 122.913 ton
- Al kaynakları
 - Al-içeren malzemeler: 512.941 ton
 - Endüstriyel atıklar: 18.272 ton
- Si-Al-Ca kaynakları
 - Diğer Si-Al-Ca içeren malzemeler: 18.015.174 ton
 - Uçucu kül: 35.260 ton
 - Diğer: 189.381 ton

Buradan anlaşılacağı üzere Türk Çimento Sektörü'nün 2008 yılında yaklaşık 80 milyon ton civarında çimento hammaddesi sürdürülebilir ve çevreye uyumlu şekilde yapılan madencilik faaliyetleri çalışmaları ile gerçekleşmiştir.

4 SONUÇLAR

Türk Çimento Sektörü ülkede Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından temsil edilmekte olup, bağlı olduğu uluslararası birliklerin yüksek standartlarını ülkeye kazandırmış olan

ve hammadde kaynaklarından uç ürüne kadar üretimin her aşamasında kaliteden ödün vermeden çalışmalarına devam etmektedir.

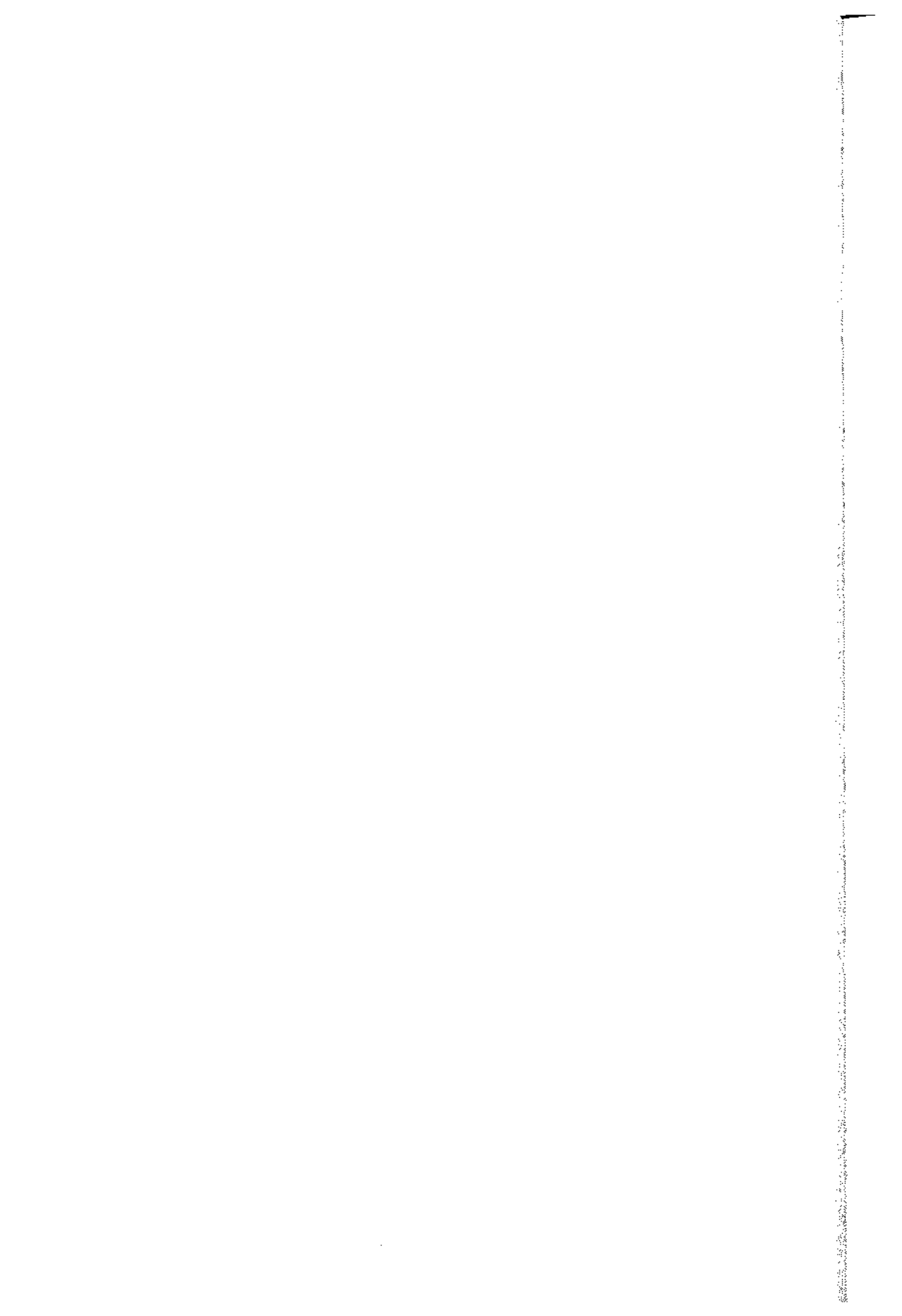
Çimento üretimi genel anlamda bir madencilik faaliyeti olduğundan, bu faaliyetlerin sürdürülebilir kalkınma prensibi doğrultusunda ve çevreyle uyum içerisinde yapılması gereken hammadde ocak işletmeciliği ile sağlandığı, yetkililerce örnek olarak gösterildiği bilinmektedir ve bu çalışmalar artan hammadde kullanım miktarlarına rağmen daha dikkatli bir şekilde yapılmaya devam edilecektir.

KAYNAKLAR

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), Kurumsal Eğitim Semineri Notları, 2008

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), İnternet Ana Sayfası İstatistikler Bölümü, İhracat ve İstihdam Tabloları

Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM), İnternet Ana Sayfası İstatistikler Bölümü, Ruhsatlar Dağılımı ve İşletme Ruhsatlı Sahalardan Ruhsat Sahiplerince Genel Müdürlüğümüze Beyan Edilen Maden Üretim Değerleri Tabloları



Dünyada ve Türkiye’de Taşkömürü

Hardcoal in World and in Turkey

V. Didari

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Müh. Böl. Zonguldak

E. Karaçam

Türkiye Taşkömürü Kurumu, Zonguldak

ÖZET Dünya genelinde kömür rezervleri, üretim ve tüketim rakamları; enerji ve demir-çelik endüstrilerinde kömürün yeri ve önemi ile ilgili son bilgiler verilmektedir. Bu çerçevede içinde; Türkiye’de taşkömürü endüstrisinin ayrıntılı bir idari ve teknik incelemesi ile durum değerlendirmesi yapılmaktadır.

ABSTRACT Most recent data related to reserves, production, consumption and trade of coal have been presented, together with an interpretation related to the global status and importance of coal in both energy and iron and steel industries. In this context, a detailed administrative and technical case study has been carried out on the Turkish hardcoal industry.

1. DÜNYADA ENERJİ VE DEMİR-ÇELİK ENDÜSTRİLERİNDE TAŞKÖMÜRÜNÜN YERİ

1.1. Genel Durum

Günümüzde dünya enerji gereksiniminin; %80,9’u kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan (%34,4 petrol, %26 kömür ve %20,5 doğal gaz); %19,1’i ise başta nükleer (%6,2) ve hidrolik (%2,2) enerji olmak üzere hayvan ve bitki artıkları, rüzgar, güneş ve jeotermal ısı (%10,7) gibi kaynaklardan karşılanmaktadır (Çiz.1).

Fosil yakıtların dünya rezervi içindeki dağılımı; %68 kömür, %18

petrol ve %14 doğal gaz şeklindedir. Bugünkü kullanım düzeyleriyle bu yakıtların ömrü; petrol için 42, doğal gaz için 60 ve kömür için 133 yıl olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, kömür 21. yüzyılda dünyanın en önemli ve en güvenilir enerji kaynağı olarak görünmektedir.

Dünyada üretilen elektriğin; %41’i kömürden, %20,1’i doğalgazdan, %16’sı hidroelektrik olarak, %14,8’i nükleer santrallerden, %5,8’i petrolden ve %2,3’ü diğer kaynaklardan sağlanmaktadır.

Küresel ısınma tehdidine karşın elektrik üretimindeki en büyük payım kömürde oluşu dikkat çekicidir.

Çizelge 1. Dünya birincil enerji tüketiminde kaynak payları (IEA, 2006-2008).

Enerji kaynakları	Oran (%)		
	1973	2006	2030
Petrol	46,1	34,4	31,5
Doğal Gaz	16,0	20,5	22,3
Kömür	24,5	26,0	28,2
Nükleer	0,9	6,2	4,8
Hidrolik	1,8	2,2	2,4
Biyokütle*	10,6	10,1	10,8
Yenilenebilir**	0,1	0,6	
Toplam Birincil Enerji Arzı (milyon TEP)	6.115	11.741	16.500

*Yanabilir, yenilenebilir ve atık
** Jeotermal, rüzgar, güneş

1.2. Kömür Rezervleri, Üretim-Tüketim, Ticaret

Dünya kömür rezervi 430,9 milyar ton taşkömürü ve 416,6 milyar ton linyit olmak üzere 847,5 milyar ton'dur. ABD'nin 243, BDT'nin 226 ve ÇHC'nin 114,5 milyar ton'la başı çektiği bu rezerv içinde Türkiye'nin payı %0,2 kadardır. Dünya petrol rezervi 168,6 milyar ton, doğal gaz rezervi ise 177,4 trilyon m³ kadardır.

Kömür dünyada 50 kadar ülkede üretilmekte ve 70 kadar ülkede tüketilmekte olup bir "küresel endüstri" söz konusudur. Ancak, yine de dünya rezervinin %67'sinin dört ülkede bulunuyor olması ilginçtir (%27 ABD, %17 Rusya, %13 ÇHC, %10 Hindistan). Petrolün %67'si ve doğal gazın %66'sı Ortadoğu ve BDT ülkelerindedir (Çiz.2).

Dünya kömür üretimi 2007 yılında 5,543 milyar ton taşkömürü ve 945 milyon ton linyit olmak üzere 6,488 milyar ton olarak gerçekleşmiştir. Tüketim de yaklaşık olarak aynı düzeyde (5,522 milyar ton taşkömürü) olmuştur (Çiz.3).

Fosil yakıt tüketiminde petrol %43, kömür %31 ve doğal gaz %26 paya sahiptir (IEA,2008).Dünyada ticarete konu taşkömürü miktarı 247 milyon tonu "koklaşabilir" olmak üzere toplam 917 milyon tondur. Bu rakam, toplam tüketimin yaklaşık olarak

Çizelge 2. Dünya fosil yakıt rezervleri (WCI, 2008; IEA,2008)

Bölge	Petrol (milyar ton)	Doğal Gaz (trilyon m ³)	Kömür (milyar ton)	
			Taşkömürü	Linyit
K. Amerika	9,5	7,98	116,592	133,918
O. ve G. Amerika	15,9	7,73	7,229	9,047
Avrupa ve BDT	19,4	59,41	102,042	170,244
Ortadoğu	102,9	73,21	50,817	0,174
Afrika	15,6	14,58		
Asya ve Okyanus	5,4	14,46	154,216	103,249
Toplam	168,6	177,36	430,896	416,592

%17'sine karşılık gelmektedir.Çizelge 3 kömür ticaretinde en etkili ülkeleri göstermektedir.

Üretilen taşkömürünün %13'ü (717 milyon t) çelik endüstrisinde kullanılmakta olup dünya çelik endüstrisinin %70'i taşkömürüne bağımlıdır. 2007'de dünya çelik üretimi 1,3 milyar ton'un üzerinde

olup bunun %37'si Ç.H.C tarafından gerçekleştirilmiştir (DÇÜD,2008).

Özetlenecek olursa; dünyada üretilen kömür, küresel birincil enerji gereksiniminin %26'sını ve elektrik üretiminin %41'ini karşılamakta olup çelik üretiminin %70'i için de hammadde olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Dünyada kömür üretimi ve ithalat-ihracatı (milyon ton) (WCI, 2002-2008).

			YILLAR						
			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
BÜYÜK TAŞKÖMÜRÜ ÜRETİCİSİ ÜLKELER (İLK 10)	ÇİN		1294	1326	1502	1956	2226	2482	2549
	ABD		945	917	892	933	951	990	981
	HİNDİSTAN		313	334	340	373	398	427	452
	AVUSTRALYA		257	276	274	285	301	309	323
	GÜNEY AFRIKA		225	223	239	238	240	244	244
	RUSYA		168	164	188	210	222	233	241
	ENDONEZYA		93	101	120	129	140	169	231
	POLONYA		104	103	100	100	98	95	90
	KAZAKİSTAN		73	71	75	83	79	92	83
	KOLOMBİYA		-	-	-	-	61	64	72
DÜNYA KÖMÜR TİCARETİ	KOKLAŞABİLİR		183	187	206	214	227	222	247
	BUHAR KÖMÜRÜ		442	436	512	541	548	593	670
	TOPLAM		625	623	718	755	775	815	917
DÜNYA D.Ç. SEKT. TAŞKÖMÜRÜ TÜKETİMİ			600	528	543	545	664	717	717
BÜYÜK İHRACATÇI ÜLKELERİN TAŞKÖMÜRÜ İHRACATI	AVUSTRALYA	KOKLAŞABİLİR	106	106	108	112	125	121	132
		BUHAR KÖMÜRÜ	87	92	100	107	106	111	112
		TOPLAM	193	198	208	219	231	232	244
	ENDONEZYA	KOKLAŞABİLİR	-	7	15	17	19	25	31
		BUHAR KÖMÜRÜ	66	66	75	90	89	104	171
		TOPLAM	66	73	90	107	108	129	202
	RUSYA	KOKLAŞABİLİR	7	9	13	14	12	10	15
		BUHAR KÖMÜRÜ	34	36	47	51	67	82	85
		TOPLAM	41	45	60	66	79	92	100
	GÜNEY AFRIKA	KOKLAŞABİLİR	-	1	1	3	1	1	1
		BUHAR KÖMÜRÜ	69	68	70	64	72	68	66
		TOPLAM	69	69	71	67	73	69	67

2. TÜRKİYE'DE ENERJİ VE DEMİR ÇELİK ENDÜSTRİLERİNDE TAŞKÖMÜRÜNÜN YERİ

2.1 Genel Durum

Türkiye'de hemen her türden enerji kaynağı bulunmakla birlikte (Çiz.4) kömür ve hidrolik enerji kaynakları dışındakiler gereksinimleri karşılayabilecek miktarlarda değildir (Çiz.5).

Taşkömürü rezervi 1,330 milyar ton olup 2007'de üretim: 1,675 milyon ton TTK ve 817000 ton özel sektör olmak üzere toplam 2,492 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2006 yılı ithalatı: 20,742 milyon ton (kok dahil) ve toplam tüketimi ~23 milyon ton (~5 milyon ton demir-çelik sektöründe) olmuştur.

Çizelge 3. Dünyada kömür üretimi ve ithalat-ihracatı (devam ediyor).

			YILLAR							
			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
BÜYÜK İHRACATÇI ÜLKELERİN TAŞKÖMÜRÜ İHRACATI	ÇİN H. C.	KOKLAŞABİLİR	12	14	15	6	6	4	3	
		BUHAR KÖMÜRÜ	79	72	80	80	66	59	51	
		TOPLAM	91	86	95	86	72	63	54	
		KOKLAŞABİLİR	0,2	-	0,3	1	0,1	-	-	
	KOLOMBİYA	BUHAR KÖMÜRÜ	37	34	46	51	55	60	67	
		TOPLAM	37	34	46	52	56	60	67	
		KOKLAŞABİLİR	23	18	20	24	26	25	29	
	ABD	BUHAR KÖMÜRÜ	21	16	19	19	19	20	24	
		TOPLAM	44	34	39	43	45	45	53	
		KOKLAŞABİLİR	56	66	82	86	63	73	54	
	BÜYÜK İTHALATÇI ÜLKELERİN TAŞKÖMÜRÜ İTHALATI	JAPONYA	BUHAR KÖMÜRÜ	81	92	80	97	114	105	128
			TOPLAM	137	158	162	183	177	178	182
KOKLAŞABİLİR			17	18	18	21	21	20	23	
KORE		BUHAR KÖMÜRÜ	48	44	54	58	56	60	65	
		TOPLAM	65	62	72	79	77	80	88	
		KOKLAŞABİLİR	7	10	9	7	5	6	8	
M.ÇİN		BUHAR KÖMÜRÜ	42	43	45	53	57	58	61	
		TOPLAM	49	53	54	60	62	64	69	
		KOKLAŞABİLİR	8	6	7	6	7	7	7	
İNGİLTERE		BUHAR KÖMÜRÜ	28	23	26	30	37	44	43	
		TOPLAM	36	29	33	36	44	51	50	
		KOKLAŞABİLİR	-	5	6	7	7	9	10	
ALMANYA		BUHAR KÖMÜRÜ	-	32	29	32	31	33	36	
		TOPLAM	-	37	35	39	38	42	46	
		KOKLAŞABİLİR	10	-	-	-	20	19	23	
HİNDİSTAN		BUHAR KÖMÜRÜ	11	-	-	-	-	22	31	
		TOPLAM	21	-	-	-	20	41	54	
		KOKLAŞABİLİR	-	-	-	-	7	9	6	
ÇİN H.C		BUHAR KÖMÜRÜ	-	-	-	-	-	29	42	
		TOPLAM	-	-	-	-	-	38	48	
		KOKLAŞABİLİR	-	-	-	-	-	-	-	

Çizelge 4. Türkiye birincil enerji kaynakları rezervleri (2006) (ETKB, 2007).

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taşkömürü (milyon t)	537	425	368	1.330
Linyit (milyon t)	7.983	612	110	8.695
Asfaltit (milyon t)	43	29	7	79
Bitümler (milyon t)	555	555	1.086	1.641
Hidrolik				
GWH/yıl	127.381			127.381
MW/yıl	36.260			36.260
Doğal Gaz (milyar m ³)	8			8
Ham petrol (milyon t)	42,8			42,8
Jeotermal (MW/yıl)				
Elektrik	98		412	510
Termal	3.348		28.152	31.500
Güneş				
Elektrik				--
Isı				

Çizelge 5. Türkiye birincil enerji dengesi (2006), (mtep) (ETKB, 2007).

	Taş Kömürü	Linyit Asfaltit	Odun Hayvan Bikisi	Petrol	Doğal Gaz	Hidrolik	Jeotermal Elektrik	Rüzgar	Jeotermal Isı	Güneş	TOPLAM
Yerli Üretim (+)	1.973	11.065	5.127	2.504	743	3.745	92	7	976	403	26.636
İthalat (+)	10.637			30.406	24.714						65.814
İhracat (-)											188
Birincil Enerji Arzı	12.610	11.065	5.127	32.910	25.457	3.745	92	7	976	403	92.261
Toplam Enerji Arzı içinde Payı %	13,65	11,58	5,54	35,62	27,55	4,04	0,10	-	1,06	0,44	100

Çizelge 6. Taşkömürü, petrol ve doğal gaz üretim ve ithalatı (2006) (TÜİK,2007).

2006'da taşkömürü, petrol ve doğal gaz ithalat rakamları Çizelge 6'da ve yıllara göre ithalat maliyetleri Çizelge 7'de yer almaktadır. Türkiye'nin dışa bağımlılığının ülkütücü düzeylerde olduğu görülebilmektedir.

Kaynak	Üretim	%	İthalat	%
Taşkömür (ton)	2.319.000	10	20.742.000	90
Petrol (ton)	2.176.000	7	29.219.000	93
Doğal Gaz (m ³)	907.000.000	3	30.406.000.000	97

Çizelge 7. Brüt enerji ithalatı (TÜİK, 2007).

YIL	TUTAR (USD)
1996	5.900.000.000
2000	9.500.000.000
2003	11.600.000.000
2004	14.400.000.000
2005	21.360.000.000
2006	28.600.000.000

2.2 Üretim ve Tüketimde Kaynakların Payları

Yerli enerji kaynağı üretiminde (2006'da 26636 mtep) kömür ve hidrolik enerji önemli bir yer tutarken tüketimde (2006'da 92261 mtep) kömürle birlikte çok uzun yıllar boyunca petrol ve son yıllarda da doğal gaz önem kazanmıştır.

2006'da birincil enerji tüketiminin dağılımı şu şekilde olmuştur: %30,41 kömür; %30,09 petrol; %28,93 doğal gaz; %10,45 hidrolik.

Tüketimde dışa bağımlılık yaklaşık olarak %70 dolayında olup parasal değeri 28,6 milyar \$'dır.

Elektrik üretiminde kaynak payları şu şekildedir: %44 doğal gaz; %25,1

hidrolik; %18,4 linyit; %8 taşkömürü; %3,5 petrol vb.; %1 yenilenebilir.

Türkiye'nin başlıca elektrik üretimi kaynaklarının doğal gaz, hidrolik ve kömür olduğu görülmektedir.

25,8 milyon tona çıkan ham çelik üretimi (14 milyon ton kadarı ihracata konu) ile ülkemiz 2007 yılında dünyada 11. olmuştur (DÇÜD,2008). Bu üretimin %70 kadarı ark fırınlarından yapılmakta olup (Türkiye dünyanın en büyük hurda ithalatçısı konumundadır) kalamı da büyük ölçüde ithal taşkömürüne bağımlıdır. Bu hurdaya ve ithal taşkömürüne bağımlılığın artarak süreceği kolayca öngörülebilmektedir.

2.3 Taşkömürü İle İlgili Projeksiyonlar

2007'den başlayarak Türkiye'nin taşkömürü gereksinimi ile ilgili projeksiyonlar Çizelge 8'de gösterilmektedir. TTK'nun ve özel sektörün yaklaşık 10 milyon ton/yıl üretimi sağlayacaklarını öngören bu projeksiyonlar "iyimser" olup dışalımın 20-25 milyon ton düzeylerinde seyretmesi kaçınılmaz görülmektedir.

3. TÜRKİYE'DE TAŞKÖMÜRÜ MADENCİLİĞİ VE TTK

3.1 Rezervler, Üretim-Tüketim, Maliyet ve Fiyatlar

Zonguldak Havzası taşkömürü rezervleri Çizelge 9'da TTK Müesseseleri itibariyle verilmektedir.

Çizelge 8. Taşkömürü ile ilgili projeksiyonlar (bin ton) (DPT, 2007).

TALEP	YILLAR						
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Demir Çelik	5.526	5.526	5.526	8.044	8.044	8.044	13.854
Enerji Sant.	6.940	6.940	6.940	6.940	6.940	6.940	6.940
Çimento	1.470	1.470	1.470	1.470	1.470	1.470	1.470
Gıda	170	170	170	170	170	170	170
Diğer	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500	6.500
TOPLAM	20.606	20.606	20.606	23.124	23.124	23.124	26.664
Üretim							
TTK	3.350	4.200	4.800	4.800	4.800	4.800	4.800
Özel Sektör	475	1.000	3.000	3.900	3.900	4.600	4.600
TOPLAM	3.825	5.100	7.800	8.700	8.700	9.400	9.400
İthalat	16.781	15.506	12.806	14.424	14.424	13.724	17.264

Çizelge 9. Zonguldak Havzası rezervleri (bin ton) (TTK, 2008).

Rezerv Çeşidi	MÜESSESELER					TOPLAM
	Armutçuk	Kozlu	Üzülmöz	Karadon	Amasra	
Hazır	1.605	3.470	2.999	3.379	180	11.633
Görünür	10.205	69.223	136.972	137.260	172.154	525.814
Muhtemel	15.860	40.539	93.342	159.162	115.052	423.955
Mümkün	7.883	47.975	74.020	117.034	121.535	368.447
TOPLAM	35.553	161.207	307.333	416.835	408.921	1.329.849

TTK'nın üretim ve satışlarla ilgili bilgileri Çizelge 10'da derlenmiştir.

Çizelge 11, yıllar içinde madencilik çalışmalarındaki derinleşmeyi ve hazırlanabilen toplam ayak uzunluklarını

göstermektedir. Hazır olan ayak boylarının 1/3'ünün çalışılabilirdiği görülmektedir.

Çizelge 12, 2000-2008 yılları arasında TTK maliyetlerini önemli bileşenlere göre

sınıflandırarak vermektedir. Maliyetin içindeki en büyük bileşen olarak göze çarpan işçiliklerin ve randımanların durumu Çizelge 13'de özetlenmektedir. İşçi sayısında dramatik bir azalma söz konusuyken randımanlarda az da olsa bir iyileşme göze çarpmaktadır.

Çizelge 14, satış gelirleri, personel giderleri ve toplam zarardaki değişimi göstermektedir. Satış gelirlerinde son yıllarda kömür fiyatlarındaki artışa bağlı olarak dikkate değer bir iyileşme vardır. Bu gelirlere kömür alım satımından elde edilen gelirler dahil değildir.

Çizelge 10. Üretim ve satış ile ilgili bilgiler (TTK,2008).

Açıklama	YILLAR									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Satılabilir Üretim (bin ton)	2.259	2.357	2.244	2.011	1.881	1.667	1.523	1.675	1.587	
Satılan (bin ton)	2.163	2.292	2.102	2.040	1.888	1.627	1.425	1.678	1.554	
Demir-Çeliğe satılan (bin ton)	361	410	343	392	410	418	305	399	360	
Demir-Çeliğe satış fiyatı (\$/ton)	50	52	58	67	89	110	110	108	140	
ÇATES'e satılan (bin ton)	1.543	1.480	1.393	1.273	1.150	1.005	935	1.086	962	
ÇATES'E satış fiyatı (\$/ton)	35	35	34	43	50	57	49	58	61	
Diğerleri (bin ton)	259	402	366	375	328	204	185	193	232	
Toplam Satış gelirleri (milyon\$)	92	77	85	96	115	135	142	135	148	

Çizelge 11. TTK Üretim panolarının durumu ile ilgili bilgiler (TTK,2008).

Açıklama	YILLAR									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*	
Ortalama derinlik (m)	-301	-306	-299	-308	-327	-335	-348	-350	-350	
Toplam ayak boyu (m)	4.416	4.735	4.234	4.504	4.245	3.690	3.527	3.640	3.397	
Çalışılan ayak boyu (m)	1.910	2.008	1.798	1.640	1.530	1.290	1.060	1.288	1.199	
Çalışılan ayak boyu Toplam ayak boyu (%)	43	42	42	36	36	35	30	35	35	

* Kasım ayı sonu itibarıyla

Çizelge 12. TTK'da maliyet unsurlarının genel görünümü (TTK, 2000-2008).

Maliyet Bileşenleri	YILLAR											
	2000		2002		2004		2006		2007		2008	
	TL/t	%	TL/t	%	TL/t	%	TL/t	%	TL/t	%	TL/t	%
Malzeme	5,86	4,5	13,05	5,89	18,49	6,71	25,30	7,21	30,62	8,61	33,30	8,14
Hizmet alımı	-	-	-	-	-	-	9,83	2,80	7,30	2,05	10,06	2,45
İşçilik	82,33	63,2	146,85	66,42	178,18	60,40	226,34	64,50	244,68	68,83	259,00	63,32
Memur	7,55	5,8	16,81	7,6	25,23	7,88	36,07	10,28	33,68	9,48	43,31	10,59
Elektrik	4,43	3,4	11,94	5,41	11,72	4,98	13,76	3,92	11,95	3,36	15,75	3,85
Amortisman	0,78	0,6	2,21	0,97	7,59	1,39	10,67	3,04	7,44	2,09	9,81	2,40
Diğer	0,65	0,5	0,66	0,36	6,19	1,17	2,98	0,85	4,02	1,13	5,02	1,23
Finans	28,66	22,0	29,64	13,35	48,62	17,46	25,97	7,40	15,81	4,45	32,79	8,02
TOPLAM	130,26	100	221,16	100	296,02	100	350,92	100	355,50	100	409,05	100
TOPLAM(S/t)	212		144		204		245		273		297	

*Beklenen

Çizelge 13. TTK'da işçi sayıları ve satılabilir randımanlar (TTK, 1970-2008).

İşçi Sayısı	YILLAR								
	1970	1980	1990	2000	2002	2004	2006	2007	2008*
Yeraltı	20.196	24.230	21.024	14.558	11.761	8.932	7.703	7.983	7.418
Yerüstü	14.475	17.697	13.325	4.563	4.000	3.329	2.908	2.582	2.311
Toplam	34.671	41.927	34.349	19.151	15.761	12.261	10.611	10.565	9.729
Satılabilir Ran. (kg/yev.)									
Üretim işçilikleri	4.442	3.135	2.859	1.810	2.128	1.980	2.105	2.302	2.897
İçeri (yeraltı)	865	536	526	650	742	834	784	832	855
Genel	469	306	328	470	548	601	569	628	653

*Kasım ayı sonu itibarıyla

Çizelge 14. Gelirler, personel giderleri ve zarar (milyon \$) (TTK, 2000-2008).

Açıklama	YILLAR								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*
Satış Geliri	92	77	85	96	115	135	142	135	148
Pers.Gid. (İşçi+menmür)	315	208	224	258	267	291	260	360	340
Zarar	368,2	216,6	217,3	320,9	268,3	259,5	246,2	324,2	317,6

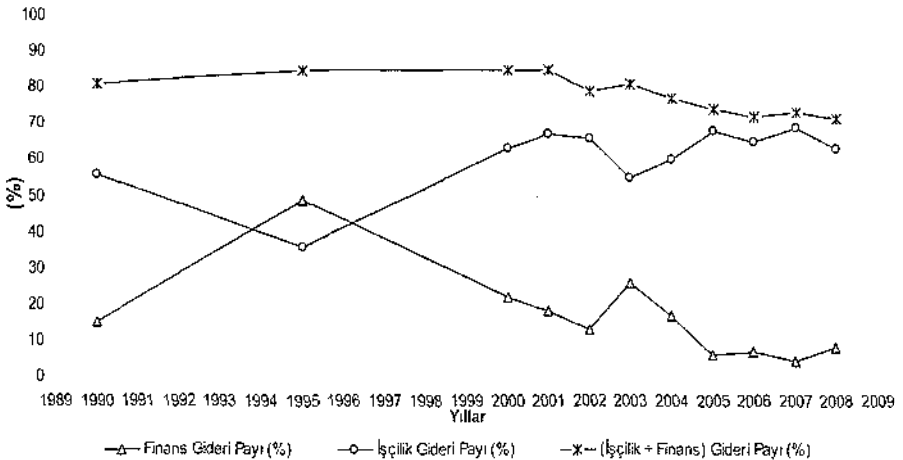
*Beklenen

Yukarıdaki çizelgelerden ve TTK İnceleme Raporu'ndan (1995) yararlanılarak hazırlanan ve Şekil 1-2'de yer alan grafikler TTK'da yıllar içindeki gelişmeleri özetlemektedir. 2006 ve 2007'de üretimi T.T.K üretiminin yarısı düzeylerinde olan rödövanlı sahaların payı bugün neredeyse %70'lere ulaşmaktadır (Çiz. 15).

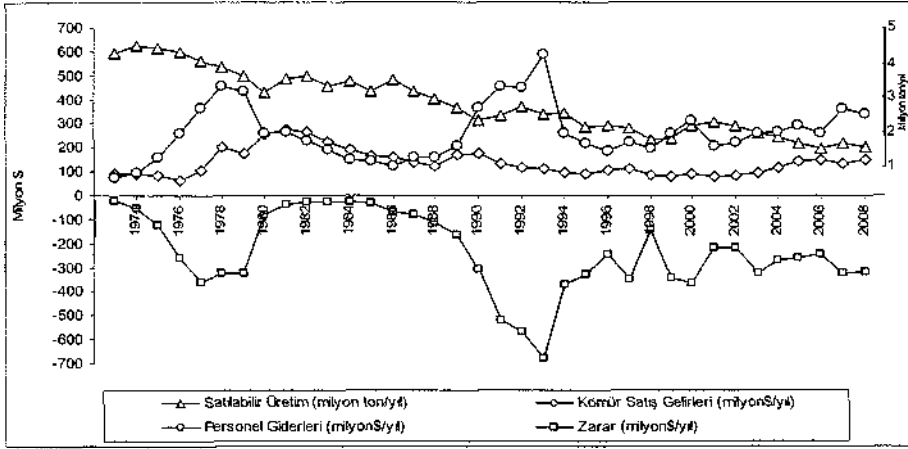
Yıllara göre TTK satılabilir

taşkömürü üretiminin; 7000 kcal/kg kömür eşdeğeri bazındaki değişimini gösteren Çizelge 16 ilgi çekicidir.

Havzada yapılan üretim içinde payı giderek azalmakta olan TTK'ya ve payı giderek çoğalmakta olan rödövanlı sahalara ilişkin ölümlü kaza istatistikleri (Çiz. 17), son yıllarda iş güvenliği sorununun varlığı çok ciddi duruma dikkati çekmektedir.



Şekil 1. İşçilik ve finans giderlerinin toplam maliyet içindeki yeri (1990-2008).



Şekil 2. Kömür satış gelirleri, satılabilir kömür üretimi ve zararlar (1973-2008).

Çizelge 15. Rödövanlı sahalarda durum (bin ton).

Açıklama	YILLAR								
	2000	2001	2002	2003*	2004*	2005	2006	2007	2008
Taahhüt (Küçük sahalar)	130	142	353	-	-	223	285	294	296
Armutçuk						-	100	200	200
** Amasra	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam Taahhüt							385	494	496
Gerçekleşen	135	136	74	48	65	511	796	817	1.050

* Danıştay kararı nedeniyle sözleşmelerin askıda olduğu yıllar.

**2009'da 500.000ton ile başlayan ve yıllar içinde 3.500.000 tona doğru çıkan bir taahhüt bulunmaktadır.

Çizelge 16. TTK 7000 kcal eşdeğeri satılabilir kömür üretimi (milyon ton).

Yıllar	1974	1984	1994	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Üretim	4,27	3,01	1,94	1,34	1,49	1,34	1,34	1,25	1,1	0,9	1,1	1,0

Çizelge 17. Zonguldak Havzası ölümlü kaza istatistikleri.

Yıllar	TTK		Özel Ocaklar			100.000 ton üretime düşen ölüm oranı		
	Ölüm Sayısı	Üretim (Bin ton)	Ölüm Sayısı			Üretim (Bin ton)	TTK	Özel Ocaklar
			Kaçak Ocak	Resmi Ocak	Toplam			
2000	9	2.259	7	1	8	135	0,40	5,93
2001	5	2.357	9	4	13	137	0,21	9,49
2002	8	2.244	6	-	6	74	0,36	8,11
2003	8	2.011	4	7	11	48	0,40	22,92
2004	5	1.881	1	4	5	65	0,27	7,69
2005	10	1.667	2	-	2	511	0,60	0,39
2006	3	1.523	-	3	3	796	0,20	0,38
2007	5	1.675	6	9	15	817	0,30	1,84
2008	7	1.587	5	7	12	1.050	0,44	2,06
Toplam	60	17.204	40	35	75	3.633	0,35	2,06

3.2. Durum Değerlendirmesi

Türkiye için enerjide dışa bağımlılığın azalmasını hedefleyen politikalar, ancak ulusal kömür ve hidrolik enerji kaynakları dayalı olarak oluşturulabilir. Günümüzde ise petrol ve giderek artan bir biçimde, doğal gaz seçeneklerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle elektrik üretiminde doğal gazın payı şaşırtıcı boyutlara yükselmiştir. Kömürün payını arttırmaya yönelik politikalara gereksinim vardır.

Dünya ham çelik üretiminin %70'i taşkömürüne bağımlıken Türkiye'de bu oranın %30 düzeyinde oluşu ve ülkemizin dünyanın en büyük hurda demir alıcısı konumunda bulunuşu düşündürüctür. Durumu normalleştirmenin yolu yüksek fırın teknolojisinin üretimdeki payını arttırmaktan yani daha çok taşkömürü kullanmaktan geçmektedir. Havzanın demir-çelik sektörüne sağlayabildiği düşük miktarda (300-400 ton/yıl) taşkömürü bugün 5 milyon ton/yıl düzeylerinde ithalatı gerekli kılarken, ileride daha yüksek miktarlarda ithalatın kaçınılmaz olduğu bir gerçektir. Toplam taşkömürü ithalatı da 20 milyon/ton yıl mertebelerine yükselmiş olup neredeyse tüketimin %90'ı civarındadır.

Türkiye'nin en büyük taşkömürü üreticisi olan TTK; son yıllarda uygulanan politikalar sonucunda, işçi sayısı ve ürettiği kömür miktarı giderek azalmasına rağmen 250-300 milyon \$/yıl düzeyinde zarar etmekte olan, kömürü çok pahalıya mal eden (240-290 \$/ton) ve demir-çelik endüstrisine hammadde sağlamaktan uzaklaşmış bir kurum görüntüsündedir. Demir-Çelik endüstrisinin Zonguldak ve çevresinde kurulmasının asıl nedeni olan Havza, geçmişte demir-çelik sektörünün kömür talebinin %50-60'ını karşılarken bugün

%10'unu bile karşılayamayan, elektrik santraline kömür üreten, "stratejik önemini yitirmiş", sıradan bir kömür havzasına dönüştürülmüştür.

TTK'nın satılabilir kömür üretimi (7000 kcal/kg kömür eşdeğeri bazında) 1974 yılında 4,27 milyon ton iken; 1984 de 3,01 milyon ton, 2000 de 1,34 milyon ton, 2006 da 0,9 milyon ton ve 2008'de 1 milyon ton olmuştur. Bu dramatik düşüşün temelini Havza'da 5 Nisan kararlarıyla başlatılan "kapatma +küçültme+özelleştirme süreci" oluşturmuştur. 90'lı yıllarda başlayan "ne kadar az üretim o kadar az zarar" veya "ne kadar az işçi o kadar az zarar" anlayışı devam etmekte olup son YPK (Yüksek Planlama Kurulu) ve YDK (Yüksek Denetleme Kurulu) raporlarında da yer aldığı üzere, Kurumun üretimden çekilmesi "zorunlu" hale getirilmeye çalışılmaktadır.

Kurum tarafından hizmet alımı yoluyla yaptırılmakta olan ve önemli ölçüde tamamlanan alt yapı hazırlıkları (kuyu kazı ve derinleştirme, kat galerilerinin sürülmesi vb.) işçi açığı tam olarak giderilmedikçe bir anlam ifade etmeyecektir. Kaldı ki Kurumun işçi açığı her kesimce kabul edilmekte ancak kalıcı bir çözüm bulunmamaktadır. Üretime hazır bulunan arın uzunluklarının sadece %30-35'inin kazılabilir oluşu da diğer dikkat çekici bir durumdur.

TTK'nın güçsüzleştirilmesine (hatta devreden çıkartılmasına) ve görevinin özel sektöre devredilmesine yönelik stratejilerin yukarıda dile getirilen boyutlardaki olumsuzlukları iyileştirmede başarılı olma olasılığı zayıf görülmektedir. Bu zayıf olasılık karşılığında örgütsüz ve düşük ücretlerle, sağlıksız- güvenliksiz koşullarda çalışan maden işçileri ve büyüyen işsizler ordusu

yaratan bu stratejiler ülkenin geleceğini de riske atmaktadır. Ayrıca; Havza'da, özellikle kaçak ocak faaliyetlerinden kaynaklanan ve zaman geçirmeksizin müdahale gerektiren, çok ciddi bir iş güvenliği sorunu vardır.

4. SONUÇLAR

-Küresel birincil enerji gereksiniminin %81'i fosil yakıtlardan (petrol, kömür ve doğal gaz) karşılanmakta olup kömürün payı %26'dır.

-Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin %68'ini oluşturan kömür gelecek için en güvenilir enerji kaynağıdır.

-Küresel ısınma tehdidine karşın dünyada üretilen elektriğin %41'i kömürden sağlanmaktadır.

-2007'de dünyada 5,543 milyar ton taşkömürü ve 945 milyon ton linyit olmak üzere toplam 6,488 milyar ton kömür üretilmiş ve tüketilmiştir. Bunun 917 milyon ton kadarı (%15) ticarete konu olmuştur.

-Üretilen kömürün %13'ü (717 milyon t) demir-çelik endüstrisinde tüketilmiş olup ham çelik üretiminin %70'i taşkömürüne dayalıdır.

-Türkiye'nin kömür ve hidrolik enerji dışındaki enerji kaynakları yetersizdir.

-Taşkömürü tüketiminin (23 milyon t/yıl) %90'ı ithalatla karşılanmakta olup toplam tüketimin 5 milyon t/yıl (%20) kadarı demir-çelik endüstrisinde dir.

-TTK'nın üretimi giderek düşerken rödövanla devredilen sahalarındaki üretim TTK'nın %70'ine ulaşmıştır. Eğilim, TTK'nın üretiminin bugünkü düzeylerde seyretmesi ve özel sektörde üretimin artması yönünde görülmektedir.

-TTK işçi sayısı ve üretimi giderek azalan, satış gelirleri kömür fiyatlarıyla ilgili olarak artan, büyük ölçüde personel giderlerine bağlı görünen zararı 250 milyon dolar/yıl mertebelerinde seyreden ve sunduğu az miktarda (300-400 t/yıl) koklaşabilir kömürle demir-çelik endüstrisinden kopmakta olan bir kurum görüntüsündedir.

-Ulusal yarargözetilerek geliştirilecek stratejilerde Havzanın demir-çelik sektörüne yönelecek ve kapasitesinde üretimi gerçekleştirebilecek biçimde yeniden yapılanmasına gereksinim bulunmaktadır. Bu stratejilerde küreselleşmenin dayattığı neoliberal ekonomik düşüncelerin ve maliyet muhasebelerinin değil Türkiye'nin gerçek sorunlarının ve gereksinimlerinin dikkate alınması akılcı davranış olacaktır.

KAYNAKLAR

DÇÜD 2008, Demir Çelik Üreticileri Derneği, www.dcud.org.tr

ETKB 2008, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, www.enerji.gov.tr

IEA 2008, International Energy Agency, www.iea.org, www.energybusinessreports.com

TTK İnceleme Kurulu Raporu, 1995. GMİS, Ankara, 141s.

TTK 2008, Türkiye Taşkömürü Kurumu, www.tasakomur.gov.tr ve kişisel görüşmeler

TÜİK 2008, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr

WCI 2008, World Coal Institute, www.worldcoal.org.

Türkiye ve Dünya Demir -Çelik Sektöründeki Gelişmeler *Developments in Iron and Steel Industry in Turkey and in the World*

İ. H. Kırşan, E. Ertürk, M. Şahiner

MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

ÖZET Ekonomik ve siyasi anlamda sürekli bir değişim ve yeniden yapılanma süreci içinde olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde demir çelik sektörünün özel bir konumu vardır. Endüstriyel dalların hemen hepsine girdi sağlayan ve ekonomik kalkınma açısından çok önemli olan demir - çelik sektörünün üretim ve tüketim büyüklükleri, sanayileşmenin temel göstergeleri arasında yer almakta, kişi başına tüketilen çelik ve tüketim içindeki yassı çelik oranı ülkelerin gelişmişlik göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Altyapısı 1930' lu yıllarda atılan demir - çelik sektörü, o dönemde Türkiye'de başlayan sanayileşmeye büyük ivme kazandırmıştır. Günümüzde, işletilebilir nitelikte 31 yataкта yaklaşık 122 milyon ton demir cevheri rezervine sahip Türkiye, 3 adet entegre tesis ve 21 adet elektrik ark ocaklı tesiste gerçekleştirilen, 26 milyon ton ham çelik üretimi ile, dünya çelik üretiminde 11. sırada yer almaktadır. Sektörün 2007 yılında gösterdiği % 10'luk büyüme hızı, % 7.8 olan dünya büyüme hızının üzerinde gerçekleşmiştir. Bu gösterge, Türkiye'nin sıralamada daha üst seviyelere çıkacağına bir işaretidir. 2007 yılında gerçekleştirilen 12.5 milyar dolarlık ihracat rakamıyla otomotiv ve hazır giyimden sonra 3. büyük sektör konumunda olan demir - çelik sanayinin yıllık demir cevheri ihtiyacının 4 - 4.5 milyon tonluk kısmı yurtiçi kaynaklardan sağlanırken, geri kalan kısmı için yılda yaklaşık 650 - 700 milyon dolar döviz ödenerek ithalatta karşılanmaktadır.

Bu çalışmada; Dünya, demir - çelik sektöründe üretim ve tüketim, kıtalar ve ülkeler bazında ticaret, ithalat ve ihracat miktarları ve bunları gerçekleştiren en büyük ülkeler, bu ülkelerdeki en büyük üretici şirketler konularına değinilmiştir. Ayrıca Türkiye'deki demir rezervleri ve üretim miktarları incelenmiş, sektörde yer alan şirketler ve bu şirketlerin kapasite ve üretimlerine göz atılmış, dış ticaret değerleri ve sektörde yaşanan sorunlar ve çözümleri ele alınmıştır.

ABSTRACT As the iron and steel industry supplies input to almost all industrial sectors, it plays an important role not only in developed country but also in developing countries. Since this sector is vital for industrialization and development, its production and consumption quantities are among the main indicators of industrialization and steel consumption per capital is considered as an indicator for a country's level of

development. The foundations of the Turkish steel-iron industry were laid in 1930' s and greatly accelerated Turkey' s industrialization. At present, Turkey has 31 deposits with approximately 122 million tons of exploitable iron ore reserve. In 2007, Turkey with 26 million tons of crude steel production in 3 integrated plants and 21 electric arc furnaces, became the 11th largest steel producing country in the world. The sector' s growth rate of 10 %, realized in 2007, was greater than the world' s growth rate, which was 7.8 %. In 2007, the exports of the sector were valued at US \$ 12.5 billion. Thus the iron and steel industry became the third largest sector after the automotive and ready-made clothing sectors. 4 - 4.5 million tons of the sector' s annual iron ore demand are produced from domestic sources, the rest is imported by paying approximately US \$ 650 - 700 million per year.

In this study; World iron and steel sector' s production and consumption, trade, imports and exports according to countries and continents; the most important countries of thi sector and the largest producing companies in these countries are examined. Furthermore, Turkey' s iron reserves and production quantities, the companies working in this sector and their capacities and productions are examined, and foreign trade figure are given. The problems encountered in the sector and proposals for their solutions are also discussed.

1. GİRİŞ

Dayanıklılığı, güvenilirliği, yaygın kullanım alanı, çevre dostu özelliği ve birçok teknik üstünlüğü ile çağdaş toplum yaşanusının ayrılmaz bir parçası olan demir-çelik, geçmişten bu yana, sanayileşmenin temelini ve kalkınmanın itici gücünü oluşturan bir malzemedir. Başta inşaat, otomotiv ve demiryolu olmak üzere tüm mamul eşya üretimine doğrudan katkısı bulunan demir - çelik endüstrisi, uygulama alanlarını ve üretim teknolojisini geliştirerek kendisini sürekli yenileyen en güçlü sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Türk ekonomisinin ve sanayisinin de gelişmesinde lokomotif sektör olma özelliğine sahip olan demir - çelik sektörünün modern anlamda temelleri 1930' lu yıllarda atılmıştır. Atatürk' ün talimatıyla 1937 yılında yapımına başlanan ve Türkiye' nin ilk entegre demir çelik tesisi olan Karabük Demir Çelik Fabrikaları (KARDEMİR), 1939 yılında üretime başlamış ve 150.000 ton çelik üretimi gerçekleştirmiştir. Ancak

tesisin gelişmekte olan Türkiye' nin demir çelik ihtiyacına cevap verememesi ve yassı ürün talebini karşılayabilmesi için, ikinci entegre tesis olan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) 1965 yılında 470.000 ton kapasite ile üretime başlamıştır. 1977 yılında ise, uzun ürün ve yarı mamul talebini karşılayabilmek amacıyla, Türkiye' nin üçüncü entegre tesisi olan, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (İSDEMİR) işletmeye açılmıştır.

İhracata dayalı kalkınma modelini benimseyen Türkiye' de 1980' li yıllar sektörün gelişimi açısından önemli bir dönem olmuş ve yeni elektrik ark ocaklı tesisler kurulmuştur. Özellikle inşaat sektöründe ve çeşitli imalat sanayilerindeki canlanma ve altyapı yatırımlarının hız kazanması, uzun ürün talebindeki artışı beraberinde getirmiştir.

Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT) ile 1996 yılında imzalanan Serbest Ticaret Anlaşması sonucunda, gümrük vergilerinin karşılıklı olarak

kaldırılması, Türkiye ile AB arasındaki çelik ticaretinin gelişmesine katkıda bulunmuştur.

2. DÜNYA' DA DEMİR CEVHERİ VE ÇELİK ÜRETİMİ

2.1. Rezerv Durumu ve Üretim

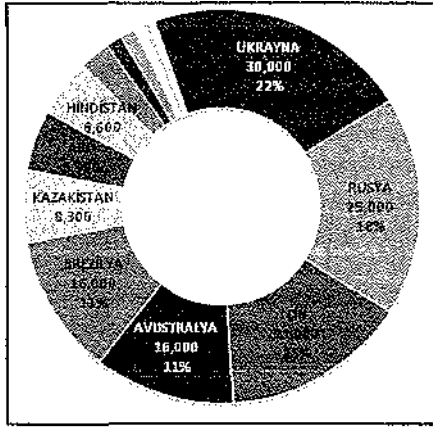
Dünyada 150 milyar ton tüvenan demir cevheri bulunurken, baz rezervler toplamı ise 340 milyar tondur. Metal demir içeriği olarak toplam dünya rezervi 73 milyar ton dolayındadır. Ukrayna, Rusya, Çin, Avustralya, Brezilya, ABD, Kazakistan, İsveç, Hindistan, Kanada ve Güney Afrika Cumhuriyeti demir potansiyeli açısından dünyada önemli ülkelerdir (Çizelge 1). Ukrayna, Rusya, Çin, Avustralya ve Brezilya dünya demir cevheri rezervlerinin % 75'ine sahiptir (Şekil 1).

Çizelge 1. Dünya Demir Cevheri Rezervleri (USGS, 2008)

Ülkeler	Demir Cevheri Rezervleri (Milyon Ton)
Ukrayna	30.000
Rusya	25.000
Çin	21.000
Avustralya	16.000
Brezilya	16.000
Kazakistan	8.300
ABD	6.900
Hindistan	6.600
İsveç	3.500
İran	1.800
Kanada	1.700
Güney Afrika	1.000
Moritanya	700
Meksika	700

Türkiye 122 milyon ton

Dünyada 50 kadar ülkede demir cevheri üretilmektedir. Çin, Avustralya, Brezilya, Rusya, Ukrayna ve Hindistan dünya demir cevheri üretiminin yaklaşık % 70'ini gerçekleştirmektedir.



Şekil 1. Demir Cevheri Rezerv Oranları (USGS, 2008)

Çizelge 2. Dünya Ham Çelik Üretimi (IISI, 2009)(Milyon ton)

ÜLKELER	2005	2006	2007	2008
Çin	356	420	489	502
Japonya	113	116	120	118
ABD	95	99	98	91
Rusya	66	71	72	68
Hindistan	46	50	53	55
Brezilya	32	31	34	33
Türkiye	21	23	26	27
AB Ülkeleri	165	207	210	199
Diğer Ülkeler	253	231	242	237
TOPLAM	1.147	1.248	1.344	1.330

2.2. Çelik Üretim ve Tüketimi

1970 yılında 595 milyon ton olan dünya ham çelik üretimi devamlı bir artış trendi sergilemiş ve 2007 yılında 1.34 milyar tona ulaşmıştır (Çizelge 2).

Dünya ham çelik üretimi 1985 yılında 719 milyon ton iken 2000 yılında 848 milyon tona yükselmiş, 2000 - 2007 döneminde yıllık ortalama % 6,8 oranında artarak 2007 yılında 1.34 milyar tona çıkmıştır. Uluslararası demir - çelik birliklerinin verilerine göre 2008 yılında

çelik üretimi geçen yıla göre % 1.1 oranında azalarak 1.33 milyar ton olarak gerçekleşmiştir. 2008 yılında dünya ham çelik üretiminde Çin 502 milyon tonla ilk sırada yer alırken, 118 milyon tonla Japonya ikinci ve 91 milyon tonla ABD üçüncü sırada yer almıştır. AB (27) ülkeleri 2008 yılında 199 milyon ton ham çelik üretimi gerçekleştirmiştir. 2000 - 2008 döneminde ham çelik üretimi en fazla artan ülke yıllık ortalama % 21.2 ile Çin olmuştur. Bu dönemde ülkemizin ham çelik üretimindeki artış % 8.8 ile dünya ortalamasının çok üzerinde gerçekleşmiştir. Türkiye 2008 yılında gerçekleştirdiği yaklaşık 27 milyon ton ham çelik üretimi ile dünya ham çelik üretiminin % 2'lik bölümünü karşılarken, ilk 15 ülke içerisinde Çin'den sonra en büyük üretim artışı gerçekleştiren ülke olmuştur.

Dünya ham çelik üretim ve tüketiminin 2008 yılındaki coğrafi dağılımı incelendiğinde; Çin'in % 37.7 ile üretimde liderlik yaptığı ve % 30.9 tüketim payı ile dünya çelik üretiminin neredeyse üçte birini tek başına tükettiği görülmektedir. Çin'i; AB(27), NAFTA ve Diğer Asya Ülkeleri takip etmektedir.

Önemli çelik üreticisi firmaların 2007 yılı üretim rakamları ve dünya toplam üretimindeki payları Çizelge 3' de verilmiştir. En büyük üretici olan Arcelor Mittal firmasının dünya üretimi içerisindeki payı % 8.66' ya ulaşmıştır. 2007 yılında ilk 10 firmanın üretimi dünya üretiminin % 27 sini oluşturmaktadır. ERDEMİR dünya üretiminin % 0.40' ını gerçekleştirerek en büyük 58. firma olmuştur.

Çizelge 3. Çelik Üreticisi Firmalar(HSI, 2008)

SIRA NO	FİRMA	ÇELİK ÜRETİMİ (2007)	
		Miktar (Milyon Ton)	Pay(%)
1	Arcelor Mittal	116,4	8,66
2	Nippon Steel	35,7	2,66
3	JFE	34,0	2,53
4	POSCO	31,1	2,31
5	Bao Steel	28,6	2,13
6	Tata Steel	26,5	1,97
7	Anshan-Benxi	23,6	1,76
8	Jiangsu	22,9	1,70
9	Tangshan	22,8	1,70
10	US Steel	21,5	1,60
58	ERDEMİR	5,4	0,40
İlk 10 firma Toplam Üretimi		363,1	27,02
Dünya Üretimi			1.344.000

Çizelge 4. Dünya Çelik Ticareti (IISI, 2008)

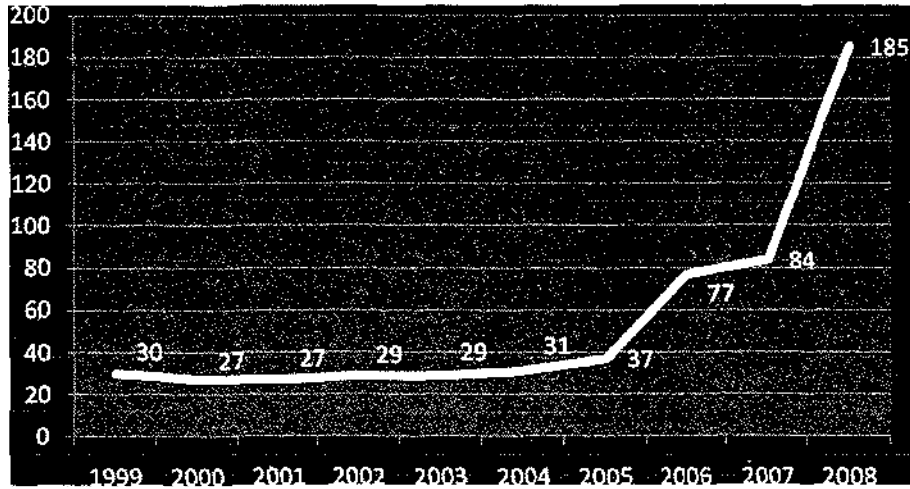
Çıkış Yeri \ Gidiş Yeri	Gidiş Yeri										Toplam İthalat	Bölge Dışı İthalat
	Avrupa Birliği (25)	Diğer Avrupa	Eski Sovyetler Birliği	Kuzey Amerika	Latin Amerika	Afrika ve Orta Doğu	Çin	Japonya	Diğer Asya	Okyanusya		
Avrupa Birliği (25)	99,9	7,9	9,2	0,5	1,4	2,2	1,5	0,4	1,7	0,0	124,6	■
Diğer Avrupa	10,6	0,6	7,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	19,6	■
Eski Sovyetler Birliği	1,4	0,2	7,6	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	10,0	■
Kuzey Amerika	7,9	3,5	3,2	18,8	4,4	0,7	3,2	2,3	4,3	0,3	48,7	■
Latin Amerika	1,0	0,1	1,3	0,4	2,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	5,9	■
Afrika	3,1	1,6	6,0	0,1	0,6	3,3	0,4	0,3	0,9	0,0	16,4	■
Orta Doğu	4	4,8	10,0	0,1	0,0	1,4	0,7	1,3	2,3	0,0	24,7	■
Çin	1,8	0,6	4,9	0,5	5,1	0,5	-	5,7	8,2	0,0	27,3	■
Japonya	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	-	3,9	0,0	5,2	■
Diğer Asya	5,3	3,5	11,7	0,8	3,0	2,2	19,6	20,8	11,4	0,3	78,6	■
Okyanusya	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,5	0,7	1,8	0,2	3,9	■
Toplam İhracat	135,3	23,1	61,7	21,6	17,2	10,5	27,4	32,0	35,1	0,9	364,8	■
Bölge Dışı İhracat	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Net İhracat (İhracat-İthalat)	10,7	3,5	51,8	-27,1	11,3	-30,6	0,1	26,8	-43,5	-3,0		

Kaynak: International Iron and Steel Institute (www.worldsteel.org)

2.3. Çelik Ticareti

2007 yılında Japonya, 364,8 milyon metrik tonluk dünya çelik ihracatının yaklaşık % 9'una (32 milyon metrik ton) karşılık gelen ihracatıyla birinci sırada yer alırken, onu Rusya, Çin, Ukrayna ve Almanya takip etmiştir. Türkiye ise 12,3 milyon metrik tonluk ihracatıyla 11. sırada yer almıştır.

İthalatta ise ABD 30,2 milyon metrik tonla birinci sırada bulunurken Çin 27,3 milyon metrik tonla 2. sırada yer almakta, bu ülkeleri Almanya, Güney Kore, İtalya ve Fransa takip etmektedir. 10,2 milyon metrik tonluk ithalatıyla Türkiye 11. sırada yer almaktadır. Çelik ticaretinin coğrafik dağılımı Çizelge 4' de verilmiştir.



Şekil 2. Demir Cevheri Fiyatları (S/ton) (Torun, Avsaroglu, 2009)

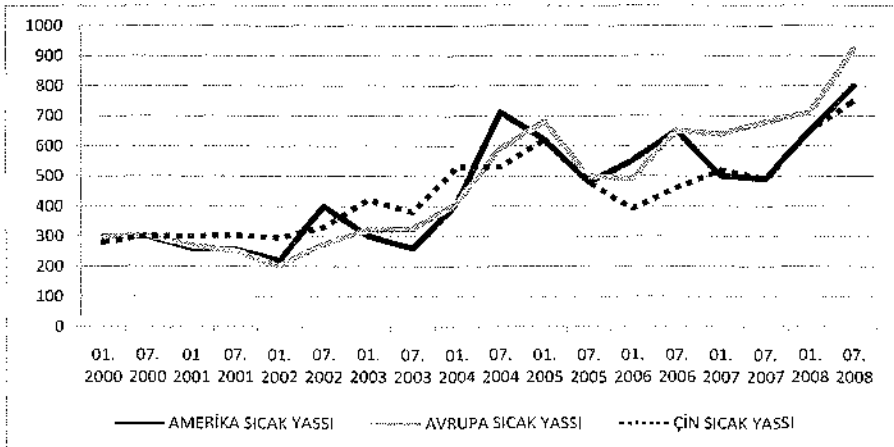
Net ihracatçı ve ithalatçıları incelendiğinde; Japonya, Ukrayna ve Rusya'nın 25 milyon metrik tonun üzerinde net ihracat gerçekleştirerek ilk üçü oluşturdukları görülmektedir. Türkiye 2 milyon metrik ton net ihracatıyla 13'üncü sırada bulunmaktadır. ABD, 20,8 milyon metrik ton ile en büyük ithalatçı ülke olurken, bu ülkeyi 10,4 milyon metrik tonluk ithalatıyla Tayland izlemiş, İran ve Birleşik Arap Emirlikleri 3. ve 4. sırayı almıştır.

2.4.Fiyat Hareketleri

Son yıllarda demir - çelik sektöründe çelik ve hammadde fiyatlarındaki dalgalanmalar şirketlerin karlıkları üzerinde belirleyici olmuştur. Global çelik fiyatları, Çin'deki gelişmelere bağlı bir seyir izlemektedir. 2002 yılının ikinci yarısından itibaren başta Çin olmak üzere artan talep nedeniyle sürekli artış gösteren çelik fiyatları, 2005 yılının ilk yarısına kadar yükselişini kademeli olarak sürdürmüş ve rekor seviyelere ulaşmıştır. Bu durum ise demir-çelik sektörünün 2003 ve 2004 yıllarında altın çağını yaşamasına neden olmuştur.

Ancak, 2005 yılının ikinci yarısından itibaren çelik fiyatlarındaki düşümlere bağlı olarak şirket karlıklarında da azalmalar görülmüştür. 2005 yılında 356 milyon ton seviyesinde ham çelik üretimi ile tek başına dünya ham çelik üretiminin % 31'ini gerçekleştiren Çin'in yüksek oranlı üretim artışları, bir taraftan global girdi fiyatlarını arttırırken, diğer taraftan da ihtiyacın üzerinde çelik üretimi yapılmasına neden olmuştur. Bir süre sonra bunun sonucu olarak piyasalarda arz fazlalığı oluşurken, bu durum çelik fiyatlarının da düşmesini sağlamıştır. AB ve ABD başta olmak üzere çelik pazarındaki talep daralması ile dünya genelinde stokların artması da çelik fiyatlarının düşmesinde etkili olmuştur.

Buna ek olarak, Çin'in artan çelik üretimi ile birlikte, artan hammadde talebi dünyanın önde gelen hammadde üreticilerinin hammadde fiyatlarını 2002 yılından bu yana önemli oranlarda artırmasına yol açmıştır (Şekil 2). Demir cevheri ve navlun gibi hammadde fiyatlarındaki artışa rağmen bunun ürün fiyatlarına aynı oranda yansımaması, hatta ürün fiyatlarının düşmesi, çelik üreticilerinin maliyetlerini olumsuz



Şekil 3. Çelik Fiyatları (S/ton) (DÇÜD, 2009)

etkilemiş ve çelik üreticilerinin son dönemlerde karlılıklarının azalmasına neden olmuştur (Şekil 3) (Torun, Avşaroğlu, 2009).

Günümüzde, Çin, Brezilya, Rusya ve Hindistan'ın yüksek talebi ve cevher üreticilerinin birleşme çabaları, sektörün en önemli maliyet kalemleri olan navlun ve cevherde fiyat artışlarına neden olmuştur. Demir cevheri üreticileri arasında gerçekleşebilecek birleşmeler, zaten oligopol bir görünüme sahip olan yapıyı daha da yoğunlaştırarak, cevher fiyatlarında % 70, hatta % 100'e varması beklenen artışlarla demir - çelik sektörü üzerinde maliyet baskısı yaratacaktır.

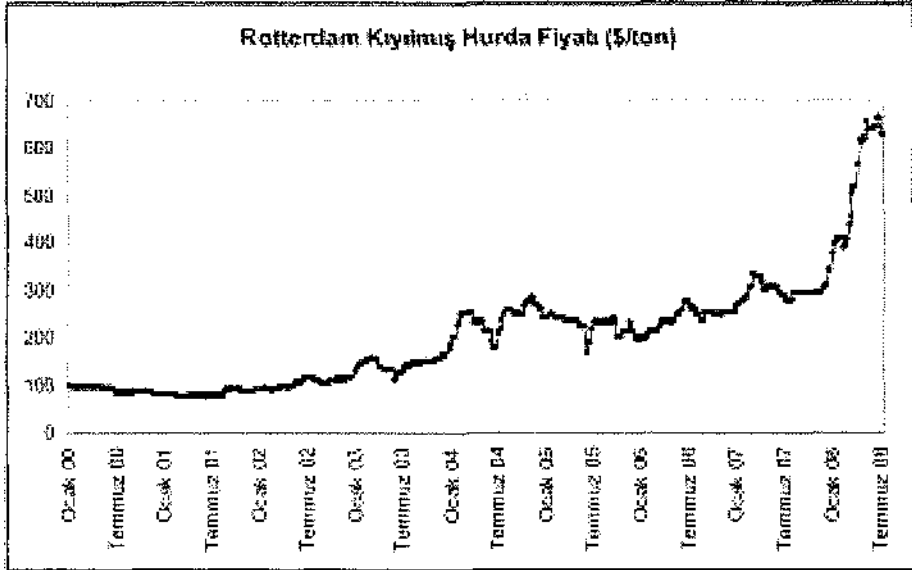
2007 yılı, dünya demir - çelik sektöründe önemli birleşmelere sahne olmuştur. 2007 yılında, demir cevheri sektöründeki oligopol yapıya bağlı olarak yüksek seyreden cevher fiyatları karşısında, daha dağınık yapıdaki demir - çelik üreticileri birleşerek güç kazanmaya çalışmışlardır. Sektörde yaşanan birleşme eğilimi, demir - çelik üreticilerinin güçlü konuma geçmesine ve dolayısıyla demir cevheri üreticilerinin fiyat artışlarını sınırlı düzeyde tutmalarını sağlamıştır. 2007'de demir cevheri fiyatları, demir - çelik üreticilerinin cevher üreticileri ile fiyat konusunda karşılıklı anlaşmaları sonucu ılımlı bir seviyede kalmıştır. 2007 yılında hammadde maliyetlerindeki artış hızının ivme kaybetmesi ve çelik fiyatlarındaki yükseliş, demir - çelik şirketlerinin performanslarını olumlu etkileyen en önemli gelişme olmuştur.

Cevher üreticilerinin artan navlun ücretleri ve yaşanabilecek birleşmeler ile yüksek fiyat politikasına geri dönebilecek olması sebebiyle, demir - çelik üreticilerinin hammadde maliyetlerine yönelik tahminlerde belirsizliğin hakim olması ve fiyat artış ihtimaline bağlı olarak demir - çelik üreticilerinin cevher alımını arttırmaları fiyat artışlarını daha

da körükleyeceği beklenmektedir. Ancak 2008 yılı ortalarında tüm dünyada yaşanan küresel mali kriz ile birlikte bu sürecin biraz yavaşlayacağı düşünülse de, söz konusu maliyet artışlarının, çelik fiyatlarını da yükselişe zorlaması beklenebilir. Bu gelişmeler, son yıllarda demir - çelik şirketlerinin karlılık marjlarında gözlenen hızlı iyileşmenin, 2008 yılında yerini durağan bir görünüme bırakmasına neden olabilecektir.

Çin, Hindistan ve Brezilya gibi ülkelerin güçlü talebinin önümüzdeki bir kaç yıl boyunca devam etmesi ve 2010 yılında dünya ham çelik üretiminin 1.56 milyar tona, 2012 yılında ise 1.67 milyar tona ulaşması beklenmektedir. Çin'in kontrollü ihracatı, 2008 yılında demir - çelik sektöründe dış ticareti olumlu etkileyecek bir gelişmedir. Ancak, demir cevheri üreticilerinin cevher fiyatları konusundaki yeni stratejileri, sektörde karlılığın yönünü belirleyecek önemli bir parametre olacaktır.

Dünya hurda fiyatları ise çok değişken bir yapıya sahiptir. Uluslararası hurda fiyatları, demir - çelik ürün fiyatlarındaki dalgalanmalardan, demir cevheri başta olmak üzere diğer demir - çelik girdi piyasalarındaki gelişmelerden ve navlun fiyatlarındaki değişimlerden etkilenmektedir. Hurda fiyatları, son yıllarda, demir - çelik üretimi ve hurda talebindeki artışa bağlı olarak artan bir trend takip etmiş ve rekor seviyelere ulaşmıştır (Şekil 4). Ağırhkl olarak demir cevherinden üretim yapan entegre tesislerin üretim süreçlerinde yüzde 25'e varan oranlarda hurda kullanılabilir. Cevher fiyatlarının artması, entegre tesislerin üretimde kullandıkları hurda oranlarını artırmaları sonucunu doğurmaktadır. Bu da hurda piyasalarında ilave talep oluşturarak hurda fiyatlarının artmasına yol açmaktadır.



Şekil 4. Uluslararası hurda fiyatlarındaki değişimler (\$/ton) (DÇÜD, 2009)

3. TÜRKİYE’DE DEMİR CEVHERİ VE ÇELİK ÜRETİMİ

3.1. Rezerv Durumu ve Üretim

Türkiye’de bugüne kadar yaklaşık 900 adet demir oluşumu saptanmış, bunlardan ekonomik olabileceği düşünülen 500 kadarının etüdü yapılmıştır. Ülkemizde entegre demir - çelik fabrikalarında kullanılacak özellikteki demir cevheri rezervleri;

- ✓ Sivas-Erzincan-Malatya,
- ✓ Kayseri-Adana,
- ✓ Kırşehir-Kırıkkale-Ankara,
- ✓ Balıkesir

bölgelerinde yer almaktadır (Şekil 5).

Türkiye’deki demir yataklarının % 88’i çok küçük, %11’i küçük, %1’i ise orta büyüklükteki yataklar sınıfına girmektedir.

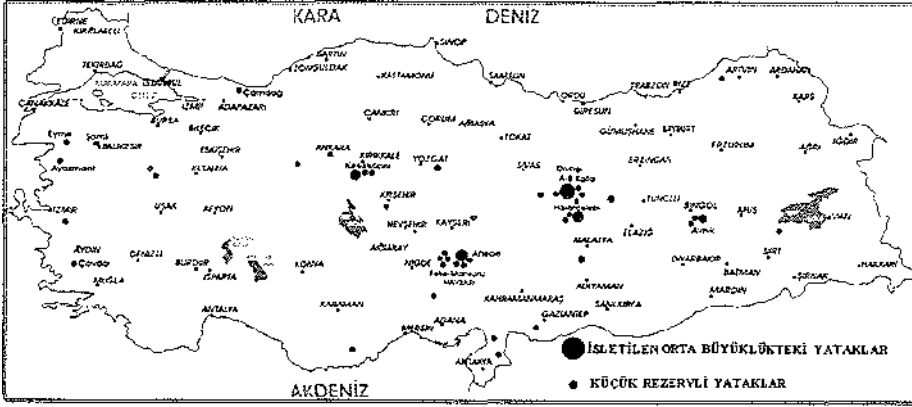
Yapılan çalışmalar sonrası belirlenen demir cevheri rezervleri demir çelik fabrikalarının kullanımları esas alınarak 3 grupta toplanmıştır:

a) İşletilebilir Demir Cevheri Rezervi

Bugüne kadar hemen hepsinde belirli düzeyde arama çalışmaları ve üretim yapılmış yataklardır. Cevher tenörleri % 51 – 62 Fe arasında değişmektedir. Yüksek fırınları besleyecek doğrudan şarja uygun, 31 adet yatağın bulunduğu demir cevheri rezervimiz yaklaşık 122 milyon tondur (Şekil 6).

b) Sorunlu Demir Cevheri Rezervi

Düşük tenörlü ve/veya yüksek zararlı bileşen içeren cevherlere sahip 40 kadar sorunlu yatağımız vardır. Bugünkü bilgilere göre bu yataklarda % 15-50 Fe arasında değişen tenörlerde toplam 1.3 milyar ton kaynağın varlığı bilinmektedir. Bu yataklardan bazıları, zengin ya da uygun nitelikte cevher içeren bölümlerinde seçimli madencilik yapılarak veya başka yataklardan elde edilen cevherlerle harmanlanmak suretiyle zararlı bileşen içerikleri uygun oranlara düşürülerek, bazı dönemlerde kısmen işletilmiştir. Büyük

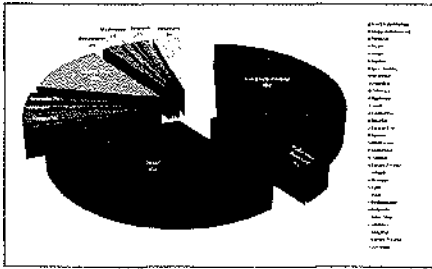


Şekil 5. Türkiye Demir Yatakları(MTA, 2008)

çoğunluğunun zararlı bileşenlerinden arıtılması için uygun zenginleştirme yöntemleri geliştirilmeden işletilmeleri mümkün değildir.

c) Potansiyel Demir Cevheri Rezervi

Ülkemizde yeteri kadar arama faaliyetleri yapılmamış 27 adet sahada toplam yaklaşık 320 milyon ton potansiyel rezerv belirlenmiştir. Bu yatakların tenörleri % 14 – 52 Fe arasında değişmektedir. Bu yataklardaki rezervlerin entegre tesislerin kullanabilmesi için, rezervlerin içerdiği safsızlıklardan arındırılması gerekmektedir (Odabaşı, İ., 2008).



Şekil 6. İşletilebilir Demir Yatakları (Odabaşı, İ., 2008)

Üç adet entegre demir - çelik fabrikasının 12 - 13 milyon ton

dolayındaki yıllık demir cevheri ihtiyacının yaklaşık 4 - 4.5 milyon tonluk kısmı yurtiçi kaynaklardan sağlanmakta olup geri kalan kısmı ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye’de, tüvenan demir cevheri üretimi; 2004 yılında 4.1 milyon ton, 2005 yılında 4.6 milyon ton, 2006 yılında 3.8 milyon ton, 2007 yılında ise 4.8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (MİGEM, 2008).

Delme - patlatma, yükleme ve taşıma süreçlerini kapsayan açık işletme yöntemi ile üretilen demir cevherleri, entegre kuruluşların hammadde satın alma politikalarına uygun olarak, cevher hazırlama tesislerinde işleme tabi tutulduktan sonra pazarlanmaktadır.

3.2.Çelik Üretim ve Tüketimi

Dünyada çelik üretimi genellikle entegre tesislerde demir cevheri ve kok kömürüyle yapılırken çok az bir oran ise elektrik ark ocaklarında hurdanın ergitilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde ise 32 milyon tonluk ham çelik kapasitesinin 6.6 milyon tonu entegre tesislere (% 20.6), 25.4 milyon tonu ise (% 79.4) 21 adet elektrik ark ocaklı tesislere aittir.

Çelik ürünlerini;

- **Uzun çelik ürünleri** (düz ve nervürlü inşaat demiri, kangal demir, filmaşın, köşebent, profil, ray vb.),
- **Yassı çelik ürünleri** (sıcak çekilmiş sac ve rulo, soğuk çekilmiş sac ve rulo, levha, teneke, galvanizli sac ve rulo vb.),
- **Vasıflı çelik ürünleri** (Sementasyon çelikleri, ıslah çelikleri, yay çelikleri, otomat çelikleri, takım çelikleri, yüzeyi sertleştirilebilen çelikler, borlu çelikler, paslanmaz çelikler, mikro alaşımlı çelikler, rulman çelikleri ve işlenebilirliğe uygun çelikler gibi alaşımlı ve alaşımsız ürünler) olarak üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

Günümüzde ağır profiller haricinde uzun çelik ürünleri ile vasıflı çelik ürünleri genellikle elektrik ark ocaklı tesislerde, yassı çelik ürünleri ise entegre tesislerde üretilmektedir. 2007 yılında ülkemizdeki ham çelik üretiminin % 69'u ark ocaklı tesisler, % 31'i ise entegre tesisler tarafından gerçekleştirilmiştir. Ham çelik üretimimiz ürün bazında incelendiğinde, uzun ürünlerin 21,5 milyon ton ile toplam ham çelik üretiminin % 84' ünü oluşturduğu görülmektedir. Yassı ürün üretiminin payı % 14 olurken, vasıflı çelik üretimi çelik üretimimizden % 2 pay almaktadır. Türkiye'nin yıllara göre nihai mamül üretim miktarları Çizelge 5' de verilmiştir.

Çizelge 5. Türkiye'nin nihai mamül üretimi (1000 ton)(DÇÜD, 2009)

Ürün	2004	2005	2006	2007	2008 9 ay
Uzun	13.232	15.498	18.712	21.360	17.193
Yassı	3.616	3.760	3.903	4.269	3.743
Vasıflı	330	343	429	476	361
TOPLAM	17.178	19.601	23.044	26.105	21.297

Türkiye'de üretilen demir cevherlerinin tamamına yakın miktarı ERDEMİR, İSDEMİR ve KARDEMİR tarafından tüketilmektedir. Bunun haricinde miktarı tespit edilemeyen, yaklaşık demir içeriği (Fe) % 35 - 45 olan hematit tipi demir cevherleri ise çimento fabrikaları tarafından kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen yıllık çelik tüketimi 400 - 600 kg civarında iken, Türkiye'de bu rakam 250 - 300 kg/kişi/yıl civarındadır. Gelişmiş ülkelerdeki tüketimin % 60-70'i, ülkemizde ise % 40-50'si yassı çelik ürünlerine aittir. Ülkelerin gelişmesi paralelinde uzun çelik ürünleri tüketimi azalmakta, yassı ve vasıflı çelik ürünleri tüketimi artmaktadır. Ülkemizde demir çelik sektörünün kapasite kullanımı, ekonomideki gelişmelere paralel olarak yıllar itibarıyla dalgalı bir seyir izlemekle birlikte yüksektir. Bu oran entegre tesislerde, özellikle de ERDEMİR'de bazı yıllarda % 100'e ulaşmıştır. Son olarak, 2007 yılında sektör genelindeki kapasite kullanım oranı % 80,5 olurken, bu oran Erdemir'de % 94,8 olarak gerçekleşmiştir.

2000 yılı nihai mamul tüketimi 13 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2001 yılında ülkemizde yaşanan ekonomik krizin etkisiyle nihai mamul tüketimi azalarak 8,7 milyon tona gerilemiştir. Ancak, ekonomideki iyileşmelere paralel olarak, nihai ürün tüketimi 2002 yılından itibaren tekrar artmaya başlamış ve 2007 yılında 23,8 milyon ton ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Çizelge 6' da, Türkiye'nin yıllara göre nihai mamül tüketim miktarları verilmiştir.

Çizelge 6. Türkiye'nin nihai mamül tüketimi (1000 ton)(DÇÜD, 2009)

Ürün	2004	2005	2006	2007	2008 9 ay
Uzun	6.676	8.598	9.888	11.541	7.319
Yassı	7.772	8.859	9.831	10.951	8.884
Vasıflı	773	908	1.122	1.259	1.048
TOPLAM	15.221	18.365	20.841	23.751	17.251

3.3.Dış Ticaret

3.3.1.İhracat

Demir - çelik sektörü, yarattığı katma değer ve istihdamın yanı sıra, ihracatımızda da önemli bir yere sahiptir. Sektörün, 2007 yılı genel ihracatımız içindeki payı % 11.6' dır.

Ekonomideki olumlu gelişmelerin yanı sıra, demir-çelik ürünleri fiyatlarının dünya piyasalarında yükselmesinin de etkisiyle, sektörün 2007 yılı ihracatı bir önceki yılın aynı dönemine kıyasla % 30 artarak 12.5 milyar dolara ulaşmıştır.

Yıllar itibarıyla demir çelik sektörü ihracatımıza bakıldığında, 2003 yılında 4.4 milyar dolar olan sektör ihracatı, 2007 yılında 12.5 milyar dolara ulaşmıştır. Bu rakam sektör ihracatının son beş yılda yaklaşık üç kat arttığını göstermektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Yıllar İtibariyle Demir Çelik İhracatımız (Milyon \$) (DTM, 2008)

YILLAR	DEMİR-ÇELİK	DEMİR-ÇELİKTEN EŞYA	TOPLAM
2003	2.969	1.391	4.360
2004	5.360	2.227	7.586
2005	4.973	2.731	7.705
2006	6.273	3.336	9.610
2007	8.352	4.125	12.478

2007 yılı sektör ihracatımızın, 8.4 milyar doları (14 milyon ton) mamül (% 67), 4.1 milyar doları (2.8 milyon ton) ise demir- çelikten eşyaya (boru, inşaat aksami, radyatörler ve mutfak eşyası) (% 33) aittir. Uzun ürünler demir-çelik ihracatımızda % 73.2 pay alırken, yassı ürünler % 10.5 pay almaktadır. Demir - çelik ihracatımızda diğer önem arz eden ürün grupları ise sırasıyla kütük, vasıflı çelik ürünler ve hurdadır.

Sektör ihracatının ülkelere göre dağılımı incelendiğinde ise; 2007 yılında en fazla ihracat gerçekleştirilen ülke 1.7 milyar dolar (% 21) ile Birleşik

Arap Emirlikleri'dir. Bu ülkeyi sırasıyla; İspanya, Romanya, İtalya, Fas, İngiltere, İsrail, Katar, Bulgaristan ve ABD izlemektedir (DTM, 2008).

Demir - çelikten eşya ihracatımızda ise Almanya 360 milyon dolar ile en fazla ihracat gerçekleştirilen ülke olmuş, bu ülkeyi sırasıyla, İngiltere, Romanya, Cezayir, Irak, İspanya, Rusya Federasyonu, Fransa, İtalya ve Yunanistan izlemiştir.

Ülke grupları itibarıyla demir - çelik ihracatımızın % 40' ı Orta Doğu ülkelerine gerçekleştirilirken, Avrupa Birliği ülkeleri ise en fazla ihracat gerçekleştirdiğimiz ikinci ülke grubu olmuştur.

Demir - çelikten eşya ihracatımızda ise en fazla ihracat gerçekleştirilen ülke grubu % 53 pay ile AB ülkeleri olmuştur. Diğer önem arz eden ülke grupları ise BDT, Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkeleridir.

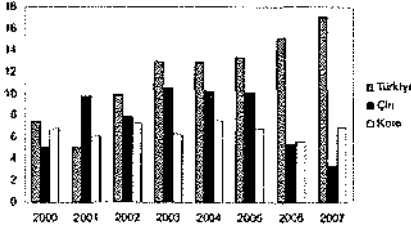
3.3.2.İthalat

Hammadde, yassı mamul ve vasıflı çelik üretimlerinin yetersiz olması sebebiyle Türk demir - çelik sektörü dış ticaretinde genellikle ithalat miktarı, ihracattan her zaman yüksek olmuştur. Bu nedenle söz konusu ürün grupları, demir - çelik ithalatımızda sürekli olarak ilk sıralarda yer almaktadır. 2001 yılında ülkede yaşanan ekonomik kriz, üretim ve ithalatın düşmesine neden olmuş, iç piyasaya satış yapamayan üreticiler, dış piyasaya yoğunlaştıklarından demir - çelik ihracatı, ithalatın önüne geçmiştir.

Ülkemiz demir çelik ithalatı 2007 yılında bir önceki yıla göre % 40 oranında artarak 16.1 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. 2007 yılı demir çelik ithalatımızdaki en önemli ürün grubu yurt içi üretiminin yetersiz olduğu yassı mamuller ile ark ocaklarında hammadde

olarak kullanılan demir-çelik hurdalarıdır. Yassı ürün ithalatı demir çelik mamulleri ithalatının % 32'sini, hurda ithalatı ise % 35'ini oluşturmaktadır. Demir-çelikten eşya ithalatımız ise 2007 yılında bir önceki yıla göre % 23 artarak 1.8 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. En fazla ithalat gerçekleştirilen ürün grupları ise boru, vida ve civatalar olmuştur.

Ülkemizde hurda üretimi yeterli miktarda olmadığından, ihtiyacın büyük bir kısmı ithalatla karşılanmaktadır. 2000 - 2007 döneminde dünyanın en fazla hurda ithal eden ülkeleri sıralamasında Türkiye, Çin ve Güney Kore başı çekmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. En büyük hurda ithalatçısı ülkeler (milyon ton) (IISI, 2008)

Bu ülkelerin yanında, Avrupa Birliği ülkelerinden İspanya ve Almanya önemli hurda ithalatçıları arasında yer almaktadır. Türkiye, son yıllarda, dünyanın en büyük hurda ithalatçısı olarak en yakın rakibinin iki katından fazla hurda ithal ederken, 2007 yılında dünyadaki toplam hurda ithalatının % 18.8'ini tek başına gerçekleştirmiştir. Elektrikli ark ocaklarımızın ihtiyacı olan hurda, özellikle Ukrayna, Rusya Federasyonu, Romanya ve AB ülkelerinden ithal edilmektedir. Aynı şekilde yassı mamul üretimi de yetersizdir. Türk demir - çelik sanayi, her yıl yaklaşık 6 - 6.5 milyon ton yassı mamul açığını ithalatla kapatmaya çalışmaktadır. Son beş yılda ortalama

400 bin ton arasında olan vasıflı çelik üretimi de iç talebi karşılamadığından, yılda 750 bin ton vasıflı çelik ithal edilmektedir. Otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinin hammaddesi olan yassı ürünler; Ukrayna, Rusya Federasyonu, Romanya ve AB ülkelerinden, vasıflı çelik ürünler ise ağırlıklı olarak AB ülkeleri ve Rusya Federasyonu'ndan ithal edilmektedir.

Demir - çelik ürünleri ithalatımızın % 71' i Rusya Federasyonu, Ukrayna, Romanya, ABD, İngiltere, Almanya, Belçika ve Çin' den yapılmaktadır. Demir - çelikten eşya ithalatımızda ise Çin 2007 yılında 315 milyon dolar ile en fazla ithalat gerçekleştirilen ülke olmuştur. Bu ülkeyi sırasıyla, Almanya, İtalya, Fransa, Rusya Federasyonu, İspanya ve İngiltere izlemektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Demir çelik sektörü, yarattığı katma değer, istihdam ve ihracat değerleri göz önüne alındığında ülke ekonomisi açısından çok önemlidir. Sektör, 2007 yılında 12.5 milyar dolarlık ihracat rakamıyla, otomotiv ve hazır giyimden sonra 3. büyük sektör konumundadır.

Yüksek teknoloji donanım sayesinde uluslararası rekabet gücü, Orta Doğu, Doğu Avrupa ve Asya gibi büyüyen pazarlara yakınlık, kalifiye işgücü, yüksek teknik ve mühendislik bilgisi, firmaların, ISO 9001:2000, OHSAS 18001 ve ISO 14001 belgelerinin bulunması sektörün güçlü yanları olarak kabul edilirken, yassı ve uzun mamul üretim dengesizliği, ithal hammadde ve yarı mamule bağımlılık, doğal gaz ve elektrik üretiminde tekel konumundaki tedarikçilere bağımlılık, yüksek enerji maliyetleri ise sektörün zayıf yanlarıdır.

✓ Türkiye'de, işletilen ya da işletilebilir nitelikte, 31 yatakta toplam 122

milyon ton cevher rezervi vardır. Ekonomik olarak işletilebilir demir rezervlerimiz, ülkemiz cevher talebini ancak 10 yıl karşılayabilecek düzeydedir.

- ✓ Ülkemiz 2007 yılında, 3 adet entegre tesis ve 21 adet elektrik ark ocaklı tesiste gerçekleştirilen, 26 milyon ton ham çelik üretimi ile, dünya çelik üretiminde 11'ini sırada yer almıştır. Sektörün 2007 yılında gösterdiği % 10'luk büyüme hızı, % 7.8 olan dünya büyüme hızının üzerinde olup bu gösterge, Türkiye'nin sıralamada daha üst seviyelere çıkacağına bir işaretidir.
- ✓ Entegre demir - çelik fabrikalarımız uzun yıllar hammadde gereksinimlerinin tamamını ülkemiz madenkaynaklarından sağlamışlardır. Ancak ülkemizde demir cevheri madenciliğine gerekli yatırımlar yapılmamış, cevher aramalarına önem verilmemiş, rezervlerde önemli artışlar sağlanamamıştır. Devlet de üretilmiş cevheri yüksek fiyatlarla taşımış, yerli üreticinin rekabet gücünü kırmıştır. Günümüzde entegre tesislerin demir cevheri ihtiyacının 4 - 4.5 milyon tonluk kısmı yurtiçi kaynaklardan, geri kalan kısmı ise yılda 650 - 700 milyon dolar döviz ödenerek yapılan ithalatla (tüvenan cevher) karşılanmaktadır. İthalatının büyük kısmı hurda demirdir. Türkiye her yıl 10 - 15 milyon ton hurda demir ithal ederek, dünyada en fazla hurda ithal eden ülkelerin başında yer almaktadır. Üretici kuruluşlarımızın, katma değeri yüksek muhtelif ürünlerin üretimine yönelik çalışmalarının sonuçlandırılması ile, Türk demir - çelik sektörünün, dış ticaret açığımızın kapatılmasına olan katkısı, önemli ölçüde artış kaydedeceği önemli bir gerçektir.
- ✓ Uzun yıllardır talebin çok üzerinde bir kapasiteye sahip olan dünya çelik sektörü özellikle de son 3 - 4 yıldan bu yana Çin'in büyük etkisi ile inanılmaz bir değişim içine girmiştir. Fiyatlar dolar bazında % 300 oranında artmış, karlılık oranları çok yükselmiştir. Bu artışlar hammadde ve navlun fiyatlarına da yansımıştır.
- ✓ Ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren kişi başına ham çelik tüketimi, gelişmiş ülkelerde ortalama 400 kg' dır. Türk demir - çelik sektörü özellikle ürün çeşitliliği bakımından geliştirilerek, 300 kg' lar seviyesinde olan kişi başına çelik tüketimimizin 350 - 400 kg seviyelerine ulaştırılarak gelişmiş ülkelerdeki tüketim seviyesine yaklaşması gerekmektedir.
- ✓ Sektörün üretim kapasitesinin pazardaki talebe uyumlu hale getirilmesini, işletmelerin modernize edilmesini, bu çerçevede sektördeki uzun - yassı mamul dönüşümünün tamamlanmasını ve yassı mamul üretiminin artırılmasını öngören yeniden yapılandırma programının hızla hayata geçirilmesi gerekmektedir.
- ✓ Demir çelik sektörümüzün en önemli sorunu, uluslararası piyasalarda ayakta kalabilme sorunudur. Sektörün, girdilerini teşkil eden hurda ve cevherde, büyük oranda ithalata bağımlı olması, dış etkenlere karşı son derece hassas olması sonucunu doğurmaktadır. Bu anlamda, sektörün global piyasalara tümüyle entegre olduğunu, başka bir ifade ile, Çin, Avrupa ve Amerika'daki gelişmelerden doğrudan etkilendiğini, söylemek mümkündür. Diğer taraftan, büyük ölçüde ihracata yönelik üretim yapan Türk demir - çelik sektörünün, uluslararası

piyasalarda gelişen olumsuzluklardan etkilenmemesi mümkün değildir. Bu açıdan, demir çelik sektörünün, son derece keskin bir rekabetin yaşandığı global piyasalarda rekabet edebilmesi için, sürekli bir şekilde, üretim maliyetlerini düşürmesi, ürün kalitesini artırması ve teknolojisini yenilemesi gerekmektedir.

- ✓ Dünyanın en büyük 10 çelik üreticisinin, toplam dünya çelik üretimindeki payı, 1995 yılında yaklaşık % 20 iken bugün % 27' ler seviyesine ulaşmıştır. Şirket birleşmeleri ile 2010 yılına kadar bu oranın % 30'un üzerine çıkacağı hesaplanmaktadır. Buna karşılık, son yıllarda konsolidasyon yönünde adım atmakta olan kuruluşların, aynı zamanda dikey birleşmeler yolu ile, girdi piyasalarında da hakimiyet kurma yönündeki girişimlerinin, benzeri türden bütünleşmeye gidemeyen kuruluşlar karşısında avantajlı konuma geçmelerine imkan sağlayarak, haksız rekabete yol açmasından endişe duyulmaktadır. Tüm bu gelişmelerin, Türk demir - çelik sektörünü de, etkilemesi kaçınılmaz görülmektedir.
- ✓ Demir - çelik sektöründe karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik kurum, kuruluş, üniversite ve TMMOB'ye bağlı ilgili meslek odalarının katılımıyla bir "Demir - Çelik Enstitüsü" kurulmalıdır. Kurulacak bu enstitü aracılığıyla sektörün ihtiyacı kapsamında gerekli teknolojilerin üretimi için AR-GE çalışmalarıyla beraber kalifiye eleman ihtiyacı da karşılanmalıdır.
- ✓ Demir - çelik sektöründe, dışa bağımlılığın azaltılması için ülkemizdeki hammadde üretim teknolojileri; üniversiteler, ilgili meslek odaları, özel ve kamu

kuruluşlarınca izlenmeli, sektörün ihtiyacı hammaddelerin yerli kaynaklarımızdan karşılanmasını sağlayacak yatırımlar öncelikle teşvik edilmelidir.

- ✓ Avrupa Birliği, demir - çelik sektörü üzerine ilave yükler getirmemeye özen gösterirken, ülkemizde, yüksek elektrik enerjisi fiyatları, hurda ithalatında fon alınması ve yürürlükteki hurda ithalatına ilişkin ceza uygulamaları ile, % 6 oranında sakat, eski hükümlü ve terör mağduru istihdam zorunluluğu gibi, devletin sektöre ilave maliyetler getiren yaklaşımları, ciddi rahatsızlıklara yol açmaktadır. Devletin sektör üzerinde, rekabet gücünü düşürecek ilave maliyetler yaratmamasına ve diğer ülkelerdeki çelik endüstrileri ile aynı koşullarda, rekabet edebileceği bir ortamı oluşturmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- ✓ Sektörün geleceğini belirleyecek olan teşvik politikalarının, yatırım, üretim ve ihracat aşamalarında AB teşvik sistemine uygun hale getirilerek, çeşitli ülkelerin kota, anti - dumping ve telafi edici vergi gibi önlemleri uygulamalarına meydan vermeyecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.
- ✓ Demir çelik sektörünün AB'ye uyum anlamında tabi olması gereken çevre standartları net bir şekilde belirlenmeli ve söz konusu standartlara ulaşılabilmesi için, ihtiyaç duyulan çevre yatırımları konusunda kapsamlı envanter çalışması yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- USGS, 2008, *minerals.usgs.gov/minerals*
DTM, 2008, Demir - Çelik Sektör

- Raporu, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracat Genel Müdürlüğü, www.dtm.gov.tr
- IISI, 2009, International Iron and Steel Institute, www.worldsteel.org
- Torun, M, Avşaroğlu, N, 2008, Dünya Madenciliğinin Son On Yılında (1998-2008) Metal Fiyatlarındaki Değişmeler Ve Nedenleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara
- MİGEM, 2008, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, www.migem.gov.tr, Ankara
- Odabaşı, İ., 2008, Türkiye Demir Yatakları ve Demir-Çelik Sanayine Uzun Dönemde Hammadde Güvencesi (yayımlanmamış), MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara
- DÇÜD, 2009, Demir Çelik Üreticileri Derneği, www.d cud.org.tr;
- MTA, 2008, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Etüt Dairesi Başkanlığı, www.mta.gov.tr

Sürdürülebilir Kalkınma ve Madencilik: Dünyada Maden Hukukuyla İlgili Yeni Yaklaşımlar

Sustainable Development and Mining: New Approaches Related to Mining Law in the World

M. Topaloğlu,

Beşkent Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, İstanbul

ÖZET Dünyada 1980'lerden sonra dile getirilmeye başlanan“sürdürülebilir kalkınma” ilkesini madencilik sektöründe de etkin kılmak için uluslararası nitelikte inisiyatifleri oluşturulmuştur. Sürdürülebilir kalkınma kavramı, bugünün ihtiyaçlarını gelecek neslin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan karşılayan kalkınma, olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hukuku da, ulusal ve uluslararası ekonomi hukuku, çevre hukuku ve insan hakları hukukunu çapraz sektörel açıdan değerlendiren bir hukuki düşünce sistemidir. 1990'lı yıllardan sonra yapılan maden hukuku reformlarında sürdürülebilir kalkınma ilkesi odak kavram olarak kullanılmıştır. Bu anlayışın etkisiyle hazırlanan maden kanunları, maden haklarının güvenliğinin artırılması, şeffaf bir maden idaresinin kurulması, maden sahalarına erişimin sağlanması ve rekabetçi-adil bir mali rejimin oluşturulmasına yönelik hükümler içermektedir.

Çalışmamızda sürdürülebilir kalkınma, kavramsal olarak belirlendikten sonra hukuki boyutlarıyla ele alınmıştır. Sürdürülebilir kalkınma hukuku bağlamında yapılan madencilik reformları değerlendirilmiş ve olması gereken hukuk açısından çözüm önerileri getirilmiştir. Mevcut Türk maden hukuku düzenlemeleri ve uygulamasına da ilgili yerlerde değinilmiştir.

ABSTRACT Some initiatives were established at international level in order to attain sustainable development in the mining sector, which is being discussed worldwide starting 1980s. The concept of sustainable development is defined as a development that meets the needs of the present without compromising the future generation's ability to meet their own needs. The law of sustainable development is a cross-sectored system of legal thinking that was evaluated by the national and international economic law, environmental law and human rights law. In the reforms of mining law, which have been realized after 1990s, the sustainable development is used a focus concept. The mining codes were enacted under the influence of having provisions related

to security of tenure, establishment of transparent mining administration, access to mining land, and competitive-fair fiscal regime.

In this paper, sustainable development is defined as a concept and its legal dimensions are explained. The mining reforms, which is being considered in the context of the sustainable development, are examined and a resolution that offers view of de lege ferenda is proposed. In addition, the related regulations and practices in the current Turkish Mining Law are also included.

1 GİRİŞ

Son zamanlarda maden hukuku ile ilgili yapılan reformlarda giderek sürdürülebilir kalkınma (*sustainable development*) kavramının odak noktası haline geldiği görülmektedir. Sürdürülebilir kalkınma kavramı, çok genel olarak, bugünkü toplum ile gelecek neslin sosyal ve çevresel bakımdan refah ve mutluluğunu sağlayacak ve bağdaştıracak şekilde kalkınmanın gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir. Madencilikte gelişmiş ABD, Kanada, Avustralya gibi ülkeler ile Batı Avrupa ülkelerinde maden yatırımları bakımından çevreyle ilgili düzenlemeler, maden hukukundan daha kritik bir rol oynamaktadır. Bu ülkelerde yapılan çevreyle ilgili düzenlemeler, büyük ölçüde, olumsuz çevre etkilerinin azaltılmasına ve yeniden kazandırılmasına yönelmiştir (Williams, 2005).

Madencilik sektörünün düzenlenmesini yeni yapangelişmekte olan ülkelerde ise, sürdürülebilir kalkınma kavramını hedef almaları beklenmektedir. Söz konusu ülkelerde maden hukuku ve diğer hukuk reformlarıyla çevre hukukunun da gelişmesi zaman içerisinde tamamlanacaktır. Madencilik sektörüyle ilgili birçok firma bu dönüşümü kolaylaştırmak ve yerleştirmek için birtakım isteğe bağlı kurallar (*codes of conduct*) oluşturmuşlardır. Bu kurallar Birleşmiş Milletler ve Dünya Bankası gibi çok uluslu kuruluşlar tarafından

geliştirilmeye çalışılan MMSD (*Mining, Minerals, and Sustainable Development Project*) projesi gibi çalışmalarla paralellik göstermektedir (Dalupan, 2005).

İleride açıklanacağı gibi sürdürülebilir kalkınma kavramı, belki çıkış noktasından olsa gerekir, hemen çevre kavramını çağrıştırmaktadır. Ama "kalkınma" kavramı için çevre elbetteki çok önemlidir. Ama madencilik sektörüne bağlı kalkınmanın çevreye ek olarak dikkate alınması gereken başka yönleri de bulunmaktadır. Bunlar arasında maden haklarının güvenliği, maden sahalarına ulaşma hakkının sağlanması ve yerel halkla çıkacak uyumsuzlukların en aza indirilmesi ve tarafsız ve objektif bir maden idaresinin oluşturulması sayılabilir.

Çalışmamızda sürdürülebilir kalkınma ve madencilik çevre hukuku bağlamında ele alınacak daha sonra da ideal bir madencilik reformunda dikkate alınması gereken diğer hususlara değinilecektir.

2 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE MADENCİLİK

İnceleme konumuzu oluşturan maden hukukunun sürdürülebilir kalkınma ile olan ilgisine geçmeden önce sürdürülebilir kalkınma kavramının temellerini, ortaya çıkışı ve hukuki boyutunu ele almakta yarar vardır.

2.1 Sürdürülebilir Kalkınma

Kavramın Ortaya Çıkışı ve Anlamı

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, çevre koruma denilince akla gelen, herkesin üzerinde bir şey söylediği muğlak bir kavramdır. Kavramın bu şekilde muğlak olmasına sürdürülebilir kalkınmayla ilgili hukuki düzenlemeler neden olmuştur. Söz konusu hukuki düzenlemeler sürdürülebilir kalkınmayı tanımlamak yerine unsurlarını ele almışlardır. Unsurları da yeterince açıklamadan göndermede bulunmakla yetinmişlerdir. Böyle bir yaklaşım, sürdürülebilir kalkınmadan söz eden hukuk kurallarının çoğu esnek hukuk kuralları (*soft law*) olmalarından kaynaklanmaktadır (Saygılı, 2007).

“Sürdürülebilirlik” kavramı, aslında birbirine zıt olan çevre kalitesini korumak ve ekonomik gelişmeyi sağlamak oğuları arasında uzlaşma bulmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda çevre ve ekonomik kalkınma kavramaları arasındaki çatışmaya ilk defa 1972 Birleşmiş Milletler Stocholm İnsan Çevre Konferansında (*UN Conference on the Human Environment at Stockholm*) tanık olunmuştur. Bu konferansta gelişmekte olan ülkeler, sanayileşmiş olan ülkelerin kendi çevre koruma standartlarını uluslararası kural haline getirerek gelişmekte olan ülkelerin kalkınmalarına engelleyeceği yönünde çekince koymuşlardır (Pring ve diğ., 1999).

Çevre sorunları, 1980’li yıllarda Birleşmiş Milletlerin gündeminde ciddi şekilde yer almaya başlamıştır. 1983 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (*the World Commission on Environment and Development – WCED*) kurulmuş ve başkanlığına da Norveç Başbakanı *Gro Harlem Brundtland* getirilmiştir. Komisyona “çevresel kolonizm” de denilen “Kuzey-Güney” çatışmasına bir çözüm bulma

görevi verilmiştir. Brundtland Komisyonu çalışmalarını 1987 yılında tamamlayarak “WCED raporu” da denilen “Ortak Geleceğimiz” adlı bir rapor yayınlamıştır. Bu rapor, sürdürülebilir kalkınma kavramının soyut da olsa tanımına yer verilmiş olması nedeniyle bir hayli popüler olmuştur. Raporun giriş kısmında “sosyal ve çevresel olarak sürdürülebilir nitelikte yeni bir ekonomik büyüme dönemine” gereksinim olduğuna işaret edildikten sonra sürdürülebilir kalkınma bütün çalışma boyunca varılması gereken bir hedef olarak işlenmiştir (Turgut, 2001).

Sürdürülebilir kalkınma kavramı esas olarak Rio Konferansında zirveye çıkmıştır. Adı geçen konferansın sonucunda genel ilkeler “Rio Bildirgesi” adıyla açıklanmış; bu ilkelerin uygulanma planı da “Gündem 21” adlı belgede yer almıştır. Rio bildirgesinde sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek için yapılması gerekenlere değinilmiştir (Saygılı, 2007; Güneş ve Coşkun, 2004).

Sürdürülebilir kalkınma, genel olarak WCED raporunda: “*bugünün ihtiyaçlarını gelecek neslin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan karşılayan kalkınma*” şeklinde tanımlanmıştır. Dünyadaki ilk ve tek resmi tanım olma özelliğini taşıyan bu rapor muğlak olsa da kalkınmada eşitliğin her iki tarafına işaret etmesi bakımından önemlidir. Sürdürülebilir kalkınmayı daha detaylı olarak açıklamak gerekirse; “sürdürülebilir kalkınma” insan yaşamının kalitesini eko sistemin taşıyabileceği sınırlar içerisinde kalarak artırmak anlamına gelmektedir. *Sürdürülebilir ekonomi* ise sürdürülebilir kalkınmanın ürünüdür. O, varlığını doğal kaynaklara dayanarak sürdürür. Kalkınmanın devam edebilmesi, bilginin, organizasyonun, teknik

yeterliliğin ve bilimin geliştirilerek hayata aktarılabilmesine bağlıdır. (Pring ve diğ., 1999).

Bununla beraber kavram, biraz insan merkezli ve faydacı bulunmuştur. Avustralya'da bundan kaçınarak çevreci karakterine daha fazla vurgu yapmak için "ekolojik sürdürülebilir kalkınma" şeklinde kavram değişikliğine gidilmiştir. Buna göre ekolojik sürdürülebilir kalkınma, bugünün ve geleceğin her ikisinin birden dikkate alınarak, toplam yaşam kalitesinin, dayandığı ekolojik süreci saklamak yoluyla artırılmasıdır. (Pring ve diğ., 1999).

Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma kavramının çevre mevzuatına yerleştiği söylenemez. Avrupa Birliğine uyum sürecinde hala bu konuda gerekli iç hukuk düzenlemelerinin yapılmaması eksiklik olarak değerlendirilmektedir. Ancak 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun, sürdürülebilir kalkınma kavramına açık olarak yer vermiştir. 4856 sayılı Kanunun 2/g maddesinde "*Sürdürülebilir kalkınma ilkesi çerçevesinde, çevreye olumsuz etki yapabilecek her türlü plân, program ve projenin, fayda ve maliyetleriyle çevresel olguların ortak bir çerçeve içinde değerlendirilmesini gerçekleştirecek çevresel etki değerlendirmesi ve stratejik çevresel değerlendirme çalışmasının yapılmasını sağlamak, bu çalışmalarını denetlemek ve izlemek*" şeklinde bir hüküm öngörülerek Bakanlığa her türlü plan, program ve projede sürdürülebilir kalkınma ilkesini gözetmek yetki ve görevi verilmiştir. (Güneş ve Coşkun, 2004).

2.2 Sürdürülebilir Kalkınma Hukuku Bağlamında Maden Hukukunun Gelişimi

Madencilik ve diğer ekonomik kalkınma ile ilgili sektörlerle ilgili uluslararası

ve ulusal hukuki düzenlemelerde sürdürülebilir kalkınma paradigmasının gereklerini yerine getirme çabası göze çarpmaktadır. Son 10 yıldan bu tarafa "sürdürülebilirlik" ve "kalkınma" gibi iki zıt kavramı bir arada barındıran bu kavramın amacını belirleme çabaları hala devam etmektedir (Pring ve diğ., 1999).

Özellikle madencilik sektörüyle ilgili sürdürülebilirliğin gerekleri şu şekilde sıralanabilir:

- yoksulluğun önlenmesi;
- temel insan ihtiyaçlarının karşılanması;
- çevresel etki değerlendirmesi;
- kirlilik seviyesinin düşürülmesi;
- olumsuz çevre etkilerinin azaltılması;
- kaynakların korunması;
- uygun işçi sağlığı ve iş güvenliği standartları;
- kamunun esenliğinin sağlanması;
- çevrenin korunması ve yeniden kazandırılması.

Sürdürülebilir kalkınmanın doğası gereği yenilenemeyen kaynaklarla uğraşan madencilik sektöründe uygulanması çok zordur. Bununla birlikte madencilik sektöründe sürdürülebilirlik, yenilenemeyen kaynakların kullanımını ve ülkenin sosyal, kültürel, ekonomik ve çevresel kaynaklarının korunmasını, makul ölçülerde kalacak şekilde özendirilerek uygulanabilir (Pring ve Siegele, 2005).

Bu şeklide muğlak bir kavram olan sürdürülebilir kalkınmanın hukuki boyutlarını belirlemek nispeten daha kolaydır. Anahtar bir kavram olarak kaynak kullanımını yıllar boyu sürecek normatif bir hukuki yapıyla düzenlemek; bunu yaparken de ilgili hukuk dallarını bir araya getirecek kompleks bir çatı oluşturmak gereklidir. Genel olarak maden kaynaklarının kullanımına ilişkin

normlar, birbirlerini izleyen aşağıdaki süreçlerden geçmiştir (Bastida, 2005):

- Doğal kaynaklar hukukunun ilk aşaması, madenlerin çıkartılmasına odaklanmıştır. Kaynakların rasyonel kullanımı kavramı yeni gelişmekte ve maden kaynaklarının israfa neden olacak, bilimsel olmayan ve büyük ölçekte işletilmesini önlemek temel amaç olarak alınmaktadır. Aynı zamanda, maden mülkiyetini çevredeki üçüncü kişilerin olası saldırılarına karşı korumayı amaçlayan hukuki normlar da mevcuttur.
- İkinci aşamada kısmen çevre korumayı amaçlayan hukuki düzenlemelerin ortaya çıkmaya başladığı görülür. Artık hukuki metinlerde insan eylemlerinden kaynaklanan hava, toprak ve su kalitesine karşı oluşan tehditleri önlemeyi amaçlaya veya doğanın korunmasına yönelik koruma bölgeleri ve milli parklar oluşturan hükümler yer almaktadır. Bu gelişmelerin madencilğe etkisi henüz sınırlı düzeydedir.
- Üçüncü aşamada insan hakları, kendi kaderini belirleme hakkı, bilgilendirme hakkı gibi benzer kavramların uluslararası hukuki rejimini belirlemeye yönelik çabaların varlığına tanık olunmaktadır. Bu bağlamda, maden kaynaklarından elde edilen gelirlerin adil dağıtım talepleri de dile getirilmektedir. Yine insan hakları ve çalışma haklarına ilişkin özel rejimlerin ekonomik faaliyetlere getirdiği bazı standartların doğal olarak madencilik üzerinde de etkisi söz konusu olmaktadır.
- Dördüncü aşamaya ulusal ve uluslararası bazda özellikle anlaşmalarla çevre hukuku düzenlemelerinin yoğunlaşması damgasını vurmaktadır. Bu trendde demokratikleşme ve halkın

katılımı kavramlarındaki gelişmeler el ele gitmekte; yerel halkın hakları azınlık hakkı olarak tanınmaktadır. Yine merkezîyetçilikten vazgeçilerek yerel otoritelere daha fazla yetki verilmekte ve artık "iyi yönetim" anlayışı egemen olmaya başlamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma, kavramı, uluslararası hukukta normatif statüsüne ulaşmasına rağmen, hala kavramın sınırlarını belirleme çabaları devam etmektedir. Bu bağlamda söz konusu kavram, madencilik sektöründe hukuki ve politik bir enstürman olarak kurumsal ve uluslararası organizasyonlar (IGO) tarafından geliştirilmeye çalışılmaktadır. 1998 yılında dokuz uluslar arası madencilik şirketi bir araya gelerek Küresel Madencilik İnsiyatifi (*Global Mining Initiative - GMI*) adlı bir birlik oluşturmuşlar ve 1998 yılında endüstriyi desteklemek amacıyla Madencilik, Mineral ve Sürdürülebilir Kalkınma (*Mining, Minerals and Sustainable Development- MMSD*) adlı çalışmaya başlamışlardır. Çalışmanın sonunda da "MMSD 2002" adlı raporu yayımlamışlardır. 2001 yılında da Dünya Bankası madencilik, petrol ve doğal gaz sektörünün kalkınmada gelecek rollerine dikkat çeken bir çalışma "*Extractive Industries Review - EIR*" başlatmıştır. Gerek MMSD gerekse EIR insiyatifleri, sektördeki büyük aktörlerin sürdürülebilir kalkınma ile ilgili kendi reflekslerini yansıtmaya çabalarının ürünüdür. (Pring ve Diğ., 1999; Siegele, 2005).

Sürdürülebilir kalkınma kavramının hukuki yönünü belirleyip güçlendirirken, yönetim bağlamında kavramı şekillendirmek gereklidir. Burada kimileri mevcut madencilğe ilişkin kural ve ilkeleri çağdaş bakış açısıyla değerlendirmeyi savunurken; kimileri de uluslararası yatırım açısından

küresel bir yönetimi gerçekleştirecek yeni kurallar koymanın gereğine dikkat çekmektedirler. Sürdürülebilir kalkınma, yatırım için gerekli çevrenin yalnızca bir boyutuna odaklanmak yerine, devlete ve kalkınmadan etkilenen taraflara yüklenen hak ve borçlar demetinin tamamını dikkate almayı gerektirmektedir. (Bastida, 2005)

Sürdürülebilir kalkınma kavramının temel espirisi, kalkınmanın süreç ve sonuçlarıyla ilgili farklı kurumları bütünleştirmektir. Dolayısıyla, sürdürülebilir kalkınma hukuku da, farklı ve sektörel bakış açısının geçerli olduğu geleneksel analitik (bilimsel) düşüncenin tam tersine, değişik sektörel rejimleri bütünleştirmeyi ifade etmektedir. Her sektörün ayrı değerlendirilmesine yönelik anlayış, uzun vadeli bakış açısı gerektiren çözümler elde etmeye uygun değildir. Sürdürülebilir kalkınma, ulusal ve uluslararası ekonomi hukuku, çevre hukuku ve insan hakları hukukuna çağdaş bakış açısı gerektirmektedir. Burada yeni bir hukuk dalından ziyade çevre hukukunun daha gelişmiş bir aşaması söz konusudur. Sürdürülebilir kalkınma hukuku, hukukla ilgili yeni bir düşünce yöntemi ya da daha kesin bir anlatımla, hukukun çeşitli alanlarına giren çapraz-sektörel bir hukuki düşünce sistemidir. (Bastida, 2005)

Sürdürülebilir kalkınma kavramının yardımıyla farklı ve hatta zıt menfaatler aynı çatı altında toplanarak, doğal kaynakların işletilmesi, çevre korunması, sosyal eşitlik ve ekonomik kalkınma hususları koordine ve idare edilebilir. Kavram, kalkınma sürecinde tarafların hak ve yükümlülüklerinin değerlendirilmesinde ve madencilik kurumsal ve hukuki düzenlemesinde uygulanma kabiliyetine sahiptir.

1990'lı yıllardan sonra yapılan, genelde bütün hukuki reformlarda özel

olarak da maden haklarıyla ilgili yapılan düzenlemelerde sürdürülebilir kalkınma kavramı göz önünde tutulmuştur. Bu suretle uluslararası kabul gören örnek uygulamalar hukuk sistemine adapte edilmiş ve uluslararası yatırımlardan yerel bazda daha fazla pay almak için uygun ortam sağlanmaya çalışılmıştır.

3 MADEN HUKUKUYLA İLGİLİ DÜNYADA YENİ EĞİLİMLER

Geleneksel maden hukuku yaklaşımı kaynakların rasyonel kullanımı ile ilgilidir. Zaman içinde kaynakların rasyonel kullanım ilkesi geliştirilerek sürdürülebilir kalkınma kavramının bütün yönleriyle kavrayacak hale gelmiştir. Modern demokrasilerde kanunlaştırma süreçleri bir kaplumbağa hızıyla çok yavaş ilerlemektedir. Hazırlanan kanun tasarıları, başta maden idareleri olmak üzere maden işletmesinden doğrudan yada dolaylı olarak ilgili bütün kamu idarelerinden görüş sorularak son şeklini almaktadır. (Omalu ve Zamora, 1999)

Modern maden kanunlarında yapılan bu reformlardan sonra dört temel unsurun varlığı göze çarpmaktadır (De Sa, 2005) :

- *Maden haklarının güvenliği*; arama faaliyetisönundabulunanmadenvarlığı üzerinde "mutlak hak" tanınmalı, maden hakları devredilebilmeli, rehin ve ipotek işlemlerine konu olabilmeli;
- *Şeffaf bir maden idaresi* sağlanmalı, hukuki uygulamalarda ayrımcılık önlenmeli ve takdir hakkı en az seviyelere indirilmeli, idari kararlara karşı tahkim ve temyiz yolu açık olmalı;
- *Maden sahalarına erişim* kolaylaştırılmalı, kamu arazileri madencilik faaliyetleri için tahsis edilmeli, özel arazi sahipleri ve yerel halkla uyumsuzlukları önleyecek

hukuksal yollar üretilmeli;

- *Rekabetçi, adil ve istikrarlı bir mali rejim* oluşturulmalı, maktu değil de üretilen madenin belirli bir oranı üzerinden vergi ve devlet hakkı alınmalı, öngörülebilirliği arttırmak için mali rejimde sık sık değişiklik yapılmaktan kaçınılmalı.

Son zamanlarda yapılan maden hukuku reformlarına Şili uygulaması örnek gösterilmektedir. Şili'de madencilik sektörüne yabancı yatırımları çekebilmek için gerekli bütün unsurlar yerine getirilmiştir. Bir yandan madencilğe devletin müdahalesi en aza indirilirken diğer yandan da ortaya çıkan sorunların çözümüne yönelik somut politikalar üretilmiştir. Maden mülkiyetinin güvencesi artırılırken, ruhsat başvurularını değerlendirme süreci son derece kısaltılmış ve kamu otoritelerinin takdir hakkını azaltan objektif yöntemler geliştirilmiştir. (Omalu ve Zamora, 1999; Bastida 2005)

3.1 Maden Haklarının Güvenliği

Hukuksal koruma sağlanan maden hakları, önce maden arama hakkı daha sonra da maden işletme hakkı olarak verilmektedir. Maden arama hakkına dayanarak maden varlığını saptayan her hak sahibi maden işletme ruhsatı veya imtiyazı alabilmelidir. Maden işletme hakkı verilirken, başvuru sahibinden yeterlilik veya başka kriterler aranmamalıdır. Son eğilimler Türk hukukunda takaddüm (öncelik) hakkı olarak uygulama bulan "ilk gelen alır" (*first come, first served*) ilkesinin uygulanması yönündedir (De Sa, 2005; Morgan, 2002).

Maden haklarının hukuki niteliği konusunda dünyada iki farklı sistem bulunmaktadır. ABD'de geçerli olan

birinci sisteme göre, madenler içerisinde bulunduğu arazinin bütünüyle parçasıdır (accession sistemi). Texas, New Mexico, Colorado ve Kansas gibi eyaletlerde madenin bulunduğu arazinin sahibinin aynı zamanda madenin sahibi olduğu kabul edilmektedir. Arazi sahibi, madenle birlikte, onun aranması ve işletilmesi hakkının da doğrudan sahibi olmaktadır.

İkinci sistem olan, devlet hakimiyeti (dominalite) sistemine göre, madenlerin içinde buldukları arazinin mülkiyeti ile hiç bir ilgisi yoktur. Madenler, kimin arazisinde bulunursa bulunsun, Devlete ait sayılır. Devlete, madenleri topluma en yararlı şekilde işletilmesini sağlamak amacıyla bir takım yetkiler tanınmıştır. Devlet, bu yetkisine dayanarak madenlerin işletilmesi için özel kişilere imtiyaz verebileceği gibi, madenleri kendi de işletebilir. (Topaloğlu, 2003)

Birinci sistem, içlerinde madencilik bakımından gelişmiş ABD, Kanada ve Avustralya gibi ortak hukukun (*common law*) geçerli olduğu ülkelerde geçerli iken, ikinci sistem ise ayrı bir medeni kanun (*civil law*) geleneğine sahip olan Türkiye'nin de aralarında bulunduğu Kıta Avrupası ülkeleri ile madencilik reform çalışmaları son zamanlarda dikkat çeken Güney Amerika ülkelerinde uygulama alanı bulmaktadır. Ayrı bir medeni kanuna sahip ülkelerde maden mülkiyeti taşınmaz mülkiyetine benzer "aynı hak" olarak kabul edilmektedir (Ferrero, 2002). Medeni hukuk dizgesine sahip Türkiye'de Yüksek Mahkeme (Yargıtay) kararlarında 1970'li yıllarda maden haklarının mülkiyet hakkı gibi güçlü niteliği vurgulanırken, son yıllarda olağan bir sözleşmesel hak olarak niteleyen kararlara rastlanılmaktadır.

Maden haklarının mülkiyet hakkı gibi güçlü bir niteliğe sahip olması, onların kazanılması kadar, durdurulması

ve iptal edilmesinin belirli kurallara bağlı kalmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda maden hukuku dizgesi, bir yandan maden hakkı sahiplerinin ruhsat veya imtiyaza sahip olmaktan doğan haklı beklentileri ile madenlerin işletilmesi ve korunmasından doğacak kamu yararı arasında denge kurmalıdır. Elbette ki devlet, ekolojik ve sosyal çevrenin korunmasındaki ve ekonomik kalkınmadaki kamuyararını gözetmelidir. Ancak, kamu idareleri, kalkınma planları veya arazi düzenlemeleri yaparken maden haklarını da dikkate almalıdırlar. Hukuki yapı, madencilğe yatırım yapanlar için keyfi uygulamalardan uzak, önceden öngörülebilir bir ortam sağlamalıdır. (Omalu ve Zamora, 1999; Siac, 1999)

Dünya'da aslında bir bakıma "ruhsat güvencesi" de denilebilecek maden haklarının güvenliğini en iyi sağlayan hukuki sistemin Peru'da kurulduğu ileri sürülmektedir. Adı geçen ülkede, maden imtiyaz sahipleri, yasada öngörülmüş takdir hakkından arındırılmış objektif kriterleri yerine getirdiği sürece haklarını sürdürebilmektedir (Omalu ve Zamora, 1999). Peru ile birlikte Şili ve Bolivya, Arjantin ve bir ölçüde Meksika maden kanunları sürdürülebilir kalkınma bağlamında çok başarılı bulunmakta ve "Latin Amerika Maden Kanunu Modeli" adıyla Dünya Bankası tarafından bütün gelişmekte olan ülkelere örnek gösterilmektedir (Bastida 2008).

Maden ruhsat veya imtiyazlarına tanınan süre ve bu süreyi uzatma (temdit) prosedürü de maden haklarının güvenliği ile yakından ilgilidir. Orta veya büyük ölçekte bir maden işletmesi için arama ve geliştirme faaliyetleri on yılı aşan süre gerektirmektedir. Arama aşamasının kısa tutulmasının maden işletmeleri için caydırıcı bir etki yaptığı açıktır. Sürenin kısa tutulması kadar,

sürenin idarenin takdirine bağlanarak belirlenmesi de pek istenilen bir durum değildir. Zira büyük ölçekli madencilik faaliyetleri için uluslar arası finans kurumları sendikasyon kredisi verirken makul ve kesin süreli bir madencilik projesinin varlığını aramaktadırlar. Ancak maden varlığı belirlendiği halde onu atıl bırakılmasına izin verecek bir süre belirleme mekanizması da maden hukukunun kamuya yararlılık niteliğiyle bağdaşmaz. (Otto, 2005).

Maden haklarının güvenliği bakımından önemli olan diğer nokta, maden haklarının kolayca devredilebilmesi ve rehin-ipotek işlemlerine konu olabilmesidir. Bu şekilde madencilik sektörüne yatırım yapan şirketler finans sorunlarını çözmeye olanaklarına kavuşacaklardır. Ruhsat veya imtiyaz devirlerinde kamu otoritelerinin takdir haklarının azaltılması, olası rüşvet olaylarına son vereceği gibi, ticari hayatın gerektirdiği sürati de sağlayacaktır. Şili'de maden hukukuyla ilgili işlemlerde idarenin yetkisi kaldırılmış ve bütün işlemlerin doğrudan mahkeme kararıyla yapılması zorunlu tutulmuştur (Bastida,2008)). Maden hakları üzerinde rehin ve ipotek hakkının kurulabilmesinin de bu hakların aynı hak ölçüsünde güçlendirilmesine bağlı olduğu açıktır.

3.2 Şeffaf-İşler Bir Maden İdaresi ve Uyuşmazlık Çözüm Yöntemleri

Maden idareleri, madencilikle ilgili yönetmelik ve diğer düzenleyici işlem çıkarmak ve bürokratik işler olarak tanımlanan bireysel işlemler yapmak suretiyle maden hukuku uygulamasında önemli bir rol oynamaktadır. Madencilik izinlerinin verilmesi birçok kamu kurumunu ilgilendiren bürokratik işlemleri gerektirmektedir. Bu işlemleri

yapacak ve organizasyonu sağlayacak ayrı bir "maden bakanlığı" kurularak tek elden yönetim (*one-stop agency*) ilkesinin yürürlüğe geçirilmesinin uygun olacağı ifade edilmektedir. (Omalu ve Zamora, 1999)

Bununla birlikte özellikle gelişmekte olan ülkeler bakımından maden idaresinin yerinden yönetim (*decentralization*) ilkesine göre yapılandırılmasının iyi bir yönetim örneği oluşturacağından söz edilmektedir. Özellikle madenin bulunduğu yerde işletmeden dolayı olumsuz etkilenen yerler için daha fazla söz hakkı verilmesi ve elde edilen gelirin dağıtımında bu bölgelere daha fazla pay ayrılmasına yönelik mekanizmalar oluşturulmalıdır. Bunun için merkezi idareden yerel ve bölgesel idarelere yetki devri yapılarak yetki ve sorumlulukları artırılmalıdır. Yine maden işletmesinden elde edilen vergi, devlet hakkı vb.gibi ödemeler yoluyla tahsil edilen gelirden merkezi idareden madenin bulunduğu yerel idareye doğru daha fazla aktarım yapılmalı; aynı zamanda yerel idarenin maden işletmelerinden elde ettiği fonu artırmalarına izin verilmelidir. Özellikle alt seviyede hükümetlere kiralamadan ve maden işletmelerinden elde edilen gelirin paylaşılması bakımından Endonezya ve Filipinler uygulaması dikkate değerdir. (Clark, 2005).

Maden idarelerinin bazen karar verme sürecinde bazen de ticari anlamda maden işletmelerine müdahaleleri söz konusu olmaktadır. Özellikle maden işletmelerinin yıllık işletme projesi ve faaliyet raporu gibi belgeleri sunmaları istenerek bütün bunlar kamu yararı süzgecinden geçirilmektedir. Madencilikte kamu yararının bulunduğu kuşkudan uzaktır. Ancak hukuki açıdan yapılan kamu yararı denetlemesi her zaman hukuk kitaplarında yazıldığı gibi ideal bir şekilde gerçekleşmemektedir.

Bazen idareye bu yönde tanınan takdir hakkı sonu rüşvet uygulamalarına yol açabilecek keyfi uzatmalara ve belirsizliklere kadar gidebilmektedir. Bunu önlemek için öngörülen süreç son derece kısa ve belirli olmalıdır. Madencilğe yatırım yapan yerli ve yabancı firmalar idari değerlendirme sürecini önceden kestirebilmelidirler. Her ne kadar Şili gibi bazı ülkelerde ruhsat ve değerlendirme süreci idareden alınarak yargısal izin sürecine dönüştürülmüşse de, daha tarafsız olması beklenen yargıda da birtakım iltimasların olabileceği ihtimali her zaman mevcuttur. (Omalu ve Zamora, 1999; Siac, 1999)

Hukuk devletinin (*rule of law*) gereklerinden biri de idarenin eylem ve işlemlerinin bağımsız yargı denetimine tabi olmasıdır. Bu bakımdan maden otoritelerince değerlendirme sürecinde verilen kararlar kesin olmamalı ve bu kararlara karşı bağımsız ve tarafsız yargı organları nezdinde başvuru hakkı tanınmalıdır (Walde, 2008). Madencilikte gelişmiş ülkelerde devlet kendisi veya kamu kurumları aracılığıyla uluslararası büyük maden şirketleriyle joint-venture anlaşmalarına girerek yaptıkları anlaşmalar uyuşmazlıkların tahkim yoluyla çözülmesi şartını koymaktadırlar. Özellikle maden bürokrasisinin takdir hakkının geniş olduğu hukuk sistemleri için uluslararası seviyede tahkim ve arabuluculuk sistemine başvurulması önerilmektedir (Morgan, 2002). Türk hukuku açısından idari uyuşmazlık niteliğindeki maden bürokrasisinin işlem ve kararlarına karşı tahkime gidilmesine Yüksek Mahkeme (Danıştay) izin vermemektedir (Topaloğlu, 2003).

3.3 Maden Sahalarına Erişim Kolaylığı

Madensahalarına erişim (*access to mining land*) kavramıyla hem maden sahalarına

ulaşma hem de madenin bulunduğu araziye işletme ve arama faaliyetleri için kullanılabilmek kastedilmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi ayrı bir medeni kanuna sahip ülkelerde madenin bulunduğu arazi ile maden üzerinde tanınan imtiyaz sahibinin birbirinden farklı kişi veya kuruluşlar olması mümkündür. Çoğu zaman madenler yüksek rakımlı ve özel mülkiyetinin bulunmadığı yerlerde yapıldığı için arazi sahipleri ile maden imtiyaz sahipleri arasında bir sorun yaşanmaz. Ancak tarım alanlarında ve özel mülkleri kapsayan alanlarda her iki hak sahibi arasında bir çatışma yaşanması kaçınılmazdır. Böyle bir durumda genel olarak Dünya'daki maden kanunlarında madencilik kamu hizmeti sayılarak madenlerin işletilmesinde kamu yararı olduğu kabul edilmektedir. Bazı ülkelerde kamu yararı kavramı yerine milli yarar, bazen de devletin yararı veya kamusal öncelik gibi kavramlar kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde de madencilik o kadar güçlü bir konumda görülmektedir ki, madencilik çatıştığı diğer faaliyet alanlarına karşı mutlak bir üstünlük ve ayrıcalık tanınmaktadır. (Ferrero, 2002). Kamu yararı kararı alınarak maden imtiyaz sahibi lehine arazi üzerinde irtifak hakkı kurma yönünde hükümler konularak arazi sahipleriyle çıkabilecek sorunlar çözülmeye çalışılmaktadır (Bastida, 2008). Hatta, Bolivya'da madencilik kendi doğasında kamu yararını barındırdığı, bunun için ayrıca kamu yararı kararı alınmasına gerek dahi görülemeden irtifak hakkı kamulaştırmasının yapılabileceği kabul edilmektedir. (Morgan, 2002).

Arazi sahibi üçüncü kişilerle maden şirketleri arasında çıkabilecek bu tür sorunların önüne geçmek için maden haklarının güçlendirilmesinin ve taşınmazlarla aynı sicile kaydedilmesinin

yararlı olacağı ileri sürülmektedir. Aynı zamanda maden kadastrounun tamamlanmasının ve maden imtiyaz sınırlarını kesin olarak belirlemenin önemine işaret edilmektedir (Williams 2005; Morgan 2002).

Genel olarak kurak ve dağlık arazi gibi sahipsiz mal niteliği ile devletin hüküm ve tasarrufu yada kamusal mülkiyetinde bulunan yerlerde maden arama ve işletme faaliyetleri serbest olarak yapılabilir. Peru gibi bazı ülkelerde de kamu yararlılık niteliği enerji bakanlığı tarafından önceden belirlenmemiş ülkelerde kamuya ait arazilerin madencilik amacıyla kullanılabilmesi için açık artırma süreci öngörülmüştür. Türk Maden Hukukunda 5177 sayılı Kanunla yapılan değişiklikle Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki yerlerin madencilik faaliyeti için ihaleyle kiralanması sistemi kaldırılarak bu gibi yerlerde kira ve ecrimisil gibi bedeller ödenmeden madencilik serbestçe yapılabileceği esası getirilmiştir.

Bu bağlamda madencilik kamu yararı niteliği, sürdürülebilir kalkınma bakımından da önem taşımaktadır. Kamu yararı kavramı, ülkeden ülkeye değişen son derece muğlak bir kavramdır. Ancak madencilikte sürdürülebilir kalkınma kavramının egemen olması için madencilik faaliyetlerinin diğer faaliyetlere üstünlüğünün kabulünü gerekir. Çevre, kültürel mirasın korunması, ortak yaşam alanı diğer sosyal değerlerdeki kamu yararı madencilikteki kamu yararından farklı mütalaa edilebilir. Ne var ki, aşırı çevre korunması, halkın katılımı ve bölgesel halkın ve sivil toplum örgütlerinin müdahaleleri madencilik beşiği sayılan ABD, Kanada ve Avustralya gibi ülkelerde bile madencilik ikinci plana itmiştir. Sürdürülebilir kalkınma anlayışı, kamu yararı gerekçesiyle

madencilığe kapatılan bu gibi yerlerin ekolojik ve sosyal limitlerinin gerçekçi bir biçimde belirlenmesini önermektedir. Bunun için ilgili taraflarca anlaşarak ortak bir çözüm bulunması, tazminat, yeniden kazanma seçenekleri üzerinde durulması ve gerektiğinde alternatif yaşama alanları bulunması gibi olasılıkların disiplinler arası çapraz düşünce sistemiyle değerlendirilmesi gerekir.(Bastida, 2005)

3.4 Rekabetçi Adil ve İstikrarlı Bir Mali Rejim Oluşturulması

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, madencilikle ilgili mali rejimin şekillendirilmesinde de anahtar kavram olarak kullanılabilir. Geçmişte özellikle Fransızca konuşan ülkelerde (*Francophone countries*) her bir madencilik projesinin özelliğine göre karşılıklı görüşmelerle uygulanacak mali rejimi yatırım anlaşmasında belirleme anlayışı yaygındı. Ancak bu sistem oldukça zaman kaybına neden olması ve karşılıklı görüşmelerde her zaman anlaşmaya varılamaması yüzünden eleştirilmekteydi. Üstelik zaman içinde taraflar arasında çıkan uyumsuzlukların tekrar yatırım anlaşmasını gözden geçirmeyi zorunlu kılması, madencilik yatırımları için caydırıcı bir unsur oluşturmaktaydı. (De Sa, 2005; Brewer, 2005).

Dünyadaki yeni eğilim, her olaya özgü yatırım anlaşması yapılması yönteminin terk edilmesi ve bunun yerine karşılıklı anlaşma gerektirmeyen açık bir mali rejimin yasalarda belirlenmesi yönündedir. İyi bir mali rejim, madencilik yatırımları için öngörülen bütün mali yükleri ülkenin yatırım çekme kabiliyetini engellemeyecek şekilde açık ve kesin olarak belirleyen rejimdir. Vergi hukuku madencilik yatırımlarının

özelliklerini dikkate almalı ve makul bir devlet hakkı (*royalty*), yatırım malları için düşük oranlı gümrük vergileri, arama masraflarının aktifleştirilmesi ve hızlandırılmış amortisman uygulaması öngörmelidir. (De Sa 2005; Omalu ve Zamora, 1999)

Bununla birlikte fiili uygulamalar, global yatırım ve proje finansmanının gereklerini karşılamaktan çok uzaktır. Devletler, tahsil kolaylığı düşüncesiyle dolaylı vergiler ve maktu devlet hakkı alınması uygulamaları devam ettirmektedirler. Ashında bu durum bir ülkenin genel durumunun ve vergi idaresinin organizasyonun yeterli olmadığına da bir göstergesidir. Madencilığe yatırılan sermayenin geri dönüşünün sağlanabilmesi için vergi, devlet hakkı ve diğer kamusal yükümlülüklerin işletme karı üzerinden alınması gerekir. Dolaylı vergi uygulamasının bir hayli yaygın olduğu Türkiye'de işletme karı değil de, satış bedeli üzerinden Devlet hakkı ödeme zorunluluğu getirilerek geriye dönüş yaşanmıştır. Konjonktürel gelişim maden şirketlerinin büyük vergi mükellefi olmaları yönünde olduğu için, vergi idarelerinde madencilığe özgü özel ihtisas birimlerinin kurulması önerilmektedir. (De Sa 2005; Omalu ve Zamora, 1999)

Bazı ülkeler madencilik yatırımlarına cazibenin artırılması düşüncesiyle yatırım süresi boyunca mali mevzuat hükümlerinin sabitlenmesi konusunda maden kanunlarına hükümler koymaktadırlar. Her ne kadar bu hükümler, Devletin bütçe açığını kapatmak için vergi oranlarını artırma yetkisini kısıtlamakta ise de, maden şirketleri tarafından yatırımlarının karlılığını belirleyebilmelerini olanaklı kıldığından çok fazla rağbet görmektedir. Bazı ülkelerde yatırıma başladıktan

sonra belirli bir süre boyunca maden işletmelerine vergi indirimleri (*tax holiday*) tanınmaktadır. Ancak politik ve diğer düşüncelerle keyfi kullanılan idarenin takdir hakkının azaltılması vergi indirimlerinden ve vergi muafiyetinden daha güçlü bir teşvik olacaktır. (De Sa 2005)

KAYNAKLAR

- Bastida, E., 2005. Mineral Law: New Directions?, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.409-423.
- Bastida, A.E., 2008. Mining Law in the Context of Development: an Overview, in: *International Competition for Resources –The Role of Law, the State and of Markets*, Dundee University Press, Dundee.,s.101-137.
- Brewer, K., 2005. Trends and Directions in Mining Taxation in the 2000s, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.517-530.
- Clark, A.L., 2005. Government Decentralisation and Resorce Revenue Sharing, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.549-567.
- Dalupan, M.C.G., 2005. Mining and Sustainable Devolpment: Insights from International Law, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.149-168.
- De Sa, P., 2005. Mineral Policy: A World Bank Perspective, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.493-504.
- Ferrero, A., 2002. Relations Between Landowners and Mining Concesseionaries in Countries with a Highly Developed Mining Industry: How Can Legislation Help Both Sides' Interests? *Applied Earth Science*, 111(3), s.183-188.
- Güneş,Y. ve Coşkun, A.A., 2004. *Çevre Hukuku*, Kazancı Hukuk Yayınları, İstanbul, 212 s.
- Morgan, P.G., 2002. Mineral Title Management - the Key to Attracting Foreign Mining Investment in Developing Countries ? *Applied Earth Science*, 111(3), s.165-170.
- Omalu M.K.ve Zamora A., 1999. Key Issues in Mining Policy: a Brief Comparative Survey on the Reform of Minig Law, *Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 17, s.13-38.
- Otto, J., 2005. Security of Mineral Tenure: Time-Limits, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.353-373.
- Pring, G. ve Otto, J. ve Naito, K., 1999. Trends in International Environmental Law Affecting the Mineral Industry, *Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 17, s.39-55
- Pring, G. ve Siegele, L., 2005. International Law and Mineral Resources Development, in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.127-146.
- Saygılı, A., 2007. *Çevre Hukuku Açısından Çevresel Etki Değerlendirmesi*, İmaj Yayınevi, Ankara, 340 s.

- Siac, C., 1999. Mining Law: Bridging the Gap Between Common Law And Civil Law System, www.oas.org/legal/english/osta/Cecilia_Siac.doc, (son ziyaret:27.01.2009).
- Topaloğlu, M., 2003. *Maden ve Taşocakları Hukuku*, Karahan Kitabevi, Ankara, 655 s.
- Turgut, N., 2001. *Çevre Hukuku*, Ankara, 718 s.
- Walde, T.W., 2008. The Rule of Law and The Resource Industries' Cycles, in: *International Competition for Resources – The Role of Law, the State and of Markets*, Dundee University Press, Dundee, s.137-177.
- Williams, J.P., 2005. Legal Reform in Mining: Past, Present and Future, , in: *International and Comparative Mineral Law and Policy – Trends and Prospects*, Kluwer Law International, The Hague, s.37-70.

Avrupa Birliği ve Türkiye’de Sürdürülebilir Madencilik

Sustainable Mining in European Union and Turkey

Ş. Şafak

MTA, Fizibilite Etütleri Dairesi, Ankara

ÖZET Ekonomi, sosyal gelişme ve çevre faktörlerinin üç sac ayağını oluşturduğu sürdürülebilir gelişme, Avrupa Madencilik sektörü ve Avrupa Komisyonu’nun bu konuyla ilgili oluşturduğu politikaları içinde, günümüzde etkileyici bir rol almaktadır. Avrupa Komisyonu’nun 2000 yılında çıkarmış olduğu “Madencilik Sanayindeki Sürdürülebilir Kalkınmanın Teşvik Edilmesi” başlıklı komisyon kararı Avrupa Birliği’nde sürdürülebilir madencilikten kaynaklanan problemlerin tartışıldığı ilk dokümandır.

Türkiye Avrupa Birliği’ne üye olmaya çalışmaktadır. Bu çerçevede Türk mevzuatıyla Avrupa Birliği mevzuatının uyumlaştırma çabaları devam etmektedir. Avrupa Birliği mevzuatı, ulusların maden kanunlarını ve madencilik sektörünü negatif veya pozitif yönde etkilemektedir. Türkiye’de Mayıs 2004’den itibaren yürürlüğe giren 5177 Sayılı yeni Maden Kanunu, Avrupa Birliği’ne aday konumunda olan Türkiye kanun ve tüzüklerinin AB müktesebatı ile birbirine uyumlaştırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bildiri de, Avrupa Birliğinde sürdürülebilir madencilik konusunda yapılmış olan çalışmalar incelenerek, Avrupa Birliği’nin bu süreçte kat ettiği yol konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca Türkiye’deki sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde madencilik sektöründeki gelişmeler ve alınması gereken tedbirler hakkında bilgi verilmiştir.

ABSTRACT The concept of sustainable development resting on the three pillars of economics, environment and social development has become an increasingly important factor in the European mining sector and a major influence on the related policies of the European Commission. Communication on “Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry” (COM (2000) 265) which was the first document to discuss the problem of sustainable mining in EU.

Turkey is trying to become a member of the European Union. Within this frame, studies are proceeding for harmonization of the Turkish legislation with the EU legislation. European legislation might have positive or negative impact on the mineral extraction industry and national mining law. The new mining Law No. 5177 has been entered into force since May 2004. It contributes to harmonization of EU legislation with the candidate Turkey’s mining laws and regulations.

In this paper, studies had been done in sustainable mining in European Union was examined and information are given in this process path to ground in this context. Also in Turkey within the framework of sustainable development were informed about the developments and measures that should be taken by Turkey, in the mining sector.

1 GİRİŞ

Sürdürülebilir Kalkınma, 1987 Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na (Brundtland Komisyonu'da denir) "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır. 1992'de Rio de Janeiro'da toplanan ve "Rio Zirvesi olarak da bilinen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda ise toplumsal, ekonomik ve çevresel öğelerin birbiriyle etkileşim içinde olduğu kabul edilerek, uzun dönemde sürdürülebilir sonuçların elde edilebilmesi için , bu öğeler arasındaki dengenin gözetilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Brundtland Raporu'nun temelinde iki önemli nokta bulunmaktadır:

° Dünyadaki yoksulların temel gereksinimleri öncelikle ele alınmalıdır.

° Sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleş-tirilmesinde her zaman, teknolojinin ulaştığı nokta, toplumsal örgütlenme-nin yapısı ve ekosistemin eritme/öğütme kapasitesinden kaynaklanan kısıtlamalarla karşılaşılacaktır.

Brundtland Raporu çok genel olarak, yoksulluğun ortadan kaldırılmasını, doğal kaynaklardan elde edilen yararın dağılımında eşitliği, nüfus kontrolünü ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesini sürdürülebilir kalkınma ilkesi ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda raporda, ekonomik büyümenin çevre dostu bir perspektifle gerçekleştirilebileceği varsayımından

yola çıkılarak, hem dünyadaki çevre sorunlarının üstesinden gelebilmek hem de yoksulluğu önlemek için, gelişmekte olan ülkelerin önemli rol oynayacağı ve yeniden yapılanmayı sağlayacak uzun dönemli bir büyüme çağına girilmesi gerektiği öne sürülmüştür.

Buna karşılık, teknolojik kısıtların neler olduğu raporda ayrıntılı olarak irdelenme-miş, çevre kalitesi, ekosistemin dengesi yada biyolojik çeşitliliğe ilişkin açık belirlemeler yer almamıştır.

Sürdürülebilir kalkınma toplumsal, çevre-sel, ekonomik ve kültürel boyutları olan bir kavramdır. Bu boyutların her birinin kendi içinde, toplumsal gereksinimler, biyolojik çeşitlilik, üretim, kültür mirası gibi, hayli önemli farklı konu başlıkları vardır. Sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin çalışmalarda bu farklı yönleri tek tek ve birbirinden bağımsız olarak değil, birbirleriyle etkileşim içinde ele almak gerekir. Sistemin içerisinde yer alan her bir boyutun sürdürülebilirliği diğerlerinin de sürdürülebilir olmasına bağlıdır.

2 AVRUPA BİRLİĞİ'NDE SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK

Sürdürülebilir kalkınma kavramının üç ayağını oluşturan ekonomi, çevre ve sosyal kalkınma, Avrupa Komisyonu'nun Avrupa Madencilik sektörü ve ilgili politikaları üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Ancak ekonomik kalkınma ve çevre koruma arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınma kavramının içeriğini oldukça zor ve karmaşık bir

hale getirmektedir.

Avrupa Madencilik sanayi üyeleri faaliyetlerini sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi ilkelerine göre yürüteceklerdir. Avrupa madencilik sanayi, Brundtland tanımına uyarak, maden kaynaklarının kullanımını bu kapsamda mevcut ve gelecek nesiller için sürdürülebilir kalkınma içinde teşvik etmektedir. Brundtland tanımı 2001 yılında Gothenburg Konseyinde sürdürülebilir kalkınma için AB Stratejisine dahil edildi. Bu strateji tüm politikaları belirlerken sürdürülebilir kalkınmaya nasıl katkıda bulunacağını sorgulamayı gerektirmektedir.

Günümüze kadar madencilik sektörü ile en ilgili belge Avrupa Komisyonu'nun "Madencilik sanayinde sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi" dökümanıdır. Bu belge sürdürülebilir madencilik problemlerinin tartışıldığı ilk dökümanıdır. Bu döküman sınırlı kapsamına rağmen madencilik sektörünü kapsamlı bir şekilde inceleyerek çok önemli açıklayıcı bilgiler vermektedir. Bu döküman sürdürülebilir kalkınma açısından iki tür endişe taşımaktadır. Bunlar;

- Yenilenebilir enerji dışı kaynakların kullanımı ki bu kaynaklar gelecek nesiller için mevcut olmayacaktır,
 - Madencilik faaliyetlerinin çevre kalitesini etkilemesi ve genel ve özel riskler taşıması.
- Bu riskler ;
- Hava kirliliği,
 - Gürültü ve aynı zamanda zemin titreşimi,
 - Toprak ve su kirliliği ve yeraltı su seviyesinin etkilenmesi,
 - Doğal habitatın bozulması veya yok olması,
 - Çevre peyzaj üzerindeki görsel

etkiler.

Bu nedenle, madencilik sektörünün sürdürülebilir kalkınması için öncelikli konular ise;

- Kazaların önlenmesi,
- Madencilik sektöründe genel olarak çevre performansının iyileştirilmesi amaçlı Avrupa Birliği üyesi ülkeler tarafından hazırlanacak olan envanter çalışması eylemi,
- Terkedilmiş maden sahalarının yeniden düzenlenmesi.

Avrupa Komisyonunun hazırlamış olduğu 2000/265 nolu "Madencilik sektöründe sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesi" döküman madencilik sektöründeki rekabeti etkileyen başlıca faktörlerden birinin arazi kullanımı planlaması olduğunu belirtmektedir. Arazi kullanımı ve planlaması politikaları madencilik sektörü için sürdürülebilir kalkınma stratejilerini direk olarak etkilemektedir. Bilindiği üzere cevherin çıkartılması madencilik sektörü için vazgeçilmezdir. Ancak, bu faaliyetin çevresel etkileri mutlaka değerlendirilmelidir.

Hernekadar arazi kullanımı planlaması Avrupa Birliği üye ülkeleri içinde devlet otoritelerinin kendi sorumlulukları içinde yer alsada, daha entegre bir yaklaşımın geliştirilmesi için AB düzeyinde bir dizi stratejik girişimlerde bulunulmuştur. Üye devletler arazi kullanım tedbirlerini tasarlarlarken Habitat ve Kuşlar direktifleri ve Natura 2000 ağının gereklerine riayet etmek ve doğal çevreyi muhafaza etmek zorundadırlar.

Minerallerin tüketimini azaltılması ve cevher kaynaklarının diğer gelişmelerden korunmasına ek olarak, sürdürülebilir mineral arzını sağlamak için diğer bir strateji de aşağıda sıralanan hedeflerle

sağlanacak olan yeni teknolojilerin gelişimidir.

-Yeni mineral kaynaklarının bulunabilme-sine yardımcı olmak için daha iyi arama teknolojileri geliştirmek

- Cevherlerin tamamının işletilebilmesi için maden metotlarını geliştirmek,

-Düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak işletilebilmesi için daha ucuz ve verimli maden metotları ve cevher zenginleştirme yöntemleri geliştirmek,

- Madencilik faaliyetleri nedeniyle çevrede oluşacak zararları en az düzeye indirmek işletme ve cevher zenginleştirme yöntemleri geliştirmek,

- Maden atıklarını azaltmak için zenginleştirme yöntemleri geliştirmek,

- Muadil malzemeler kullanmak ve geliştirmek,

- Mineraller için yeni kullanım alanları araştırmak.

Madencilik sanayinin sürdürülebilirliği için kritik konular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur ;

- Cevher kaynağının coğrafik yeri
- Madencilik faaliyetinin çevresel etkileri,
 - Peyzaj
 - Su ve toprak,
 - Toz,
 - Gürültü ve titreşim,
 - Ulaşım.
- İşletme esnasında geçici arazi kullanımı,
- İşletme sonrası arazi kullanımı,
- Diğer arazi kullanıcıları ile olan anlaşmazlıklar,
- Ekonomi için minerallerin öneminin

anlayış eksikliği.

Sürdürülebilirliğin sağlanması mineral arzının sağlanması, çevrenin korunması ve sosyal ilerleme arasındaki dengeyi bulmakla sağlanır. Bu denge hükümetlerin uyguladığı politikalarla doğrudan ilişkilidir. Son yıllarda madencilik sanayindeki sürdürülebilirlik kavramının sosyal bileşeni daha az önemsenmektedir. Bunun nedeni madencilik faaliyetlerinde yüksek düzeydemekanizasyonabaşvurulmasıdır. Sonuç olarak da Avrupa Birliği'nde madencilik sektöründe çalışanların sayısı azalmaktadır. Ancak yine de bazı ülkelerde madencilik sektörü en önemli iş sahasıdır. Özellikle Polonya'da büyük miktarda çalışan sayısı ile madencilik sektörü faaliyetlerini sürdürmektedir.

3 SÜRDÜRÜLEBİLİR MADENCİLİK VE TÜRKİYE'DEKİ GELİŞMELER

3.1 Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınma

Türkiye'de çevre ve sürdürülebilir kalkınmaya ilgili politikalara daha önceki kalkınma planlarında da değişik ölçülerde yer verilmekle birlikte, ilk kez, 1991-95 dönemini kapsayan VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda, çevre konusu bütün sektörel yaklaşım ve stratejilerde yer almıştır. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ise, doğal kaynak yönetiminin sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıyla ele alındığı ilk plandır. Öte yandan, 2001-2005 dönemini kapsayan VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda, "İnsan sağlığını, ekolojik dengeyi, kültürel, tarihi ve estetik değerleri korumak suretiyle ekonomik ve sosyal gelişmeyi sağlamak esastır," ifadesiyle, sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı vurgulanmıştır.

Plandaki tanımıyla, insan sağlığı ve doğal dengeyi koruyarak ekonomik kalkınmaya olanak vermek, doğal kaynakların yönetimini sağlamak, gelecek kuşaklara daha sağlıklı bir doğal, fiziksel ve toplumsal çevre bırakmak, sürdürülebilir kalkınmanın boyutları arasında yer almaktadır. Mevzuatta ve kurumsal yapının oluşturulmasında ilerlemeler kaydedilmesi, Ulusal Çevre Stratejisi ve Eylem Planı'nın (UÇEP) hazırlanması ve çevreyle ilgili toplumsal duyarlılığın artması, olumlu gelişmeler olarak arasında sayılmaktadır. Ardından da, bir dizi olumsuzluğa ve eksikliklere yer verilmiştir. Bunlar şöyle özetlenebilir:

-Çevre yönetim sistemlerinin istenen etkinlik düzeyine getirilememesi;

-Hızlı kentleşmenin doğal kaynaklar üzerindeki baskıları, atıkların miktarını ve diğer çevre sorunlarını artırması;

-Eğitim, kararlara katılım süreçleri ve yerleşme alanlardaki gelişmenin yetersiz

olması;

-Çevre politikalarının ekonomik ve toplumsal politikalarla bütünleştirilememesi;

-İlgili bakanlıklar ile yerel yönetimlerin yetki ve sorumluluklarında gerekli düzen-lemeler yapılmadığından, "etkili ve eşgüdüm içinde çalışan bir çevre denetim sistemi"nin kurulamamış olması,

-“Çevre ve kalkınma ile ilgili veri ve bilgi erişim sistemleri, çevre izleme ve ölçüm

altyapısı, çevre envanterleri, istatistikler ve standartlar konularında yeterli gelişme

sağlanamaması,

-Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Yönetmeliği'nin uygulama sürecinde

istenen başarının elde edilememesi.

Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013) ise, Türkiye'de çevre politikasının temel ilkelerini ve çevre yönetiminin gelişme doğrultusunu belirlemek amacıyla, son dönemde çevre sorunları ile ilgili olarak ulusal ve uluslararası alanda yaşanan gelişmeler, ekonomik, yönetsel ve tüzel açıdan meydana gelen değişimleri çerçevesinde değerlendirerek, "Türkiye'de çevre yönetiminin geleceğe dönük stratejileri neler olabilir?" sorusunun yanıtı aramaya çalışmaktadır.

Türkiye'nin AB'nin çevre politikalarına uyum sağlamasının ve daha da önemlisi bunları uygulamaya yansıtmasının, gerek zaman, gerekse mali açıdan uzun ve külfetli bir süreç olacağı ortadadır. Ancak bu durum sadece Türkiye'nin AB'ye uyumuna ve bu yöndeki taahhütlerin yerine getirilmesine endekslenmemelidir. Türkiye AB'ye üye olsa da olmasa da, çevresel koşullarını bir an önce iyileştirmek ve çağdaş toplumların arasında bu alandaki yerini almak durumundadır. Avrupa Birliği, Türkiye'nin çevre politikalarını ve uygulamalarını gözden geçirmek ve eksikliklerini tamamlamak anlamında önemli bir "kolaylaştırıcı" rolündedir. Türkiye'de, bu fırsatın iyi değerlendirilmesi noktasında AB ile olduğu kadar, diğer uluslararası ve uluslararası/bölgesel kuruluşlarla iyi planlanmış, ulusal çıkarlarına uygun ve küreselleşme karşısı çevre politikalarını da dikkate alan stratejilerin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu bağlamda; "Bugünkü ve gelecek kuşakların temel gereksinimlerinin sağlandığı, yaşam kalitesinin artırıldığı, biyolojik çeşitliliğin korunduğu, doğal kaynakların sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıyla akılcı yönetildiği,

sağlıklı ve dengeli çevrede yaşama hakkını gözeten politik-yönetimsel anlayışın egemen olduğu bir Türkiye.” vizyonu, IX. Kalkınma Planı’nın oluşturulmasında dayanak noktası olmuştur.

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Devlet Planlama Teşkilatının ortaklaşa yürüttüğü “Sürdürülebilir Kalkınmanın Sektörel Politikalar Entegrasyonu” projesi, yaklaşık 20 aylık bir proje olup, Mart 2008 de sona ermiştir. Bu projeye Türkiye’de sürdürülebilir kalkınmaya yönelik stratejik bakış açısı geliştirilmek hedeflenmiştir.

3.2 Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Türkiye’de Madencilik

Toplumun ihtiyaçlarının karşılanması, refahının artırılması kalkınma politikalarının başta gelen amaçlarındandır. Madencilik ürünleri olmaksızın modern ihtiyaçların büyük çoğunluğunun karşılanması mümkün değildir. Temel toplumsal ihtiyaçları karşılamak önemli oranda madencilikte yeterli büyümeye bağlıdır. Maden kaynaklarının işletilmesiyle elde edilen gelir, kalkınmada sürekliliğin sağlanması açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Çevreyi koruma yanında, ekonomik ve sosyal dengenin sürekliliği de esastır. Bunun için de şimdiki ve gelecek kuşakların korunmuş, çevre-ekonomi-doğal kaynak dengesi gözetilmiş, sağlıklı bir çevrede yaşamasını güvence altına alan, çevre ile uyumlu bir kalkınmanın sürdürülmesi gerekir. Madenlerin doğada milyonlarca yıl süren bir zaman dilimi içinde doğal olarak ve jeolojik şartların uygun olduğu ortamlarda sınırlı miktarda oluşabildiği dikkate alındığında, madenlerin bulunabildiği yerlerde

çevre-ekonomi dengesinin gözetilerek kullanılmasının zorunlu olduğu açıktır. Aynı zamanda madencilikte kullanılan alanların rehabilite edilerek ekosisteme kazandırılması, sektörde bertaraf ve arıtma teknolojilerinin gelişmesi madenciliğin “sürdürülebilir kalkınma” prensiplerine uygun bir faaliyet dalı olmasını sağlamaktadır.

Bir ekonomik faaliyetin sağlıklı şekilde gelişebilmesi için her şeyden önce yapıcı, uygun bir yasal altyapıya ihtiyaç olduğu kuşkusuzdur. Özellikle madencilik gibi, doğa ve toplum ile sürekli etkileşim içinde olan faaliyetler açısından bu durum daha da önemlidir. Türkiye’de madencilik sektörünün gündeminde yasal sorunlar her zaman ön sıralarda yer almıştır. Ancak, bu durumun bir ölçüde normal kabul edilmesi gerekmektedir. Günümüzde bilim, teknoloji ve toplumsal tercihler hızlı şekilde değişmekte, ancak yasal düzenlemeler bu değişime her zaman aynı tempoda uyum gösterememektedir.

Son dönemde, madencilik ile ilgili mevzuatta gerçekleştirilen en kapsamlı düzenleme 3213 Sayılı Maden Kanunu’nun 5177 sayılı Kanunla revize edilmesi olmuştur. Bu düzenleme ve ardından yürürlüğe sokulan İzin Yönetmeliğiyle madencilik mevzuatındaki dağınıklığın sona erdirilmesi yönünde önemli bir adım atılmıştır. Ancak bu olumlu gelişmeye rağmen sorunun tümüyle çözüldüğünü söyleyebilmek güçtür. Bir yandan, İzin Yönetmeliğine paralel olarak ilgili diğer mevzuatta yapılması gereken değişikliklerin henüz yapılamaması, diğer taraftan İzin Yönetmeliğinin bir çok maddesinin iptali yönünde davalar açılması, yapılan iyileştirmelerin etkinliğini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Bunların yanı sıra, 3213 sayılı

yasada yapılan yeni düzenlemelerin madencilik camiasındaki ilgili tüm tarafların beklentilerini karşıladığını söyleyebilmek de kolay değildir. Yeni düzenlemenin ruhsat güvencesi açısından riskler yarattığı, yasanın uygulanması konusunda farklı meslek grupları arasında yeterli dengenin gözetilmediği tarzındaki eleştiriler, yeni yasa ve yönetmelikle ilgili kamuoyundaki olumsuz düşüncelerden bazılarıdır.

Yeni düzenleme, ÇED ve diğer izin işlemlerinin ilgili kuruluşlar tarafından üç ayda bitirilmesi zorunluluğunu getirmekte, bir anlamda, bu sürecin bir an önce tamamlanarak madencilik faaliyetlerinin başlatılmasını istemektedir. Ayrıca, petrol, jeotermal kaynak ve maden arama faaliyetleri, ÇED kapsamı dışında tutulmaktadır. Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Tasarısının da, petrol, jeotermal kaynaklar ve maden arama faaliyetlerini ÇED kapsamı dışında tuttuğunu belirtmek gerekmektedir. Mera Kanunu'nda yapılan değişiklik de benzer biçimdedir. 8 Haziran 2004 ve 20 Mayıs 2005'deki düzenlemeler ile mera alanlarının maden, petrol, turizm, yerleşim ve askeri amaçlar için kullanımının önü açılmış bulunmaktadır.

Bununla birlikte sürdürülebilir kalkınmanın en önemli öğeleri olan iş güvenliği, çevresel ve toplumsal ilişkilerin değerlendirilmesini içeren anahtar göstergeler ve sürdürülebilirlik raporları gibi kavramlar sürdürülebilir madencilik kavramı içinde çok önemli yer tutmaktadır. Ülkemize gelen bazı uluslar arası firmalar sürdürülebilir kalkınma Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma göstergelerini içeren soruların cevaplandırıldığı ve performans ölçmeye yönelik değerlendirmelerin

yapıldığı raporlarını çeşitli periyotlarda hazırlamaktadırlar.

Maden işletmesi sonucunda bir yenilenemez doğal kaynağın tükenmesi söz konusu olduğundan madene yatırılan sermaye sonludur. Yani, diğer sanayi sektörlerinde olduğu gibi sürekli bir biçimde kendisini çoğaltmamaktadır. Bu nedenle, dünyanın pek çok ülkesinde, madencilik faaliyetlerinden elde edilen gelirlerin vergi matrahının hesaplanması öncesinde "Rezerv Tüketim Payı" uygulanmaktadır. Böylece, maden işletmecisine, sermayesinin başlangıçtaki değerini koruyarak gelirlerinin bir kısmını tükenecek olan kaynağın yerine koymak veya ilave rezervler bulmak amacıyla araştırma sermayesi oluşturmak şansı tanınmaktadır. Bu yaklaşım da, günümüzde yoğun biçimde tartışılmakta olan "sürdürülebilir kalkınma" kavramının temelini oluşturmaktadır.

Ülkemizde bugünlerde yeniden düzenlenmesi tasarlanan maden kanununda, bütün bu kavramların yer alması madencilik sektöründeki sürdürülebilir kalkınma açısından oldukça önemlidir.

4 SONUÇ

- Avrupa Birliği gerek genel anlamıyla ve gerekse madencilik sektörü açısından sürdürülebilir kalkınmaya oldukça önem vermekte ve sürdürülebilir kalkınmanın üç sac ayağı olan ekonomi, çevre ve sosyal kalkınma kavramlarını madencilik sektörü içinde harmonize ederek sektörün geleceğine yön vermektedir.

- Madencilikğin çevreye etkilerini yadsımak mümkün değildir. Ancak, madencilik sektöründe, çevre dostu teknoloji ve yöntemlerin kullanılması, madencilik süreçlerinde yada

sonrasında çevrenin korunmasına yada yenilenmesine yönelik önlemlerin alınması, sektörün gelişimini engellemeyecek, aksine genel anlamda sektörün gelişimine yönelik katkıyı yapacaktır.

-Madencilikte yatırımları hızlandırmak için ÇED yönetmeliğine getirilen değişiklik ve istisnalar yeniden gözden geçirilmeli, ekonomik gelişme çabalarının çevresel ve tarihi değerleri olumsuz etkilemesine olanak tanımayacak, koruma-kullanma dengesini gözetecek bir yapılanmaya gidilmelidir.

-Yeniden düzenlenmesi tasarlanan maden kanununda, sürdürülebilir kalkınma kavramını destekleyen sürdürülebilir kalkınma göstergelerinden oluşan raporların formatları ve uygulamaları mutlaka yer almalıdır.

KAYNAKLAR

Guidelines on Sustainable Development

for the European Mining Sector, 2003 Euromines, Brussels.

Promoting Sustainable Development in the EU Non-Energy Extractive Industries, 03.05.2000 EU Commission COM (2000) 265 Final, Brussels.

Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development, 15.05.2001 EU Commission COM (2001) 264 Final, Brussels.

Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi Türkiye Ulusal Raporu Taslağı, 2002, Çevre Bakanlığı, Ankara.

Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use Natural Resources, 01.10.2003, European Commission, COM (2003) 572 Final, Brussels.

Uzun vadeli Strateji ve 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005, 2000 Devlet Planlama Teşkilatı Ankara.

IX. Kalkınma Planı Çevre Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

IX. Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2006, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

Türkiye'de Kömürün Enerji Üretimindeki Rolü

The Role of Coal in Energy Production in Turkey

C. Şensöğüt, H. Akçakoca

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

M. Aydın

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM), Ankara

ÖZET Bu çalışmada; ülkemizin genel enerji durumu ve kömür kaynaklarının enerji üretimindeki rolü incelenmiştir. Ayrıca, ülkemizde kömürün ileriye dönük enerji üretimindeki payının ne şekilde artırılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda; mevcut kömür rezervlerimiz, kömürden elde edilen enerji miktarları, kömür üretimi yapan kamu ve özel sektör kuruluşlarımızın durumu ve bu kuruluşların rezerv geliştirme ve enerji üretimine yönelik çalışmaları ele alınmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği (AB)' ne uyum sürecinde; ülkemiz kömürlerinin mevcut kimyasal ve fiziksel özelliklerinden ötürü kullanımını sınırlayan çevresel konulara ilişkin neler yapıldığı ve daha neler yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

ABSTRACT In this work, the general energy status of Turkey and the role of coal sources in energy production have been analyzed. Additionally; how to increase the share of coal resources in energy output have also been investigated. In this respect, existing coal reserves, energy production by means of coal, the status of the private and public sectors producing coal and their present works towards energy production and reserve increasing have been handled. Finally, the works carried out on the environmental aspects limiting the usage of existing coal resources due to their existing physical and chemical characteristics have been evaluated.

1 GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve teknolojik gelişmelere paralel olarak ülkeler için yaşamsal önemini artırarak sürdürmektedir. Son yıllarda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinde ilerlemeler olurken, fosil yakıtların öneminde bir azalma da olmamıştır. Fosil yakıtlar arasında da arz güvenliğinin sağlanmasında çok büyük

öneme sahip olan kömür, temel enerji kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir.

Ülkemiz, petrol ve doğalgaz bakımından dışa bağımlı durumda olmasına karşın enerji temininde kullanılabileceği önemli kömür rezervlerine sahiptir. Son yıllarda enerji ihtiyacımızın karşılanmasında doğalgaza artan bir önem verilmesi, enerji arz güvenliğini tehlikeye sokarken, enerji maliyetlerine de ağır yükler getirerek

ekonomimize zarar vermeye başlamıştır. Diğer yandan bu durum, kömürlerimizin enerjitemininde olmazsa olmaz bir öneme sahip olduğunu ve bu kaynaklarımızdan daha fazla yararlanılması gerçeğini de bir kez daha ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, ülkemizin genel enerji durumu incelenerek, önemli bir enerji hammaddesi olan kömürlerimizin, ülkemizin enerji üretimindeki rolü ele alınmıştır. Ayrıca kömürlerimizin ileriye dönük enerji üretiminde nasıl daha faydalı kullanılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

2 DÜNYADA ENERJİ VE KÖMÜR

Dünya toplam birincil enerji arzı 2006 yılında 11,739 milyon ton petrol eşdeğeri (mtep) olarak gerçekleşmiştir. Bunun kaynaklar bazında dağılımına bakıldığında % 40 petrol, % 26 kömür ve % 20.5 ile de doğalgazın sıralandığı görülmektedir (IEA, 2009).

Çizelge 1'de dünya fosil enerji üretimlerindeki gelişmelere yer verilmiştir. Buna göre; 1997-2006 döneminde, kömürden enerji üretimindeki artış % 32, doğalgazda % 19.5 ve petrolde % 18 olmuştur. Burada dikkati çeken bir diğer önemli konuda, 2002 yılından sonra kömürden enerji üretimindeki artışın ortalama % 5'in üzerinde olmasıdır (DEK-TMK, 2007).

Çizelge 1. Dünya fosil enerji üretim miktarları (mtep) (DEK-TMK, 2007)

Yıllar	Kömür	Petrol	Doğalgaz
1997	2314.5	3480.9	2015.4
1998	2245.5	3547.6	2061.1
1999	2243.1	3479.3	2116.7
2000	2267.4	3613.8	2189.0
2001	2369.8	3593.7	2242.9
2002	2380.0	3572.0	2279.3
2003	2543.6	3705.8	2361.0

2004	2751.0	3865.3	2433.4
2005	2887.2	3895.0	2486.7
2006	3053.5	4107.0	2407.8

Dünya birincil enerji üretiminde kömürün diğer fosil yakıtların üretim artış oranlarından daha yüksek seviyelerde gelişme göstermesi, dünyada kömürün giderek daha fazla önem kazanmakta olduğunu göstermektedir. Fosil yakıtların görünür rezerv dağılımlarına bakıldığında; kömür % 64, petrol ve doğalgaz ise % 18' dir. Dünya kömür rezervi, 519.1 milyar ton taşkömürü (antrasit ve bitümlü kömürler dâhil), 465.4 milyar ton linyit (subbitümlüler dâhil) olmak üzere toplam 984.5 milyar tondur. Ülkemiz rezervleri ise dünya toplam rezervinin % 0.8'ini oluşturmaktadır (DEK-TMK, 2007). Bu yakıtların tükenme sürelerine bakıldığında ise; petrol ve doğalgazın tükenme süreleri sırası ile yaklaşık 40 ile 65 yıl iken, kömürün tükenme süresinin 200 yılı geçeceği görülmektedir. Bu sonuçlar bize, kömürün dünyada enerji temininde önemini artırarak devam ettirip, en önemli enerji yakıtı olma halini sürdüreceğini göstermektedir.

2030 yılında dünya enerji tüketiminin bugüne göre % 50 oranında artacağı (16,500 mtep) ve bu artışın yaklaşık % 75'inin gelişmekte olan ülkelerde (Asya, Orta ve Güney Amerika başta olmak üzere) olacağı tahmin edilmektedir. Bu artışın kaynaklara göre dağılımında ise ilk sırayı % 35'le petrolün alacağı, petrolü sırasıyla % 25'le doğalgaz, % 21.8'le kömür, % 11.3'le yenilenebilir kaynaklar (güneş, rüzgar, jeotermal v.s.), % 4.6 ile nükleer ve % 2.2 ile hidroliğin izleyeceği tahmin edilmektedir (DEK-TMK, 2007).

Buna göre, kömürün dünya toplam enerji arzı içerisindeki payının 2030 yılına kadar önemli bir değişim

göstermeyeceği söylenebilir. Bunun en önemli nedeni, kömür rezervlerinin dünyanın her bölgesine dağılmış olmasından ötürü tedarik ve arz güvenliği sorunu yaşanmamasıdır. Son yıllarda petrol ve doğalgazda meydana gelen arz güvenliği sorunu ile birlikte bu yakıtların fiyatlarında meydana gelen yüksek artışlar kömürü daha önemli hale getirmiştir. Üstelik dünya kömür ticareti serbest olup, petrol ve doğalgazda olduğu gibi herhangi bir üretim ve kota kısıtlamasından kaynaklanan fiyat farklılığı oluşmamaktadır. 2000-2006 yılları arasında dünya kömür ticareti % 38 oranında artarak 775 milyon tona ulaşmıştır (DEK-TMK, 2007).

Günümüzde dünyada elektrik üretiminin % 38'i kömür ile yapılmaktadır. Birçok ülkede elektrik enerjisinin yarısından fazlası kömürden üretilmektedir. Bunlar arasında; Polonya % 92, Güney Afrika % 92, Avustralya % 79, Çin % 78, Çek Cumhuriyeti % 61, Yunanistan % 59, ABD % 50 ve Almanya % 49 dur (DPT, 2006).

Geçtiğimiz son on yılda dünya enerji tüketimi % 19 oranında artmış iken, bu tüketiminin karşılanmasında kullanılan kömürün tüketim artışı ise % 26 olmuştur. Örneğin, dünya taşkömürü üretimi geçtiğimiz 25 yılda % 78 oranında artmıştır. Dünya taşkömürü üretimi 1981 yılında 2.8 milyar ton iken 2005 yılında 4.97 milyar tona ulaşırken günümüzde de 5 milyar tonu geçmiştir. Bu üretim değeri 2004 yılına göre % 7.4 oranında bir artışa karşılık gelmektedir. Dünya linyit üretimi de taşkömürüne yakın bir eğilimle artış göstermektedir. 2004 yılında 893 milyon ton olan dünya linyit üretimi, 2005 yılında 905 milyon tona günümüzde de 1 milyar tona ulaşmıştır (DEK-TMK, 2007). Kömür bu haliyle diğer enerji kaynakları arasında en yüksek

gelişmeyi göstermiştir. Bu artış oranı dünya enerji tüketim artış oranından % 38 daha fazladır. Bu durum, hem elektrik enerjisi üretiminde ve hem de elektrik enerjisi' dışındaki enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında kömüre yönelindiğini göstermektedir. Bunun en önemli nedenlerinin başında, petrol ve doğalgaz fiyatlarının her türlü beklentinin üzerinde artması ve bu enerji hammaddelerinde arz güvenliği sorununun yaşanmasıdır (DEK-TMK, 2007). Nitekim 2007 yılı içerisinde ham petrolün varil fiyatı tarihi bir rekor kırarak 150 US \$ seviyesine kadar çıkarken, doğalgaz ve kömürün fiyatı da aynı doğrultuda artmıştır.

3 TÜRKİYE'DE ENERJİ VE KÖMÜR

Ülkemizde enerji gereksinimi esas olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynaklarından karşılanmakta olup, özellikle petrol ve doğalgazda dışa bağımlılık yaşanmaktadır. Üstelik nihai enerji tüketimimiz yıllara göre hızla artarken, artan talebi karşılayacak üretim yerli kaynaklardan yeterince elde edilememektedir. Böylelikle her geçen yıl, enerji tüketimimiz içerisindeki yerli üretimin oranı düşmekte ve dışa bağımlılığımız artarak devam etmektedir.

1998 yılında 29.3 mtep olan nihai enerji üretimimiz % 8.6 azalarak 2007 yılında 27.4 mtep'e düşmüştür. 2007 yılında kömür, birincil enerji kaynakları üretiminin % 54.2'sini, petrol % 8.4'ünü, doğalgaz % 2.8'ini, hidrolik (+jeotermal elektrik) % 10.1'ini, jeotermal (ısı) % 4'ünü, diğer yenilenebilir kaynaklar (güneş+rüzgar) % 2.2'sini ve ticari olmayan yakıtlar (odun, hayvan ve bitki atıkları) da % 18.3'ünü oluşturmaktadır (ETKB, 2008).

1998 yılında 74.7 mtep olan nihai enerji tüketimimiz % 41.6 artarak 2007

yılında 107.6 mtep'e ulaşmıştır. 2007 yılında nihai enerji tüketiminde petrol % 34.2 ile en yüksek paya sahip olurken, petrolü % 31.1'le doğalgaz, % 14.2 ile taşkömürü ve % 12.2 ile de linyit izlemiştir. Bu dönemde nihai enerji tüketim yapısındaki önemli değişiklik kömür ve doğalgaz tüketiminde olmuştur. 1990 yılında nihai enerji tüketimi içinde kömür ve doğalgazın payları sırası ile % 40 ve % 1,9 iken 2007 yılında bu oranlar % 26.4 ve % 31.1 olmuştur. Görüldüğü üzere kömürde büyük düşüş yaşanırken doğalgazda büyük yükseliş gözlemlenmiştir (ETKB, 2008).

Buna göre, 1998-2007 yılları arasında enerji üretimimiz % 8.6 oranında azalırken, tüketimimiz ise % 41.6 oranında artmıştır. Artan tüketimimiz yerli kaynakların yerine dış kaynaklar (petrol, doğalgaz ve ithal taşkömürü) kullanılarak karşılandığından 2007 yılında enerji talebimizin % 74'ü dışa bağımlı hale gelmiştir.

Her yıl artan yıllık enerji tüketimimizin yerli kaynaklardan çok ithal enerji kaynakları kullanılarak karşılanıyor olması, net enerji ithalatımızı 1990 yılında 27.3 mtep'den 2007 yılında 80.2 mtep'e çıkarmıştır. 1990 yılında yıllık enerji tüketiminin % 48.4'ü yerli üretimle karşılanırken, 2007 yılında ancak % 25.5'i yerli kaynaklar kullanılarak karşılanabilmiştir. Bu miktardaki ithal enerji kaynaklarına 2006 yılında 29 milyar US \$, 2007 yılında ise 31.3 milyar US \$ ödenmiştir. Bu nedenle, artan enerji talebinin karşılanmasında yerli kaynakların payının artırılması gerekmektedir. Burada akla ilk gelen ve ülkemizde de yeterince bulunan kömürlerimizdir (ETKB, 2008).

Ülkemizde kömür üretimi; enerji (termik santral), sanayi ve ısıtma (teshin) olmak üzere 3 ana sektörün taleplerinin karşılanmasına yönelik yapılmaktadır.

Kömür, kullanım alanı olarak birincil enerji kaynaklarından olup, ülkemiz kömürleri özellikleri bakımından enerji ağırlıklı değerlendirmeye daha uygundur.

Kömür rezervlerinin % 74'ü kamunun, % 26'sı özel sektörün kontrolünde olup, kömür üretiminin % 90'ı kamu, % 10'u özel sektör tarafından yapılmaktadır. Çıkarılan kömürün % 85'i termik santrallerde ve % 15'i de sanayi ve ısıtma sektöründe kullanılmaktadır (TKİ, 2009).

2007 yılında kömür, birincil enerji kaynakları üretiminin % 54.2'sini gerçekleştirmiştir. Aynı yıldaki birincil enerji kaynakları tüketimine bakıldığında kömürün; taşkömürü (16160 bin tep, % 14.2), linyit (12956 bin tep, % 12.2) olmak üzere toplam 29116 bin tep (% 26.4) olarak yer aldığı görülmektedir. Ancak burada taşkömürünün % 90'ının ithal edildiği göz önünde bulundurulduğunda, enerji tüketimimiz içerisindeki yerli kömür payının % 13.7'ler seviyesinde olduğu anlaşılmaktadır (MİGEM, 2009).

Ülkemizde 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretiminde kömüre ağırlık verilmeye başlanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1970'li yıllardan itibaren artmaya başlayan kömür üretimleri 1990'lı yılların başından itibaren düşmeye başlamıştır. Bunun nedenleri arasında;

- Artan çevre bilinci karşısında yerli kömürlerimizin istenmeyen oranlarda içerdiği kimyasal ve fiziksel özellikleri (düşük kalori, istenmeyen gaz oranlarının fazlalığı, kül içeriğinin yüksek oluşu) nedeniyle çevre kirliliği oluşturması,
- Çevresel baskıların artması, bunun karşısında kömürlerimizin zenginleştirilmelerinde çok başarı sağlanamaması,

- İthal kaynaklara ve özellikle doğalgaza, çevreye olumsuz etkisinin nisbeten az olması yanında teminindeki kolaylığı sebebiyle ağırlık verilmesi,
- Ekonomik krizler nedeniyle kömür yatırımlarının aksatılması veya hiç yapılamaması,
- Özel sektörün kömür madenciliğinde güçlü bir şekilde bulunmayışı gibi konular yer almaktadır.

Ancak tüm bu olumsuzluklara rağmen, bu olumsuzlukların giderilmesine yönelik politikalar oluşturulması konusunda yetersiz kalmıştır. Üstelik kömür madenciliği küçültülerek enerji talebinin karşılanmasında doğalgaz tercih edilerek petrolün payı daha da arttırılmış, sanayi ve teshinde ise ithal taşkömürüne ağırlık verilmiştir.

Fakat ne var ki, sürekli yaşanan ekonomik krizler, dış ticaret açığı gibi ekonomik sebepler yanında arz güvenliğinde de yaşanan sorunlar (kış aylarında doğalgaz tedarikindeki kesintiler, bölgemizdeki çatışma ortamları v.s.) enerji üretiminde yerli kaynaklarımızdan olabildiğince fazla faydalanılması gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, 2005 yılından sonra; kömür arama, üretim, zenginleştirme ve enerjide kullanma çalışmalarına hız verilmiş buna ait yasal düzenlemeler yapılarak kömür madenciliğinin % 90 ağırlıklı olarak yapıldığı kamuda bir dizi önlemler alınmaya başlanmıştır.

3.1 Türkiye'deki Kömürlerin Özellikleri ve Rezerv Değerleri

Ülkemiz linyit kömürleri düşük kalorili olup yüksek nem ve kül içermektedir. Bu olumsuzluklarından ötürü tüketimde sorunlar yaşanmaktadır. Birçok linyit üreticisi çevre koşullarını sağlayamamaktan ötürü ürettikleri kömürü ısınma sektöründe

pazarlayamamaktadır. Linyitler ısınma amaçlı olarak ancak zenginleştirildikten sonra kullanılabilir. Tüketimi kolay ve linyite göre daha temiz olan doğalgazın ülke genelinde yaygınlaştırılmasıyla birlikte, bu yakıtın sağladığı kolaylıklar sonucunda linyit kullanımının ısınma sektöründeki payının önümüzdeki süreçte daha da azalacağını göstermektedir (DEK-TMK, 2007).

Linyit rezervlerimiz altısı ısı değerlerine göre ayrıldığında, 1000 kcal/kg'nin altı % 3.18, 1000-2000 kcal/kg % 66.32 civarında pay aldığı görülmektedir. Buna göre linyit rezervlerimizin % 69.50'si düşük alt ısı değere sahip olup, bunun en büyük bölümünü 4.3 milyar ton ile Elbistan linyitleri (ortalama alt ısı değeri 1100 kcal/kg) teşkil etmektedir. Kalan bölümün ısı değerleri ise; 2001-3000 kcal/kg % 24.50, 3001-4000 kcal/kg % 5.16 ve 4000 kcal/kg'nin üstü % 0.84'tür. Bu özellikleri nedeniyle linyit rezervlerimizin % 80'lik bölümü yalnızca termik santraller için elverişlidir (DEK-TMK, 2007).

1967 yılına kadar nispeten iyi kaliteli kömürlerin etüt ve arama çalışmaları yapılmıştır. 1967 yılında ülkemizin en büyük kömür yatağı olan Elbistan havzasının ortaya çıkarılması, düşük kaliteli kömürlerin termik santrallerde kullanılmasının gündeme gelmesi ile kömür arama çalışmaları hız kazanmıştır. Ayrıca 2004 yılından itibaren 3213 sayılı Maden Kanununda değişiklik yapan 5177 sayılı kanun ile de arama faaliyetleri daha da hızlanmıştır. 2005 yılı itibarıyla başlatılan "Linyit Rezervlerinin Geliştirilmesi Projesi" çerçevesinde sondaj çalışmalarını yeniden hız kazanmaya başlamış ve bu çalışmalar 2006 yılı başından itibaren "Türkiye Maden ve Jeotermal Kaynak Rezervlerinin Geliştirilmesi

ve Yeni Sahaların Bulunması Projesi” kapsamında halen sürdürülmektedir (MİGEM, 2009). Bu çalışmalar sonucunda linyit rezervimiz 2,3 milyar ton daha artmıştır. Bu rezerv artışları; 732 milyon ton, Afşin-Elbistan, Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ); 550 milyon ton, Konya-Karapınar, Maden ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA); 495 milyon ton, Trakya havzası, MTA; 420 milyon ton, Elbistan, MTA ve 100 milyon ton ile Manisa-Soma, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) sahalarından sağlanmıştır (MTA, 2009). Ülkemizde fosil kaynaklar içinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Kömür rezervimiz içindeki en büyük payda yaklaşık 10.6 milyar ton ile linyite aittir. Taşkömürü rezervimiz ise yaklaşık 1.3 milyar tondur. Ülkemiz, linyit rezervleri bakımından zengin olup

bu rezervler ülke geneline yayılmıştır. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve bu coğrafi bölgelere dağılmış 37 ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. Linyit rezervlerinin yaklaşık % 45’i EÜAŞ, % 29’u TKİ, ve % 26’sı ise özel sektörün elindedir (MTA, 2009).

Asfaltite bakıldığında, ekonomik kalınlıkta filon tipi yataklar Şırnak ve Silopi bölgelerindedir. Yapılan etüt ve sondajlarla 82 milyon ton asfaltit rezervi belirlenmiştir. Bu rezervin 45 milyon tonu görünür niteliktedir. Buna ilaveten toplam 5 milyar ton bitümlü sist rezervi de tahmin edilmektedir (MTA, 2009).

3.2 Türkiye’de Kömür Üretimi

Ülkemizde üretilen kömürler; teshin ve sanayinin (% 15’i) yanı sıra esas olarak termik santrallerde enerji üretimi (% 85’i) amaçlı kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Türkiye’de 2003-2007 kömür üretimleri

Fosil yakıt türü	Üretici Kuruluş	Üretim Miktarı (ton)					
		2003	2004	2005	2006	2007	
1	Asfaltit	Özel Sektör	414,05	6,441	18,135	22,137	36
2	Bitümlü Madde	TKİ	0	721,899	887,703	452,386	631,695
3		Kömür	EÜAŞ	15,645,000	13,806,000	24,843,000	26,703,000
	TKİ		29,176,477	27,748,141	32,681,786	36,114,532	38,656,287
	TTK		2,954,334	2,805,654	2,621,263	2,297,173	2,423,719
	Özel Sektör		3,939,949	4,166,511	4,043,279	4,748,767	3,450,663
		Toplam	52,129,810	49,254,636	65,095,166	70,337,995	80,069,364

Çizelge 4. Türkiye taşkömürü üretimleri (ton) (TTK, 2009)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
TTK	2,244,385	2,011,178	1,880,847	1,665,846	1,522,698	1,675,283
ÖZEL SEKTÖR	75,000	48,000	39,000	450,000	797,000	817,000
TOPLAM	2,319,385	2,059,178	1,919,847	2,115,846	2,319,698	2,492,283

Çizelge 5. Türkiye taşkömürü tüketimleri (ton) (TTK, 2009)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Yerli	2,319,000	2,059,000	1,946,000	2,170,000	2,319,000	2,492,000
İthal	13,830,000	17,535,000	18,904,000	19,421,000	22,798,000	25,065,000
Toplam	16,149,000	19,594,000	20,850,000	21,591,000	25,117,000	27,557,000

1970'li yıllarda 5.8 milyon ton olan kömür üretimi, bu yıllarda yaşanan petrol krizine bağlı olarak elektrik üretiminde linyit kullanımının artışıyla birlikte, 1990 ile 2001 yılları arasında 45 milyon tondan 60 milyon tona çıkmıştır. Ancak 2002 ile 2004 yılları arasında doğalgaza dayalı termik santral önceliği nedeniyle mevcut linyite dayalı termik santraller kapasitelerinin altında çalıştırılmışlardır. Bu durum linyit kullanımında önemli düşümlere neden olmuştur. 2004 yılından itibaren linyit üretimi yeniden artmaya başlayarak 2005 yılında 65 milyon tona 2007 yılında da 80 milyon tona çıkmıştır (Çizelge 3).

2004 yılından sonra başlayan bu artışın nedenleri arasında; 4x360 MW gücündeki Elbistan-B ve 2x160 MW gücündeki 18 Mart Çan termik santrallerinin kurulması, düşük kapasitede çalıştırılan kömüre dayalı termik santrallerin kapasitelerinin artırılması ayrıca sanayi ve teshinde kömür kullanımının artırılması çabaları yer almaktadır.

Ülkemizde taşkömürü üretimi, Zonguldak taşkömürü havzasında Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve özel sektör kuruluşları tarafından yapılmaktadır (Çizelge 4). Çizelge 4'de de görülen üretimde yaşanan düşüşler ithal taşkömüründen kaynaklanmaktadır. Yerli taşkömürümüzden yeterli ölçüde faydalanılabilmesi için ithal taşkömürü ile rekabet edebilme olanaklarının sağlanması gerekmektedir.

1980'li yılların başında Türkiye'deki toplam taşkömürü tüketiminin % 80'i, sonlarına doğru ise % 45'i yerli kaynaklardan karşılanırken, 2007 yılında 27,557 bin ton olarak gerçekleşen taşkömürü tüketiminin sadece % 9.04'ü (2,492 bin ton) yerli kaynaklardan

karşılanmıştır (TKİ, 2009). Bu düşüşün nedenlerinden biri, TTK taşkömürü fiyatlarının yüksek olmasıdır. Bu nedenle, demir-çelik fabrikaları ithal kömürü tercih etmektedir. Ancak, TTK'ya yardım amacıyla bir miktar taşkömürü satın alınmaktadır. Aynı durum teshin ve enerjide kullanım içinde geçerlidir. Bu durum taşkömürü ithalatını artırmıştır. 1973 yılında 16,000 ton gibi çok küçük miktarda olan ithalatımız 2007 yılında 25,065,000 tona kadar çıkmıştır. Taşkömürü ithalatı çoğunlukla sanayi ve teshin sektörünün ihtiyacının karşılanmasına yönelik yapılmaktadır. İthal edilen taşkömürünün yaklaşık % 30'u demir-çelik sanayinde tüketilmektedir. Bunun yanında çimento sanayinde kullanılmak üzere petrokok, teshinde kullanılmak üzere de önemli miktarda taşkömürü ithalatları da yapılmaktadır (ETKB, 2008). Çizelge 5'de taşkömüründeki tüketim miktarları belirtilmektedir. Aynı şekilde burada da, yerli taşkömüründe tüketim pek değişmezken, ithal taşkömüründe tüketimin arttığı görülmektedir.

3.3 Kömür Üretiminde Kamunun Yeri ve Önemi

Ülkemizde kamu eliyle linyit üretimi 1938 yılında Kütahya-Emet-Değirmisaz, 1939 yılında da Manisa-Soma ve Tavşanlı-Tunçbilek sahalarında Etibank ile başlamıştır. 1939 yılında GLİ faaliyete geçmiştir. 1957 yılına kadar Etibank'ın bir şubesi olarak yürütülen linyit işletmeciliği 1957 yılında TKİ'ye devredilmiştir. TKİ'ye ait sahalarından 1989 yılında Sivas-Kangal, 1995 yılında Afşin-Elbistan, 2000 yılında ise Çayırhan sahalarının EÜAŞ'a devri ile linyit üreten kamu kuruluşu sayısı TKİ ve EÜAŞ olmak üzere ikiye yükselmiştir.

1980'li yılların ortalarına kadar bugünkü kömür yakıtlı elektrik santrallerinin yaklaşık % 70'i ve bu tesislere yakıt sağlayan kömür rezervleri devlet eliyle projelendirilerek işletmeye alınmıştır. Böylelikle günümüze kadar toplam 6705 MW kurulu gücü besleyecek, ısınma ve sanayinin ihtiyacını karşılayacak yaklaşık 72 milyon ton/yıl üretim kapasitesine sahip projeler TKİ tarafından uygulamaya konmuştur (TKİ, 2009).

1980'li yılların ikinci yarısından sonra Türkiye'nin dışa açılması, petrol fiyatlarında yaşanan olumlu gelişmeler sonucunda ülkenin enerji ihtiyacının bir kısmının yurtdışı kaynaklardan karşılanması yoluna gidilmiştir. Özellikle 1987 yılından sonra ülkenin finansal kaynaklarının yetersizliği gerekçesiyle, özelleştirme uygulamalarının yürürlüğe konulması ile yeni linyit üretim projeleri ve termik santral projelerinin özel sektör eliyle yürütülmesi politikaları gündeme gelmiştir. Ancak son yıllara kadar özel sektör tarafından yerli kömürle beslenen termik santral kurulamamıştır.

Türkiye'de linyit üretiminin büyük bölümü kamu kuruluşları eliyle gerçekleştirilmektedir. 1978 yılında yürürlüğe giren 2172 sayılı yasaya dayalı olarak aynı yıl ülkedeki linyit ve asfaltit sahalarının büyük bölümü devletleştirilmiştir. Böylece Türkiye'de kömür madenciliği büyük bölümüyle devlet kontrolüne geçmiştir. 1983 yılında yürürlüğe giren 2840 sayılı yasa ile, devletleştirilen linyit madenlerinden bir bölümünün eski sahiplerine iadesi sağlanmışsa da devletin kömür madenciliği alanındaki ağırlığı halen devam etmektedir. Bununla birlikte, linyit madenciliği alanında büyük çoğunluğu küçük ölçekli olmak üzere

çok sayıda özel sektör madencilik firmaları da faaliyet göstermektedir (TTK, 2009).

3.3.1 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)

Üretimlerini tamamen termik santraller ile ısınma ve sanayinin talebine bağlı olarak gerçekleştiren TKİ, ülkemizin en büyük linyit üreticisi durumundadır. TKİ'ye ait 87 adet linyit, 2 adet asfaltit ve 3 adet bitümlü şist olmak üzere 92 adet ruhsatlı saha bulunmaktadır. Bu sahalarda 2008 yılı itibarıyla toplam 2,549,419,000 ton linyit ve asfaltit rezervi tespit edilmiştir. Bu miktar, 10.6 milyar ton olan Türkiye toplam linyit rezervinin % 24.05'ine karşılık gelmektedir (TKİ, 2009). Üretilen kömürlerin büyük bir bölümü termik santrallere verilmekte ve ayrıca teshin ve sanayiye de satış yapılmaktadır (Çizelge 6,7).

Çizelge 6. 2002-2008 yılları TKİ kömür üretimleri (TKİ, 2009)

Yıllar	Tüvenan Üretim (ton)	Satılabilir Üretim (ton)
2000	43,024,386	39,197,548
2001	36,874,545	33,609,438
2002	33,772,571	30,663,596
2003	29,176,477	25,684,663
2004	27,748,141	24,360,894
2005	32,681,786	28,704,186
2006	36,114,532	29,957,947
2007	38,656,287	29,625,215
2008	45,763,518	35,835,759

Ayrıca, TKİ'nin ısınma ve sanayi piyasasında daha etkin bir pay almasını sağlamak amacıyla 2004 yılından itibaren bazı iyileştirme çalışmalarına başlanılmıştır.

Çizelge 7. 2000-2008 yılları TKİ kömür satışları (ton) (TKİ, 2009)

	Piyasa	Termik	Toplam
2000	5,831,000	33,478,000	39,309,000
2001	4,834,000	28,910,000	33,744,000
2002	5,541,000	25,323,000	30,864,000
2003	6,407,000	18,990,000	25,397,000
2004	6,277,000	19,026,000	25,303,000
2005	5,971,000	22,434,000	28,405,000
2006	6,453,000	23,362,000	29,815,000
2007	6,490,004	25,074,740	31,564,744
2008	6,976,790	29,441,616	36,418,406

3.3.2 Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK)

Türkiye'deki taşkömürü üretiminin büyük bir bölümü TTK tarafından Zonguldak'taki taşkömürü havzasında beş ayrı müesseseye bağlı olarak yapılmaktadır. TTK'nın 2007 yılı taşkömürü toplam rezervi 1.33 milyar tondur. Çizelge 8 'de TTK'nın 2002-2007 yılları arasındaki satış bilgilerine yer verilmektedir. Burada, üretim ve satışlarda görülen azalmalar ithal taşkömürü kullanımından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 8. 2002-2007 yılları TTK taşkömürü satışları (ton) (TTK, 2009)

Yıllar	Satış	Termik	Oran	Demir Çelik	Oran	Teshin	Oran	Diğer	Oran
	Toplamı	Santral	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
2002	2,102,550	1,393,054	66.26	343,023	16.31	132,573	6.30	233,900	11.13
2003	2,040,504	1,272,763	62.37	392,293	19.23	185,813	9.10	189,635	9.30
2004	1,877,875	1,149,963	61.24	410,044	21.84	165,457	8.81	152,411	8.11
2005	1,627,452	1,004,575	61.73	417,668	25.66	99,457	6.11	105,752	6.50
2006	1,425,059	934,559	65.58	305,443	21.43	88,474	6.21	96,583	6.78
2007	1,678,052	1,086,355	64.74	398,742	23.76	94,081	5.61	98,874	5.89

3.3.3 Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ)

Bir kamu kuruluşu olan EÜAŞ, bünyesinde bulunan kömüre dayalı termik santrallerde, TTK ve TKİ'den aldığı ayrıca kendisine ait kömür sahalarından (Afşin-Elbistan, Sivas - Kangal ve Ankara - Çayırhan) ürettiği kömürü kullanarak elektrik

enerjisi üretmektedir. EÜAŞ'a bağlı sahalardaki linyit rezervlerinin toplamı 4,724,300,000 tondur. Buda Türkiye toplam linyit rezervinin % 44.57'sine karşılık gelmektedir (EÜAŞ, 2009).

EÜAŞ'a bağlı bu üç adet kömür sahasından 2007 yılında üretilen kömürün miktarı 34,871,000 tondur (Çizelge 9). Burada 2005 yılından sonra sürekli bir artışın olduğu görülmektedir. Bu durum,

Çizelge 9. EÜAŞ kömür üretimleri (ton) (EÜAŞ, 2009)

	2003	2004	2005	2006	2007
Afşin-Elbistan	7,378,000	6,153,000	15,703,000	16,641,000	23,270,000
Sivas-Kangal	3,797,000	3,410,000	4,799,000	5,612,000	6,407,000
Ankara-Çayırhan	4,446,000	4,242,000	4,340,000	4,449,000	5,194,000
TOPLAM	15,621,000	13,805,000	24,842,000	26,702,000	34,871,000

Elbistan-B ve Çan 18 Mart termik santrallerinde üretime başlanılmasından ve düşük kapasitede çalışan santrallerin çalışma kapasitelerinin artırılmasından kaynaklanmaktadır.

EÜAŞ tarafından 2007 yılında kömüre dayalı termik santrallerden üretilen 35,801 GWh elektrik enerjisi için 56,941,274 ton, 2008 yılında ise 36,171 GWh elektrik enerjisi üretmek için 60,574,607 ton kömür yakılmıştır. EÜAŞ 2007 yılında yaktığı kömürün 25,399,350 tonunu TKİ'den, 1,707,036 tonunu TTK'dan ve geriye kalan 29,834,888 tonunu da kendi ruhsatlı sahalarından karşılamıştır. 2007 yılında kendi sahalarından karşıladığı linyit üretimi Türkiye toplam linyit üretiminin % 37.47'sine karşılık gelmektedir (EÜAŞ, 2009).

3.4 Türkiye'de Kömür Üretiminde Özel Sektörün Yeri ve Önemi

Ülkemizde kömür madenciliğinde özel sektörün kamu kuruluşlarına göre payı oldukça düşüktür. 2007 yılında özel sektör tarafından üretilen kömür miktarı 3,450,663 tondur. Bu düşüklüğün nedenleri arasında;

- 1982 yılına kadar kömür sahalarının devletin elinde bulunması,
- Termik santral işletmeciliğinin devlet tarafından yapılmasından ötürü termik santrallere istenilen düzeyde kömür satılamaması,
- Çevre ve hava kirliliğinin son yıllarda büyük önem kazanmasından ötürü üretilen kömürlerin satılmasında yaşanan zorluklar,
- Son yıllarda enerji üretiminde ve ısınmada doğalgaza olan talebin artmasının olumsuz etkileri,
- Ülkemiz linyitlerinin kalorifik değerlerinin düşüklüğü yanında kül, nem gibi özelliklerinin de izin verilen seviyelerin üzerinde olması,

- İthal taşkömürü kullanımının son yıllarda artarak devam etmesi,
- Kömürarama ve üretim maliyetlerinin pahalı ve riskli oluşu,
- Devletin kömür madenciliğine teşvik vermemesi gibi konular sayılabilir.

3213 sayılı Maden Kanununda değişiklik yapan 5177 sayılı kanunun 2004 yılında yürürlüğe girmesinden sonra, özel sektörün kömür ruhsatlı sahalarında ve üretimlerinde gözle görülür bir artış gözlenmiştir. Ancak üretimlerde yaşanan bu artışlara rağmen üretim miktarları halen düşük seviyelerdedir. MİGEM'in 2008 yılı verilerine göre, özel sektörün elindeki kömüre dayalı işletme ruhsatlı saha adedi 450 ve 2007 yılı kömür üretimi de yaklaşık 3.5 milyon tondur (MİGEM, 2009).

Son yıllarda özel sektörün kömür üretimindeki artışının nedenleri arasında; 2005 yılı sonrasında enerji üretiminde yeniden kömüre önem verilmeye başlanması, kömür zenginleştirme tesislerinin artmasıyla zenginleştirilen kömürlerin sanayi ve teshindeki pazarlarının artması ve özel sektöründe elektrik enerjisi üretim amaçlı kömüre dayalı termik santral kurmaya başlaması sayılabilir.

3.5 Türkiye'de Kömürden Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kömüre Dayalı Termik Santrallerin Durumu

2007 yılı sonunda Türkiye elektrik enerjisinin kurulu gücü 40,755 MW, elektrik üretimi ise 191,204 GWh olarak gerçekleşmiştir. Bu kurulu gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 10'da gösterilmiştir. Buna göre, 2007 yılında Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün ve elektrik üretiminin % 25.06'sı kömüre dayalı termik santrallerden karşılanmış olup, yerli kömürün payı % 21'dir (EÜAŞ, 2009).

Halen ülkemizde elektrik üretiminin % 31.6'sı doğalgazdan elde edilmektedir. Bu süreçte kömürün elektrik enerjisi

üretimindeki payı azalırken doğalgazın payı artmıştır [Şensöğüt, 2004, Ersoy, 2006, Şensöğüt & Ören, 2009].

Çizelge 10. Türkiye kurulu gücünün (MW) enerji kaynaklarına göre dağılımı (EÜAŞ, 2009)

Kurulu Güç	Yerli Kömür (Linyit+taşköm.)	Doğalgaz	İthal Kömür	Jeotermal	Sıvı Yakıtlar	Rüzgar	Hidrolik	Diğer
40.755.2	8.561.8	12.874.6	1.651	23	2.017.1	135.4	13.393.4	2.098.7

03/03/2001 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanununa göre kömüre dayalı termik santrallerin kurulma lisansları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından verilmektedir. Şimdiye kadar EPDK'dan 50 MW üzeri lisans alan 20 adet kömüre dayalı termik santral bulunmaktadır. Bu santrallerin kurulu güçleri toplamı 10,048 MW olup bunun 4,893 MW'si yerli kömüre dayalıdır. Bu santrallerden bazılarının tesis inşaları bitim aşamasında, bazıları devam etmekte bazıları ise proje aşamasındadır. (Çizelge 11) (EPDK, 2009).

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 2006 yılında yayınlanan "Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu" adlı rapordaki düşük hızlı talep projeksiyonuna göre elektrik enerjisi talebinin 2011 yılında karşılanamayacağı belirtilmektedir. Bu durum karşısında yerli kömürlerimizden elektrik enerjisi üretmek için çalışmaların hızlandırılması mevcut linyit potansiyelinin biran önce kullanılması gerekmektedir.

3.6 Kömür ve Çevre İlişkileri

Bilindiği gibi, kömür kullanımını engelleyici konular daha çok çevreye olan zararlı etkileri ile ilgilidir. Kömür, aranmasında, işletilmesinde,

zenginleştirilmesinde ve kullanımında doğayı kirletebilen özelliğe sahiptir. Ülkemiz kömürlerinde de özellikleri bakımından istenilmeyen içerikler fazladır. Bu nedenle kullanımları sınırlandırılmıştır. O nedenle kömürlerin zenginleştirilerek kullanılmaları gerekmektedir.

Türkiye'nin aday ülke statüsünde olduğu AB, çevre konusunda oldukça hassas davranarak birçok kararlar almakta ve de sera gazlarının azaltılmasına yönelik birçok çalışma yapmaktadır. Ülkemiz, bu antlaşmaların bazılarını kabul etmiş olup bazılarını da kabul etme yönündeki çalışmalarını sürdürmektedir. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesini kabul eden ülkemiz son olarak, Kyoto Protokolü'nün kabulüne dair 5836 sayılı yasa, 17/02/2009 tarih ve 27144 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe koymuştur. Bu antlaşmalarla birlikte, sera gazlarının azaltılması ve çevrenin korunması konularında ortaya konan kriterler, ülkemiz tarafından da kabul edildiğinden bu kriterlerin sağlanması yönünde gerekli çalışmaların yapılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu durumda, elektrik enerjisi üreten kömüre dayalı termik santrallerimizin çevreye zararlı gazlar ve partiküller yaydıkları bilindiğinden, uluslararası antlaşmalardan doğan yükümlülüklerin yerine getirilebilmesi

Çizelge 11. EPDK'dan lisans alan 50 MW üstü kömür termik santralleri (EPDK, 2009)

Başvuru Tarihi	Şirket Unvanı	İli	Tesis Tipi	Yakıt Türü	Kurulu	Yıllık
					Güç	Üretim
					MW	(GWh)
04.09.2002	İçdaş Çelik En.Ter. ve Ulaş. San. A.Ş.	Çanakkale	Akışkan Yatak	İthal Kömür	405	2,916
28.02.2003	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	Adana	Akışkan Yatak	Yerli linyit	450	3,375
09.12.2003	Sitopi Elektrik Üretim A.Ş.	Şirnak	Akışkan Yatak	Yerli Asfaltit	405	2,916
08.01.2004	Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Zonguldak	Akışkan Yatak - Konvansiyonel	Yerli / İthal Taşkömürü veya Linyit	1,360	9,050
06.05.2005	Hema Elektrik Üretim A.Ş.	Zonguldak	Akışkan Yatak	Taşkömürü (MetanGazlı)	50	350
06.05.2005	Hema Elektrik Üretim A.Ş.	Bartın	Akışkan Yatak	Taşkömürü (MetanGazlı)	1,100	7,700
09.12.2005	İS Enerji ve Maden Üretim A.Ş.	Çankırı	Akışkan Yatak	Yerli linyit	372	2,600
07.08.2006	İçdaş Elek. Ener. Üret. ve Yat. A.Ş.	Çanakkale	Konvansiyonel Süperkritik	İthal Kömür	600	4,320
13.02.2007	Çalık NTF Elek. Üret. ve Mod. A.Ş.	Çankırı	Akışkan Yatak	Yerli linyit	165	1,300
06.03.2007	Akso Enerji Üretim A.Ş.	Bolu	Akışkan Yatak	Yerli linyit	270	2,025
04.06.2007	Cengiz Enerji San. ve Tic. A.Ş.	Samsun	Konvansiyonel	İthal Kömür	600	4,800
13.06.2007	Enka Enerji Üretim A.Ş.	İzmir	Konvansiyonel	İthal Kömür	750	5,625
14.06.2007	İçdaş Çelik En.Ter. ve Ulaş. San.A.Ş.	Çanakkale	Konvansiyonel Süperkritik	İthal Kömür	600	4,320
20.11.2007	Düztan Ener. Yat. Üret. ve Tic. A.Ş.	Sinop	Akışkan Yatak	İthal Kömür	600	3,917
26.12.2007	Anadolu Termik Sanitmleri A.Ş.	Sinop	Konvansiyonel Süper Kritik	İthal Kömür / Motorin	1,000	6,500
25.02.2008	Adulanya Ener.Elek.Üret.Mad. A.Ş.	Eskişehir	Akışkan Yatak	Yerli linyit	270	1,830
20.03.2008	Başat Elek. Üret. ve Tic. Ltd. Şti.	Tekirdağ	Akışkan Yatak	Yerli linyit	300	2,250
03.04.2008	Tam Enerji Üretim A.Ş.	Sivas	Konvansiyonel	Yerli linyit	100	650
17.04.2008	Atlas Enerji Üretim A.Ş.	Hatay	Konvansiyonel	İthal Kömür	600	4,260
09.09.2008	Polat Elek. Üret. İnş. İth. İhr. A.Ş.	Kütahya	Akışkan yatak	Yerli linyit	51	357
Toplam					10,048	71,091

için bu konuda birçok çevresel tedbirin alınması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle, mevcut termik santrallerimizde devam eden rehabilitasyon çalışmalarına hız verilerek bir an önce tamamlanması gerekmektedir. Böylelikle termik santrallerimizin çevreye zarar veren etkileri azaltılacağından tarafı olduğumuz antlaşmalardan dolayı herhangi bir yaptırımla karşılaşılmayacaktır. Ayrıca bu rehabilitasyonlar sonucunda kapasite kullanımlarının artmasından ötürü de daha fazla elektrik enerjisi üretilebilecektir. Hidrolik ve kömür

santrallerindeki rehabilitasyonların tamamlanması halinde yıllık üretimi iki adet Keban hidroelektrik santraline eşdeğer olan 13.9 milyar kWh dolayında ek elektrik enerjisi sistemi eklenebilecektir.

AB temiz kömür yakma teknolojilerini desteklemektedir. Bu nedenle, yeni kurulacak kömüre dayalı termik santrallerin temiz kömür yakma teknolojilerine uygun olarak inşa edilmeleri hem daha fazla elektrik enerjisi üretilmesini sağlayacak ve hem de çevreye zararlı etkileri azaltacaktır. Bu

bağlamında, Çan 18 Mart termik santrali akışkan yataklı yakma teknolojisine göre inşa edilmiştir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz enerji temininde petrol ve doğalgaz kaynakları bakımından dışa bağımlı olsa da kullanabileceği önemli kömür rezervlerine sahiptir. Ancak bu rezervlerin enerji üretimine yeterince dâhil edilememesi nedeniyle ülkemizin 2008 yılı itibarıyla enerji arzının % 74 gibi çok büyük bir bölümü ithal kaynaklar kullanılarak elde edilmiştir. Son yıllarda enerji ihtiyacımızın karşılanmasında doğalgaza artan bir önem verilmesinin, enerji arz güvenliğini tehlikeye sokması, enerji maliyetlerine ağır yükler getirerek ekonomiye zarar vermesi gibi olumsuz etkileri olmuştur. Bu durum, kömürlerimizin enerji temininde olmazsa olmaz öneme sahip olduğunu ve bu kaynaklarımızdan daha fazla yararlanılması gerektiği gerçeğini de bir kez daha ortaya koymuştur.

2005 yılından itibaren mevcut durumla devam edilebilmesinin mümkün olamayacağı anlaşılmış üzerine yeniden kömüre ağırlık vermeye başlanılmıştır. Ancak kömürden olabildiğince fazla faydalanılması gerçeği sadece kriz zamanlarında hatırlanılmamalı, bu konuda sürekli izlenen kısa, orta ve uzun vadeli stratejik plan ve politikalar oluşturulmalıdır. Bu bağlamda;

- Kömür madenciliği ağırlıklı olarak kamu eliyle yürütüldüğünden kömürle ilgili tüm kamu kurum ve kuruluşlarının ortak çalışabileceği bir yapının oluşturulması ve bu yapının etkin ve verimli çalışmasının takip edilmesi ve denetlenmesi,
- Kömür madenciliğinin ülkemize başta enerji olmak üzere sağladığı faydalarının ve ülkemiz için olmazsa

olmaz öneminin tüm ilgili taraflarla anlaşılıp sorumluluk bilincinin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması,

- Kömür madenciliğinin zorluk ve riskleri değerlendirilerek, özel sektörün teşvik edilmesi, yatırımların önündeki engellerin kaldırılması ve güçlü teşviklerin verilmesi,
- Kömür rezervlerinin artırılmasına yönelik arama çalışmalarına hız verilerek bilhassa sondajlı aramalarla yer kabuğunun daha derinliklerindeki aramaların yapılması,
- Üretimlerin en üst seviyelere çıkarılması, bunun içinde üretim sonrası gerekli planlamaların yapılması,
- Sanayi ve teshine yönelik üretimlerin artırılması, bu bağlamda kömür zenginleştirmelerine önem verilmesi,
- Elektrik üretimi amaçlı termik santrallerde üretimlerin artırılması ve çevreye duyarlı yeni termik santrallerin kurulması,
- Hem AB katılım süreci ve tarafı olduğumuz uluslararası sözleşmeler açısından ve hem de çevrenin korunması açısından ülkemizdeki kömürlerin niteliklerine uygun emisyon kontrollü yeni teknolojilerin araştırılarak uygulanması,
- Düşük verimle çalışan ve teknolojileri eskijen termik santrallerdeki rehabilitasyonların biran önce tamamlanarak verimlerinin artırılması böylelikle kömür tüketimlerinde ve elektrik üretimlerinde artış sağlanması,
- Kömür arama, üretim, zenginleştirme ve yakmada yeni teknolojilerinin gelişiminin yakından takip edilerek, uygulamaya geçirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- International Energy Agency (IEA), 2009, www.iea.org
- DEK-TMK Çalışma Grupları Raporları, 2007, 1. Cilt, *Kömür Çalışma Grubu Raporu*, Ankara.
- DPT, 2006, 9. *Beş Yıllık Kalkınma Planı, MÖİK Linyit ve Taşkömürü Çalışma Grubu Raporları*, Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Faaliyet Raporu, 2008, Ankara.
- Maden İşleri Genel Müdürlüğü, 2009, www.migem.gov.tr
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, 2009, www.tki.gov.tr
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2009, www.mta.gov.tr
- Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, 2009, www.ttk.gov.tr
- Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, 2009, www.euas.gov.tr
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2009, www.epdk.gov.tr
- Ersoy M., 2006, "Türkiye Kömür Sektörü: Süreç, Sorunlar ve Öneriler", *Türkiye 10. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 27-30 Kasım.
- Şensöğüt C., 2004, "Enerji Politikaları İçinde Kömürün Yeri", *Mimar ve Mühendis Dergisi*, sayı 33, s. 64-66, Haziran, Ankara.
- Şensöğüt C., Ören, Ö., 2009, "Coal Production and Energy Fact in Turkey", *Energy Sources*, Part B, Vol. 4, pp. 179-186.

Madencilik Yatırımlarının Geliştirilebilmesi ***Mining Investment Development***

T. Tufan

Tufan Madencilik Mühendislik Nazilli-Aydın

ÖZET

Madencilik yatırımlarının geliştirilmesi, katma değeri yüksek olan sektöre yatırımla mümkündür. Yeni yatırımların yapılabilmesi, mevcut yatırımlarda teknolojik iyileştirmelerin geliştirilmesi, üretim maliyetlerini asgariye indirecek proje iyileştirme yatırımlarının her projeye göre uygulanabilirliğinin özendirilmesi madenciligi geliştirecek konulardandır. Özelleştirme ile maden tesislerinin satılması, bu tesisleri alan firmaların çoğunlukla madencilik faaliyetleri azalmıştır. Madencilikte mevcut pazar payının artırılması amacıyla rafine ürün kapasitesinin ve ürün çeşitliliği ile ürün kalitesinin artırılmasına yönelik yatırımlar yapılmalı, pazarlama stratejileri oluşturulmalı ve etkin dağıtım ağları kurulmalıdır.

Maden Mühendisleri Odası öncülüğünde oluşturulacak Madencilik Konseyi ile ülkede üretim yapan madencilik kurumlarıyla; diyalog ve koordinasyon sağlanmalıdır. Oluşturulacak Madencilik Konseyi sektörel moral unsurlarını takip etmeli, firmalara teknik ve hukuki anlamda danışmanlık hizmeti sunmalı, ulusal madencilik politikası unsurlarının hayata geçirilmesine öncülük etmeli, madencilik şirketlerine finans sağlayacak kredilendirme bankacılık sisteminin kurulmasına rehberlik yapmalıdır.

ABSTRACT

Developments of investments in mining is possible by investing in high value added sectors. New investments , progressing technological refections in existing plants, encouragement of applicabilities of projects to reduce production costs are main incentives to encourage the development of mining. The companies which have taken over the mines by privatization , have reduced the activities in mining. To increase the market share in Mining, it is necessary to make investments to increase refined products capacity, product range and quality. Also marketing strategies should be planned and effective distribution channels should be established. Coordination and dialogue between Mining Council and the establishments in the production of mining must be set up under the leadership of the Chamber of Mining Engineers. The Council shall provide technical and legal advices to the companies as well as sectoral ethic principles and guide to the banking system to facilitate credits to the mining companies.

1 TÜRKİYE MADENCİLİĞİNİN SEKTÖREL KONUMU

Madencilik doğal kaynaklar açısından önemsenir bir potansiyel taşımaktadır. Madencilik ve madene dayalı sanayi ile birlikte düşünüldüğünde de oluşan katma değer GSMH içindeki payı yüzde 12'ye ulaştığı tahmin edilmektedir.

1.1 Önemli Maden Kaynaklarımız

Ülkemizin jeolojik özellikleri küçük-orta rezervli, çok çeşitli maden yataklarının oluşumuna olanak tanımaktadır. Ancak bor ve trona'da dünyanın en büyük ve ikinci rezervlerine sahip olduğumuz biliniyor. Diğer yandan mermer, zeolit, pomza, sölestin ve toryum gibi madenlerimizin önemli rezervler oluşturduğu söylenebilir.

Madenlerimizin hammadde olarak ucuza ihracı yerine, yüksek katma değer ve istihdam yaratan rafine ve uç ürüne dönüştürülmesi gerekmektedir. Yurtdışı satışlarının büyük çoğunluğunu bor ürünleri, endüstriyel hammaddeler ve doğal taş ürünleri oluşturmaktadır. Enerji girdilerine sürekli zam yapılması, vergi ve maliyet unsurlarının sürekli yükselmesi sonucunda, dış üreticilerle rekabet şansı azalmaktadır.

1.1.1 Kömür

MTA'nın 2002 -2007 yılları arasında yaptığı arama çalışmaları sonucunda toplam 2,3 milyar ton yeni kömür rezervi bulunmuştur. Böylelikle Türkiye'nin linyit rezervleri yüzde 28'lik bir artışla 8,3 milyar tondan 10,6 milyar tona yükselmiştir. MTA'nın, 2008 yılı Ocak ayından beri yapılan arama çalışmalarında, 3 yeni kömür sahasında "ciddi bulgulara" ulaşılmıştır. Eskişehir-İnönü'de yer alan sahada 300

metre derinlik ve 25 metre kalınlıkta, yine Eskişehir'in doğusunda yeni bir alanda 350 metre derinlikte ve 35 metre kalınlıkta, Afyon-Dinar'da da 300-350 metre derinlikte ve 15 metre kalınlıkta kömür bulunmuştur. Eskişehir'deki alanlarda rezervin tespitine yönelik sondaj çalışmaları sürerken, Afyon-Dinar'daki rezerv tespit çalışmaları 2009'da başlayacaktır. Daha önce hiç arama yapılmayan bu alanlardaki rezervin, 1 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir.

Neojen havzalardaki kömür aramaları büyük ölçüde tamamlanan ancak detay aramaların yapılması ihtiyacının da devam ettiği linyit sahalarımızdaki toplam rezervi yaklaşık %65'inin termik santral amaçlı üretilmesi mümkündür. Neojen sahalarındaki aramalar detay olarak tamamlanmalıdır.

Ekonomik olarak işletilebilecek ve termik santrallerde elektrik üretimine yönelik değerlendirilebilecek büyük miktarda rezerv mevcuttur. Son 4-5 yıldır kömür aramalarına hız verilmiştir.

Elbistan Linyit Havzası termik santral amaçlı değerlendirilmelidir. Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %40'ını oluşturan Elbistan Linyit Havzası'nda, halen işletilmekte olan Elbistan açık işletmesi rezervlerinin dışında, ekonomik olarak üretililebilecek 3 milyar tona yakın linyit bulunmakta olup, bu rakam toplam 7.000 MW gücünde termik santrallere karşılık gelmektedir.

1.1.2 Bor Tuzları

1978 yılında cevher bazında toplam 660 milyon ton olan bor rezervleri, Eti Holding A.Ş. tarafından yapılan yaklaşık 600 milyon US\$ tutarındaki arama yatırımları ile %300'den fazla artarak 2 milyar ton'un üzerine çıkmıştır. Bor üretimi 1970'de 122.000

ton B₂O₃ iken, %390 artarak son yıllarda 475.000 ton B₂O₃'e ulaşmıştır. Böylece, dünya bor üretiminde ülkemizin payı 1975'de %11 iken günümüzde %33 düzeyine çıkmıştır. 1978 öncesi, ülkemizde ancak 26-60 US\$/ton fiyatla dışarıya ihraç edilebilen bazı bor tuzları, devletleştirme sonrasında bugün ortalama 202 US\$/ton fiyatla satılmaktadır. 1963'de 2,9 milyon US\$ olan bor ihracat geliri günümüzde 250 milyon US\$/yıl seviyelerine yükselmiştir. 1978 öncesi bor işletmeciliği yapan madencilik firmaları, basit kil yıkama tesisleri dışında her hangi bir tesis ya da teknoloji geliştirme yatırımı yapmamışlardır. Söz konusu firmalar, kolay yolu seçerek ham cevher olarak yurtdışına ihraç etmek suretiyle önemli oranda döviz kaybına neden olmuşlardır. Buna karşın Etibank; Kırka, Emet, Bigadiç, Kestelek ve Bandırma'da milyonlarca dolarlık yatırımları gerçekleştirmiş ve binlerce kişiye iş olanağı yaratmıştır. Söz konusu yasal düzenlemenin sonucu olarak Eti Holding A.Ş., RTZ US Borax ile birlikte dünyanın iki büyük bor üreticisinden biri olmuştur. Eti Holding, 1978 yılı sonrasında başladığı rafine ürün üretimi çalışmaları ile 140 yıldır bor piyasasında faaliyet gösteren US Borax ile rekabet ederek Avrupa pazarının %51'ini, dünya pazarının ise %36'sını ele geçirmeyi başarmıştır. 2008 yılı Eti Bor A.Ş. ihracatı 520 milyon dolardır. 2009 yılı yatırım bütçesi 150 milyon dolar olarak tesbit edilmiştir.

Bilim ve teknoloji üretimi, sanayileşmenin, ve madencilik sektörünün gelişmesinin ön koşuludur. Bugün için, toplam 1,5 milyar Dolarlık dünya bor pazarındaki ülke payının artırılması ve buna yönelik çalışmaların yapılması önemlidir, ancak yeterli değildir.

1.1.3 Jeotermal Enerji

Jeolojik olarak Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağında yer alan Türkiye; genç tektonik dönemde kazanmış olduğu çok kırıklı yapısı ve geçirmiş olduğu volkanik faaliyetlerden dolayı jeotermal kaynaklar yönünden zengin kabul edilmektedir. Bugün itibarıyla yaklaşık bin civarında doğal çıkış halinde sıcak su ve doğal mineralli su kaynağı bulunmaktadır.

Türkiye'nin jeotermal ısı potansiyelinin yaklaşık 31 bin 500 MW termal olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarla 186 adet jeotermal alanın varlığının keşfedildiği, kaynakların yüzde 79'u Batı Anadolu'da, yüzde 8.5' i Orta Anadolu'da, yüzde 7.5' i Marmara Bölgesinde, yüzde 4.5'i Doğu Anadolu'da ve yüzde 0.5' i diğer bölgelerde yer almaktadır.

Ülkemizde elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 15 sahaya ekstra yatırımlar yapılması gerekmektedir. Batı Anadolu'da bulunan sahaların görünür hale getirilmiş elektrik kapasitesi 112 MW'tır. Tüm bu sahaların geliştirme çalışmaları tamamlandığında bu kapasitenin 565 MWe'ye çıkarılması hedeflenmektedir. Bugün için bu sahalardan Denizli-Kızıldere'de 15 MW, Aydın-Salavatlıda 7.6 mw kurulu güce sahip santralden elektrik üretildiği belirtilmektedir. Kızıldere'deki santralin 2007 yılı içerisinde 7 bin 500 saat çalışarak 94 milyon KWh elektrik ürettiği, ayrıca Aydın-Germencik'te 45 MW'lık jeotermal elektrik santrali kurma çalışmaları devam ettiği duyurulmaktadır. Mevcut 23 MW kurulu güce ilave olarak 542 MW daha yatırım yapılabilecektir. Elektrik üretimine uygun %6 rezervimiz için 1.3 milyar dolar yatırıma gereksinim vardır. Önümüzdeki dönemde jeotermal kaynakların yaratacağı sektörler arasında; elektrik üretimi için türbin sektörü, dağıtım ve üretim için izolasyonlu

boru sektörü, kabuklaşma-korozyon problemini gidermek için kimyasal inhibitör sektörü, ısıtma uygulamaları için eşanjör, pompa ve ilgili parçalar sektörü, sera uygulamaları için gerekli araç gereç sektörü, kaynakları aramak ve üretmek için sondaj makine sektörü ile sondajcılık sektörü, uygulamalar için plan, proje, fizibilite ve mühendislik sektörlerinin yer alması beklenmektedir. Yeni yasa, jeotermal kaynak üretim ve dağıtım şirketlerine, sanayi kuruluşları ile atık arıtma tesislerinin yararlandığı tüm teşvik ve haklardan yararlanma olanağı getirmektedir. Yine yasa ile jeotermal kaynak yatırımcılarına irtifa ve kamulaştırma hakkı ile hazine arazilerinin bedelsiz tahsis imkânı da sağlanmıştır. 2008 yılı içinde yapılan ihalede Aydın Sultanhisar Jeotermal Sahası'na 27 firmadan teklif gelmiştir. En yüksek teklif, KDV hariç 19 milyon 50 bin dolarla Gökkale Grubu'ndan gelmiştir. İhalede ikinci en yüksek teklifi 19 milyon 40 dolarla Maren, üçüncü en yüksek teklifi de 18 milyon 530 bin dolarla Beylerbeyi firmaları vermiştir. 146 derece kaynak sıcaklığı bulunan Aydın-Sultanhisar Jeotermal Sahası'nda yıllık yaklaşık 20 megavat elektrik üretme kapasitesi bulunmaktadır. Elektrik üretimine uygun Aydın-Bozbey, Aydın-Atça, Aydın-Serçeköy-Umurlu, Manisa-Caferbeyli, Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere jeotermal sahaları, ihalelerinin 2008 yılı içerisinde tamamlanması hedeflenmektedir. Kaynakların il özel idareler tarafından ruhsatlandırılması, arama ve işletme ruhsatlarının koordinat ve önceki ruhsat hakları ile çakışma yönünden kontrolü ise Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nce yürütülmektedir.

Yenilenebilir Enerji Kanunun'da, jeotermal kaynakların bulunduğu alanlarda, ısıtmada öncelikli olarak bu kaynakların kullanılması esasının

getirilerek, jeotermal kaynaktan elektrik üretimini teşvik için 10 yıl süre ile 5.5 Avro Cent üzerinden alım garantisi sağlanmıştır. (www.epdk.gov.tr)

1.1.4 Trona

Bayındır Holding'in yüzde 37 hissesinin Vakıfbank'a geçmesi ve ardından Vakıfbank'ın bu hisseleri Park Holding'e devretmesiyle Eti Soda A.Ş.'de Park Holding'in hissesi yüzde 72'ye ulaşırken, Eti Holding'in payı yüzde 26, Vakıfbank'ın payı ise yüzde 2 seviyesinde bulunmaktadır.

Ankara ili Beypazarı ilçesine 15 km uzaklıktaki yeraltı sahalarında yılda yaklaşık 1.8 milyon ton doğal soda madenin çıkarılıp, monohidrat prosesinden geçilerek yaklaşık 1 milyon tonsoda külü üretilmesi hedeflenmektedir. Maden sahasında 200 milyon ton jeolojik, 100 milyon ton işlenebilir ve 60 milyon ton çıkarılabilir rezerv bulunmaktadır. Soda külü üretilmesi işinin 30 yıl boyunca yapılması planlanmaktadır. Doğal soda külü üretimi için gerekli olan trona madeni dünyada çok az sayıda ülkede bulunmaktadır. Türkiye, ABD'den sonra ikinci büyük rezerve sahiptir. Genellikle cam, kimya ve deterjan endüstrisinde kullanılan soda külü, dünyada en çok kullanılan on kimyasal maddeden biridir.

1.1.5 Altın

Türkiye'nin altın potansiyelinin 6500 ton olduğu tahmin edilmektedir.

Son 17 yılda sürdürülen arama çalışmaları sonucunda altın potansiyelimizin 700 tonu üretime hazır işletilebilir rezerv konumuna getirilmiştir. Altın madeni arama çalışmaları sürdürüldükçe yeni yeni altın yatakları keşfedilmektedir. Altın madeni de diğer madenlerde olduğu gibi ya açık

ocak yada kapalı ocak yöntemleriyle çıkarılmaktadır. Cevherin büyüklüğü, tenörü, yapısı ve derinliği uygulanacak yöntemin belirlenmesinde esas alınır. Kayaç içindeki altın taneleri eğer gözle görülebilecek kadar iri taneler halindeyse bu tür altınlar siyanür kullanmadan gravimetrik yöntemle zenginleştirilir. (Salihli sart plaser altın yatağında olduğu gibi)Şayet kayaç içindeki altın taneleri gözle görülemeyecek kadar küçük ise bu durumda altın mecburen siyanür kullanılarak üretilir. Siyanürle altın - gümüş üretimi dünyada yeni bir yöntem olmayıp, yaklaşık 120 yıldan beri gerçekleştirilmektedir. Altın üretiminde kullanılan sodyum siyanür su ve kireç ilavesiyle çözelti haline getirilir. Çözelti halindeki siyanür pH 10.5 civarında altın taneleri ile temasa geçtiğinde altın tanelerini çözerek altının sıvı faza geçmesini sağlar.

Sıvı faza geçen altın daha sonra aktif karbon dediğimiz kömürle temasa geçirilerek, altının kömür üzerinde toplanması sağlanır. Basınç altında kömürden sıyrılan altın elektroliz ünitesine gönderilir. Elektrolizden geçirilen altın katotta katı toz zerrecikleri halinde toplanır. Toz halindeki altın ergitme fırınında ergitilerek potalara dökülür. Potalara dökülen altın dore altın dediğimiz külçeler haline getirilir.

Dore altın saf olmayıp, içinde gümüş ve duruma bağlı olarak diğer metalleri içerdiğinden genellikle %60-80 saflıkta olmaktadır.Saf olmayan dore altın Rafinerisine gönderilerek %99.995 saflığa kadar saflaştırıldıktan sonra İstanbul Altın Borsası'nda dünya fiyatlarıyla satışa sunulmaktadır.

1.1.6 Krom

MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi bünyesinde, 145 krom

yatağında yapılan çalışmalar sonucu, gerek kendisinin derlediği veriler ve gerekse işletmeciler kuruluşlardan derlenen verilerin değerlendirilmesi sonucu %20 den daha fazla Cr_2O_3 içerikli krom rezervi yaklaşık 26 milyon ton olarak verilmektedir.

Krom madenciliğinde teknoloji kullanımı teşvik edilmelidir. Kromit madenciliğinin çok sınırlı bir bölümü açık ocak, diğer kesimi ise yeraltı işletmeleridir. Buralarda emek-yoğun üretim biçimi benimsenmiştir.

Üretim maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle, dünya pazarlarında düşük fiyatla piyasaya sürülen krom cevherleriyle rekabet edilememektedir. Türkiye'nin ham krom cevheri ihraç etmesi yerine katma değeri çok daha yüksek olan ferrokrom üretilip ihraç etmesi, bunun yanı sıra, paslanmaz çelik ve diğer sanayilerini de geliştirmelidir.

1.1.7 Mermer ve Yapı Taşları

Türkiye 5,2 milyar m³ (13,9 milyar ton) toplam rezervi ile dünya mermer potansiyelinin yaklaşık %40'una sahiptir.

Mermer sektöründe teknik eleman istihdamı teşvik edilmelidir. Mermer sektöründeki altyapı ve teknoloji yetersizlikleri, maden mühendislerinin sektör içinde yeterince yer alamaması ve eğitilmiş ara eleman eksikliği sektörün gelişiminin gecikmesinde önemli faktörler olmuştur.

Sektörün ihracat potansiyeli, yatırımlara paralel olarak hızla gelişmektedir.

Özellikle işlenmiş mermer ihracatı sürekli artış içindedir. Ürünlerde, renk, desen, kalite ve fiyat standartları oluşturulması bu artışın sürekliliğinin sağlanması bakımından önemlidir.

Doğal taş ihracatımızda özellikle katma değeri yüksek olan işlenmiş ürünlere önem verilmesi dünya pazarındaki payımızın artmasına olanak sağlayacaktır. Son yıllara kadar göz ardı ettiğimiz granit üretiminin artması da doğal taş ithalatını ikâme edecek bir faktör olarak görünmektedir. Ayrıca doğal taş ürünlerimizin gümrük engeli ile karşılaşmaksızın, tüm önemli ihracat pazarlarına girebilmesi de sektör açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Mermer ocak işletmelerinin verimliliğine yönelik çalışmalar teşvik edilmelidir. Üretimde verimliliği arttırmak amacıyla firmaların üretim yöntemlerinin geliştirilmesine önem verilmesi gerekir. Özellikle ocak işletme yöntemlerinin sürekli geliştirilmesi rekabet şansını arttırmaktadır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları da devlet tarafından desteklenmelidir.

Bu amaçla mermer ve doğal taş sektörü uzun vadeli ve düşük faizli kredilerle desteklenmelidir. Enerjide indirim yapılarak rekabet gücü artırılmalıdır. Mermerlerimiz dünya literatürüne Türk markalarıyla gımmelidir. Bu mermerleri üreten firmalar markalarının tescilini yaparak kalite standartlarını korumalıdır.

1.1.8 Demir

Ülkemizde bugünkü durumda işletilen yada işletilebilir nitelikte 23 yataкта toplam 132 milyon ton cevher rezervi vardır. Ekonomik olarak işletilebilir demir kaynaklarımız (rezervlerimiz), ülkemiz cevher talebini ancak 10-15 yıl karşılayabilecek düzeydedir. Ülkemizin yıllık demir ihtiyacının 4 milyon tonluk kısmı yurtiçi kaynaklardan sağlanmakta, geri kalan kısmı için yılda yaklaşık 150-200 milyon dolar döviz ödenerek ithalatta

(tüvenan cevher) karşılanmaktadır. Demir ithalatının büyük bir kısmı da hurda demir olarak yapılmaktadır. Türkiye her yıl 10-15 milyon ton dolayında hurda demir ithal ederek dünyada en fazla hurda ithal eden ülkelerin başında yer almaktadır. 1995-1997 yılları arasında hurda ithalatı için yılda yaklaşık 1 milyar dolar, 1997-2001 yıllarında da ortalama yılda 650 milyon dolar civarında döviz ödenmiştir. 2003-2004 yılları arasında hurda demirin fiyatı 90 dolardan (USA) 220-250 dolara çıkmıştır. Ülkemizin çelik üretiminin %60-70'i EAO kullanılarak yapılmaktadır. Bu nedenle, günümüzde yaşanan kaliteli hurda temininde zorluklar ilerde daha da artacak ve beraberinde hurda ithalatında ciddi sorunlar yaşanacaktır. Türk çelik sektörünün önemli problemlerinden biri olarak tespit edilen, uzun ve yassı nihai mamul üretim dengesizliğinin giderilmesi amacıyla; Erdemir ve İsdemir'in yıllık toplam nihai yassı mamul kapasitesinin; 2007 yılında 7 milyon ton'a, 2010 yılında 10 milyon ton'a, 2015 yılında ise 14 milyon ton'a çıkarılması için yatırımlara hızlı bir şekilde devam edilmektedir. Erdemir ve İsdemir'deki üretim kapasitesinin artırılması, önümüzdeki yıllarda yüksek fırınlar için daha çok ham cevhere talebin olacağı anlamına gelmektedir. Uzun yıllardır talebin çok üzerinde bir kapasiteye sahip olan dünya çelik sektörü birkaç yıldan özellikle de son iki yıldan bu yana Çin'in büyük etkisi ile inanılmaz bir değişim içine girmiştir. Fiyatlar dolar bazında % 300 oranında artmış, karlılık oranları çok yükselmiştir. Bu artışlar hammadde ve navlun fiyatlarına da yansımıştır. İşletilebilir yataklarımız dışında, düşük tenörlü ve/veya yüksek zararlı bileşen içeren cevherlere sahip 50 kadar sorunlu yatağımız vardır. Bugünkü bilgilere göre bu yataklarda %15-50 Fe arasında

değişen tenörlerde toplam 1,3 milyar ton kaynağın varlığı bilinmektedir. Büyük çoğunluğunun zararlı bileşenlerinden arıtılması için uygun zenginleştirme yöntemleri geliştirilmeden işletilmeleri mümkün değildir. Sorunlu yataklarımız içerisinde %19 Fe ortalama tenörlü 685 milyon ton yada %15 Fe ortalama tenörlü 865 milyon ton rezervi ile dikkati çeken Hasaңcelebi demir Yatağı'nın öncelikle teknolojik sorunlarının çözülerek işletilmesine yönelik adımların atılması önerilmektedir. Düşük tenörlü olması ve titan içeriğinin kabul edilebilir sınırların üzerinde olması nedeniyle işletilemeyen yatağın teknolojik sorunlarının çözümüne yönelik MTA laboratuvarlarında pilot çapta çalışmalar sürdürülmektedir. Teknolojik test çalışmalarında, cevherden alınan örneklerden sünger demir üretimi gerçekleştirilmiştir. Sünger demir ise ark ocaklarında hurda demir yerine kullanılabilir önemli bir alternatif olarak görünmektedir. Türkiye'nin uzun dönemde demir ihtiyacının yurt içinden karşılanması konusunda alınacak tedbirlerin başında Hasaңcelebi Yatağı'nın işletilmesi gelmektedir. Hasaңcelebi demir yatağı'nın yanı sıra, günümüzde işletilmeyen ve toplamda önemli rezervlere sahip Bizmişen, Avnik, Pınargözü gibi sorunlu yataklarımızın da işletilmesi konusunda adımlar atılmalıdır. Adı geçen yataklarda, sorunlu (düşük tenör veya empurite) cevherler dışında toplam 20 milyon ton dolayında direkt satış için işletilebilir tenörlerde rezerv varlığı bilinmektedir.

Bölgesel ölçekte demir aramaları için hedef alanlar; Sivas-Erzincan-Malatya, Yahyalı-Feke-Mansurlu-Tufanbeyli, Ankara-Kesikköprü-Kırıkkale Bölgeleridir. Bunların dışında Bingöl, Tunceli ve Bitlis yöreleri de demir arama çalışmaları için önemli olabilecek bölgelerdir.

1.1.9 Seramik Hammaddeleri

1.1.9.1 Feldspat

Türkiye dünya rezervinin % 14üne tekabül eden 240 milyon tonluk rezerv ile ülke bazında en büyük feldspat rezervine sahip durumdadır. Ayrıca Türkiye, dünya sıralamasında yaklaşık 2 milyon tonluk üretimiyle ikinci sırada, 55 milyon doları aşan ihracatıyla birinci sıradadır.

Sektörde teknoloji kullanımı ve zenginleştirme tesislerinin yapımı ve feldspatın katma değeri yüksek uç ürünlere dönüştürülmesi için gereken yatırımlar teşvik edilmelidir. Güllük limanında 2007 yılından bu yana, 28 metre genişliğinde, 340 metre uzunluğundaki tesisten aynı anda 4 gemiye yükleme gerçekleştirilmektedir.

1.1.9.2 Kalsit

Türkiye'deki Kalsit (Kalsiyum Karbonat) Oluşumları: Çanakkale Karabiga Bölgesi, Türkiye'de mevcut en iri kristalli kalsit oluşumlarından biridir. Granit kantağında oluşan kalsit yatakları yüksek beyazlıktadır ve öğütülmesi kolaydır, fakat Ege Bölgesi ve Niğde'de bulunan oluşumlara göre beyazlığı daha düşüktür. Bayramiç, Biga, Ezine'de mermer yatakları bulunmaktadır. Balıkesir Erdek (Marmara Adası) ve Manyas' da çok zengin iri kristalli mermer yatakları ve ocakları bulunmaktadır. Trakya'da Yıldız dağları, Bursa Orhanlı, Orhangazi, Keles ve İnegöl'de zengin mermer yatakları vardır. İzmir Tire, Gölbaşı, Akhisar, Torbalı'da mermer yatakları bulunmaktadır. Beyazlık derecesi daha önce belirtilenlerden daha düşüktür.

Muğla Yatağan ve Kavaklıdere Bölgesi kristal yapısı daha küçük fakat kimyasal yapısı daha saf ve öğütülebilirliği kolay beyaz ve çok zengin mermer yataklarına

sahiptir ve beyazlığı çok yüksektir. Bilinen rezervlerin toplamı Anadolu genelinde yüz milyonlarca ton ile ifade edilebilir. Dikkati çeken en önemli noktalar Türkiye'deki rezervlerde :

- a-CaCO₃ yüzdesi yüksektir.
- b-Silis ve demir safsızlıkları çok düşük orandadır.
- c-Öğütüldükten sonraki beyazlık derecesi çok yüksektir.

Cevherde beyazlık derecesinin yüksekliği boyada ve plastikte titanyum dioksit ve kağıtta optik beyazlatıcı tasarrufu sağladığı için daima tercih edilmektedir.

Dış Ticaret Durumu:

a) **İthalat:** Ülkemize sadece PCC, kaplı kalsit (%70 -2mikron, pen üretimi için) ve kağıt kuşe de kullanılan ince öğütülmüş kalsit ithal edilmektedir. Yılda 10- 15000 ton'luk bir ithalatın yapıldığı ve birim fiyatları 150-200 \$/t civarında olduğu tahmin edilmektedir. Diğer ürünler yurt içi kaynaklarından temin edilir. Hammadde ithalatı yapılmamaktadır.

b) **İhracat:** Mikronize kalsit D50 : 3,5 mikron Avrupa'da yaklaşık 60-100 \$/t fiyatla tüketicinin fabrika teslimi satın aldığı bir üründür.Ülkemizde kapasite artışı son iki yıl içerisinde olmuştur. Üreticilerin önümüzdeki yıllarda Pazar arayışı sonucu ihracata yönelmeleri kaçınılmazdır. Yükleme, nakliye ve ihrac nakliyesi fiyatları en büyük problemdir. Fakat beyazlık ve kimyasal kalitenin yüksekliği ihracat şansımızı artıran unsurlardır. Sulu öğütme sistemleri tesisi için yatırımlar teşvik edilmeli, üniversitelerin değirmen ve seperatör teknolojisi ile ilgili araştırmaları desteklenmelidir. Sektörde teknoloji kullanımı ve zenginleştirme tesislerinin yapımı teşvik edilmelidir.

1.1.9.3 Kuarsit

Türkiye' de kuvarsitler sedimanter ve metamorfik kayalar halinde bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü'nce tespit edilen kuarsit rezervi 6.3 milyar tondur .Cam sanayinden sonra en büyük kuarsit tüketicisi olan hafif gazbeton sektörüne ait olan üreticiler ;Türk Ytong San. A.Ş., Çimentoş Gazbeton İşletmeleri, Güney Doğu Ytong San. A.Ş., Antalya Ytong A.Ş, Nuh Çimento San. A.Ş.dirBir m³ gazbeton için 0.22 ton kuarsit tüketilmektedir.

1.1.10 Fosfat

Türkiye'nin toplam fosfat rezervi 493 milyon ton olup, bunun 220 milyon tonu görünür rezerv kategorisinde yer almaktadır. Mazıdağı, Bitlis, Bingöl ve Adıyaman-Çelikhan apatitli manyetit fosfat kaynakları ile aynı bölgedeki Siirt-Şirvan ve diğer pirit kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Yurt topraklarının potaslı gübrelere pek fazla ihtiyaç göstermemesi, azotlu gübrelere ise daha çok kimyasal metotlarla ve ithal malı hammaddelere ihtiyaç göstermeden imal edilebilmesi suni gübre davasını bir fosfat davası haline getirmiştir. Ülkemizde fosfat kayasının yanı sıra fosforik asit ve mamul gübre ithalatı yapılmaktadır. Hammaddeden hesaplandığında yurtiçi gübre fabrikalarının günümüzdeki fosfat kayası talepleri 2.8 Milyon ton/ yıl'a yakındır. GAP bitirilmesiyle birlikte ithalatın 100 milyon \$ olması beklenmektedir.Petrol ve kömürden sonra en çok döviz gübre ve özellikle fosfatlı gübreye ödenmiştir.(ÇETİN.M.F.)

Rekabet Kurulu Mazıdağı Fosfat'ın Toros Tarım'a devrinin; kompoze gübre pazarında Toros Tarım'ı hâkim duruma getireceğine ve bu hakim durumun

rekabeti önemli ölçüde azaltacağı sonucuna vararak, Toros Tarım'ın toplam fosforik asit üretiminin, üç yıl sonunda tekrar değerlendirilmek üzere, halihazırda Samsun Gübre tesislerinde kurulu bulunan 148 bin 500 ton P₂O₅/yıl kapasite ile sınırlandırılması koşuluyla devre izin verilmesi kararını aldığı bilinmektedir. (10 Nisan 2008 Radikal Gazetesi) Burada asıl olan ülke ihtiyacı olup ticari rekabet yasalarının ülke çıkarlarına göre madencilik konularında tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.

1.1.11 Bakır

Bakır aramaları MTA tarafından yapılmaktadır. 1,5 milyon ton rezerv ile mevcut bakır yataklarında cevher üretim ve zenginleştirme faaliyetlerinde teknoloji kullanımı artırılmalıdır. Kırklareli civarındaki Demirköy ve Erzurum-İspir porfiri bakır yatakları yeniden değerlendirilmeli, ekonomik olarak işletilebilir olanaklarının olup olmadığı araştırılmalıdır. Bakır sektöründe uç ürünler ve yeni ürünlerin üretilmesine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi veya transferi teşvik edilmelidir.

1.1.12 Alüminyum

1973 yılında kurulan ve 1977 yılında tam kapasite ile üretime geçen Eti Alüminyum A.Ş. özelleştirme kapsamında 2005 yılında Ce-Ka Madencilik tarafından satın alınmıştır. Türkiye'nin tek sıvı Alüminyum üreticisi olan Eti Alüminyum Fabrikası, aynı zamanda madenden son ürüne kadar üretim yapabilen dünyanın sayılı entegre tesislerinden birisidir.

Yılda 400.000 ton Boksit işleyebilen tesisin sıvı alüminyum üretme kapasitesi 65.000 t/yıl olup, bunun dışında, ticari değeri olan Alüminyum Hidrat, Alümina, Alüminyum Sülfat,

Vanadyum Keki üretimi ve satışı da tesis bünyesinde yapılmaktadır. Türkiye'nin sıvı alüminyum üretimi yurtiçi tüketimi karşılayamamakta, aradaki açık 1985 yılından beri ithalatla kapatılmaktadır. Ülkemizin yıllık alüminyum ithalatı 250 milyon doları işlenmemiş alüminyum, bir o kadar da yarı mamul-mamul alüminyum olmak üzere toplam 500 milyon dolar mertebesinde. Özelleştirilen Seydişehir alüminyum fabrikasında tesisi alan şirket 120 milyon dolarlık yatırım yaptığını belirtmektedir.

2 MADENCİLİKTE ARAMA KISTASLARI

Maden arama çalışmaları maden üretiminin alt yapısını oluşturmaktadır. Madenler işletilirken aynı işletme alanında ya da başka alanlarda yeni rezervlerin aranması gerekmektedir. Arama döneminde yapılacak olan yatırımın yüksekliği ve büyük ölçüde risk altında olması, aramacılığın gerilemesine ve dolayısıyla maden üretiminin gerilemesine yol açmaktadır. Bir rakamsal değer vermek gerekirse, gelişmiş ülkelerde satış gelirin % 5-10 gibi bir kısmı arama yatırımlarına ayrılmaktadır. Ülkemizde aramalara bu ölçekte yatırım yapabilecek özel şirket sayısı oldukça sınırlıdır. Yapabilecek büyüklükte olanlar da riskin yüksek olması nedeniyle çoğunlukla yatırımdan kaçınmaktadır.

Türkiye'de madenciliğin yüzde 85'i özel sektör, yüzde 15'i kamu sektörü tarafından yapılıyor. Özel sektör madenciliği dünya pazarlarına ve ülkemiz ihtiyaçlarına göre kamu tarafından desteklenmelidir. Enerji hammaddeleri, endüstriyel hammaddeler,

metalik hammaddeler, doğaltaş grubu başlıklarıyla üreticiler sektörel

birliklerini kurarak madencilik konseyine üye vermelidir. Sektörel gruplardaki üretici şirketler iş yasaları çerçevesinde kurumsal kimlikleri ile bölgesel sanayi odalarının bünyesinde faaliyetlerine devam ederek aynı işkollarındaki firmalar dayanışma içerisinde bulunmalıdırlar.

Üretimde kamu sektörü mineral yakıtlarda, özel sektör endüstriyel hammadde, metalik hammaddeler, doğaltaş üretiminde yoğunlaşmaktadır.

Türkiye'nin, zengin maden rezervlerinin ekonomiye kazandırılması için aranıp, bulunması ve çıkarılması gerekmektedir.

2.1 Madencilik Konseyi Önerisi Açılımı

Oluşturulması önerilen Madencilik Konseyi Maden Yasasında yapılacak düzenlemeyle tüzel kişilik kazandırılmalı ve Maden Bakanlığı ile koordineli çalışması öngörülen, siyasi yönden özerk ülke genelinde faaliyet gösteren sektörel gruplardan eşit olarak bölgesel sanayi odalarından seçilecek maden kurum ve şirketlerindeki konularında uzmanlık kazanmış teknik-ekonomik-sosyal donanımlı kişilerden oluşmalıdır. Başkan, 3 başkan yardımcısı, 1 genel sekreter ve 1 saymanı bünyesindeki üyelerin 3 yılda bir belirli takvimde genel kurulu toplayıp yönetim kademesini belirlemelidir.

Madencilik konseyi halen Maden İşleri Genel Müdürlüğü bünyesindeki Madencilik Fonunun daha katılımcı ve uygulanabilir esnek şartlar sağlanarak ihtiyacı olan ve madencilik yatırımlarında kullanılacak kredilendirme çalışmalarında da koordinasyonu sağlama görevini üstlenmelidir.

Ayrıca moral unsurlarla ilgili bölgesel firmalar konularında gösterdikleri ekonomik-sosyal başarıları nedeniyle

bu Konseyce ödüllendirilmelidir. Madencilik konseyi sektördeki madenci şirketlerdende teknik personel desteği alacağı için güvenli bir kurum statüsünde olacaktır. Madencilik faaliyetlerinin konularına ve ihracata yaptıkları katkı ölçüsünde konseyde temsil ağırlığı ortaya çıkacak sistemin kurulmasıyla ve Madencilik Konseyinin özerk yapıya kavuşturulmasıyla yapacağı hizmetlerin çeşitlendirilmesi mümkündür.

3 MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜN GELİŞMESİ ÖNERİLER

3.1 Arama

Maden arama, işletme ve zenginleştirme süreçlerinin; Arama-Geliştirme yatırımlarıyla desteklenmeye ihtiyacı bulunmaktadır.

MTA gibi birikimli ve donanımlı kamu kurumlarıyla, özel sektör ve üniversite işbirliğinin geliştirilmesi gerekmektedir. Özel sektörün maden aramaları desteklenmelidir.

3.2 Önerilen Sektörel Teşvik Modelleri

Enerji maliyetleri ve istihdam üzerindeki vergi yükü, tamamen yerli girdilerle çalışan sektörü, ihracatta daha da güçsüz kılmaktadır. Madencilik sektörü teşvike ihtiyacı bulunmaktadır.

Madencilik ağırbirişkololuş, nakliye masrafları çok yüksektir. Yurtiçinde madenlerin karayollarında taşınması ve diğer nakliye sorunlarıyla ilgili çözümler yatırımcıyı cesaretlendirebilir. Özellikle doğal taş sektörü, ÖTV'siz akaryakıt talep etmektedir.

Sektördeki küçük işletmeler, ayakta kalmakta dahi güçlük çekerken, iş güvenliği, çevre gibi konularda yatırım yapamamaktadır.

Madencinin sanayide kullandığı

elektrik ve mazot fiyatları üretim maliyetlerinin çok artmasına neden olmuştur. Madencinin ocak ve fabrikasında kullandığı elektrik ve mazota yıl içerisinde ödediği paranın % 37 si madenciye yatırım yapması kaydıyla geri ödenmelidir. Enerji politikaları yeniden gözden geçirilerek özellikle maden işkollarında üretim yapan sanayi tesislerinde ve ocaklarında kullanılan elektriğin acilen fiyatının düşürülmesi gereklidir. Madencinin yerli makine ve yedek parça kullanması özendirilmelidir. Maden yatırımlarında kredi faizlerinin düşük olması ve firmalara uygun şartlarda kredi sağlayan kurumlar olmalıdır. Açıklanan teşvik önlemlerinin gerçekçi ve mevcut tesislerinde faydalanacağı önlemler olmalıdır.

Örneğin 'yıl içerisinde 200.000TL yatırım yapma şartı ile KDV ödenmeyecektir' şeklinde açıklanan teşvik bu miktarın altında yatırımını büyüten firmaları küstürmektedir. Altın ve Pırlanta sektöründeki koruyucu tedbirler tüm maden işkollarında enerji girdileri de dahil edilerek genişletilmelidir.

İşlenmiş maden ihracatında ön plana çıkmış doğaltaş ürünleri, endüstriyel hammaddeler, metalik madenler ve bor ürünleri olabildiğince nihai ürün halinde dış satımı yapılmalıdır.

3.3 Kümelenme Oluşumları

El emeği madenciliği, uluslararası adıyla artizanal madencilik geliştirilebilir. Böylece hem katma değerli ürün elde edilerek geniş istihdam sağlanabilir, hem de madencilikte Türkiye markaları oluşturulabilir. Lüle taşı ve Olu taşı madenciliği, mozaik yapımı gibi ürünlerin dış tanıtımı yapılmalıdır.

Mermer atıklarını işleyerek ihracaat yapan firmalara, ödenecek iade KDV

oranları artırılarak atıklardan ürün çıkarmak teşvik edilebilir. Madencilikte katma değer yaratacak ürün miktarı artıkça karlılıkta artmaktadır. Yatırım miktarına göre küçük ölçekli madencilik kuruluşlarının gereksiz bürokrasiden arındırılması, küçük kapitalli madenciye sektörde yer verilmelidir.

3.4 Bürokrasi

Orman Bakanlığınca İşletme Ruhsatlı sahaların tüm izinleri Ankara'da onaylandığı için burada çok zaman kaybedilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden ve Enerji Bakanlığı olarak ayrılmalıdır.

Orman Bakanlığı taşra kurumlarında özellikle orman kadastrounda Maden Mühendislerinin yetkili olarak görev yapması sağlanmalıdır. Projelerin hayata geçirilmesi safhasında Sit adı altında önemli kısıtlamalar meydana gelebilmektedir. Arkeolojik veya doğal sit olarak literatüre girmemiş sahalarda maden projeleri hayata geçirilmek istendiğinde rezerv olarak öngörülen sahaların koruma altına alınarak buralarda sürekli olarak maden üretimi engellenebilmektedir. Bunun yerine koruma bantları oluşturularak madencinin ruhsatlı sahasında kontrollü de olsa maden üretmesine izin verilmelidir. İllerde bulunan müze müdürlüklerinde maden mühendisleri istihdam edilmelidir.

3.5 Maden Kanunundan Beklenenler

Maden mühendisinin yetkisi altında yapılacak projelerin yardımcı hizmetleri jeoloji mühendisi olabilir. Ancak orman ve çevre mühendisinin madenle direkt ilgisi bulunmamaktadır.

Maden İşleri Genel Müdürlüğü iller bazında örgütlenmelidir. Madencilere su, enerji, yol gibi konularda alt yapı

hizmetlerinin, yasal düzenlemelerle il özel idarelerince sağlanması gerekmektedir.

Orman Yasaları yolun bedelini, imalat bedelini, ağaç bedelini ve her yıl kullanım bedeli altında büyük tutarlarda bedel talep etmektedir.

Madenlerde aramayı özendirecek ve madencinin az vergi ödemesini sağlayacak rezerv tüketim payının maden yasasında yer alması uygun olacaktır. Madenci üretim yaparken aynı zamanda hazırlık yaparak daha sonra üreteceği maden için masraf yapmaktadır. Bunun için sektöre destek olacak bir fona ihtiyaç bulunmaktadır. Yeni Maden Yasasında Arama dönemi içinde üretim şartları kolaylaştırılmalı, izinler sadece Migem' den alınmalıdır. Maden Kanununda yapılacak düzenleme ile Arama döneminde düşük üretim yapacağını belirten firma veya şahıslar için bürokrasi azaltılmalıdır. Madencilğe Anadolu'da ilk yatırımı yapan taşra madenciliği tekrar canlandırılmalıdır. Tekelci madencilik zihniyeti istihdam ve gelişmenin önünde en büyük engeldir.

Madenlerin tasnifi tekrar yapılarak doğaltaşlar ve endüstriyel madenlerde ihracat kistaslarına göre nihai ürün yaratan firmalara ocak işletmecilik şartları kolaylaştırılmalıdır.

4 SONUÇ

Sektörde bilimsellikten uzak uygulamalara son verilmeli, yapılacak yasal düzenlemeler ile sektörün daha da küçülmesini önlemek için kamudaki yapılan madencilik özelleştirmeleri iptal edilerek, bu kurumlara

gerekli yatırımlar zaman geçirilmeden yapılmalıdır. Ulusal maden kaynaklarımıza öncelik veren, akılcı bir enerji politikası zaman kaybedilmeden oluşturulmalıdır. Ülkemizin ihtiyacı olan

enerjinin, yerli maden kaynaklarımızdan karşılanması öncelikli hedef olmalıdır. Doğal gaz ağırlıklı enerji politikalarından vazgeçilmeli, linyite dayalı termik santral projeleri süratle devreye alınmalıdır. Özel sektörün, ellerinde bulunan linyit sahaları termik santral amaçlı değerlendirilmelidir.

Temiz kömür teknolojilerinin kullanımı teşvik edilmelidir. İthal kömüre fon uygulanmalıdır. Kömür ithalatçılara sağlanan haksız ayrıcalık kalkmalıdır.

Petrolün atık maddesi olan ve kanserojen madde içeren petrokokun ithalatı kesinlikle yasaklanmalıdır.

Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun havzadaki işletme hakları korunmalıdır. Yeterli arama çalışmaları yapılmadan havza sınırları daraltılmamalıdır.

Maden işkollarının özel sektörde birlikte dayanışma içerisinde hareket etmesi, yaptıkları ihracatta rekabet etmemesi gereklidir. Üretilen maden zenginleştirilerek nihai tüketiciye pazarlanmalıdır.

Madenin ocak ve fabrikada işlenmesi esnasında harcanan enerjiden ÖTV kesinlikle kaldırılmalıdır.

Borlarımızın kamu eliyle işletilmesi sürdürülmelidir. Ülke ekonomisi için son derece önemli olan bor rezervlerimizin, gerek ulusal çıkarlarımız gerekse kamu yararı açısından kamu eliyle işletilmesi, özellikle karşısında çokuluslu bir tekelin varlığı da göz önüne alındığında, doğaldır ve gereklidir. Unutulmaması gereken şudur: dünya bor piyasası yaklaşık 1,2 milyar Dolar iken, bor minerallerini hammadde olarak kullanan uç ürünlerde toplam dünya pazarı 100 milyar Doların üzerindedir. Mevcut pazar payının artırılması amacıyla, rafine ürün kapasitesi yılda 1,2 milyon ton'a çıkarılmalı, ürün çeşitliliği ile

ürün kalitesinin artırılmasına yönelik yatırımlar yapılmalıdır. Ham bor ihracatı yerine rafine bor ve özel bor ürünlerine yatırım yapılarak bor minerallerine dayalı tesislerin ülkemizde kurulması sağlanmalıdır. Bor ürünlerinin hammadde olarak kullanıldığı sanayi alanlarının gelişmesine yönelik yatırımlar teşvik edilmelidir. Akılcı pazarlama stratejileri oluşturulmalı ve etkin dağıtım ağları kurulmalıdır.

Altın madenciliğinin yapılması teknik nedenlere dayanılarak engellenmemelidir.

Altın madeninin aranması, işletilmesi ve zenginleştirme esasları diğer madenlere uygulandıktan farkıdır. Yıllık altın üretiminin yaklaşık %85'i siyanür liçi ile üretilmektedir. Dolayısıyla, altın madenciliği yapılması teknik nedenlere dayanılarak engellenmez. Madencilik süreçlerinde ya da sonrasında çevrenin korunmasına ya da yenilenmesine yönelik önlemler mutlaka alınmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma kavramı içerisinde ya madencilik- ya çevre dayatması bulunmamaktadır.

Madencilik sektöründe, toplumu eğitime ve bilgilendirme gereksinimi hızla artmıştır.

Altın, ülke içerisinde rafine edilmeli ve uç ürüne dönüştürülmelidir.

Krom yataklarına ilişkin jeoloji ve rezerv bilgileri güncelleştirilmeli, aramalar hızlandırılarak potansiyel kaynaklar bir an önce görünür hale getirilmelidir.

DDY istasyonları ve limanlarda yükleme ve boşaltma tesisleri ilgili kuruluşlarca modernleştirilmelidir. DDY cevher taşıma tarifelerini, yurt dışı rekabet gücünü olumsuz etkilemeyecek şekilde düzenlemelidir.

Madencilik kredi ve yatırım bankası kurulmasının özendirilmesi gereklidir.

Maden Kanununda ve ticaret

kanununda yapılacak düzenlemeler ile yabancı veya yabancı ortaklı sermaye tarafından yapılan madencilik sadece hammadde üretimi ve ihracı değil, bu firmaların ülkemizde fabrikalarını kurup teknoloji ve makine yatırımlarını yaparak yerli işgücü ile nihai ürün üretmeleri sağlanmalıdır.

Limanlarımızın kapasiteleri büyütülmeli ve konteyner taşımacılığına açık yeni limanlar açılmalıdır.

Madencilik Konseyi kurularak sektörde aktif olarak görev yapması sağlanmalıdır.

5-6 Mart 2009 tarihinde Ankara'da toplanan Madencilik Platformu'nun krizle ilgili talepleri şöyledir ;

- 1- Sürdürülebilir madenciliğin devamlılığı açısından yasalarda yer almadığı halde, madencilikte üretim faaliyetlerini engelleyen, merkezi ve yerel otoritenin hertürlü müdahalesinin ortadan kaldırılmalıdır.
- 2-Ekonomik krizle birlikte çökmüş olan talebin artırılmasına yönelik (altyapı yatırımlarının, yenileme çalışmalarının vb.) düzenlemelerin yapılmalıdır.
- 3-Madencilik sektörü üzerinde üretimi olumsuz yönde etkileyen (ötv, vergi, sigorta, prim, devlet hakkı vb .) faktörlerin yeniden düzenlenmesi ve küresel kriz nedeniyle, maden stoklarına kredi desteği sağlanmalıdır.
- 4-Yasa ve yönetmelikler arasındaki farklı yorumlara ve uygulamalara neden olan uyumsuzlukların giderilmesi ve Kurumlar arası mevzuat karmaşasının giderilmelidir.
- 5-Madencilik faaliyetlerini ilgilendiren tüm yasa ve yönetmeliklerde yapılacak ve yapılması düşünülen her türlü değişim ve düzenlemelerin,

madencilik sektörünün bilgisi, katkısı ve katkılarıyla gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

6-Başta Elektrik enerjisi üretimi ve ısı ihtiyacının karşılanması olmak üzere tüm Kamu ve Özel yatırımlarında öz kaynaklarımızın kullanılmasına öncelik verilerek teşvik edilmelidir. (www.Turk.internet.com)

KAYNAKLAR

Maden Mühendisleri Odası, (2005), Ulusal Madencilik Politikası İçin Temel İlkeler ve Ülkemiz Madencilik Sektörünün Gelişmesine Yönelik Görüş ve Öneriler
Tufan T. (2005),Denizli,Burdur ve

Muğla İli çevresi Mermer İşletmeleri , Özel Bilgi Notları '2005-2008'İncelemeler

M.T.A Yayını (2008), 2006-2007 Türkiye Maden İhracatı İstatistikleri Özelleştirme İdaresi Başkanlığı, 2001-2008 Yılları Özelleştirme Uygulamaları

Çetin M.F. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Mazıdağı Fosfat Tesislerinin Genel Durumu ve Türkiye'nin Fosfat Talebi <http://www.mta.gov.tr>

Kösematoğlu A., Yurdumuzdaki şamot ateş tuğlası hammadde yatakları <http://www.turk.internet.com> (06.03.2009)

Maden İşletme - Kaya Mekaniği

Muğla Beyaz Mermerinin Dairesel Testere ile Kesiminde Optimum Makina Çalışma Koşullarının Birim Aşınma ve Birim Enerji Gözönüne Alınarak Belirlenmesi

Determination of Optimum Sawing Conditions of Mugla White Natural Stone for Circular Saws in Reference to Unit Wear and Unit Energy

Y. Özçelik, F.Bayram, S.Kulaksız, N. E. Yaşıtılı

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe-ANKARA

ÖZET Doğal taş (mermer) ocaklarından gelen bloklardan levha/plaka üretimi için, işletme tesislerinde çeşitli yöntemler ve bu yöntemlere uygun makineler kullanılmaktadır. Bu işleme yöntemlerinden biri de dairesel testere ile kesim yöntemidir. Doğal taş işleme tesisleri yatırım maliyetleri oldukça yüksek makinelerden oluşmaktadır. Bu makinelerin bilinçli, verimli ve dolayısıyla kesilen kayaca en uygun koşullarda kullanılması, mevcut mermer işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir. Dairesel testere ile yapılan mermer kesiminde en önemli iki parametre elmas soketlerde meydana gelen aşınma ve kesim için harcanan enerjidir. Bu nedenle çalışmada, Muğla Beyazı ticari isimli mermerin dairesel testere ile kesiminde bu parametreler göz önüne alınarak optimum makina çalışma koşullarının (testere çevresel hızı ve kesme (ilerleme) hızı) özel bir istatistiksel program kullanılarak (Design Expert 7.0) belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen Tam Otomatik Bilgisayar Kontrollü Dairesel Kesici kullanılarak kesme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak bu mermer için optimum kesme koşulları belirlenmiştir.

ABSTRACT Different methods and machines are used in natural stone processing plants for slab production from marble blocks. One of these methods is circular sawing method. Natural stone processing plants have machines with high investment costs. Efficient and conscious utilization of these machines satisfy increment in efficiency while decreasing the production cost of natural stone. The wear of diamond segments and consumed energy are two important parameters during sawing operation. It

is necessary to consider these parameters while determining optimum operating conditions for circular sawing machines. The purpose of this study was to determine optimum sawing conditions (peripheral speed and advance rate of saw) on natural stone sample commercial named as Mugla White for circular saws in reference to unit energy and wear by using special statistical software (Design Expert 7.0). For this purpose, sawing tests were performed on natural stone samples with full automatic model circular sawing machine developed in Hacettepe University Department of Mining Engineering. Obtained data were analyzed by using the Design Expert 7.0 statistical software. Finally, the optimum sawing conditions were determined for the natural stone sawn by using this software.

1 GİRİŞ

Doğal taş işleme sürecinde, ocaktan gelen ham blokların fiziki durumları göz önünde bulundurularak işleme yöntemi ve makineleri seçilmektedir. Bu işleme yöntemlerinden biri de dairesel testerele kesim yöntemidir. Doğal taş bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ve istenen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Doğal taş işleme tesisleri yatırım maliyetleri oldukça yüksek makinelerden oluşmaktadır. Bu makinelerin bilinçli ve verimli kullanılması, mevcut mermer işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir (Bayram, 2008).

Dairesel testerele kesme yönteminin ve teknolojinin avantajları aşağıda verildiği gibi özetlenebilir (Özçelik vd, 2008):

- Makina ilk yatırım maliyetinin benzer makinelere göre düşük olması
- Blok kesme makinasının çok amaçlı kullanılabilmesi, esnekliği
- Düzensiz blokların verimli kesilmesi ve ekonomiye kazandırılması
- Küçük miktarlarda üretim için ekonomik olması
- Yarı mamul ve mamul ürün elde edilebilmesi

- Değişik kalınlıklarda levha/plaka kesilmesine olanak sağlanması
- Kullanılan elmas soket çeşidine göre her çeşit kayaç kesiminin yapılabilmesi

Doğal taş işleme tesislerinde yapılan kesim işlemlerinde en önemli konu, kesilen kayaca göre uygun elmas soket parametrelerinin (matriks cinsi, elmas tane boyu vb.) seçimi ve uygun makina çalışma parametrelerinde (testere çevresel hızı ve kesme (ilerleme) hızı) kesimlerin gerçekleştirilmesidir. Bu işlem genellikle bilimsel temellere oturtulmadan deneme-yanılma yöntemi veya testere üreticileri ile kullanıcılar arasındaki ikili ilişkilere dayandırılarak yapılmaktadır.

Doğal taş üreticilerinin uygun soket seçimi yapabilmeleri için kesecekleri kayaç özelliklerini, uygulayacakları kesim koşullarını ve bunlarla kullanılacak elmas soket parametreleri arasındaki ilişkileri belirlemeleri gerekmektedir. Kayaçların fiziki, mekanik, mineralojik ve petrografik özelliklerinin ve kesim koşullarının elmas soketlerde meydana gelen aşınmalar ve kesim sırasında tüketilen enerji üzerinde etkili olduğu bir gerçektir. Bu yüzden kesilecek kayacın fiziki, mekanik, mineralojik, petrografik özelliklerinin ve kesim koşullarının elmas soketlerdeki aşınmalar üzerine etkilerinin ve elmas soket parametreleri

ile olan ilişkilerinin bilinmesi önemli bir konuyu oluşturmaktadır. Bu bilgiler ile kesim parametrelerinin ayarlanması ve optimum kesim koşullarının belirlenmesi sağlanabilir. Genel olarak dairesel kesicilerle kesme işleminde kesmeyi etkileyen parametreler Çizelge 1'de verilmiştir (Primavori, 2002; Eyuboglu vd., 2003; Kahraman vd, 2004; Bayram, 2007; Özçelik vd., 2007; Şile, 2007).

Bu nedenle bu çalışmada, elmas soketlerde meydana gelen birim aşınma ve kesimde harcanan enerji göz önüne alınarak optimum makina çalışma koşullarının (testere çevresel hızı ve kesme (ilerleme) hızı) özel bir istatistikî program kullanılarak (Design Expert 7.0) belirlenmesi amaçlanmıştır.

2 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Bu çalışmada kullanılan dairesel testere kesim makinası Şekil 1'de, çalışma kapsamında izlenen yöntem ise Şekil 2'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda aşınma ölçümleri özel olarak imal ettirilen, 1 µm hassasiyetinde, bir adet dikey, iki adet yanal doğrusal ölçüm cihazı içeren

ve ölçüm verilerini bilgisayar ortamına aktaran yazılımdan oluşan bir sistemle yapılmıştır. Enerji ölçümleri, ENTES marka MPR-53S tipinde mikroişlemcili bir analizör ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizör sayesinde kesim sırasında kullanılan anlık enerji ölçülebilmekte ve bilgisayar ortamına kW's olarak aktarabilmektedir. Bu nedenle kesimde harcanan enerji kWh (kW's) cinsinden verilmiştir. Mermercilikte m² kesimleri önemli olduğundan birim enerji değerleri kWh/m² cinsinden verilmiştir. Kesilen alan ölçüm sonuçları ise doğrudan otomasyon programından alınmaktadır.

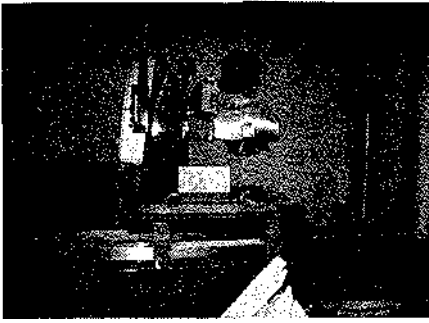
2.1 Tam Otomatik Bilgisayar Kontrollü Dairesel Kesicinin Tanıtılması

Kesim işleminin kesilen kayaca uygun olarak en uygun hale getirilmesi, değişken parametrelerin (çevresel hız, ilerleme hızı, kesme derinliği, dikey, yatay, normal, teğetsel kesme kuvvetleri vb.) sağlıklı bir biçimde tespit edilmesiyle mümkündür. Bu çalışma için tasarlanan ve kullanılan tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel

Çizelge 1- Dairesel kesicilerle kesme işleminde kesmeyi etkileyen parametreler

<i>Değişmez Özellikler (değiştirilemez)</i>	<i>Değiştirilebilir ve/veya yarı denetlenebilir parametreler</i>	
Kesilecek Malzemenin Mühendislik Özellikleri	Kesme Ekipmanının Özellikleri	Kesme Ortamında Çalışma Koşullarının Teknik Özellikleri
<ul style="list-style-type: none"> • Fiziki ve mekanik özellikler • Kimyasal özellikler • Mineralojik özellikler • Petrografik özellikler • Tane-yönlenmesi ve dolgulu süreksizlikler • Dokusal özellikler • Yapısal özellikler • Bozulma karakteristiği 	<ul style="list-style-type: none"> • Testere çapı • Soket durumu • Metalürjik matriks yapısı • Tolerans limitleri • Elmas tipi ve oluşumu • Testerelerdeki aşınma şekilleri • Çevresel hız 	<ul style="list-style-type: none"> • Besleme kuvveti • Su miktarı • İlerleme hızı • Motor devri • Çevresel hız • Kesme derinliği • Aşağı ve yukarı kesme yöntemleri

testereli kesim makinası Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilmiştir. Bu makine (Şekil 1), kesim sırasında etkili olan makina parametrelerinin (X,Y ve Z yönlerinde kesim sırasında etki eden kuvvetler, titreşim, kullanılan enerji vb.) belirlenebildiği ve kesim koşullarının (ilerleme hızı, testere çevresel hızı, kesim derinliği vb.) hassas şekilde kontrol edilebildiği bir kesim makinasıdır. Sistemde deney düzeneğini kontrol etmek ve deney sırasında veri kaydını sağlamak üzere, özel olarak yazılmış bir otomasyon programı kullanılmaktadır. Kesimlerde 500 mm çapında, 30 adet elmas soketi bulunan (soket boyutları: uzunluk:40 mm; genişlik:5.5 mm; yükseklik:7 mm) ve orta sertlikteki kayalarda kullanılması önerilen elmas testere kullanılmıştır (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan dairesel testereli kesim makinası

2.2 Kesilen Matzemenin Özellikleri

Bu çalışmada kesme deneylerinde, "Muğla Beyaz" ticari ismi ile anılan mermer (doğal taş) kullanılmıştır. Kesim

işlemlerinde 500mm×200mm×300mm boyutlarına sahip numuneler kullanılmıştır. Test edilen doğal taş a ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde ISRM tarafından önerilen deney yöntemleri kullanılmıştır (ISRM, 1981).

2.3 İstatistiksel Değerlendirmeler

Bu çalışma kapsamında verilerin analizi ve Muğla beyaz mermer numunesi için çevresel hız ve ilerleme hızının optimum noktalarını belirlemek amacıyla özel bir istatistiksel program olan Design Expert 7.0 kullanılmıştır.

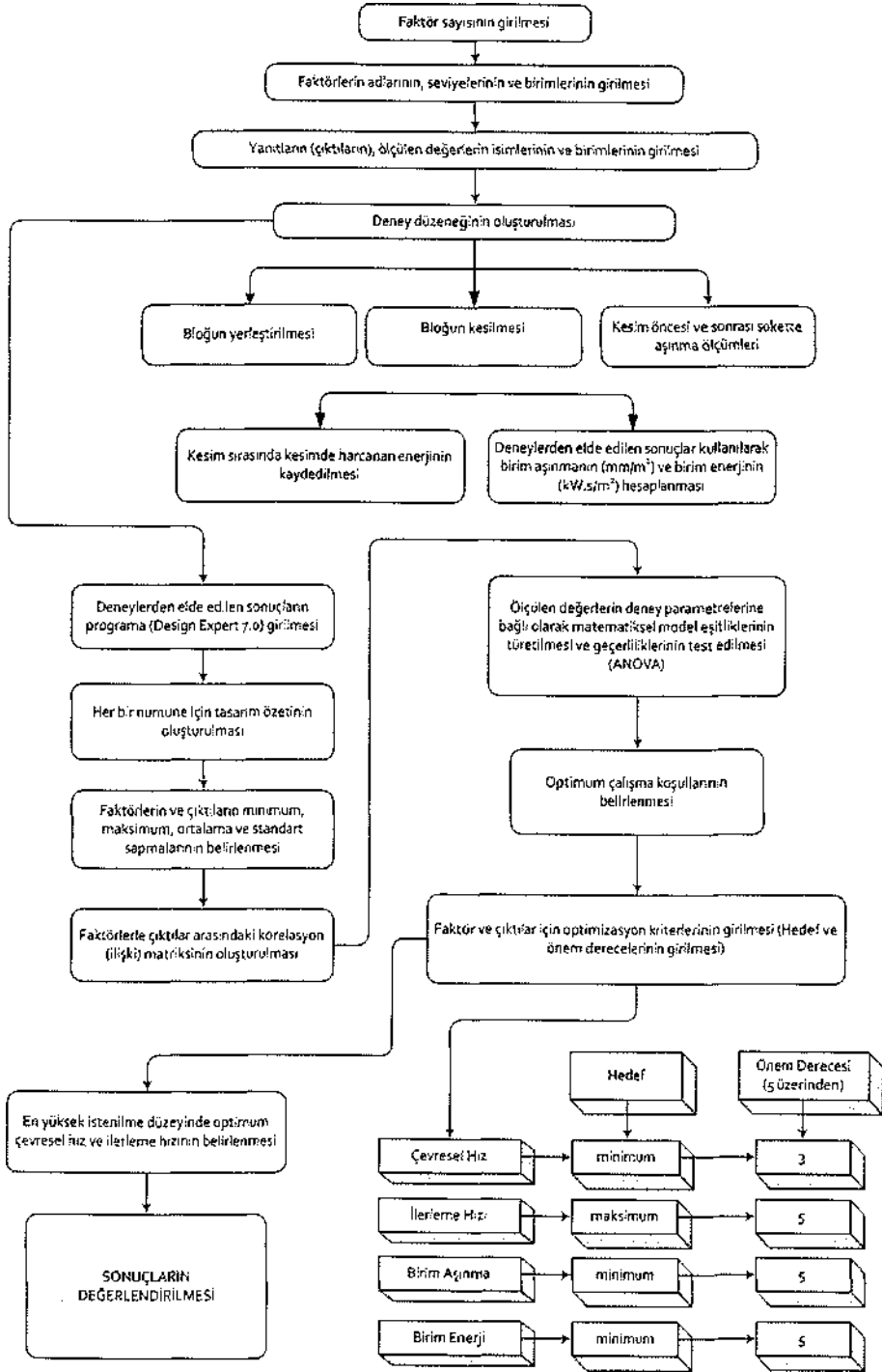
2.3.1 Design Expert 7.0 Programının Tanıtılması

DeneySEL optimizasyon işlemleri için geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir programdır. Ürün ve işlemlerin optimizasyonunda kullanılmakla birlikte deneylerin etkin bir biçimde en uygun şekilde farklı yöntemlere göre tasarımı da yapmaktadır. Belirlenen tasarıma göre deneyler yapıldıktan ve elde edilen sonuçlar programa girildikten sonra bağımlı değişkenler için (yanıtlar) en uygun model eşitlikler üretmekte ve türetilen eşitlikler yardımıyla optimum noktaların belirlenmesi işlemini yapabilmektedir.

Design-Expert 7.0 programı deneylerden elde edilen sonuçların (yanıtların) görüntülenmesi için 3 boyutlu döndürülebilir grafiklerin çizilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca fare kullanılarak 2 boyutlu

Çizelge 2. Kesme deneyleri yapılan doğal taş a ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme Kapasitesi (W/W) (%)	Güzeneklilik (%)	Shore Sertliği	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
2.70	0.16	0.43	42	65.31	4.77



Şekil 2. Çalışmada izlenen yöntem (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan istatistiksel tasarım özellikleri

Çalışma tipi	Faktöriyel
Başlangıç Tasarım	D-optimal, Nokta değişimi
Tasarım Modeli	2FI
Deney Sayısı	24

Çizelge 4. Faktörlere ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Faktör	A	B
Adı	Çevresel Hız	İlerleme Hızı
Birimi	m/s	mm/dak
Tipi	Sayısal	Sayısal
Minimum	40.00	400.00
Maksimum	70.00	900.00
Ortalama	55.000	650.000
Std. Sapma	11.180	170.783

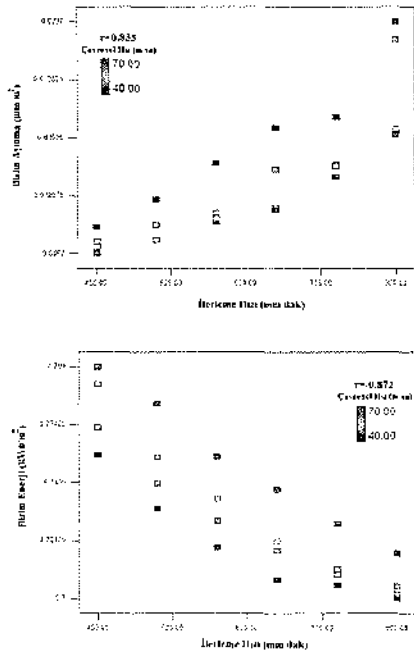
grafikler üzerindeki sınır çizgilerin görülebilmesine olanak sağlamaktadır. Optimum noktaların koordinatlarının (optimum çalışma noktaları) ve bu noktalarda yapılacak deneyler sonucunda elde edilebilecek tahmini sonuçların (yanıtlar) görüntülenmesi bu programla mümkündür.

2.3.2 Tasarım Özeti'nin Oluşturulması

İstatistiksel analizlere geçmeden önce faktörler ve yanıtlarla ilgili her bir değişkene ilişkin özellikleri yansıtan bilgiler analiz edilmiştir. Bu bilgiler değişkenlere ilişkin dağılımları betimlemek için ortalama ve standart

sapma gibi bilgilerden ve ayrıca modelleme çalışmalarında kullanılacak yöntem ve modellerin tanımlanmasından oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan tasarım özellikleri Çizelge 3’de, faktör ve yanıtlarla ilgili betimsel (tanımlayıcı) istatistiksel bilgiler ise sırasıyla Çizelge 4 ve 5’de verilmiştir.

Tanımlayıcı istatistiklere ilaveten birim aşınma ve birim enerji ile ilerleme hızı arasındaki birebir ilişkiler farklı çevresel hızlarda incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Farklı çevresel hızlarda birim aşınma ve birim enerji ile ilerleme hızı arasındaki ilişkiler (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)

Çizelge 5. Yanıtlara ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

Yanıt	Adı	Birimi	Veri Sayısı	Analiz	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma	Oran	Model
Y1	Birim Aşınma	mm ³ /m ²	24	Polinomial	0.008	0.024	0.013	0.004	2.890	Kuadratik
Y2	Birim Enerji	kWs/m ²	24	Polinomial	3.700	7.799	5.249	1.196	2.108	Kübik

Çoğu bilimsel mekanizmanın karmaşıklığı önemli çıktuların (yanıtların) tahmin edilebilmesindeki güçlükten kaynaklanmaktadır. Bu amaçla genellikle basit veya çoklu regresyon modelleri kullanılmaktadır. Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı değişkendirdeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır. Belirtme katsayısı (r^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkendirdeki bir birimlik artışın bağımlı değişkendirde yaratacağı değişim miktarıdır. Basit veya çoklu regresyon modellerinin kurulmasında ilk aşama katsayıların belirlenmesi, daha sonra, model geçerliliğinin varyans analizi ile istatistiki testidir. Buradaki varyans analizinden kastedilen, modeldeki değişimi (toplam varyansın) bileşenlerine ayrılması suretiyle değişimin kaynaklarının araştırılmasıdır. Buradan elde edilen sonuçların sergilendiği tablolar ANOVA (Analysis of Variance) (varyans Analizi) tabloları adı verilmektedir. Tablolarda her bir değişim kaynağı serbestlik dereceleri ile beraber F istatistiğinin ihtiyaç duyduğu değerler yer almaktadır. ANOVA tablolarındaki amaçlardan birisi bileşenlere ilişkin varyansları ve her iki varyansın oranı olan F değerini belirlemektir.

Tablolardaki kareler ortalaması, ait olduğu bileşenin varyansını vermektedir. Tablolardan elde edilen F değeri genel modelin geçerliliği için test edilecek değerdir. Regresyon analizinde ve diğer modellerde F değeri ve ANOVA sonuçları, kurulan modelin geçerliliğini

yani sistemi temsil edebilirliğini göstermektedir.

2.3.3 Birim Aşınmayla İlgili İstatistiksel Değerlendirmeler

İlerleme hızı ve çevresel hızları kullanılarak birim aşınmaların tahmin edilmesi amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmış ve birim aşınma model eşitliği elde edilmiştir. Yapılan analizlerde istatistiksel olarak en yüksek anlamlılığa sahip kuadratik model, birim aşınmanın tahmin edilmesi için en uygun model olarak seçilmiştir. Kurulan modelin (kuadratik model) geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 6 ve 7'de verilmiştir.

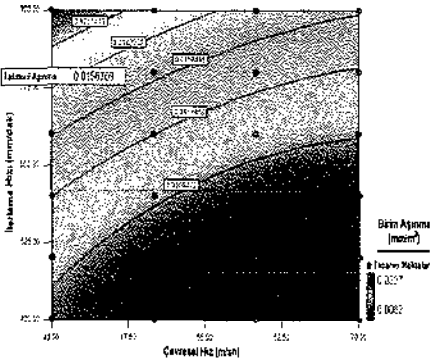
Çizelge 6'da verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan model 99% ($\alpha=0.01$) güvenilirlik seviyesinde ($*P=0.0001 < \alpha=0.01$) istatistiki olarak anlamlıdır. Geliştirilen modelin tahmin grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Çizelge 6'ya göre kurulan kuadratik modelin formülü ise aşağıdaki gibidir;

$$\text{Birim Aşınma} = 0.011 - 2.172E-003 * \text{Çevresel Hız} + 4.959E-003 * \text{İlerleme Hızı} - 1.402E-003 * \text{Çevresel Hız} * \text{İlerleme Hızı} + 1.059E-003 * \text{Çevresel Hız}^2 + 2.215E-003 * \text{İlerleme Hızı}^2$$

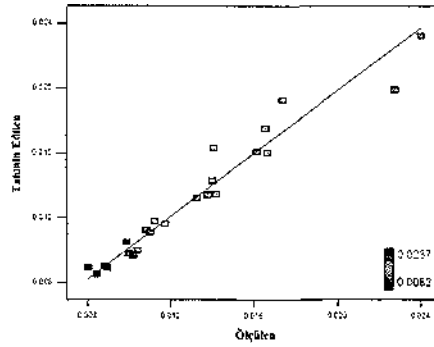
Çizelge 6. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon analizi sonuçları

Faktör	Katsayı Kestirimi	Serbestlik Derecesi	Standart Hata
Sabit	0.011	1	4.252E-004
A-Çevresel Hız	-2.172E-003	1	2.878E-004
B-İlerleme Hızı	4.959E-003	1	3.140E-004
AB	-1.402E-003	1	4.213E-004
A ²	1.059E-003	1	4.826E-004
B ²	2.215E-003	1	5.375E-004

Bir regresyon modelinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını varyans analizi yöntemiyle test etmek olanaklıdır. Bununla birlikte aynı amaca hizmet eden değişik yaklaşımlarda söz konusudur. Bunlardan birisi de deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm sonuçları ile modelden elde edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiğine bakmaktır. Bu amaçla birim aşınma için elde edilen grafik Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.



Şekil 4. Birim aşınma için geliştirilen modelin tahmin grafiği (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)



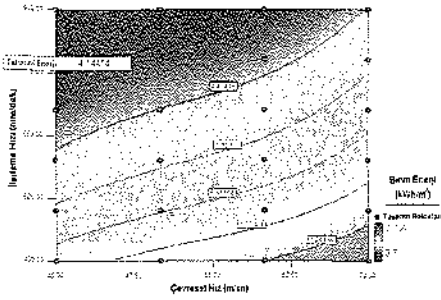
Şekil 5. Birim aşınma için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)

2.3.4 Birim Enerji İle İlgili İstatistiki Değerlendirmeler

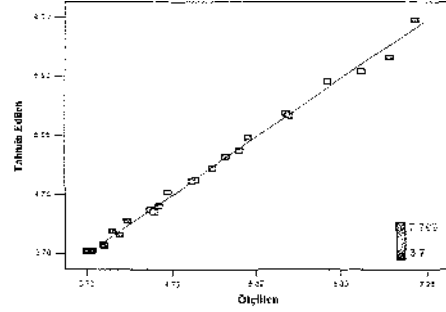
İlerleme hızı ve çevresel hızları kullanılarak birim enerjilerin tahmin edilmesi amacıyla yapılan analizlerde kübik model en yüksek anlamlılığı vermiştir. Kübik model kullanılarak birim enerji model eşitliği elde edilmiştir. Kurulan modelin (kübik model) geçerliliği ise varyans analizi ile test edilmiştir. Birim enerjiye ait çoklu regresyon analizi sonuçları Çizelge 8’de, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 7. Birim aşınmaya ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Model	3.747E-004	5	7.493E-005	67.85	< 0.0001
A-Çevresel Hız	6.293E-005	1	6.293E-005	56.98	< 0.0001
B-İlerleme Hızı	2.754E-004	1	2.754E-004	249.40	< 0.0001
AB	1.224E-005	1	1.224E-005	11.08	0.0037
A ²	5.320E-006	1	5.320E-006	4.82	0.0415
B ²	1.876E-005	1	1.876E-005	16.99	0.0006
Artık	1.988E-005	18	1.104E-006		
Toplam	3.945E-004	23			



Şekil 6. Birim enerji için geliştirilen modelin tahmin grafiği (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)



Şekil 7. Birim enerji için tahmin edilen-ölçülen değerler arasındaki ilişki (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)

Çizelge 8. Birim enerjiye ait çoklu regresyon analizi sonuçları

Faktör	Katsayı Kestirimi	Serbestlik Derecesi	Standard Hata
Sabit	4.90	1	0.044
A-Çevresel Hız	0.56	1	0.11
B-İlerleme Hızı	-1.54	1	0.100
AB	-0.25	1	0.044
A ²	0.20	1	0.050
B ²	0.50	1	0.056
A ² B	0.16	1	0.073
AB ²	-0.17	1	0.075
A ³	0.23	1	0.11
B ³	-0.091	1	0.11

Çizelge 8'de verilen regresyon katsayılarına bağlı olarak kurulan model 99% ($\alpha=0.01$) güvenilirlik seviyesinde ($*P=0.0001 < \alpha=0.01$) istatistiki olarak anlamlıdır. Geliştirilen modelin tahmin grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

Birim Enerji = 4.90 + 0.56*Çevresel Hız - 1.54*İlerleme Hızı - 0.25*Çevresel Hız*İlerleme Hızı + 0.20*Çevresel Hız² + 0.50*İlerleme Hızı² + 0.16*Çevresel Hız²*İlerleme Hızı - 0.17*Çevresel

Hız*İlerleme Hızı² + 0.23*Çevresel Hız³ - 0.091*İlerleme Hızı³

Bununla birlikte deneysel çalışmalardan elde edilen birim enerji ölçüm sonuçları ile modelden tahmin edilen sonuçlar arasındaki saçılım grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde modelden elde edilen sonuçların ölçüm sonuçlarını oldukça iyi bir şekilde yansıttığı görülmektedir.

2.3.5 Optimizasyon

Bu çalışmanın temel amacı Muğla Beyaz mermer numunesinin dairesel kesiciler ile kesiminde birim aşınma ve birim enerji değerlerini minimum yapacak optimum ilerleme hızı ve çevresel hız değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla yine yukarıda açıklanan Design Expert 7.0 programı kullanılmıştır. Burada öncelikle tasarım sınırlamaları tanımlanmıştır. Muğla Beyaz doğal taş numunesi için optimum noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları Çizelge 10'da verilmiştir.

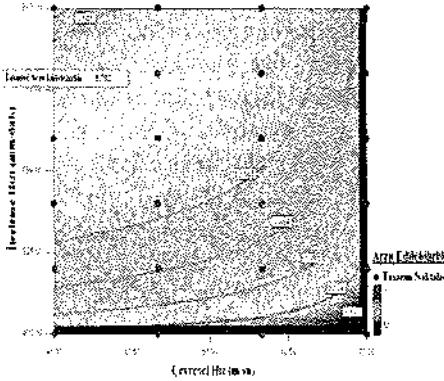
Design Expert 7.0 programı kullanılarak Çizelge 10'da belirtilen tasarım sınırlamaları göz önüne alınarak Muğla Beyaz mermer numunesi için belirlenen optimum noktalar Çizelge

Çizelge 9. Birim enerjiye ait çoklu regresyon modelinin varyans analizi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F Değeri	Olasılık
Model	34.19	9	3.80	321.21	< 0.0001
A-Çevresel Hız	0.29	1	0.29	24.90	0.0002
B-İlerleme Hızı	2.82	1	2.82	238.34	< 0.0001
AB	0.38	1	0.38	31.91	< 0.0001
A ²	0.19	1	0.19	16.03	0.0013
B ²	0.97	1	0.97	81.83	< 0.0001
A ² B	0.055	1	0.055	4.62	0.0495
AB ²	0.061	1	0.061	5.15	0.0395
A ³	0.051	1	0.051	4.30	0.0570
B ³	8.729E-003	1	8.729E-003	0.74	0.4047
Artık	0.17	14	0.012		
Toplam	34.35	23			

Çizelge 10. Muğla Beyaz mermer numunesi için optimum noktaların belirlenmesinde kullanılan tasarım sınırlamaları

Parametre Adı	Hedef	Alt Limit	Üst Limit	Önemlilik
Çevresel Hız	Minimum	40	70	3
İlerleme Hızı	Maksimum	400	900	5
Birim Aşınma	Minimum	0.0082	0.0237	5
Birim Enerji	Minimum	3.7	7.799	5



Şekil 8. Optimum noktaların arzu edilebilirlik düzeyinde gösterimi (Bayram, 2008; Özçelik vd., 2008)

Çizelge 11. Muğla Beyaz mermer numunesi için optimum çalışma koşulları

Çevresel Hız (m/sn)	47.16
İlerleme Hızı (mm/dk)	758.07
Birim Aşınma (mm/m ²)	0.0156798
Birim Enerji (kWs/m ²)	4.14432
Arzu Edilebilirlik Düzeyi	0.702

11'de, optimum noktaların arzu edilebilirlik düzeyinde gösterimi ise Şekil 8'de verilmiştir.

3 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde madencilik açısından lokomotif bir görev üstlenen doğal taş sektöründe kaynakların verimli bir biçimde kullanılması, hem ülke ekonomisi hem de doğal kaynakların ziyan olmaması açısından önemli bir konudur. Bu yüzden, doğal taş üretimi ve işlenmesi sırasında kullanılan yöntem ve makinelerin verimli kullanımı çok önemlidir. Doğal taş sektöründe dairesel testere kesim makineleri yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da sektörde yoğun bir biçimde kullanılan bu makinelerin daha verimli kullanımına yönelik kesim optimizasyonu çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlarla sektöre yeni bir açılım sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, elmas soketlerde meydana gelen birim aşınma ve kesimde harcanan enerji (birim enerji) göz önüne alınarak Muğla Beyaz mermer numunesi için testere çevresel hızı ve kesme (ilerleme) hızının optimum noktaları özel bir istatistiksel program kullanılarak (Design Expert 7.0) tespit edilmiştir. Sonuçta, 47.18 m/s çevresel hız ve 758.14 mm/dak ilerleme hızı noktalarının Muğla Beyaz mermer numunesi için optimum kesme koşulları olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucu hazırlanan birim aşınma ve birim enerji için geliştirilen modelin tahmin grafiği kullanılarak farklı koşullarda (farklı çevresel hızlarında ve farklı ilerleme hızlarında) yapılacak olan kesimlerde karşılaşılabilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri belirlenebilecektir. Bu tip grafiklerin oluşturulmasıyla dairesel testere kesim sistemini kullanan

mermer işleme tesislerinde, uygulanacak çalışma koşullarında karşılaşılabilecek birim aşınma ve birim enerji değerleri önceden kestirilebilecektir. Bu da kesim maliyetlerinin önceden tespitine imkan sağlayacaktır. Aynı zamanda, önceden kestirilecek olan birim aşınma değerleri uygulanacak kesim koşulunda testere ömrünün belirlenmesini de sağlayacaktır. Böylece işletme sahipleri, yapacakları hızlı üretim için testerelerinin ne kadar kesim yapacaklarını önceden kestirebileceklerdir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma "Bazı Doğal Taşların Dairesel Testere Kesim Yöntemiyle Kesilebilirlik Sınıflaması ve Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi" isimli ve 104M384 nolu TUBİTAK projesi ile desteklenmiştir. Bu nedenle, TUBİTAK-MAG grubuna ve ayrıca Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bayram, F., 2007, Doğal Taş (Mermer) Bloklarından Levha/Plaka Üretim Yöntemleri ve Kesim Teknolojileri, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Editör: Prof. Dr. Seyfi KULAKSIZ, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 102, s. 443-513.
- Bayram, F., 2008. Karbonat Kökenli Doğal Taşların Dairesel Testere İle Kesilmesinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140 s.
- Eyüboğlu, A.S.; Özçelik, Y.; Kulaksız, S. and Engin, İ.C., 2003, Statistical and

- Microscopic Investigation of Disc Segment Wear Related to Sawing Ankara Andesites, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, pp 40.
- ISRM, 1981, *Rock Characterization Testing and Monitoring; Suggested Methods*, Oxford, 16 p. 405-414.
- Kahraman, S.; Fener, M. and Günaydın, O., 2004, Predicting the Sawability of Carbonate Rocks Using Multiple Curvilinear Regression Analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, pp. 1123-1131.
- Kulaksız, S, 2007, Doğal Taş (Mermer) Yataklarının Jeolojisi- Petrografisi ve Aranması, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Editör: Prof. Dr. Seyfi KULAKSIZ, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 102, s. 7-166.
- Özçelik, Y, Ünver, B, Bayram, F ve Yaşılı, N E, 2008. Bazı Doğal Taşların Dairesel Testere Kesim Yöntemiyle Kesilebilirlik Sınıflaması ve Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi, Tübitak Projesi, 122 s.
- Özçelik, Y, Kulaksız, S, Bayram, F, Yaşılı, N E, 2007. Determination of Optimum Sawing Condition for Circular Saws in Reference to Unit Energy and Wear, Carrara, ICDS – International Congress on Dimension Stones 2008, pp.175-182.
- Primavori, P., 2002, Technological Developments and the State-of-the Art in Machinery and Installations For Extracting and Processing Stone Materials, *Marmomacchine Directory 2002*, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197.
- Şile, S, 2007. Afyon Sarı Mermerinin Dairesel Testereyle Kesiminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Özgül Enerjiye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 75 s.

Batı Anadolu Antik Mermer (Doğaltaş) Ocak İşletmeleri ve İşletme Teknikleri

Antique Marble Quarries and Exploitation Techniques at Western Anatolia Region

S.Kulaksız

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe-ANKARA

ÖZET Milattan önceki yıllarda (M.Ö. 1600-100) özellikle Batı Anadolu'da kurulan antik şehirlerin, surlarında, tapınaklarında, spor merkezlerinde genelde iki tip doğaltaş kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan birincisi o kentin bulunduğu alanda veya çok yakınında yer alan doğaltaşlardır (traverten, kireçtaşı, mermer v.b.). Kullanılan ikinci tip taşlar ise kentin zenginliği ve büyüklüğüne bağlı olarak agoralarda, şehir meclisi binalarında, kutsal tapınaklarda, anıt mezarlarda, tiyatro ve müzik binalarının sahne ve seyirci yerlerinde v.b., yakın ve daha uzak mermer ocaklarından taşınan mermer veya granit türü kayalarlardır. Ağırlıkları yaklaşık 80 tonu bulan büyüklükteki bu sütunlar, o devrin teknolojisi ile nasıl doğaltaş ocaklarından çıkarıldı, hangi kazı yöntemleri ve tekniklerinin kullandılar, nasıl bir taşıma sistemi kullanarak yüzlerce kilometre uzağa taşındılar. Bildiride bu soruların cevapları gözlemler ve tarihi kayıtlar ışığında verilecektir.

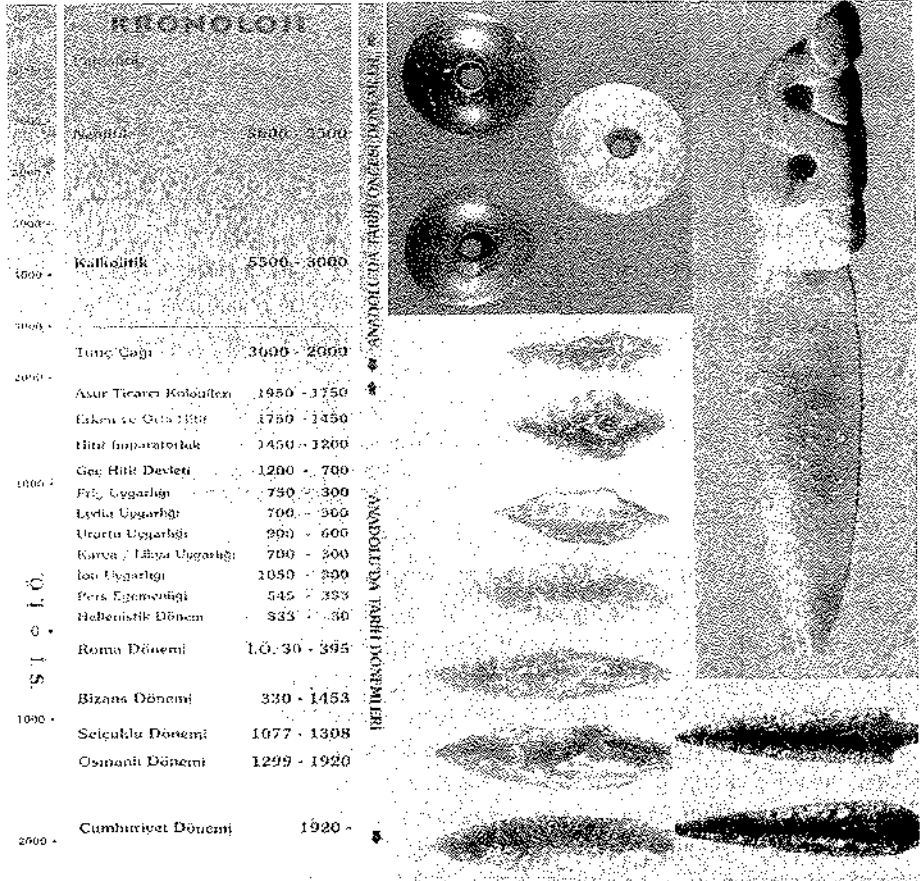
ABSTRACT Cut and hewn stones had been extensively used in antique cities far before 1600-100 BC in Western Anatolia. Mainly two types of stones depending on the production area nearby or far distanced quarries were used in castle walls, holly places, gymnasiums. Natural stones (limestone, travertine, marble etc.) produced from nearby quarries were used mainly in cities. At superior places like agora, music holle, city assembly center, holly places, scene of theaters, moscullos etc, depending of the wealth and size of the city, some higher quality marble and granitic natural stones produced either from nearby quarries or transported from long distances. The weight of a single monument was over 80 tonnes. How these blocks were produced in quarries and transported to the ancient cities over hundreds of kilometers remains as a question. The answers will be given here in the light of observations and archeological records.

1 GİRİŞ

Anadolu'da bilinen ve radyometrik yaş tayinleri ile tarihlenen metal madenciliği M.Ö.3200-3400 kadar uzanmaktadır. Bugüne kadar bilinen çakmak taşı işletmeciliği ise M.Ö.40000 yıllarına uzanmaktadır. Urfa yakınlarındaki Göbekli tepe antik kentindeki tapınaklarda boyları 3 metreyi geçen dikili taşlar 10 tona varan bir ağırlıktalardır (Temizsoy, 1992; Duru, 2001). Hiçbir metal alet kullanılmadan bu blok taşlar nasıl kesildi, taşındı ve dikildi, hangi aletler kullanıldı, nasıl bir yöntem ile çıkarıldı?

İlk insanların paleolitik devirde (Eski taş devri) çakmaktaşı üretimini kaya üzerinde ateş yakıp ısıttıktan sonra su dökerek ani genişleme-büzülme yöntemini kullanarak gerçekleştirdiği bilinmektedir. Burada arkeolojik kronolojiyi hatırlarsak (Şekil 1) madenciliğin insanlık tarihi ile başlamakta olduğunu görürüz (Umar, 1999; Uçankuş, 2002).

Çakmaktaşı üretimi ile birlikte yerleşim yerleri arasında takasa dayalı bir ticaret gelişmiştir. Anadolu'daki Asur kolonileri (Kaniş-Karum-Alişveriş

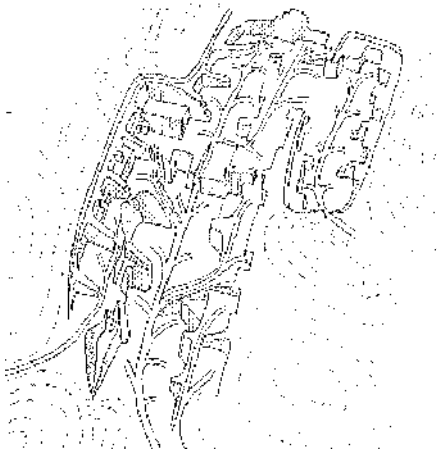


Şekil 1. Arkeolojik Kronoloji (solda) ve Konya-Çatalhöyük kazısında bulunan kemik saplı çakmaktaşı ağızlı hançer, ok ve mızrak uçları ve taşların asa başları (sağda) (Uçankuş, 2000)

Pazarları) bızlı bir şekilde yerel olarak gelişen teknik ve yöntemlerinde transferini sağlamıştır. Sümerlerde su çarklarının geliştirilmesi, Hatti (Eti) lerde tekerleğin kullanılışı gibi. M. Ö. 1100-3000 yıllarında Mezopotamya şehir devletleri dışında dört büyük krallık (Mısır, Hatti-Hitit, Miken ve Asur) bugünkü metal-hammadde mermer madenciliğine öncülük etmişlerdir.

Bu tebliğde, Anadolu'da madencilik tarihinde, doğaltaş maden işletmeciliği açısından saha çalışmalarında saptanan ve tarihsel belgelerden giderek antik yöntemler ve tekniklere örnekler verilerek tarihsel gelişimler irdelenecektir.

Anadolu'daki bazı ticari antik mermer ocakları, Efes-Kuşini, Marmara adası-Prokonnesos, İschhisar-Dokimeion veya Frigya Mermerleri, Babadağ-Karacasu-Geyre-Afrodiyas, Kütahya Altıntaş, Aizanoi, Teos-Seferihisar, Kırşehir, İoniapolis-Herakleia-Milet-Milas-Güllük-İassos-Çanakale-Ezinedir (Asgari, 1977; Conti vd., 1986; Veters, 1990; Albustanoğlu, 2000; Demirtaş, 2006).



Şekil 2. Dokimeion, Bacakale Ocağı, Yamaca sıralar ve teraslar halinde açılmış ocaklar (Röder, 1971)

2 DOĞALTAŞ İŞLETMECİLİK YÖNTEM VE TEKNOJİLERİ

Bugün bilinen doğaltaş işletmeciliğinde kullanılan yöntem ve teknolojiler Çizelge 1 de özetlenerek verilmiştir.

Buradan da görüldüğü üzere antik doğaltaş işletmesinde uygulanan yöntemler teknolojinin gelişmesi ile mekanikleşmiş ve insan-hayvan gücünün yerini motor gücüne bağlı olarak pnömatik, hidrolik, mekanik kuvvetler almıştır.

2.1 Antik Doğaltaş (Mermer) İşletmeciliği

Bu çalışmada saha çalışmaları yapılan tüm antik mermer işletmeleri yamaç tipi yataklar şeklinde gözlenmiştir. Bunların hepsinin kaba bir kroki ile planlandığı görülür. Genelde ocak işletmelerinin tabandan başlayarak yukarı doğru basamaklandırıldığı saptanmıştır. Bu kaba planlamaya iki örnekten birisi (Şekil 2) Dokimeion Bacakale Ocağıdır (Röder, 1971). İkincisi ise antik Lymra (Lumra-Demre) ocağıdır (Kulaksız, 2008). Bugün bile bazı mermer ocak işletmelerinde dahi görülmeyen, ocak planlaması yapmaları düşündürücüdür (Şekil 3). Ülkemizde modern anlamda bugün tek yeraltı işletmesi Finike'de açılmış ve yapısal jeoloji etüdü yapılmadan açılan ocakda kapanmıştır. Buna karşılık M.Ö. 100-300 yıllarında, İzmir-Selçuk Belevi Kuşini ocağı işletmesi ile, Urfa'ya-Harran'a 50 km uzaklıktaki Bazda yeraltı mermer ocakları (Kulaksız, 2008) ilk yeraltı ocaklarıdır. Kuşini ocağı 80 metre uzunluk, 10-30 metre genişlik, 6-12 metre yükseklikindedir. Bazda mermer ocağında ise oda-topuk yöntemi ile üretim yapılmıştır. Yüksekliği 12-16 m arasında değişmekte olup, kademeli bir kazı-üretim yöntemi uygulamışlardır. Kayaç cinsi kireçtaşıdır.

Çizelge 1. Doğal taş blok kesim/üretiminde kullanılan yöntem ve teknolojiler

	Yöntem	Teknoloji	Antik Dönem (Teknoloji)
Delik Delme ile Blok Ayrma	Delik Delme + Kama	Darbeli/dönmeli deliciler + kamalar	Delme İşlemi-Keski(Murç), Balyoz(Varyoz), Madırğa, Küskü(Manivela-leviye)
	Delik delme ile doğrudan kesim	Darbeli/dönmeli deliciler	
	Delik delme + patlayıcı madde	Darbeli/dönmeli deliciler	Delik delme veya Yuva açma. Ayaç kamalar (Sulama ile genişleme)
	Delik delme + mekanik ve hidrolik gerdirme düzeneci + genleşen kimyasallar	Darbeli/dönmeli deliciler + hidrolik ve mekanik krikolar, hava yastıkları, genleşen kimyasallar (çimento)	*Külünk, Taşçı kazması (Madenci kazması), Taşçı baltası, Balyoz- külünk
Testere-Tel Kesme ile Blok	Tel kesme ile kesim	Çelik halatlı kesiciler + elmas telli kesiciler + delik delme makinaları	Sagalossos
	Dairesel testere ile kesim	Dairesel testereleler	Hititler
	Zincirli kollu kesici ile kesim	Zincirli kollu kesici makinası	
	Alev jeti ile kesim	Alev jeti ile düzenek ekipmanları	
	Su jeti ile kesim	Su jeti ekipman ve makinaları	

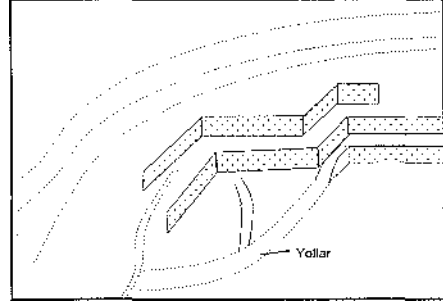
* Bu yöntemde doğaltaş blok çıkarılması, taşın belli bir aralıkla kırma, kesme, delme işlemleri ile blok üretimi gerçekleştirilir.

2.1.1. Mermer Ocaklarında Bloktaş Üretim Yöntemleri (Kazı)

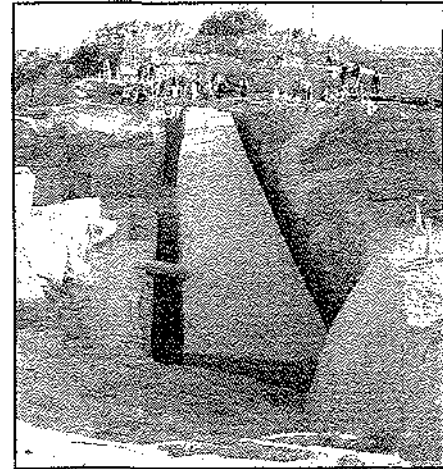
A- Antik mermer ocaklarında bloktaş üretiminin genelde Çizelge 1'de verilen yöntemlerden birinci kategoride verilen, külünk, madırğa-keski, balyoz-keski ile kırma, ezme, parçalama şeklinde olduğu tarihsel kayıtlarda yer almaktadır (Strabon'dan çeviri-Pekman, 2005). Ana kaya ile kesilecek blok arasında taş kesme usta-işçilerinin rahatlıkla çalışacağı 60-100 cm genişliğinde oluklar kanal açılarak yapıldığı tarihsel ocaklarda görülmektedir (Şekil 4 ve Şekil 5).

B- İkinci mermer blok üretim yöntemi ise, sütunların boyuna kesiminin yamaçlarda tabakalanma akma-şistozite, soğuma yönleri, çatlak sistemlerine göre zayıf ve/veya süresizlik düzlemlerinin takip edilerek üretim yapılmasıdır.

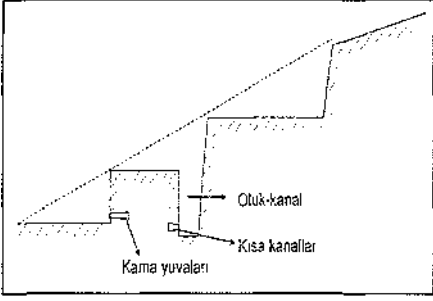
Burada kazı işleminde kesmelerin sistematik olarak yelpaze şeklinde veya "ters V" şeklinde yapıldığı gözlenmiştir. Kademeli basamak tipi blok kesme yönteminin genellikle, yapıdaki kullanım yeri ve yapı elemanının özelliğine göre yapıldığı görülür.



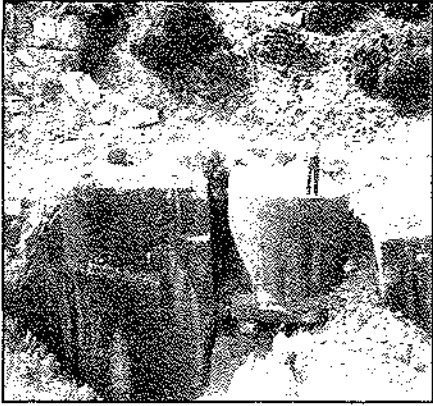
Şekil 3. Lymra (Lumra) antik mermer ocağı, ölçeksiz şematik görünümü (Kulaksız, 2008)



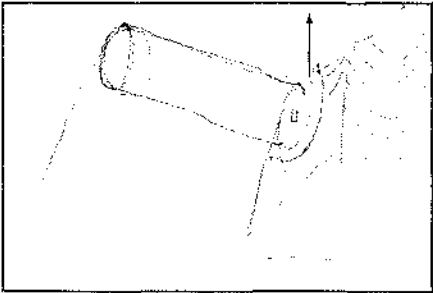
Şekil 4. Eski Mısır Uygarlığındaki antik granit (doğaltaş) üretim ocağından bir görünüm (Yüzer, 2008)



Şekil 5. Eski Mısır Uygarlığındaki antik granit (doğaltaş) üretim ocağında kullanılan yöntemin şematik gösterimi



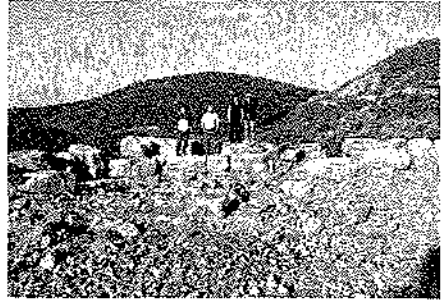
Şekil 6. Silente, İlik mermer ocak alanında antik bir ocak içerisinde M.S. 4.yy. sonlarında işlenmesi yarım kalmış dev sütun tamburu (Dost, 1999; Asgari, 1977)



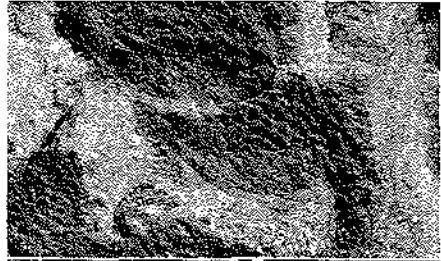
Şekil 7. Çanakkale-Ezine granitlerindeki, Roma Dönemi (M.Ö. 1-2 yy.) 12,5 metre boyunda, 2 metre çapında yekpare sütun kesimi şematik çizimi (Kulaksız, 2008)



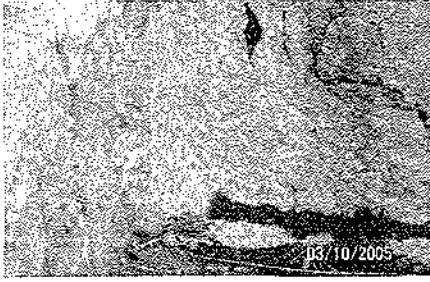
Şekil 8. Silente, İlik Mermer ocak alanında eski ocak atık tepelerinin harfiyatı altında ortaya çıkan antik ocak yüzeyleri (Dost, 1999)



Şekil 9. Güllük İassos antik mermer ocağı-süreksizliklere bağlı blok mermer üretimi (Kulaksız, 2008)



Şekil 10. Patara antik ocağı blok üretim alanı, kesme yüzeylerindeki izler ve kesme kademeleri



Şekil 11. Olimpos antik mermer ocağı ve kazı

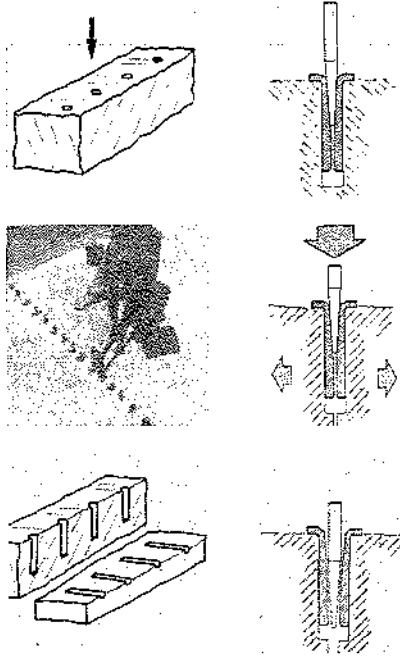


Şekil 12. Dokemion'daki bir mermer bloktaki kademeli kesimler

Kazı işleminde kesmelerin sistematik olarak yelpaze şeklinde V veya "ters V" şeklinde yapıldığı gözlenmiştir. Kademeli basamak tipi blok kesme yönteminin genellikle, yapıdaki kullanım yeri ve yapı elemanının özelliğine göre yapıldığı görülür (Şekil 12).

C- Üçüncü tür blok taş üretimi ise zayıf zonlar boyunca delikler açılarak kama çakma yöntemidir (Şekil 13) (Kulaksız, 2005; Kulaksız, 2008).

Bu kazı yöntemlerinde ana kayadan blok taşların koparılması-ötelemesi, küskü (manivela) çakma-takoz-kamalar ile gerçekleştirildiği görülür. Bugünkü isim ile kazı yöntemi üçlü kamalı kazı yöntemi olarak adlandırılır (Şekil 15). Bunlara ek olarak antik devirlerde genişmeli kimyasallar yerine, genişleme özelliği fazla olan ağaç kamalar kullanılmıştır.



Şekil 13. Delik delme ile kesme ve kama-yapraklarla bloğun ayrılması



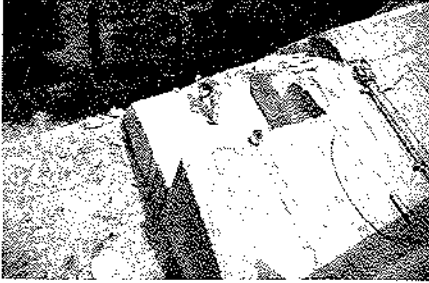
Şekil 14. Mersin-Silifke'deki bir antik mermer ocağında kama yuvaları

D- Antik Testere-Tel Kesme Yöntemleri ile Blok taş üretimi:

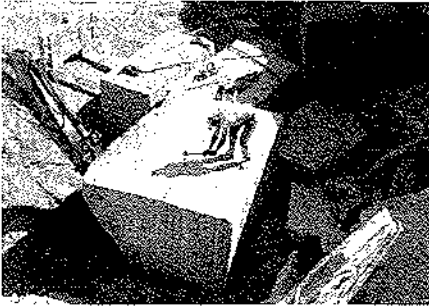
Tarihsel belgelerden (Bingöl, 2008) Hititler döneminde elips kesitli testereleer ile kesme işlemi yapıldığını mermer ocaklarında kesim izlerinden görmekteyiz (Şekil 18,19,20,21).



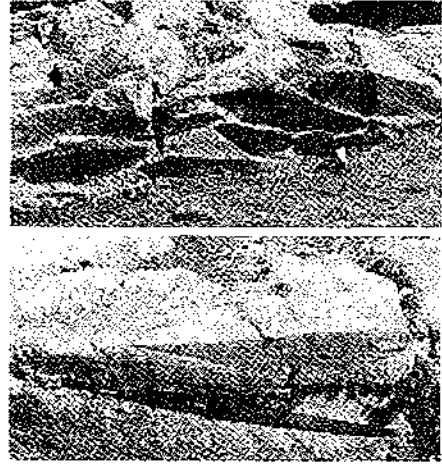
Şekil 15. Kamaların dizilmesi, yatay-düsey çatlak oluşturulması, blokların yatay yönde yarılması ve taş bloğun ayrılması (Kurugöl, 2007)



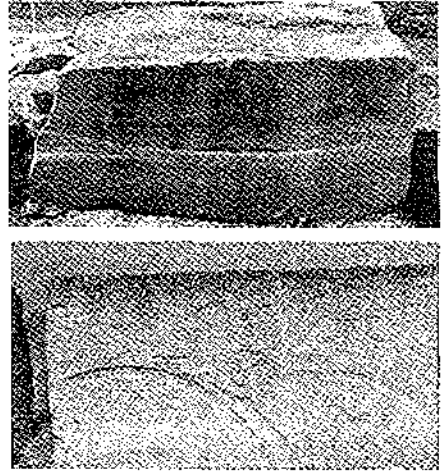
Şekil 16. Patlatma deliklerine infilaklı fiüllerin yerleştirilmesi ve genişletici kimyasallar kullanılması



Şekil 17. Bugünkü koşullarda sayalama işleminde kamaların çakılma işlemi ve blokların ikiye ayrılması (Kulaksız, 2005)



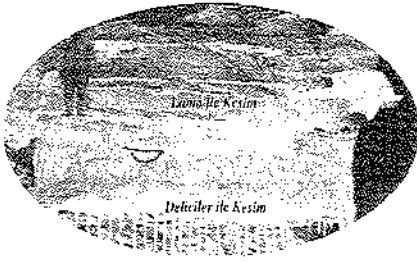
Şekil 18. Boğazkale Tapınak I'de sarkaçlı testere ile kesilmiş bir örnek (solda) ve düz testere kullanımı (sağda) (Bingöl, 2008)



Şekil 19. Tiryns'te düz testere kullanımı (solda) ve Selinus'da sarkaçlı testere ile kesilmiş bir örnek (sağda) (Bingöl, 2008)



Şekil 20. Kullanılan testerenin muhtemel (tahmini) tasarımı (Kulaksız, 2008)



Şekil 21. Afyon-İscehisar (Dokimeion) Dangıç tepesindeki antik mermer ocaklarındaki metal lama ile tarihsel ve hidrolik delicilerle yapılan güncel işletme izleri (Yüzer, 2008)



Şekil 22. Sagalassos antik kenti, yarı işlenmiş mermer blok, tel kesme izleri ve kesim sonucu koparma çıkıntısı (Kulaksız, 2008)

Son zamanlara kadar (1950) bu tip testerelelerin büyük ağaç kesimlerinde iki kişi tarafından kullanılarak ileri-geri hareketleri ile kesim yaptığını bilmekteyiz. Taş kesiminde ise kesme düzeneğinde nasıl bir sarkaç-pandül ve ayak-destek düzeneği kullanıldığı ise bazı varsayımlarla açıklanmaya

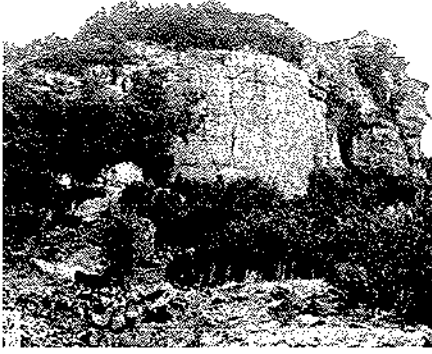
çalışılmaktadır. Hititler döneminde Boğazkale'de (M.Ö. 1700-1200) kullanılan bu sistem daha sonra Roma döneminde de kullanılmıştır (M.Ö.200-M.S.200). Düz testereleli kesimde yumuşak-orta sertlikteki kayalarda (kireçtaşı-mermer-tüf), sulu sistemlerdeki kesimlerde kumlu kesim yapıldığıda varsayılmaktadır (Grewe and Kessener, 2007). Telli kesme teknolojisi ile blok üretimi konusunda ilk yayın Saldıray İleri (1998) tarafından yapılmış çalışmada belirtilmektedir. Bu araştırmada ilk telli kesim ile üretilmiş bloğun kesimi ve yarı işlenmiş hali belgelenmiştir (Şekil 22).

Sagalassos ve Lymra antik kentinde bulunan mermer bloklarının her iki tarafında da tel kesme sonucu bloğun ana kütlede koparmada meydana getirdiği şekil net olarak görülmektedir. Tekne şeklinde yarı işlenmiş bu kireçtaşı bloğunun tarihsel yönden bir kanıt olduğu görüşündeyim. Benzer kesme yüzeylerine antik Cremona (Bucak) şehir sur ve ocaklarında ve de Silifke-Kız kalesi sur duvarları kanallarında görülmektedir (Şekil 23).

3 SONUÇLAR, YORUMLAR VE ÖNERİLER

- Anadolu'da birçok antik mermer ocakları yer almaktadır. Bunları temelde
 - a) Sanatsal yapı, kutsal alanlar, tiyatro, şehir giriş kapı ve sütunları, heykel v.b.
 - b) Bina ve şehir inşaatları (kaleler, surlar, yollar v.b.)

şeklinde gruplandırılabilir. Birinci kısımda yer alan antik ocaklar ve işletmesi ticari amaçlıdır. Bunların antik ocaklar olarak tarihsel kayıtlarına kısmen ulaşılabilmektedir. İkinci grupta



Şekil 23. Bucak-Cremna antik ocağı ve kentinde tel kesme yüzeyleri ve Silifke-Kızıkalesi'ndeki (M.Ö. 4. yy.) su hendekleri ve kale surları (Kulaksız, 2005)

yer alan ocaklarda hem miktar hem de geniş bir yayılım vardır. Yazılı antik kayıtlar bulunmamaktadır.

- Anadolumuzun büyüklüğü düşünülür ise: antik ocakların envanterlerinin çıkarılması resimsel ve koordinatları ile belgelenmesi gerekir. Bu nedenle maden-jelöji mühendisleri-

arkeolog işbirliği çerçevesinde çalışmalara başlamanın zamanı gelip geçmektedir.

- Doğaltaş/işletmesi yapan kişi-kuruluşlar bu alanlara sahip çıkarak, korumalı ve ocaklarının bir antik mermer ocağı olarak açık hava müzesine dönüştürerek, sergilemeleri doğal taş sevgisini arttıracak gibi Türk turizmine katkı sağlayacaktır.
- Sert taş (Granit, Siyenid, Andezit, Basalt v.b.) ocaklarının antik işletmeleri farklılıklar göstermektedir. Granit sütun kesimlerinde iki yan açıldıktan sonra dairesel sütun kesiti işaretlenmekte ve sütun kesimi keski-varyoz ile yatay olarak uzunlamasına kabaca silindirik olarak elde edilmektedir.
- Güney ve güneydoğu, doğu andaolu bu konuda tam bakir sahalara olup, çalışılması görüşündeyim. Bu konuda arşivlenen yaklaşık 40 mermer ocağı bilgileri genel anlamda herkese açıktır. Mermer ocaklarında yükleme-taşıma ve taşıma yolları, işleme teknikleri, atölyelerde araştırılması gerekli konular olarak önermekteyim.
- Ön çalışma sonuçları olan bu araştırma zamana mali kaynaklara bağlı kişisel çabalarla yapılmaktadır. Bu nedenle öncülük yapmak üzere yapılan bu araştırmanın ikinci aşamasında blok taş yükleme-nakliyat ve işleme tekniklerini kapsayacak şekilde planlanmıştır.

KAYNAKLAR

Akurgal, E, 1987. Anadolu uygarlıkları, Net Yay. İstanbul, 575 s.

- Albustanlıoğlu, T, 2000. Dokimcion antik mermer ocağı ve ihracat potansiyel, Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji (Klasik Arkeoloji) Anabilim Dalı
- Asgari, N, 1977. Phrygian Quarries AJA 81, pp. 289-321.
- Beysan, M, 2004. Prokonnesos'ta bulunan İon Sütun Başlıkları-Yerel Mermer Ocaklarında Biçimlendirilmesi ve İhracatı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Klasik Arkeoloji Anabilim Dalı.
- Bingöl, O, 2008. Arkeolojik Mimaride Taş, Homer Yayınevi, 2. Basım, İstanbul, 224 s.
- Conti, G, Lisanti, V, Montani, C, Pinzari, M, 1986. Marble in the World, Stone Industry
- Demirtaş, B., 2006. Apollon Smitheus Tapınağının Mimari Blokları Üzerindeki Taş İşaretlerinin İncelenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Arkeoloji (Klasik Arkeoloji) Anabilim Dalı
- Dost, E., 1999. Onler Tel Kesmeyi de Bulmuşlar, Türkiye'de Taş, s.13-21
- Duru, R., 2001. Research at the Yesemek, Stone Quarry and Sculpture Workshop and Excavations at the Yesemek Höyük, O. Belli (Ed.) Archaeology in Turkey, pp.137-139.
- Grewe, K., Kessener, P., 2007, A stone relief of a water-powered stone saw at Hierapolis. I. F. D'Andria-M. P. Caglia (Ed) Phrygia. Hierapolis di Frigia pp.627-632
- İleri, S., 1998. Mermer Teknolojisinin Kökeni Anadolu'da, Türkiye Taş Dünyası 4, Mart-Nisan, Fuar özel.
- Kulaksız, S, 2005. Doğaltaş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 624 s.
- Kulaksız, S, 2008. Antik Mermer Ocak Çalışmaları, H.Ü. Maden Müh. AOS. (yayınlanmamış rapor), Ankara.
- Kurugöl, S. 2007. Geleneksel Ağırnas Mimarisinde Taş Kullanım Teknolojisi, Hanlar Kervansaraylar, Geleneksel ve Modern Mimaride Taş Sempozyumu, Mimarlar Odası ve Arena Uluslararası Fuarı, Antalya, S.61-69
- Pekman, A, 2005. Antik Anadolu coğrafyası (Strabon'dan çeviri) (Geographica), Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- Röder, J., 1971. Marmor Phrygium: Die antiken Marmorbrüche von Iscehisar in Westanatolien, Jdl 86, pp.253-312.
- Temizsoy, İ., 1992. Yesemek Taşocağı ve Heykel Atölyesinde Kazı ve Araştırmalar, Anadolu Konferansları, s. 57-82.
- Uçankuş, H. T. 2000. Arkeoloji T.C. Kültür Bakanlığı Ank. 1243 s.
- Umar, B, 1999, İlk Çağda Türkiye Halkı, İnkılâp Kitabevi İstanbul, 712 s.
- Vetters, H., 1990. Ancient quarries around Ephesus and examples of ancient stone-technologies. Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Bd. 4 içinde 2067-2078, Marinos & Koukis, eds. Balkema.
- Yüzer, E., Güngör, Y., Angı, S., 2008. Doğal Taş Deyince, Taş Kültür Yayını, İst, 227 s.

Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi: Kendiliğinden Yerleşen Beton Örneği

Recycling For Marble Wastes: Self-Compacting Concrete Example

K. E. Alyamaç

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, ELAZIĞ

ÖZET Türkiye’de mermercilik her geçen gün gelişmektedir. İşletmelerin faaliyetleri sonucunda, kırık mermer parçaları ve mermer çamuru olmak üzere iki çeşit atık meydana gelmektedir. Kırık mermer miktarının, mermer çamuru miktarı ile karşılaştırıldığında, oldukça az olduğu görülmektedir. Türkiye’de, tahmini verilere göre yıllık ortalama 1.000.000 ton atık mermer çamuru oluşmaktadır. Bu çalışmada, atığın betonda kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde en çok kullanılan özel beton çeşitlerinden olan Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) üzerinde çalışılmıştır. KYB, sık donatılı dar kesitlere rahat yerleşmesinin yanı sıra, yerleştirme sırasında vibratör kullanılmasına ihtiyaç duyulmaması gibi önemli özelliklere sahiptir. KYB’nin ana bileşenlerinden biri de toz malzemedir. Bu çalışmada toz madde olarak farklı yörelere ait atık mermer çamuru kullanılmıştır. Çamur, kurutulup mermer tozu haline getirildikten sonra standartlara uygun KYB üretilmiş ve elde edilen veriler literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, mermer tozunun KYB gibi uygulama alanı geniş bir beton türünde kullanılması, önemli bir çevre problemini çözeceği gibi ekonomik kazançta sağlayacağı belirlenmiştir.

ABSTRACT Marble sector is developing day by day in TURKEY where rich marble reserves exist. With the development in this sector, the waste marble sludge is becoming an environmental problem. It can be apparently seen that the waste materials of marble plants reach millions of tons. In this paper, the Self-Compacting Concrete (SCC), which is one of the mostly used special concrete types nowadays, is studied. Especially in developed countries, SCC usage is becoming widespread quickly. It has very important characteristics like consolidating in narrow cross-sections with dense reinforcement and without requiring vibration. One of the main components of SCC is the powder material. In this study, waste marble sludge is used as powder material. Sludge is used in the concrete after making it dried and powdered. Recycling provides with some advantages such as protecting the natural resources, energy saving, contributing to economy, decreasing the waste materials and investing for the future.

1 GİRİŞ

Türkiye’de madencilik faaliyetlerinden mermercilik her geçen gün gelişmektedir. Bu gelişme ile beraber mermer sektörü de madencilğin diğer dallarında olduğu gibi atık problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Mermer işletmelerinin faaliyetleri sonucunda, kırık mermer parçaları ve mermer çamuru olmak üzere iki çeşit atık meydana gelmektedir. Kırık mermer parçalarının miktarı, atık mermer çamuru miktarı ile karşılaştırıldığında, oldukça az olduğu görülmektedir. Ülkemizde, tahmini verilere göre yıllık ortalama 1.000.000 ton atık mermer çamuru oluşmaktadır (Alyamaç ve İnce, 2007.a). Depolanması mümkün olmayan bu miktar, çevre sağlığı ve görüntüsü açısından önemli bir problemdir. Zengin mermer rezervleri olan Türkiye ve diğer ülkelerde, bu atığın her geçen gün artacağı görülmektedir. Bu çalışmada, atığın betonda kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmış ve literatürle karşılaştırılmıştır.

Günümüzde en çok kullanılan özel beton çeşitlerinden olan Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) üzerinde çalışılmıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde KYB kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. KYB, sık donatılı dar kesitlere rahat yerleşmesinin yanı sıra, yerleştirme sırasında vibratör kullanılmasına ihtiyaç duyulmaması gibi önemli özelliklere sahiptir. Uygun karışımlar hazırlandığında ayrışma ve terleme gibi problemleri olmayan bir beton çeşididir. KYB’nin ana bileşenlerinden biri de toz malzemedir. Toz malzeme olarak genellikle uçucu kül ve silis dumanı gibi maddeler kullanılmaktadır (Alyamaç, 2008)). Bu çalışmada toz madde olarak farklı yörelere ait atık mermer çamuru kullanılmış ve literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çamur, kurutulup mermer tozu haline

getirildikten sonra betonda kullanılmıştır. Mermer tozu kullanılarak standartlara ve literatürdeki monogramlara uygun KYB elde edilmiştir. Sonuç olarak, mermer tozunun kendiliğinden yerleşen beton gibi uygulama alanı çok geniş bir beton türünde kullanılması, önemli bir çevre problemini ortadan kaldıracığı gibi ekonomik kazançta sağlayacağı görülmüştür.

2 ATIK MERMER TOZU VE ÇEVRE

Türkiye’de doğal taş rezervi yaklaşık 7 milyar m³ olarak tahmin edilmektedir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşıma uğramış kalkerler mermer olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel anlamda ise işlenebilen, cilalanabilen, parlayan ve boyutlandırılabilen veya dekoratif amaçlı kullanılan tüm doğal taşlara mermer denilmektedir (Onargan ve Köse 2006). Şu anda 33 ilimizde çalışan mermer ocakları bulunmaktadır. Bu ocaklardan yaklaşık 50 çeşit mermer elde edilmektedir. Mermercilik sektöründe ocak işletmecisi ve mermer imalatçısı olan 200’ü aşkın firma bulunmaktadır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır (www.turkishstone.org).

Mermer, yeryüzüne yakın bölgelerde bulunan bir maden türüdür. Ocaklarda çeşitli yöntemlerle, 15–20 tonluk bloklar halinde kesilen mermerler işlenmek üzere atölyelere ve fabrikalara taşınırlar. İşleme tesislerinde çeşitli boyut ve kalınlıklarda kesilirler. Kesilme işlemi, kesicinin ısınmasını ve toz olmasını önlemek amacıyla su yardımıyla yapılır. Böylece toz ile birleşen su atık mermer çamurunu oluşturur (Alyamaç ve İnce, 2007.b). Bu atık malzemenin çöktürme havuzlarında veya tanklarında suyu alındıktan sonra katı atık olarak atılması veya bazı sanayi sektörleri tarafından kullanımı söz konusu olmaktadır (Şek.

1). Bilinçsizce çevreye terk edilen bu atık malzemenin sebep olacağı zararlar, çevre sağlığı ve görüntüsünü olumsuz yönde etkileyecektir.



Şekil 1. Atık mermer çamuru.

Bu atık nedeniyle İtalya gibi bazı ülkeler mermer üretimlerini sınırlamak zorunda kalmışlardır. Ülkemizde de çevre sağlığı ile ilgili kurum ve kuruluşlar ile mermer işletmecileri arasında, atık mermer çamuru konusunda problemler yaşanmaya başlamıştır (Burdur Valiliği, 2006).

Sürekli arttığı için depolanması işletmeler için mümkün olmayan bu atığın değerlendirilmesi; çevre sağlığı, çevre temizliği ve ekonomik açıdan büyük bir kazanç olacaktır.

3 KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB)

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), sık donatılı dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile yerleşen, herhangi bir vibrasyona gerek kalmadan sıkışan, dayanım veya dayanıklılık özellikleri ve performansları yüksek, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür.

KYB karışımının normal betondan (NB) en büyük farkı, toz ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların kullanılmasıdır. Kullanılan bu malzemelerle, taze betona kendiliğinden yerleşebilirlik, sertleşmiş betona ise yüksek performans özellikleri

kazandırılmaya çalışılır (Brouwers ve Radix, 2005). Normal beton (geleneksel beton) ile KYB'nin karışım oranları bakımından karşılaştırılması Şekil 2.'de görülmektedir.

NB	KYB
Hava	Hava
Su	Su
Çimento	Çimento + Toz Malzeme)
Kum	Kum
Çakıl	Çakıl

Şekil 2. KYB ve NB karışım oranları.

KYB'nin tüm özellikleri üzerinde etkili parametrelerin başlıcaları toz malzeme türü ve miktarıdır. Silis dumanı, uçucu kül ve taş tozu gibi toz malzemeler KYB üretiminde kullanılmaktadır (Yazıcıoğlu, 2006). Uçucu kül, termik santrallerden elde edilen, atık bir malzemedir. Küresel mikro yapısı nedeniyle KYB üretiminde kullanılması uygundur. Bilindiği gibi uçucu küllerin kimyasal bileşen oranları ve fiziksel özellikleri farklılıklar göstermektedirler. Birçok uçucu kül tipinin KYB üretiminde olumlu özellikler gösterdiği bilinmekle birlikte, deneme karışımları ile ayrıca özellikleri belirlenmelidir (Khatib, 2007). Yapılan son araştırmalarda KYB de mermer tozu kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir (Topçu, 2008).

KYB, taze halde iken akıcılık, geçiş kabiliyeti (sık donatılı dar kesitlerden), doldurma kabiliyeti ve ayırışma direnci özelliklerini, sertleşmiş halde iken yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliklerini sağlamalıdır.

3.1 KYB Taze Beton Özellikleri ve Deney Yöntemleri

Bu bölümde Avrupa'nın KYB standardı EFNARC (2005)'de yer alan ve bu çalışmada kullanılan deneylere yer verilmiştir.

3.1.1 Doldurma kabiliyetini ölçen taze beton deneyleri

Doldurma kabiliyetini belirleyen deneylerin temel amacı, KYB'nin kendi ağırlığı altında ne kadar uzağa akabildiğinin tespitidir.

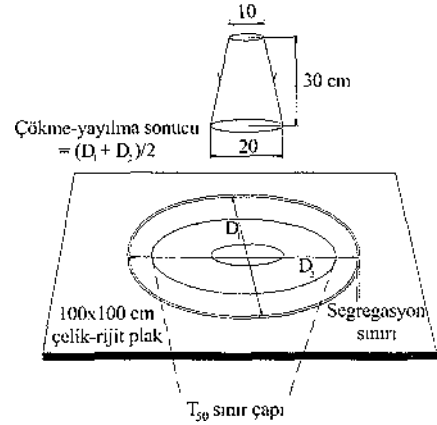
3.1.1.1 Çökme yayılma deneyi

Bu deney geleneksel çökme (slump) hunisi ile yapılır. Bu deney sonucunda betonun yayıldığı maksimum çap ve 50 cm çapa yayılma süresi (T_{50}) saniye olarak tespit edilir. Çökme yayılma testi ekipmanı ve deneyin yapılışı Şekil 3-4'de görülmektedir.

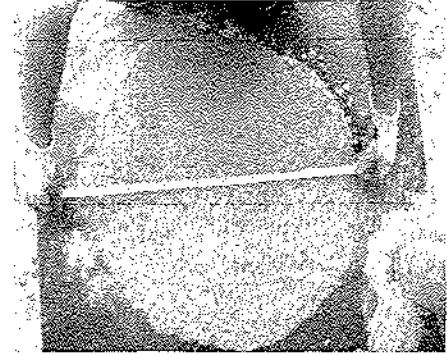
Betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği gösterip, doldurma yeteneğinin olması için yayılma değerinin en az 55 cm olması gerekmektedir. Bu değer büyük olması, doldurma yeteneğinin gittikçe artması manasına gelmektedir. Ancak yayılma değeri arttıkça segregasyon riskinin de artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Betondaki segregasyon yaklaşıp olsa, yayılma sınır bölgesinde gözle tespit edilebilir (Şek. 3).

3.1.1.2 V-hunisi deneyi

Taze beton huniye doldurulur ve akış süresi (T_v) ölçülür. Bu deney için 12 ile 15 lt arasında taze betona ihtiyaç vardır. Beton karışımında en büyük agregat



Şekil 3. Çökme-yayılma deney düzeneği.

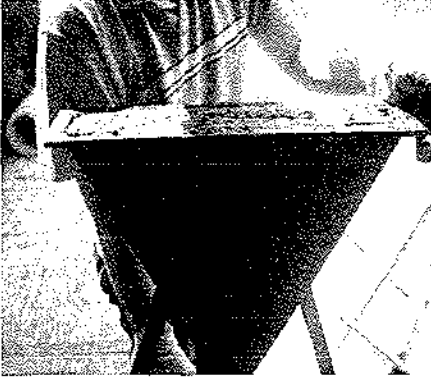


Şekil 4. Çökme-yayılma deneyinin yapılışı.

çapının (d_{max}) 25 mm yi geçmemesi gerekir. Taze beton huniye yaklaşık 10 ± 2 saniyede doldurulmalı ve akış süresi 0.1 s hassasiyetle ölçülmelidir. Huninin iç yüzeyindeki nem miktarının her deneyde yaklaşık aynı olmasına özen gösterilmelidir. V-hunisinin şekli ve deneyin yapılışı Şekil 5'de görülmektedir. V-hunisi taze betonun viskozitesi için uygun sonuçlar vermektedir.

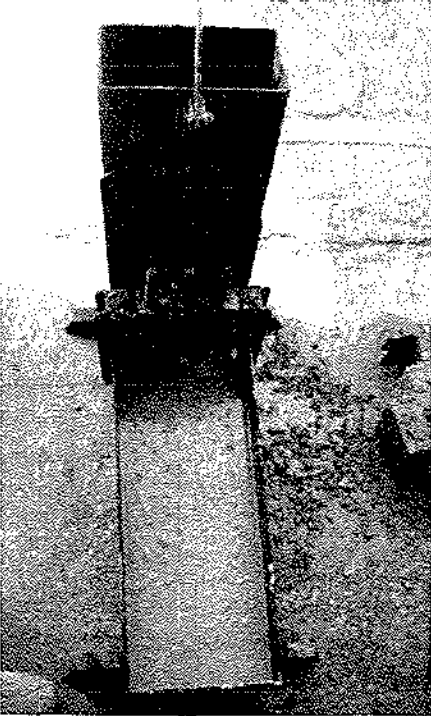
3.1.2. Geçiş kabiliyetini ölçen taze beton deneyi (L Kutusu)

Bu testlerin amacı, taze betonun donatılar arasından rahatça geçecek ve yerleşecek uygun karışım oranlarına sahip numunelerin belirlenmesidir.



Şekil 5. V-hunisi deney düzeneği.

Şekil 6'da görüldüğü gibi L-kutusunun kapağı açıldığında beton donatıları geçerek ilerler. Akış tamamlandıktan sonra kutunun başındaki ve sonundaki yükseklikler ölçülür ve bunlara bağlı bir oran elde edilir. Bu oran (h_2/h_1), betonun geçiş yeteneğini belirleyen bir değerdir.

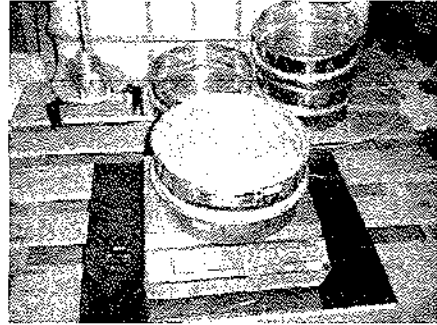


Şekil 6. L Kutusu deney düzeneği.

3.1.3. Ayrışma direnci deneyi

KYB'nin ayrışma (segregasyon) direnci, taze betonun yerleşmesi ve sertleşmiş betonun yüzey düzgünlüğü açısından çok önemlidir. Normal betonda en fazla 1.5 m yüksekten döküm yapılırken, KYB de bu mesafe artmaktadır. Ayrışma direnci, doldurma ve geçiş kabiliyeti üzerinde direkt etkilidir.

Taze beton elde edildikten sonra 10 ± 0.5 kg taze beton, 15 ± 0.5 dk bir kovada bekletilir. Bu arada elek ve eleğin altına konulacak kovanın ağırlıkları belirlenir. Daha sonra 4.8 ± 0.2 kg beton eleğin üzerine dökülür. Betonun elekten geçmesi için 120 ± 5 s beklenir. Eleğin altına geçen betonun, toplam betona oranı ayrışma miktarını vermektedir. Deney düzeneği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ayrışma direnci deney düzeneği.

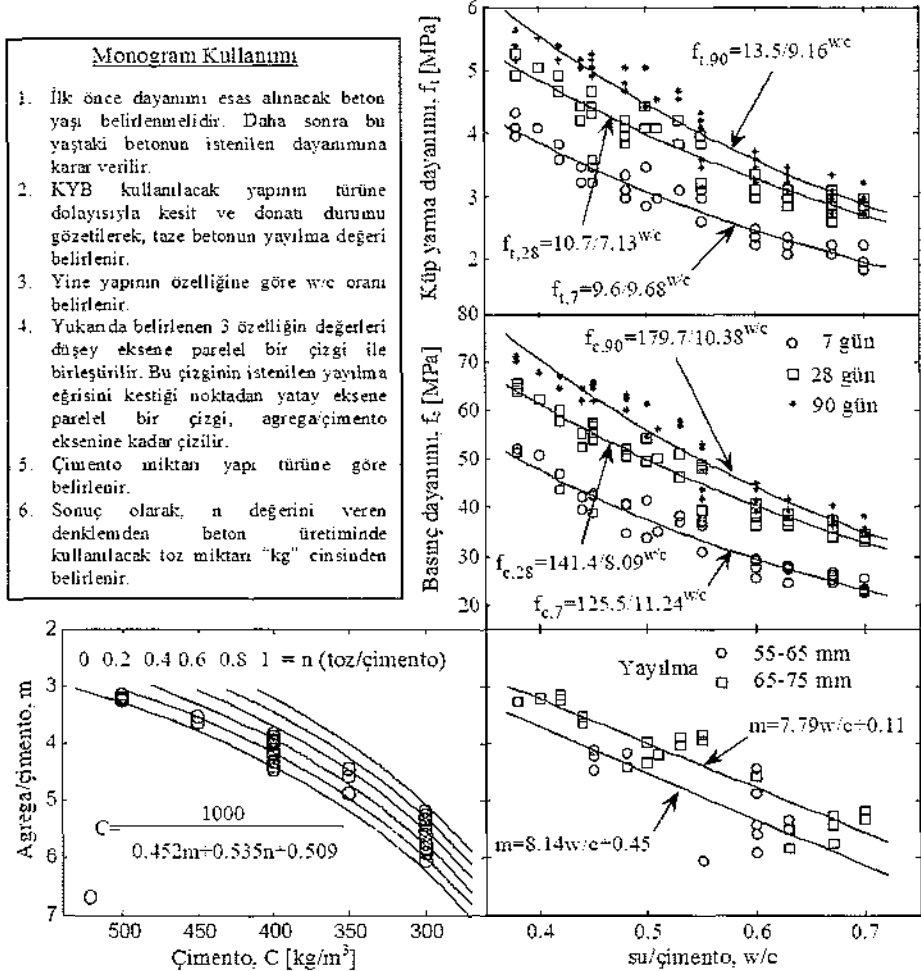
3.2 KYB Tasarım Yöntemleri

Üretilcek tüm KYB'ler için tek bir karışım yöntemi vermek mümkün değildir. Çünkü kendiliğinden yerleşen taze beton karakteristikleri, malzeme özelliklerine oldukça bağlıdır. Bu nedenle, özellikle toz madde çeşidi ve miktarına göre tasarım yöntemleri oluşturulmuştur. Aynı tür toz malzeme kullanılan KYB'de bile karışım oranları farklı olabilmektedir. Uçucu kül kullanılarak oluşturulan KYB'ler için normal uçucu kül kullanılmışsa Sonebi (2004) tasarım esası, ultra ince uçucu

kül kullanılmışsa Xie (2002) tasarım esası kullanılabilir. Bunun yanında, genetik programlama gibi yapay zekâ yöntemleriyle de karışım oranları belirlenebilmektedir (Özbay, 2007).

Mermer tozu kullanarak, kendiliğinden yerleşen beton üreterek, tasarım esasları sunan ilk çalışma Alyamaç ve İnce (2009) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, 68 farklı KYB numunesi üretilmiştir. Numuneler, aynı laboratuvar ortamında üretilmiş ve aynı malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca çalışma içerisinde 3 farklı mermer

tozu kullanılmıştır. Araştırmacılar, mermer tozu çeşidinin kendiliğinden yerleşen taze ve sertleşmiş beton üzerine etkisini incelemişler ve önemli sapmalar olmadığını belirlemişlerdir. Tüm deney sonuçlarının analizleri sonucunda mermer tozu kullanılmış KYB'lerin karışım oranları için yaklaşık bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem tek bir monogram ile ifade edilmiştir. İstenilen özellikteki bir KYB tasarımı grafik üzerinden kolayca yapılmaktadır. Bu grafik Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. KYB tasarımı için monogram. (Alyamaç ve İnce, 2009)

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Alyamaç ve İnce (2009) tarafından yapılan çalışmalarda farklı mermer tozları aynı yöreye aittir. Bu çalışmada, Elazığ vişne mermer çamuru referans almarak, Diyarbakır Yöresine ait bej ve Afyon Yöresine ait beyaz mermer çamuru kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton numuneler üretilmiştir. Deneysel sonuçları, monogram tasarımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Malzemeler

Bu çalışmada, Elazığ Altınova Çimento Sanayi A.Ş. tesislerinde üretilmiş, CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır (TS EN 197-1).

En büyük agrega çapı (d_{max}) 16 mm, ortalama özgül ağırlığı 2.65 olan Elazığ Palu Yöresine ait nehir agregası kullanılmıştır. Agrega granülometrisi B eğrisi değerleri ile yaklaşık aynıdır (TS 802). KYB üretmek için Sikament ViscoCrete-3075 katkısı, çimento ağırlığının %2'si oranında karışım suyuna ilave edilerek, betona katılmıştır.

Elazığ vişne (EV), Diyarbakır bej (DB) ve Afyon beyaz (AB) mermer çamurları etüvde 105 °C'da kurutulmuş, daha sonra mala ile ezilerek toz haline getirilmişlerdir. Mermer tozlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Genellikle mermerler $CaCO_3$ esaslı malzemelerdir. Elazığ vişne mermer, yapısında önemli bir miktar SiO_2 bulunduran özel bir türdür. SiO_2 miktarı az olduğu için beton dayanımı üzerinde fazla etkili değildir.

Kurutulan mermer çamuru, sadece toz haline getirilmiş, ek öğütme işlemi yapılmamıştır.

4.2 Beton Karışım Oranları

Beton karışım oranları, mutlak hacim yöntemi kullanılarak, EFNARC 2005 de verilen temel karışım esasları dikkate

Çizelge 1. Mermer tozlarının özellikleri.

Özellik	EV	DB	AB
Özgül ağırlık (g/cm^3)	2.71	2.68	2.69
Özgül yüzey (cm^2/g)	3924	4489	4726
SiO_2 (%)	28.35	1.79	0.84
Fe_2O_3 (%)	9.70	0.31	0.26
$CaCO_3$ (%)	60.48	95.37	97.21

alınarak belirlenmiştir. EFNARC karışım esaslarında, toz miktarı (çimento + mineral toz katkısı) 380–600 kg/m^3 , su miktarları 150–210 kg/m^3 , kum oranı %48–55 değerleri tavsiye edilmiştir.

Toz miktarının ortalama bir değer olması amacıyla, çimento miktarı (Ç) 350 kg/m^3 , mermer tozu miktarları (T) 150 kg/m^3 ve su miktarı (W) ise 180 lt/m^3 olarak seçilmiştir. Beton karışım oranları Çizelge 2'de görülmektedir.

KYB'nin özelliklerinin tespiti için gerekli olan deneyler yapıldıktan sonra her seriden 6 adet standart 15x15x15 cm küp numune alınmıştır. Elde edilen sertleşmiş beton numuneler 28 gün, 23±2 °C kür havuzunda bekletilmişlerdir. Sertleşmiş küp beton numunelerden KYB serilerinin basınç ve yarma dayanımları belirlenmiştir.

4.3 Deneysel Sonuçları

Numunelerin taze beton deney sonuçları Çizelge 3'te, sertleşmiş beton özellikleri olan basınç ve yarma dayanım sonuçları ise Çizelge 4'te verilmiştir (TS EN 1097-2 (2003) ve TS EN 12390-6 (2002)).

Çizelge 2. Karışım oranları.

Seri	Ç kg/m^3	T kg/m^3	W lt/m^3	SA* kg	Çakıl kg/m^3	Kum kg/m^3
EV	350	150	180	7	848	848
DB	350	150	180	7	847	847
AB	350	150	180	7	847	847

* SA: Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

Çizelge 3. Taze beton deney sonuçları.

Seriler	D* (cm)	T ₅₀ (s)	T _v (s)	h ₁ /h ₂ (%)	A** (%)
EV	64	3.0	3.9	0.94	5
DB	64	3.1	3.7	0.93	5
AB	63	2.9	3.6	0.95	4

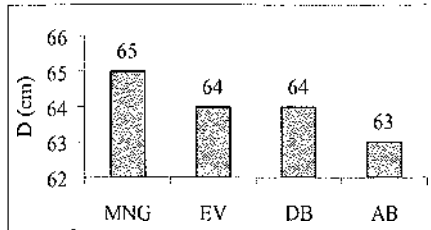
*D: Yayılma çapı.
**A: Ayrışma (segregasyon) değeri.

Çizelge 4. Dayanım sonuçları.

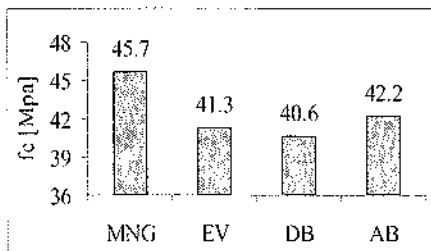
Seriler	Basınç dayanımı, f _c (MPa)	Yarma dayanımı, f _t (MPa)
EV	41.3	3.5
DB	40.6	3.5
AB	42.2	3.7

5 DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aynı karışım oranlarıyla ancak farklı yörelerin mermer tozlarıyla üretilen kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin yaklaşık

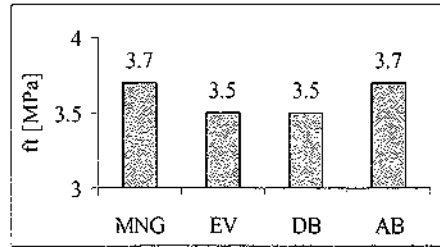


Şekil 9. Yayılma çapları karşılaştırması.



Şekil 10. Basınç dayanımları karşılaştırması.

(NOT: MNG kısaltması, monogram kullanıldığında elde edilecek değerleri göstermektedir.)



Şekil 11. Yarma dayanımları karşılaştırması.

olarak aynı olduğu görülmektedir. Bu durumda Alyamaç ve İnce (2009) tarafından hazırlanan KYB monogramının, yöreden bağımsız şekilde tüm mermer tozları için geçerli olduğu görülmektedir.

Denyede kullanılan karışım oranları dikkate alındığında, monogramdan elde edilen taze ve sertleşmiş beton sonuçları ile deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 9-10-11'de karşılaştırılmıştır.

Şekillerden görüldüğü gibi yayılma değerindeki en büyük fark % 3, basınç dayanımı değerindeki en büyük fark % 11, yarma dayanımındaki en büyük fark ise % 5 civarındadır. Kabul edilebilir sınırlar içerisindeki bu farklar, mermer tozu ile yapılacak KYB ön tasarımında mermer tozu çeşidi dikkate alınmayacağı sonucunu ortaya koymaktadır.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atık mermer çamuru kurutulup, mekanik yöntemlerle toz haline getirildikten sonra Alyamaç ve İnce (2009) tarafından kendiliğinden yerleşen beton üretimi için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde mermer tozu ile KYB üretimi için yaklaşık bir yöntem olarak, grafik bir yöntem olan monogram önerilmiştir.

Pratik monogram yönteminin farklı yörelere ait mermer tozlarıyla da KYB üretilebileceğinin gösterilmesi amacı ile Elazığ, Diyarbakır ve Afyon yörelerine ait mermerlerin tozları kullanılarak elde edilen KYB sonuçları, monogram

sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Mermer ve dolayısıyla mermer tozu kalker esaslı bir malzemedir. Bu nedenle, çıkarıldıkları bölgeye göre kimyasal özellikleri azda olsa değişiklik gösterse de genel itibari ile mermer tozlarının kimyasal özellikleri aynı kabul edilebilmektedir. Beton açısından mermer tozları arasındaki tek farklılık özgül ağırlıkları ve incelikleri (özgül yüzey) olmaktadır. Özgül ağırlıkları genellikle birbirinden önemli farklılıklar göstermemektedir. Ancak özgül yüzeyleri azda olsa farklı olabilmektedirler. Bu fark, mermer tozu betonda ağırlıkça büyük miktarda kullanılmadığından, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerini önemli ölçüde etkilememektedir.

Yapılan bütün bu çalışmalar, ön tasarım içindir. Ön tasarımın taşınması gereken en önemli özellikler; pratik olması, kısa zamanda istenilen sonuca götürmesi ve kesin tasarım sonuçlarına mümkün olduğu kadar yakın olmasıdır. Ön tasarımlardan, kesin tasarımlara çok yakın sonuçlar elde edilse de, KYB'lerin uygunluğu deneme karışımları yardımıyla ispat edilmelidir.

Mermer tozu, büyük ölçüde çevreye terk edilmektedir. Bu durum, çevre sağlığı ve görüntüsü açısından olumsuzluklar içermektedir. Bu atık malzeme, depolanamayacak kadar büyük miktardadır. Ancak Türkiye de betonun yıllık, milyonlarca metreküplük kullanımı düşünülürse, bu atık miktarı çevre sorunu olmaktan çıkmaktadır.

KYB üretiminde kullanılan uçucu kül, Türkiye de yaklaşık 10 termik santralden elde edilmektedir. Mermer tozu ise 30'dan fazla ilde elde edilmektedir. Bundan dolayı, termik santral olmayan ve mermer üretim bölgelerine yakın illerde, mermer tozu ile KYB üretmek, uçucu külle KYB üretmekten daha ekonomik olacaktır.

Atık mermer çamurunu konusunun bir çevre problemi olarak büyümesini engellemek için mermer tozu bir sektör haline getirilmelidir. Çamurun mevcut şekliyle kullanılması, hiçbir sektör için mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, büyük mermer işletmeleri tekil olarak, küçük ölçekli işletmeler ise birleşerek, mermer tozu, bir ürün kimliğine kavuşturulmalıdır. Bu sayede beton sektörü dolayısıyla inşaat sektörü ve farklı birçok disiplin mermer tozu için yeni kullanım alanları oluşturacaktır. Bu şekilde, şu anda önemli bir çevre sorunu olan ve gelecekle ilgili olumsuz birçok soru işareti taşıyan bu konu, ekonomik bir kazançla dönüştürülecektir.

Mermer tozu, tesisleşme işlemleri sırasında mümkünse renklerine göre ayrılmalı ve sınıflandırılmalıdır. Bütün bu işlemler yapılırken en önemli avantajlardan birisi de çamurun hiçbir kimyasal işleme gerek kalmadan mermer tozu haline getirilebilmesidir. Mermer çamuru, sadece kurutulularak ve ezilerek, toz haline getirilmektedir. Böylece ekonomik olma özelliği artmaktadır.

Sonuç olarak, mermer tozu, ekonomik bir şekilde elde edilebilen, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılmaya uygun bir malzemedir. Mermer işletmeleri tarafından hazırlanıp, paketlenerek ekonomiye kazandırılabilir.

KAYNAKLAR

Alyamaç, K.E. ve İnce, R. 2007-a. Atık mermer çamurunun kendiliğinden yerleşen betonda toz madde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *TÇMB (Türkiye Çimento Müstahsilileri Birliği) 3. Uluslar arası Çimento ve Betonda Sürdürülebilirlik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, s. 821-832, İstanbul.

Alyamaç, K. E., ve İnce, R., 2007-b.

- Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plak Üretiminde Atık Mermer Çamurunun Kullanılabilirliği, 7. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İMO İstanbul Şubesi, s.437-446.
- Alyamaç, K. E., 2008. *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekanizması Prensipleriyle İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alyamaç, K. E., and İnce, R., 2009. A preliminary concrete mix design for sec with marble powders, *Construction And Building Materials*, 23,3, pp.1201-1210.
- Brouwers. H. J. H., and Radix. H. J., 2005. Self-compacting Concrete: Theoretical and Experimental Study, *Cement and Concrete Research*, 35, pp. 2116-2136.
- Burdur Valiliği, 2006. *Mahalli Çevre Kurulu Kararı*, Karar Tarihi: 17.07.2006, Karar No: 2006/24, (19 Sayfa) Burdur, www.burdur-cevreorman.gov.tr.
- EFNARC 2005. The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification, Production and Use, *The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*.
- Khatib, J. M., 2007. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash, *Construction and Building Materials*, 22,9, pp.1963-1971.
- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı A.H., 2006. *Mermer*. 4. baskı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye.
- Özbay, E., Gesoğlu, M., and Güneyisi, E., 2007. Empirical Modeling of Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concretes by Genetic Programming, *Construction and Building Materials*, 22, 8, pp.1847-1854.
- Sonebi, M., 2004. Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans, *Cement and Concrete Research*, 34, pp.1199-1208.
- Topçu, İ. B., 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 23, 5, pp.1947-1953.
- Türk Standartları Enstitüsü, "TS 802, *Beton Karışımı Hesap Esasları*", Ankara, 1985.
- Türk Standartları Enstitüsü, "TS EN 197-1 *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*", Ankara, 2002.
- Türk Standartları Enstitüsü, "TS EN 12390-6 *Beton-Setleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6; Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini*", Ankara, 2002.
- Türk Standartları Enstitüsü, "TS EN 1097-2 *Beton-Setleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3; Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*", Ankara, 2003.
- Türkiye Doğal Taş Grubu Resmi İnternet Sitesi, www.turkishstones.org
- Xie, Y., Liu, B., Yin, J., and Zhou, S., 2002. Optimum Mix Parameters of High-Strength Self-Compacting Concrete With Ultrapulverized Fly Ash, *Cement and Concrete Research*, 32, pp.477-480.
- Yazıcıoğlu, S., Çalışkan, S., ve Türk. Kazım., 2006. Effect of Curing Conditions on The Engineering Properties of Self-Compacting Concrete, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 13, pp. 25-29.

Afyonkarahisar Andezitlerin Isıl Modifikasyonu ve Mühendislik Özelliklerine Olan Etkisi

Heat Treatment of Afyonkarahisar Andesites and Effects on the Engineering Properties

M.S.Başpınar

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyonkarahisar

S.Gürçan

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Bu çalışmanın temel amacı Anadolu'da geniş yayılım gösteren andezit taşının ısıtım işlem sonrası mühendislik özelliklerini tespit etmektir. Öncelikle andezit numunelerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda (800, 900, 1000, 1100 ve 1160 °C) ısıtım işlemine tabi tutulan andezit numunelerinin işlem sıcaklığına bağlı mühendislik özelliklerindeki değişimler tespit edilmiştir. Renk değişimleri, mukavemetleri, aşınma dayanımları, mineralojik yapı değişimleri, dinamik elastik modülü, yoğunluk ve su emme değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Mineralojik değişimleri tespit etmek için XRD tekniği, içyapı değişiklikleri için SEM tekniği kullanılmıştır. Yapılan ısıtım işlemler sonucunda andezitin açık gri renginin pembeye ve daha sonra koyu kırmızı-kahverengine döndüğü, işlemin yoğun bir sinterlenme etkisi yarattığı ve yoğunlaşmanın olduğu görülmüştür. Gerçekleşen vitrifikasyon ile birlikte gözeneklerin kapandığı ve buna bağlı olarak mukavemet ve su emme gibi davranışlarda iyileşme olduğu görülmüştür. İşlem sonundaki değişimlerin andezitin iç mekân yer kaplaması olarak kullanılmasında faydalı olduğu sonucuna varılmıştır. Zira farklı ısıtım işlem sıcaklıkları ile andeziti renklendirmenin mümkün olduğu gözlemlenmiştir.

ABSTRACT The main objective of this study is to investigate the effect of heat treatment on the engineering properties of andesite rock which is widely found in Anatolia. Firstly andesite is characterized. Heat treatment procedure was applied on the andesite samples (at 800, 900, 1000, 1100 and 1160 °C), then some engineering properties were measured. Colour change, strength, wear rate, change in mineralogy, dynamic elastic modulus, density and water absorption were measured. XRD technique was used for the determination of the mineralogical changes and SEM was used for microstructural changes. As a result of the experiments it was observed that; heat treatment creates an important sintering and densification effect and colour of

the samples were changed from original light gray to reddish-brown. Depending on the densification effect, closing of the pores and reduction in water absorption were observed. As a result of the experiments, it was decided that heat treated andesites can be used indoor application. It is possible to give different colour to gray based andesite via heat treatment root.

1 GİRİŞ

Andezit ince taneli, gri ile siyah arasında renge sahip olabilen, orta düzeyde (%53 ila %63) silika içeren volkanik kökenli bir kayadır. Andezit başlıca plajiyoklaz feldspat ve bir veya birden fazla piroksen minerallerinin (klinopiroksen ve ortopiroksen) kristallerinden ve daha az miktarda hornblendden oluşur (Williams et al. 1982). Andezitler geleneksel doğal taş kesim teknolojileri ile istenilen ebat ve şekilde kesilebilirler. Bu nedenle andezitler yapı sektöründeki birçok alanda yer ve duvar kaplaması olarak kolayca kullanım alanı bulurlar. Birçok farklı nedenle renkli andezitlere olan talep atmaktadır. Andezitler birçok tarihi binada kullanılmıştır. Tarihi yapıların yenilenmesinde farklı renklere sahip andezitleri bulmak oldukça zordur. İkinci olarak, mimarlar gerek yer gerekse duvar kaplaması olarak farklı renklere sahip andezitleri talep etmektedir, fakat farklı renkli andezitlerin sağlanabilirliği ve renk farklılıkları önemli bir sorundur.

Andezitin feldspatik yapısı göz önüne alındığında, yüksek sıcaklığa ısıtılması sonucunda özelliklerini değiştireceği beklenebilir. Alkali feldspatların yüksek sıcaklıkta kolayca vitrifiye olduğu bilinen bir gerçektir (Bernardo et al. 2006).

Bu çalışmanın temel amacı ısınmanın andezit kayacının özellikleri üzerindeki etkilerini gözlemlemektir. Fiziksel ve mekaniksel özelliklerdeki değişim, aşınma hızı, mikro yapı ve mineralojik bileşimdeki değişimler incelenmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Andezit numuneleri Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren bir doğal taş işletmesinden temin edilmiştir. Temin edildiği durumdaki andezitlerin yüzey görüntüleri gri renkli, ince taneli ve makro gözenek bulundurmayacak şekildedir. Andezitin XRF tekniği ile yapılan kimyasal analizi Çizelge 1.'de verilmiştir.

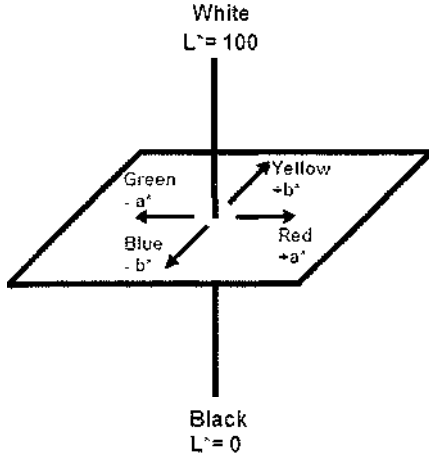
Çizelge 1. Andezitin kimyasal bileşimi.

	Ağırlıkça %
SiO ₂	61,01
Al ₂ O ₃	17,08
Na ₂ O	4,81
K ₂ O	5,86
CaO	4,28
Fe ₂ O ₃	3,92
MgO	0,86
TiO ₂	0,73
K.K.*	1,05

K.K.: Kızdırma kaybı

Andezitler içerdikleri SiO₂ miktarına (%53 ve %63 arasında) ve K₂O miktarına göre kolaylıkla sınıflandırılırlar. Toplam alkali silika diyagramı ile de (TAS) andezitleri kolaylıkla ayırt etmek mümkündür (Le Bas et al. 1986). Deneylerde kullanılan andezit numuneleri toplam % 10,67 alkali oksit (Na₂O+K₂O) ve % 61,01 SiO₂ içermektedir. Şekil 1'de toplam alkali silika diyagramında traki bazalttan traki andezite kadar olan kimyasal bileşimler

Aydınlık (L^*), kromatik renk değerleri (a^* , b^*) değerleri UV-spektrofotometre ile ölçülmüştür. CIELAB'a göre temel alınan kartezyen renk skalası Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kartezyen renk yelpazesi (CIELAB 1978)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Andezitin test sıcaklıklarında ısıl işleme tabi tutulmasıyla, andezitin hem fiziksel hem de mekaniksel özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişiklikler Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Isıl işleme bağlı olarak artan sıcaklıkla hem basınç hem de 3 nokta eğme mukavemetlerinde önemli artışlar ölçülmüştür (Çizelge 2). Andezitin ısıtılması ile elde edilen bu mukavemet artışının 2 önemli nedeni olabilir.

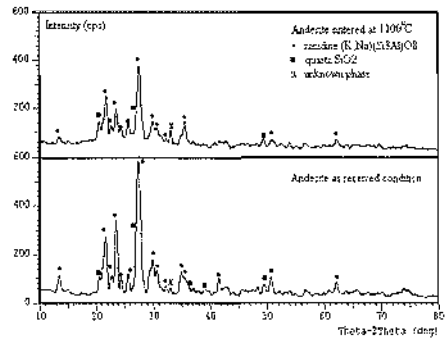
Birincisi, ısıl işlem sonucunda andezit içindeki mineralojik değişimler ikincisi ise sıcaklığın etkisiyle andezit bünyesinde meydana gelebilecek sinterlenme (yoğunlaşma) etkisidir. Andezitin ısıl işlem sonrasındaki mineralojik değişimleri Şekil 3'te verilmiştir.

En yüksek olan 1100 °C'de

Çizelge 2. Andezitin ısıl işlem sonrası bazı mühendislik değerlerindeki değişimler.

°C	Basınç Dayanımı MPa	% gözenek	Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Su Emme (%)
işlemsiz	71,92	29,11	2,01	14,47
800	75,45	10,55	2,18	4,83
1000	104,33	9,88	2,20	4,49
1100	162,60	8,44	2,21	3,82
1160	171,50	2,72	2,29	1,19

°C	Aşınma hızı (cm ³ /50 cm ²)	% Doğrusal küçülme	Dinamik Elastik Modülü GPa	3 Nokta eğme MPa
işlemsiz	5,45	--	30,92	15,32
800	4,50	0,02	34,76	16,59
1000	4,25	0,15	41,22	23,99
1100	2,40	1,01	49,05	40,65
1160	2,10	4,22	57,21	54,88



Şekil 3. 1100 °C'de sinterlenmiş ve işlemsiz andezitin XRD analizleri.

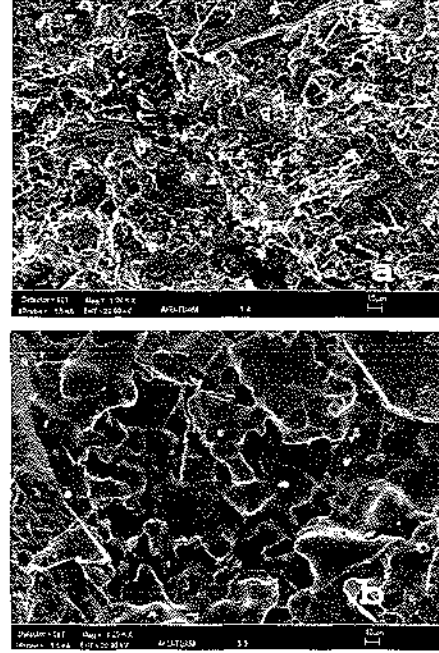
işlem görmüş ve orijinal durumdaki andezit numunelerinin XRD analizleri karşılaştırıldığında mineralojik olarak faz yapısında çok fazla değişiklik meydana gelmediği tespit edilmiştir (Şekil 3). Ancak XRD analizlerindeki $2\theta=20^\circ$ ile 30° arası incelendiğinde görünen "hump", fazların kristallik derecesinde azalma olduğu amorf faz miktarında

artma olduğunu işaret etmektedir. Bu feldispatik yapıdaki andezitin bölgesel ergimeler gösterdiğinin bir işaretidir. Dolayısı ile ısıtma işlemi ile meydana gelen mukavemet artışının yeni gelişen fazlardan çok andezit bünyesinde ısıtma işlemi etkisi ile meydana gelen vitrifikasyonun bir etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

Vitrifikasyon etkisi ile meydana gelen yoğunlaşma etkisi hacim ağırlığı, gözeneklilik ve su emme değerlerindeki değişimlerden de açıkça görülmektedir. Yoğunlaşma etkisi ile gözeneklilik değerlerinde azalma ve su emme değerlerinde önemli azalmalar ölçülmüştür.

Isıtma işlemi ile meydana gelen vitrifikasyon etkisi yapılan SEM incelemesinde de açıkça görülmektedir. Şekil 4'de andezitin kırık yüzeyinden yapılan inceleme sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4-a'da ısıtılmamış andezitin kırık yüzeyi görülmektedir. Kristallerin sınırları boyunca kırılma yüzeyleri açıkça görülmektedir. Herhangi bir camı faz oluşumu orijinal andezit iç yapısında görülmemektedir. Şekil 4-b'de andezitin 1160 °C sonrası iç yapı görüntüsü verilmiştir. Tane sınırları arasında kırılma sonucunda tanelerin yüzeyleri kesin olarak tanımlanamamaktadır. Yüksek oranda vitrifikasyon etkisi şekilden de açıkça görülmektedir. İç yapıdaki bu değişimlerde ısıtma işlemi sonrasında birçok özellikteki iyileşmenin nedenini açıklamaktadır. Isıtma işlemi sıcaklığının yükselmesi ile doğrusal küçülme değerlerindeki artış vitrifikasyona bağlı yoğunlaşmanın açık bir sonucu olarak görülmektedir. Yoğunlaşma ve gözeneklerin azalmasına bağlı olarak aşınma hızı değerlerimde de azalma tespit edilmiştir.

Isıtma işlemi sonrasında andezitin renginde meydana gelen değişiklikler



Şekil 4. Andezitin işlem öncesi (a) ve sonrası (b) kırık yüzey SEM görüntüleri.

Çizelge 3'de özetlenmiştir. İşlem sıcaklığı arttıkça aydınlık değerlerinde (L^*) azalma görülmüştür. İşlemsiz olarak gri gibi aydınlık bir yüzey görünümü işlem sonrası sıcaklığa bağlı olarak kademeli olarak koyulaşmaya başlamıştır. Andezit içerisinde bulunan Fe_2O_3 ve TiO_2 gibi renk verici oksitlerin sıcaklığın etkisiyle andezitin işlem sonrasında renklenmesine yol açmaktadır. İşlem sıcaklığının artmasıyla a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) değerlerinde de artış meydana

Çizelge 3. Isıtma işlemi sonrasında andezit yüzeylerinin renk ölçümü sonuçları.

°C	L^*	a^*	b^*
İşlemsiz	57,21	1,78	3,24
800	51,02	7,01	15,09
1000	50,49	7,08	14,98
1100	44,72	8,68	13,93
1160	35,06	3,29	3,08

gelmiştir. Görsel incelemelerde andezitin yüzeyinin maksimum sıcaklıktaki ısı işlem sonucunda koyu kahverengi renge değiştiği görülmüştür. Görsel olarak en önemli renk değişim sıcaklık eşiği 1100 °C olarak gözlenmiştir.

SONUÇLAR

Andezit numunelerine ısı işlem uygulanarak mühendislik değerlerinde iyileşmeler gerçekleştiği belirlenmiştir. Artan işlem sıcaklığı ile tüm özellikleri iyileştiği gözlenmiştir. Andezitin mineralojik yapısına bağlı olarak gerçekleşen vitrifikasyonun özelliklerin değişiminde temel rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Andezite uygulanacak ısı işlem çevrimleri ile renk değişimlerinin gerçekleştiği ve kullanıcı seçimi için farklı renk seçimleri yaratılabileceği görülmüştür.

Andezitin işlem sonrası yoğunlaşmasına bağlı olarak daha farklı alanlarda da kullanımının mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Williams H, Turner F.J., Gilbert C.M., 1982 Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections, W.H. Freeman and Company New York 137 s.
- Bernardo E, Castellan R., Hreglich S., Lancellotti I. (2006). Sintered sanidine glass-ceramics from industrial wastes, *Journal of the European Ceramic Society*, 26, s. 3335–3341
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., 1986 A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram, *J. Petrol.* 27, s745–750
- CIELAB, Commission Internationale d'Eclairage. Recommendations on uniform colour spaces, colour difference equations, psychometric colour terms. *Colourimetry, Suppl. 2 to Pub. 15. CIE. Paris: 1978.*

Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Doğrudan ve Dolaylı Olarak Belirlenmesi: Doğu Pontidler Bej Kireçtaşları Üzerine Örnek Bir Çalışma

Determination of Physical and Mechanic Properties of Rocks with Direct and Indirect methods: A case study on the beige limestones in the Eastern Pontides

A.E. Babacan, H. Ersoy, K. Gelişli

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmanın amacı bej kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin direkt ve dolaylı olarak belirlenmesi ve bu ölçüm uygulamalarının birbiriyle karşılaştırılmasıdır. Kayaçlar farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve herhangi bir etki karşısında farklı tepkiler vermektedirler. Laboratuarda yapılan deneyler kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında doğrudan bilgi verir. Kaya malzemesine ait fiziksel ve mekanik özellikler mühendislik problemlerinin çözümünde uygulanan sayısal modellerde girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Doğu Pontidlere ait 15 adet bej renkli kireçtaşı örneği kullanılmıştır. Kireçtaşlarının ultrasonik hızları laboratuarda ölçülmüştür. Elde edilen hızlardan, kireçtaşlarının dinamik-elastik özellikleri direk olarak eşitliklerden hesaplanabilir. Laboratuvar deneylerinden elde edilen elastisite modülü ile ultrasonik hızlar kullanılarak bulunan elastisite modüle korele edilerek aralarında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca, numunelerin porozitesi, su içeriği ve tek eksenli basınç değerleri belirlenmiştir. Bej kireçtaşlarından elde edilen ultrasonik sinyallerin analizi ile kayaçlar içerisindeki süreksizlikler ve mikro çatlakların varlığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT: Aim of this study is to define mechanical properties of some rocks with direct and indirect methods and to compare the results of these measurements. Rocks have different physical properties and react differently against any force. Experimental studies carried out in laboratories show the physical and mechanical properties of rock directly. Physical and mechanical properties of rock material are used as input parameter for numerical models applied to solve engineering problems.

In this study, fifteen beige limestone samples in Eastern Pontides have been used. Ultrasonic velocities of the limestones were measured in the laboratory. Dynamic-elastic

characteristics were calculated from obtained velocities by using empirical relation. Elasticity modulus obtained from laboratory tests and elasticity modulus calculated from ultrasonic velocities were correlated with each other and it was determined that whether there is a significant relation between them or not. Furthermore, porosity, water saturation and uniaxial compressive strength of samples were defined. These structural characteristics and ultrasonic velocities were compared. By analyzing signals obtained from ultrasonic measurements, discontinuities and microcracks inside the limestones were determined.

1 GİRİŞ

Baraj, tüncl, yol gibi büyük mühendislik yapılarının inşa edileceği bölgelerdeki kayaçların yapısal ve dokusal özelliklerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu alanlarda yapılacak olan jeofizik, jeolojik ve jeoteknik çalışmalar, ortaya çıkabilecek ciddi problemlerin önceden önlenmesini sağlayacaktır. Bu durum hem ekonomik hem de önemli bir zaman tasarrufunun yapılmasını sağlayacaktır. Bilindiği gibi kayaçlar farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve herhangi bir etki karşısında farklı tepki vermektedirler (Altıntaş, 1996). Zararsız, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilen ölçüm tekniklerinden biri olan ultrasonik yöntemler, araziden toplanan kaya numunelerinin ultrasonik hızlarının laboratuvar ortamında belirlenmesinde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Akustığın bir kolu olan ultrasonik insan kulağının işitmeyeceği kadar yüksek frekanslı (>20Khz) ses dalgalarına verilen addır. Ultrasonik P (boyuna) ve S (enine) dalga hızları, ölçümü yapılan numunenin yoğunluğuna ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Ultrasonik hızlar homojen ve heterojen malzemelerde doğal olarak farklılık gösterir. Kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin tespiti için, ultrasonik dalga hızları birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Kahraman, 2001; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Başarı ve Kumral, 2004; Singh ve Sharma, 2007).

Son yıllarda ultrasonik ölçümlerin sinyal analizi ilgilenilen fiziksel bilginin belirlenmesinde çok önemli bir yöntem olmaya başlamıştır (Malinaric ve Kostial, 1998). Zaman-frekans analizi ultrasonik sinyalin analizi için kullanılan veri-işlem yöntemlerinden birisidir. Ultrasonik puls yöntemiyle elde edilen sinyaller, zaman-frekans analizi ile değerlendirilmektedir. Her bir numune için elde edilecek olan sinyallerin Fourier spektrumları alınarak zaman ortamındaki veriler frekans ortamına aktarılır ve zaman ortamında göremediğimiz bazı özellikler belirlenebilir. Materyaller içerisindeki süreksizliklerden yansıyan sinyaller, süreksizliğin boyutu ve yeri hakkında bilgi sağlamaktadır (Saka vd., 1989).

Bu çalışmada, önce Doğu Pontidlerde yer alan Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait tortul kökenli toplam 15 adet bej renkli kireçtaşı toplanmıştır. Daha sonra laboratuvarda kayaçların boyuna ve enine dalga hızları ölçülmüştür. Elde edilen hızlardan dinamik-elastik parametreler amprik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, jeoteknik çalışmalarla porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı hesaplanmış, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Bu veriler birbirleriyle ilişkilendirilerek bazı yaklaşımlar elde edilmiştir.

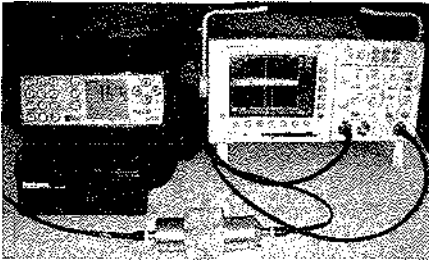
2 TEORİ VE YÖNTEM

2.1 Ultrasonik Hız Ölçümü

Ultrasonik hız ölçümlerinde Pundit Plus marka ultrasonik hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pundit Plus ile kaya numunelerinde duyarlı ölçümler yapılabilmektedir. Boyuna dalga hızlarını belirlemek için 54kHz'lik piezoelektriksel özellikte alıcı-verici problar kullanılırken, enine dalga hızlarını belirlemek için ise 1 Mhz'lik alıcı-verici kullanılmıştır. Verici probtan üretilen elektriksel sinyal mekanik titreşime dönüştürülerek kaya numunesine gönderilir, numune içinden geçen sinyal karşı taraftaki alıcı tarafından kaydedilir. Hız ölçümü yapılırken, alıcı ve verici başlıklar ile numune arasına bir jel sürülmesi ve numune ile alıcı-verici başlıklara belli bir kuvvet uygulanarak başlıkların numuneye iyi temas ettirilmesi çok önemlidir. Sinyalin kaya numunesi içindeki yayılım süresinden hız belirlenir.

$$\text{Puls Hızı} = \frac{\text{Numuncenin Boyu}}{\text{Geçiş Zamanı}} \quad (1)$$

Kayaçların hızları direk, yarı direk ve indirek yöntemler olmak üzere 3 farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ultrasonik ölçüm tekniklerinden biri olan puls iletim (direk ölçüm) tekniği kullanılmıştır. Puls iletim tekniği direk iletim ölçümüdür (Garbaez ve Garboczi, 2003). Bu uygulamada materyallerin puls hızı; alınan kayaç numunesinin paralel yüzeyleri üzerine alıcı ve vericileri yerleştirilerek geçiş zamanı ölçülerek belirlenir (Şekil 1):



Şekil 1. Kayaç örneklerinin ultrasonik ölçüm ekipmanı ve puls iletim tekniği

Ultrasonik sinyalleri elde etmek için duyarlı bir osiloskop, ölçüm cihazına bağlanır ve elde edilen sinyaller sayısal olarak kaydedilir (Şekil 1). Daha sonra kaydedilen sinyallerin spektral analizi yapılır. Ultrasonik test kullanılarak elde edilen sinyallerin, analizleri ile ölçüm yapılan materyaller içerisindeki süreksizlikler ve yerleri oldukça hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

2.2 Zaman-Frekans Analizi

Materyaller içerisindeki süreksizlikler, mikro çatlaklar, boşluklar gibi heterojen yapılar ultrasonik sinyallerin analizi ile belirlenebilmektedir. Sinyalin Fourier dönüşümünü almak suretiyle zaman ortamındaki veri frekans ortamına aktarılır. Fakat verinin sadece frekans ortamındaki içeriğini incelemek yetmeyebilir. Verinin hem frekans hem de zamanla değişimine bakmak gereklidir. Bunun için zaman frekans analiz yöntemleri uygulanarak verinin frekans içeriğinin zamanla değişimi incelenmektedir. Değişik zaman-frekans analiz yöntemleri vardır. Bunların en yaygın olanlarından bir tanesi kısa zamanlı Fourier dönüşümüdür (KFZD).

Sismogram gibi durağan olmayan sinyaller için, frekans içeriği zamanla değişim göstermektedir. Sinyalin genlik spektrumu farklı frekansların varlığını ortaya çıkarsa da, bu frekansların zaman içerisindeki değişimlerini göstermez. Sinyalin kısa bir zaman penceresi boyunca sabit olduğunu kabul edersek, Fourier dönüşümü belli bir zaman süresi içinde sinyalin frekans içeriği ile ilgili bilgi verir. Bu zaman penceresi uygun olarak seçilirse, sinyalin frekans içeriği ortaya çıkartılır. Bu iki boyutlu gösterim kısa zaman Fourier dönüşümü (KZFD) olarak adlandırılır.

Matematiksel olarak ifade edersek; w , frekansı, T ise anlık zamanı göstermek

üzere KZFD aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$KZFD_{(r,w)} = \int f(t)g(t-T)e^{-t} \quad (2)$$

Burada, $f(t)$ zaman ortamında sinyal, $g(t)$ pencere fonksiyonu, e^{-t} ise Fourier dönüşüm operatörüdür.

$f(t)$ sinyali, pencere fonksiyonu $g(t)$ ile çarpılarak belirli aralıklarda parçalara bölünür. Daha sonra, bu pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümü hesaplanır. Bu işlem $g(t-T)$ fonksiyonu kullanılarak zaman içinde seçilen pencerelere tekrar uygulanır. Frekans-zaman düzlemi içindeki her bir düşey dikdörtgen, pencerelenmiş sinyalin Fourier dönüşümüdür.

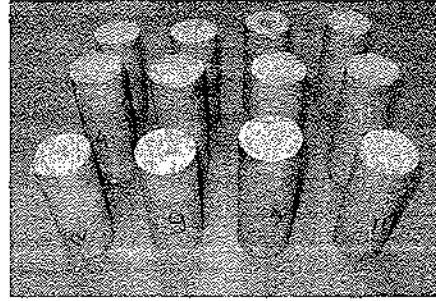
KZFD yönteminde pencere fonksiyonunun seçimi oldukça önemlidir. Eğer bu fonksiyon uzun bir zaman aralığına sahipse, frekans ortamında bant genişliği dar bir band geçişli filtre gibi olur. Bu durum frekans ekseninin iyi örneklendiğini gösterir. Ancak, uzun zaman aralığı, zaman ortamındaki küçük değişimlerde belirsizliklere de neden olabilir (Chakraborty ve Okaya, 1995).

2.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak örnek sayısı pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, ISRM (1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (3)$$

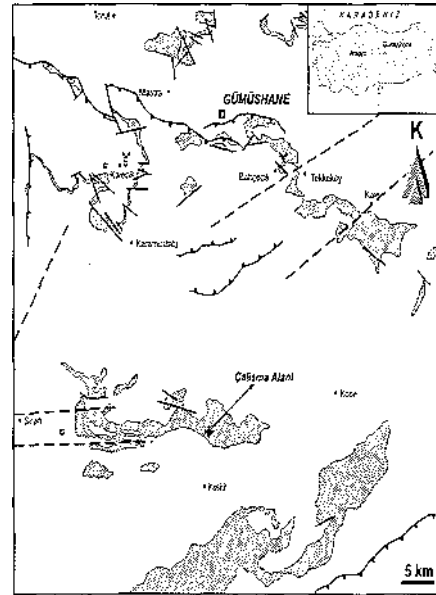
Burada, F: yenilme anında kaydedilen yük, A: silindirik örneğin en kesit alanıdır.



Şekil 2. Bej kireçtaşı örnekleri

3 ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Okay ve Şahintürk, 1997). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayaçlarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul



AÇIKLAMALAR

Şekil 3. Çalışma alanının genel jeoloji haritası

birimler ile karakteristiktir. Çalışma konusunu oluşturan bej kireçtaşları (Şekil 2). Doğu Pontidler'in güncü zonunda yer alan ve platform karbonatları olarak da bilinen Alt Kretase-Malm yaşlı Berdiga Formasyonu'na aittir. Kireçtaşları, çökeltme ortamlarında (deniz, göl) doygun eriyiklerin çeşitli kimyasal olayların etkisi sonucu çökerek katılaşması ile oluşan ve bileşiminde % 90 dan fazla CaCO₃ bulunan kayalardır.

Şekil 3'de bej kireçtaşlarının alındığı bölgenin genel jeoloji haritası verilmektedir. Bej kireçtaşları ekonomik olarak kaplama ve döşeme olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Yapılan ölçülerden hesaplanan Poisson oranı, V_p ve V_s hızı değerleri

Örnek	V _p (m/sn)	V _s (m/sn)	Poisson Oranı
1	6300	4170	0.11
2	6200	4025	0.14
3	6150	4110	0.1
4	6100	4000	0.12
5	6150	4115	0.1
6	6120	4160	0.07
7	5900	3850	0.13
8	6010	3920	0.13
9	6320	4220	0.1
10	6200	4000	0.14
11	5750	3800	0.11
12	6150	4075	0.10
13	6290	4250	0.08
14	6300	4200	0.1
15	5800	3950	0.07
Ort.	6145	4040	0.11

Çizelge 2. V_p ve V_s hızlarından hesaplanmış Dinamik-Elastik parametreler.

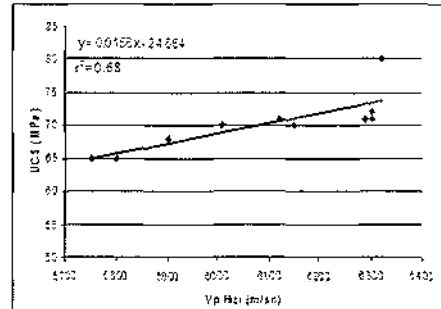
Örnek	G (GPa)	E (GPa)	K (GPa)
1	45	100	43
2	42	95	44
3	44	97	40
4	42	93	41
5	44	96	40
6	45	97	37
7	39	87	39
8	40	91	41
9	46	101	42
10	42	95	44
11	38	83	36
12	43	96	41
13	47	101	40
14	46	100	42
15	41	86	33
Ort.	43	94	40

Çizelge 3. Laboratuarda ölçülen elastisite modülü, tek eksenli basınç dayanımı, porozite ve su içeriği değerleri

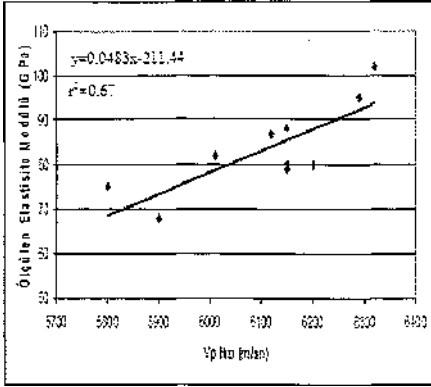
Örnek	Ölçülen Elastisite (GPa)	Tek Eksenli (MPa)	% Por.(n)	% Su İçeriği
1	81	72	0.77	0.059
2	80	74	0.77	0.039
3	88	70	0.52	0.045
4	104	86	0.88	0.045
5	80	64	1.08	0.048
6	87	71	0.96	0.030
7	85	68	1.01	0.040
8	78	70	1.14	0.056
9	102	80	1.09	0.021
10	74	61	1.15	0.045
11	80	65	1.15	0.034
12	79	68	0.80	0.049
13	95	71	1.07	0.036
14	78	71	1.02	0.045
15	75	65	1.27	0.061
Ort.	85	70.4	0.98	0.043

4 LABORATUAR ÇALIŞMALARI

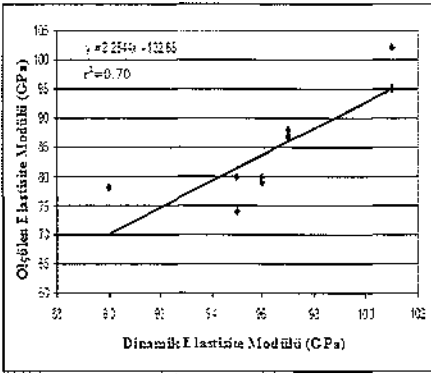
Doğu Karadeniz Bölgesinde Gümüşhane ili Kelkit ilçesinden toplanan 15 adet bej kireçtaşı örneğinin Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik ve Jeoloji mühendisliği bölümleri laboratuvarlarında ultrasonik hızları (V_p boyuna ve V_s enine), poroziteleri, su içeriği ve tek eksenli basınç dayanımları ölçülüp, gerilme-deformasyon ilişkilerinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, akustik hızlar kullanılarak geliştirilmiş olan amprik bağıntılar yardımıyla, kayma modülü, elastisite modülü, bulk modülü ve poisson oranı değerleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 1, 2 ve 3'de verilmiştir.



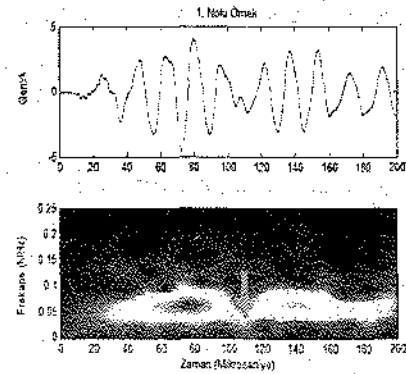
Şekil 4. V_p hızı ile tek eksenli basınç dayanımı



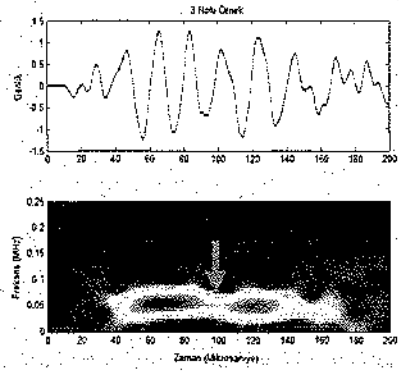
Şekil 5. Vp hızı ile ölçülen elastisite modülü



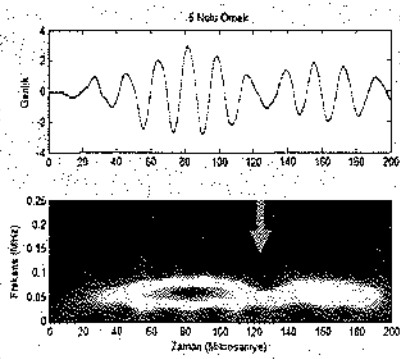
Şekil 6. Hesaplanan ile ölçülen Elastisite modülü



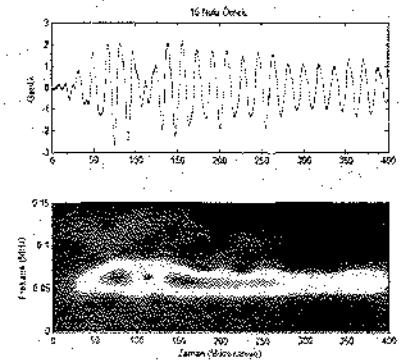
Şekil 7. 1. Nolu örnek için zaman-frekans analizi



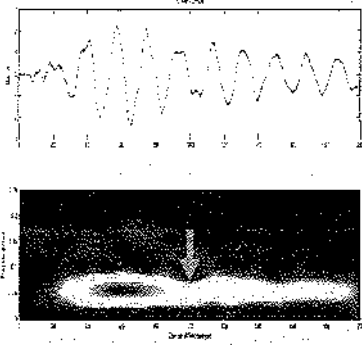
Şekil 8. 3 nolu örnek için zaman-frekans analizi



Şekil 9. 5 nolu örnek için zaman-frekans analizi



Şekil 10. 10 nolu örnek için zaman-frekans analizi



Şekil 11. 15 nolu örnek için zaman-frekans analizi

Yapılan deneylerin sonuçları ile ampirik olarak hesaplanan değerlerden V_p hızı, tek eksenli basınç dayanımı ve ölçülen elastisite modülü ile V_p ve V_s hızlarından hesaplanan elastisite modülü ise laboratuarda ölçülen elastisite modülü karşılaştırılıp aralarındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Bu analizler sonucunda belirlenen ilişkiler Şekil 4, 5 ve 6' da verilmiştir.

Ayrıca, ultrasonik ölçüm cihazına bağlanan bir osiloskop yardımıyla bej kireçtaşı örneklerinden elde edilen sinyallere bazı veri-işlem teknikleri uygulanarak bu kayaçların içyapıları analiz edilmiştir. Seçilen 5 örneğin Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11'de zaman-frekans analiz sonuçları verilmektedir.

Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11 de seçilen en uygun 5 adet örneğin zaman-frekans analiz sonuçlarını incelediğimiz zaman, Şekil 7'de 100-120 ms, şekil 8'de 90-110 ms, şekil 9'da 120-140 ms, şekil 10'da 100-140ms ve şekil 11'de ise 90-110 ms zamanları arasında sinyalin hem şeklinin bozulduğu hem de genlik değerlerinde bir düşüşün olduğu görülmektedir. Kırmızı ok ile gösterilen bu bölgelerin mikro çatlak, fissür, boşluk gibi süreksizlik içeren kısımlar olduğu düşünülmektedir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Doğu Pontidler de Malm-Dogger-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonuna ait bej renkli kireçtaşlarının (Kelkit, Gümüşhane), akustik hızları laboratuarda belirlenmiştir. Bu hızlar yardımıyla kayaçlarının kalitesi hakkında bilgi veren dinamik-elastik parametreler hesaplanmıştır. Jeoteknik çalışmalar ile porozite, su içeriği, tek eksenli basınç dayanımı hesaplanmış, gerilme-deformasyon ilişkisinden elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin, özellikle tek eksenli basınç direncinin belirlenmesinde örneklerin deneye uygun hale getirilmesi aşaması zaman alıcıdır. Bu nedenle bu çalışmada mekanik deneyler sonucunda elde edilen verilerle sismik hızlar arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı test edilmiş ve elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi örneklerin tek eksenli basınç dirençleriyle ultrasonik V_p hızları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ölçülen elastisite modülü ile hesaplanan elastisite modülü ve V_p hızları karşılaştırılıp bunların arasında da anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Kireçtaşlarının su emme oranının ve porozitesinin düşük olması bu örneklerin boşluk oranının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bu durumda yüksek hız değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Porozite düştükçe hız değeri artmaktadır. Kireçtaşlarının hem hızlarının hem de ölçülen ve hesaplanan elastisite modüllerinin çok yüksek olması bunların oldukça sağlam bir yapıya sahip olduklarını göstermektedir. Ortaya konulan korelasyonlar numune sayısı arttıkça daha da belirginleşecektir. Genel olarak kireçtaşlarının zaman-frekans kesitlerine bakıldığında da ultrasonik

sinyal formlarının fazla bozulmamış olması, genliklerinin yüksek olması, bunların oldukça homojen bir yapıya sahip olduklarını, içerisinde mikro çatlak, boşluk gibi süreksizliklerinin çok az miktarda olduğunu göstermektedir. Laboratuvar ortamında yapılan ultrasonik hız ölçümleri uygulanması açısından kolay, etkili ve ekonomik bir deneydir. Kısa zaman içerisinde çok sayıda numunenin sismik hızlarının ölçülmesine imkân vermektedir.

6 KAYNAKLAR

- Altıntaş, M., 1996. Sismik parametreler ile bazı kaya mekaniği parametreleri arasındaki ilişkiler. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Başarır, H., and Kumral, M., 2004. Predicting uniaxial compressive strength of rocks from simple test methods. Rockmec-VIIth Regional rock Mechanics Symposium
- Chakraborty, A and Okaya, D., 1995. Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods, Geophysics, Vol. 60, No.6, p. 1906–1916.
- Garbacz, A., and Garboczi, E., 2003. Ultrasonic evaluation methods applicable to polymer concrete Composites, National Institute of Standards and Technology
- ISRM., 1981. Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, 211 p.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. Int. Rock. Mech. Mining Sci Geomech Abstr 16:141–156.
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birliklikleri, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23–34.
- Malinaric, S., and Kostial, P., 1998. Contribution to the Signal Processing of Ultrasonic Pulses. J. Phys., D: Appl. Phys, 31:970–977.
- Okay, A.I., Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (Ed.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir, vol. 68, pp. 291–311.
- Saka, M., Schneider, E., and Holder, P.A., 1989. A New Approach to Detect and Size Closed Cracks by Ultrasonic. Res. Nondestr. Eval. P. 69. 7.
- Singh, T.N., and Sharma, P.K., 2007. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, Bull Eng. Geol. Environ. DOI 10.1007/s10064-007-0109-y.
- Yasar, E., and Erdogan Y., 2004. Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's Modulus of carbonate rocks. Int. J Rock Mech. Mining Sci 41:871–875.

Kollu Zincirli Kesicilerin Traverten Ocaklarında Blok Üretimi Verimlilik Analizi

Efficiency Analysis of Armed-Chained Cutting Machines in Block Production in Travertine Quarries

A. Sarıışık

Afyon Kocatepe Üniv., Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, [sarisisik@aku.edu.tr](mailto:sarisik@aku.edu.tr)

Ş. Demirel, A. Şimşek

DEMMAK Demireller Mak. San. A.Ş., suayp@suaypdemirel.com, arge@demmak.com

G. Sarıışık

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, gsariisik@aku.edu.tr

ÖZET Bu çalışmada, yerli ve yeni imalat olan Kollu Zincirli Kesme makinesinin (DZK-3400), Denizli Kaklık/Kocabaş traverten ocaklarında deneme uygulama sonuçları değerlendirilmektedir. Doğaltaş ocak işletmelerinde blok üretim verimliliğinin artırılması ve blok üretim kalitesinin yükseltilmesine yönelik elmas tel kesme yöntemine alternatif olarak, kollu zincirli kesme makinesinin yeni bir yöntem olarak denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kollu Zincirli Kesme Makinesi (DZK-3400) ile doğaltaş blok üretiminde, blok devirme işlemi yapılmayacağı, blok devirme işlemi esnasında bloklar kırılmadığı için doğaltaş blok veriminde önemli oranda bir artış sağlanmıştır. Kollu Zincirli Kesme Makinesinin (DZK-3400) gerek kurulumu, gerekse kullanımı diğer blok kesim yöntemlerine göre daha kolaydır. Başta traverten ocakları olmak üzere tüm doğaltaş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha fazla blok üretimi gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Traverten ocaklarında elmas tel kesme yöntemi ile blok verimliliği % 7-14 değerlerinde iken, Kollu Zincirli Kesme Makinesinin (DZK-3400) kullanımıyla % 65-80 değerlerine yükseldiği hesaplanmaktadır. Bu çalışmada devam etmekte olan, TÜBİTAK (1507-Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı Projesi) tarafından desteklenen projenin ön sonuçları sunulmaktadır.

ABSTRACT This study aims to analyze of the results of the pilot implementations made in Kaklık/Kocabaş travertine quarries in Denizli City by using the locally produced, brand-new, Armed-Chained Cutting Machine (DZK-3400). As an alternative to diamond wire cutting method; pilot implementations were made with the Armed-Chained Cutting Machine, as a new method, so as to increase efficiency and quality in block production in natural stone quarries. Since there is no need to

collapse the blocks while using Armed-Chained Cutting Machine (DZK-3400) in natural stone production process, there is no risk of block cracks. This facility results in a considerable increase in the block efficiency of natural stones. Armed-Chained Cutting Machine (DZK-3400) is easier to assemble and run when compared to other block cutting methods. It was observed that use of the machine particularly in travertine quarries and in all other natural stone quarries resulted in production of a larger number of blocks at a lower cost in the unit time. It was calculated that while the block efficiency in travertine quarries was recorded as 7-14% in diamond wire cutting method, the use of Armed-Chained Cutting Machine (DZK-3400) increased this rate to 65-80%. This study presents the initial results of the ongoing project supported by TÜBİTAK (1507-SME R&D Initial Support Program Project).

1 GİRİŞ

Günümüzde doğaltaş ocak işletmelerinde blok üretiminde, teknolojinin tüm imkânlarından faydalanılarak üretim yapılmasına karşılık, üretim kalitesi ve blok verimliliği, doğaltaş yatağının özelliklerine, kesim yöntemine ve kesim makinesine göre değişiklikler göstermektedir. Doğaltaş ocak işletmeciliğinde çalışma şartları oldukça zor koşullar altında devam etmektedir. Elmas tel kesme makinesi ile blok üretim yönteminde gerek kesici uç sıralı tellerin kopması, gerek blokların devrilmesi esnasında birçok iş kazası meydana gelmektedir. Diğer taraftan özellikle traverten doğaltaş ocaklarında blokların devrilmesi esnasında, alınması gereken her türlü önlemlere rağmen bloklar kırılmakta, sonuçta blok verimliliği düşmektedir. Doğaltaş ocak işletmelerinde yaygın olarak elmas tel kesme yöntemi kullanılmakta, bu yöntem ile traverten ocaklarında blok verimliliği %7 ile % 14 arasında gerçekleşmektedir.

Kollu zincirli kesme makineleri düşük ve orta dereceli aşındırıcı olan mermer, traverten gibi yumuşak doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında blok olarak çıkarılmasında ve blokların sayalama işlemlerinde

kullanılabilirler. Kollu zincirli kesme makineleri, elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında ocak verimliliğini daha da artırırlar. Bir traverten açık ocağında kullanılan elmas boncuklu tel kesme makinelerinin yanına sadece bir adet zincirli kesme makinesi ilave edilerek, ocağın genel veriminin % 20 arttığı gözlemlenmiştir. Bu verimlilik artışının sebebi kollu zincir kesme makinelerinin yöntem kazandırdığı avantajlardır. Doğaltaş ocaklarında Kollu zincirli kesme makineleri, özellikle 6-7 m'den yüksek basamaklarda elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında, tel geçirmek için gereken delik sayısını azaltarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlamaktadırlar. Böylelikle doğaltaş ocaklarında, delik çakışma problemi en aza indirilmektedir. Kollu zincirli kesme makineleri, yeni bir basamağa yatay veya düşey olarak kolaylıkla giriş yapabildikleri ve üçgen parça kesme işlemini ortadan kaldırdıkları için üretim ve zaman kayıplarını azaltmaktadırlar. Doğrudan satılabilir ürün çıkarabilirler. Oldukça düzgün yüzeyler oluşturdukları için mükemmel çalışma ortamı oluştururlar (Çopur, vd., 2008; Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b; Çopur, vd., 2006).

Traverten ocaklarında doğaltaşın

yapısı gereği mevcut olan suyolları, ana rezerv kayasından verimli blok alma işlemini zorlaştırmaktadır. Özellikle elmas tel kesme makinesi odaklı üretim sisteminde; bloklar rezerv kayasından devrilerle alınmaktadır. Devrilen büyük blok kütlesi suyollarından parçalanarak blok zayıflığına sebep olmaktadır. Bu amaçla blok üretiminde verimliliğin azami ve fire oranının asgari seviyeye indirilmesi için kollu zincirli kesme makinesinin kullanımı planlanmaktadır. Kollu zincirli kesme makinesinin ocak işletmeciliğinde kullanılması sonucunda, az personel ile daha güvenli bir üretimin yapılması sağlanacak, doğaltaş ocak işletmeciliğinde üretim aşamasında meydana gelen iş kazaları riski en aza indirilecek ve üretim aşamasındaki karmaşık yöntemler ortadan kaldırılacaktır.

Kollu zincirli kesme makinesi ile üretim yapıldığında doğaltaş blok veriminde önemli miktarda bir artış sağlanmaktadır. Blok üretim tekniklerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Gerek kurulumu, gerekse kullanımı diğer blok kesim yöntemlerine nazaran kolay olması sebebiyle başta traverten ocakları olmak üzere diğer doğaltaş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha çok blok üretimi sağlanmaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı traverten ocağında kollu zincirli kesme makinesi ile blok verimlilik oranı %65-%80 arasında gerçekleşmiştir.

TÜBİTAK-1507 Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı tarafından desteklenen projenin ilk sonuçlarının yer aldığı bu çalışmanın, doğaltaş ocak işletmeciliğinde blok çıkarmakta kullanılan Kollu Zincirli Kesme Makinesinin (DZK-3400) verimliliğinin artırılmasında ve bu makinelerde teknolojik yeniliklere yol açabilecek bilgi sağlanması beklenmektedir. Bu

projenin gerçekleştirilmesi sonucunda ülkemiz doğaltaş rezervlerinin daha verimli kullanılması sağlanacaktır.

2. KOLLU ZİNCİRLİ KESME MAKİNELERİNİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELER

Doğaltaş ocaklarında blok kesme yöntemlerini etkileyen birçok parametre değerlendirilmekte ve en az maliyetle en yüksek verimli blok elde edebilmek için bu faktörlerin itinalı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

Kollu zincirli kesme makinesinin ve elmas tel kesme makinesinin performansı, ocağın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, kullanılan makinenin özellikleri (mekanik) ve ocağın işletme parametrelerine bağlıdır. Jeolojik ve jeoteknik parametreler, yatağın kütleli özellikleri ve doğaltaşın fiziksel ve mekanik özelliklerini içermektedir. Yatağın kütleli özellikleri çatlak set sayısı, aralığı, yatağın doğrultu ve eğimi, yataklanma ve foliasyon gibi parametrelerdir. Doğaltaşın kesilebilirliği, mekanik dayanım özellikleri (basınç, çekme, elastisite modülü vb.), fiziksel özellikleri (sertliği, özgül ağırlığı, porozitesi, su emmesi vb.), aşındırıcılık, mineralojik bileşimi ve dokusu, alterasyon derecesi ve doğaltaşın içindeki süreksizliklerdir. Kesme derinliği, kesme açısı, kesme uzunluğu, zincir dönme hızı, tel hızı, elmas boncuklu telin yapısı, kuru veya sulu kesim, yatay veya düşey kesim, yağlama, işçilerin kalitesi ve bulunabilirliği, malzeme bulunabilirliği gibi parametreler işletme parametrelerini oluşturur (Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b).

Makinenin güç-tork-baskı kapasitesi, makine titreşimi, kol uzunluğu, kesme genişliği, keskinin zincir üzerindeki

dizilimleri ve keskinlerin metalürjik ve geometrik özellikleri makine ile ilgili mekanik parametrelerdir. Çalışma koşullarında ise kalifiye eleman ve blok kesme yöntemlerinde kullanılan teknikler etkilidir (Çopur, vd., 2007a; Çopur, vd., 2007b).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Denizli Traverteninin teknik özellikleri

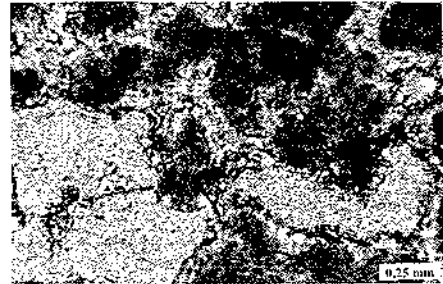
Çalışmada inceleme, gözlem ve numune alımı DEMMER A.Ş'nin Denizli Kaklık ilçesi Kocabaş Traverten Ocağında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler ocaktan alınan bloklardan elde edilmiştir. Denizli traverteninin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi için hacim kütlesi deneyi, özgül kütle deneyi, su emme deneyi, tek eksenli basınç dayanımı ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı için 70x70x70 mm boyutlarında, permeabilite deneyi için 30 mm çapında ve 50 mm yüksekliğinde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler sırasıyla TS EN 1936, TS EN 1926, DIN EN 18130-1 standartlarına göre 5 örnek üzerinde yapılmıştır. Denizli traverteninin kimyasal analizleri ACME/Kanada Analitik Laboratuvarında, XRF (ICP-MS) yöntemiyle yapılmıştır. Çalışmada kullanılan travertenin oksit bileşiklerinin belirlenmesinde kimyasal özelliklerinden yararlanılmıştır. Buna göre traverten % 54,1 CaO içermektedir. Test edilen Denizli traverten numunesinin kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Denizli travertenleri ortalama tane boyutu 30–100 mikron arasında değişen spari-kalsit ile az miktarda tane boyu 1–4 mikron arasında değişen mikritik kalsit minerallerinden oluşmuştur. Gözenekli bir

yapıya sahiptir. Gözeneklerin karakteristiği, diğer kayalardaki gözeneklere göre çok çok büyük olmasıdır. İncelenen traverten kesitlerinde, gözeneklerin etrafında kalsit kristalleşmeleri gözlenmektedir (Şekil 1). Bu kristalleşmelerin zamanla orantılı geliştiği, bazı durumlarda ise gözenek etrafını sınırlamaya kaldığı görülmektedir. Bu grup travertenlerde kayaç içi dolgusu genellikle mikritiktir. Killi görünümlü travertenler de mevcuttur.

Çizelge 1. Denizli traverteninin kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri (Sarıışık, 2007).

Bileşikler	wt %
SiO ₂	0,26
Al ₂ O ₃	0,08
Fe ₂ O ₃	0,04
MgO	0,42
CaO	54,1
Na ₂ O	<0,05
K ₂ O	<0,01
TiO ₂	<0,01
P ₂ O ₅	0,01
MnO	0,01
Kızdırma kaybı	44,0
Total	100
Özgül Kütle (g/cm ³)	2456
Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	2150
Ağırlıkça Su Emme (%)	5,43
Hacimce Su Emme (%)	11,68
Porozite (%)	12,46
Permeabilite (mD)	1,31
Basınç Dayanımı (Mpa)	18,89
Don Sonrası Basınç Dayanımı (Mpa)	17,79
Aşınma Dayanımı (cm ³ /50 cm ²)	9,70
Eğilme Dayanımı (Mpa)	11,60



Şekil 1. Kireç Çamuru Çevresinde Oluşan Kalsit Yapısı, (X 10, Tek Nikol)

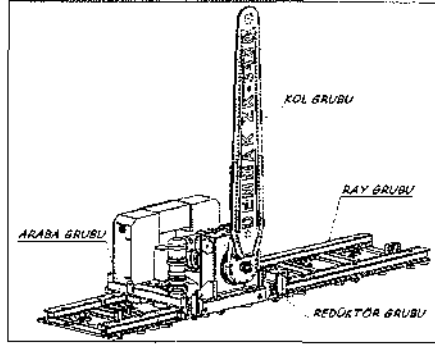
Çizelge 1. Denizli travertenin kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri (Sarıisik, 2007).

Kaklık-Kocabaş (Denizli) Traverten ocağı yatay veya yataya yakın yüzeylerde, genellikle yüksek debiyle çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, geniş alanlara yayılıp yatay olarak çöktüğü tabaka tipi travertenler olarak oluşmuştur (Ayaz ve Gökçe, 1998). Demirkıran & Çalapkulu, 2001, morfolojik tanımlamada görsel ortamda oluşmuş traverten tipinin, oldukça düzgün tabakalı oluşu, tabakalar arasındaki düzenli gaz boşluklarının varlığı ile diğer traverten tiplerden, içlerinde bitki fosillerinin ender bulunuşu ve başka fosil barındırmaması ile görsel kireçtaşlarından ayrıldığını belirtmiştir. Denizli traverten ocağı tabakalı tip bir ocak olduğu için suyoluna kesim yapılmaktadır. Suyoluna kesim, tabakalaşma / şistozite veya akma yapılarına paralel olan kesim şeklindedir. Ocakta suyoluna kesimli bloğun elde edilmesi için tabaka doğrultusuna dik veya eğim yönü boyunca kesim yapılmalıdır. Tabakalaşmalar; ocakta elde edilen bloğun uzun kenarına tabakalanma / şistozite paralel şekilde bulunmaktadır.

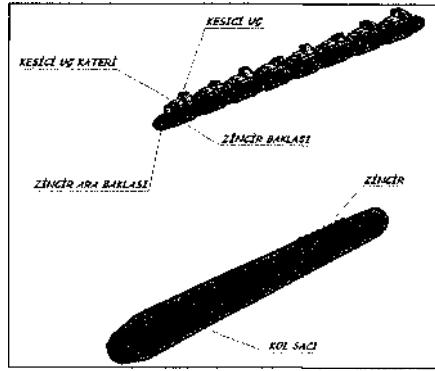
3.1.2 Kullanılan Makineler ve Teknik Özellikleri

3.1.2.1 Kollu zincirli kesme makinesi

Kollu zincirli kesme makinesi mermer ve traverten ocaklarında; düzgün geometrik yapıya sahip bloklar elde etmek amacıyla imal edilmiş bir makinedir. Kollu zincirli kesme makinesi, kol grubu, vagon (araba) grubu ve ray grubu olmak üzere 3 ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 2). Makinenin, çalışması esnasında en çok yıpranan ve en fazla problemin meydana geleceği kısım koldur. Bu sebeple kol parçalarının ömrünü uzatmak amacı

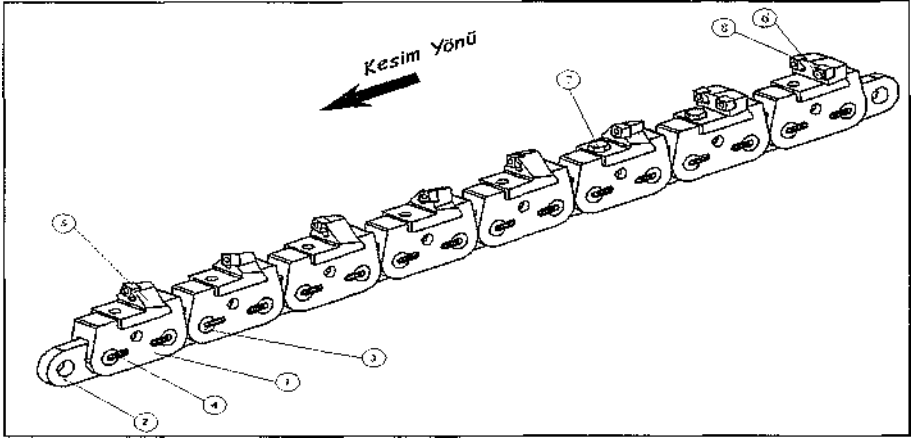


Şekil 2. Kollu zincirli kesme makinesinin

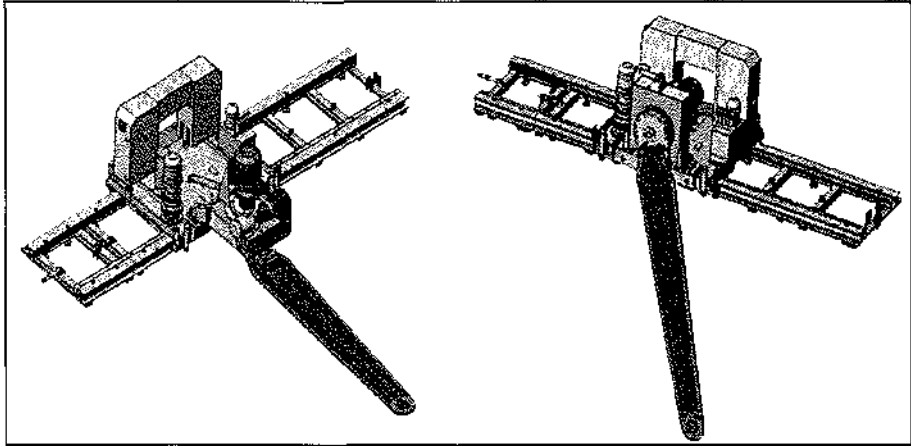


Şekil 3. Kollu zincirli kesme makinesinin parçaları kol grubu

için çok ciddi mühendislik hesapları yapılmaktadır. Kol grubu parçalarının birleştirilmesinden sonra vagon grubu imal edilmektedir. Tüm parçalar istenilen şekilde yerleştirilerek, yerlerinde kontrolleri yapılmaktadır. Üretimin son aşamasında ise ray grubunun imalatı yapılmaktadır. Bu makineler, firma içerisinde oluşturulmuş ve alanlarında uzman personel tarafından kontrol edilerek montajları yapılmıştır. Üretim sonu makine verimlilik testlerine tabi tutulmuştur. Tüm parçaların istenilen verimlilik değerinde olması ile birlikte makinenin doğaltaş ocaklarında denenmesine izin verilmiştir.



Şekil 4. Kollu zincirli kesme makinesinin zincir gövdesi (1-Zincir gövdesi, 2-Bakla, 3-Pim, 4-Kupilya, 5- Kesici uç kateri, 6- Kesici ucu katera bağlayan M5x16 anahtar başlı civata, 7- Kateri Zincir gövdesine bağlayan M8x15 anahtar başlı civata 8-Karbür kesici uç)



Şekil 5. Kollu zincirli kesme makinesinin vagon ve ray grubu

Kollu zincirli kesme makinesinin, kesim işlemi için özel alaşımlı çelikten imal edilmiş kolunun etrafında dönen zincir üzerine, sökülüp takılabilen kesici uçlar monte edilmiştir. Bu uçların yüzeyleri özel bir işleme tabi tutulmuş ve aşınmaya karşı maksimum dayanım kazandırılmıştır (Şekil 3).

Mermer veya traverten bloklar; bu zincirli kol sayesinde ana kayadan

istenilen ölçülerde ve düzgün geometride boyutlandırılmakta ve ayrılabilir hale getirilmektedir. Kollu zincirli kesme makinelerinin kesme işleminde, kesme kalınlığı 42 mm olmaktadır. Bu kesme kalınlığında, makinenin istenilen kesim aralığında sorunsuz çalışması sağlanmış olmaktadır.

Kollu zincirli kesme makinesinin en

Çizelge 2. Demmak zincirli kollu kesicinin (DEMMAK ZK- 3400) teknik özellikleri

Zincirli kollu kesici (DEMMAK ZK- 3400)	
Zincir ana hareket motoru	37 KW, (50 HP)
Makine yürütüş motoru	2.2 KW, (3 HP)
Kol döndürme motoru	2 KW, (3 HP)
Hidrolik güç ünitesi motoru	3 KW, (4 HP)
Gres pompası motor gücü	0.37 KW, (0.5 HP)
Toplam motor gücü	45 KW, (60 HP)
Ray boyu	9.1 m
Zincir kol boyu	3.40 m
Kesme kalınlığı	42 mm
Kesme hızı	0-18 cm/dk
Zincir hızı	0-1.5 m/sn
Makine ağırlığı	8100 kg

fazla çalışan ve en fazla yıpranan parçası kol ve kol üzerindeki karbür esash kesicilerdir. Kesicilerin maksimum verimlilikte kullanılması amacıyla kesici uç dizimleri özel olarak tasarlanmıştır.

Makine üzerindeki zincir gövdesinde 99 adet elmas kesici uç kateri, 126 adet titanyum kaplamalı karbür kesici uç bulunmaktadır. Kesici uçlar sekiz kenarı kullanılabilen, kenar uzunluğu 13,2 mm ve kalınlığı 6 mm olan kare prizmadır (Şekil 4).

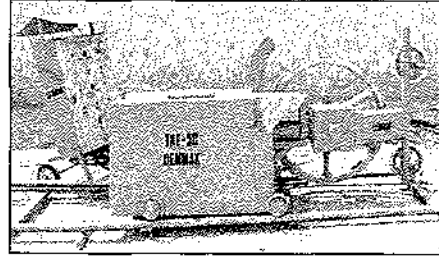
Kol grubunun, tahrik eden redüktör kutusu hidrolik silindir ile 90° döndürülebilmekte, kollu zincirli kesme makinesi ana rezerv kayası üzerinde yatay ve dikey kesim yapabilmektedir. Özel alaşımli çelik sacdan imal edilmiş kol, makineye kolayca sökülüp takılabilir. Bu sayede çeşitli boyutlardaki kollar kullanılabilir. Kollu zincirli kesme makinesi ile, kol uzunluğuna bağlı olarak 2.0-7.4 m arasında değişen derinliklerde kesim yapılabilir.

Bu kesme işlemi, doğaltaş cinsine göre değişmekle beraber ortalama 3 m/saat ilerleme hızıyla gerçekleştirilmektedir. Kesim esnasında makine bir ray yolu üzerinde ilerlemektedir. Bu ray yolu birbiri ardına eklenip sökülerek sonsuz

uzunlukta kesim işlemi yapılabilir. Kollu zincirli kesme makinesi ve rayları ocaklarda bulunan iş makineleri ile kolayca taşınabilir. Bu işlem makine üzerindeki taşıma aparatları ile kolayca gerçekleştirilmektedir. Pilot deneme çalışmalarında kullanılan zincirli kollu kesici makinesinin teknik özellikleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

3.1.2.2 Elmas tel kesme makinesi ve teknik özellikleri

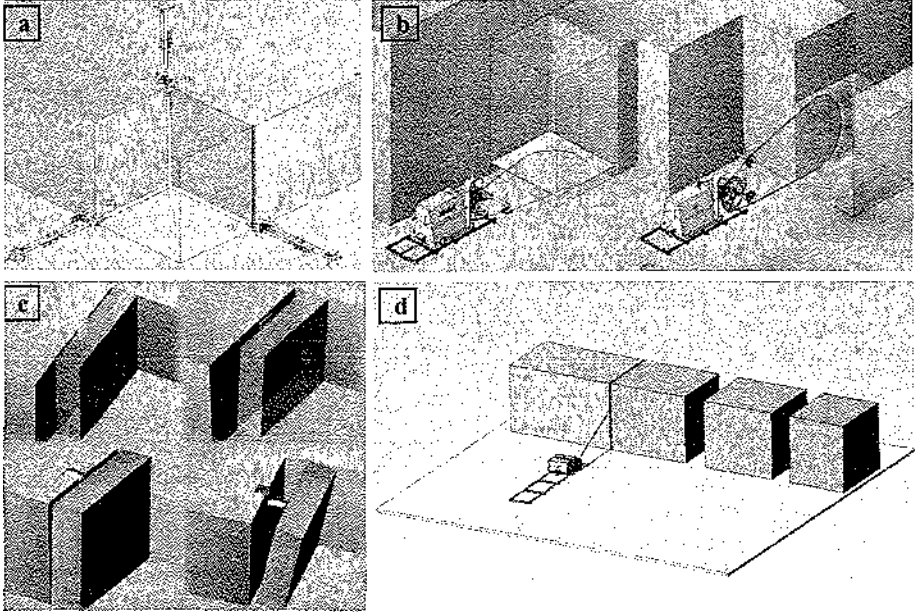
Üretim yöntemine adını veren Elmas tel kesme makinesi, yatay ve dikey kesim yapabilmektedir. Kayacı aşındırma yolu ile kesen elmas tel, makine üzerindeki kasnağa sarılı durumda çalışmaktadır. Makine gövdesi genellikle 6-8 m uzunluğunda olan raylar üzerinde kesme işlemi için gerekli olan baskıyı oluşturacak şekilde geriye doğru hareket



Şekil 6. Elmas tel kesme makinesi (DEMMAK)

Çizelge 3. Demmak TKE-50 makinesinin teknik özellikleri

Elmas tel kesme makinesi (TKE-50 DEMMAK).	
Motor gücü	37KW, 50HP
Hareket motor gücü	1 HP
Kasnak çapı	80 cm
Kasnak devir hızı	900 d/d
Tel çevirme kapasitesi	80-100 m
Tel cinsi	Elmas
Kesme kalınlığı	11 mm
Kesme hızı	8-12 m ³ /dk
Çalışma açısı	360°
Ray boyu	6 m
Su ihtiyacı	8-12 l/ d
Sistem tipi	Otomatik



şekil 7. Elmas tel kesim yöntemi ile üretim

eder. Bu esnada, bir motor yardımıyla döndürülen kasmağın hızla çevirdiği elmas tel kesme işlemine gerçekleştirir. Deneme çalışmalarında kullanılan elmas tel kesme makinesi şekil 6'da görülmekte, teknik özellikleri de izelge 3'de zet olarak verilmektedir.

3.2. Metot

3.2.1 Doğaltaş Blok retim Yöntemleri

Doğaltaşlarda, blok üretiminde uygulanan yöntemler iki gruba ayrılır. Bunlar elle veya ilkel aletlerle uygulanan yöntemler (luk kanal açma, delik delme, patlayıcı madde) ve mekanik yöntemlerdir. Günümüzde sık kullanılan yeni yöntemler, mekanik yöntemlerden; elmas tel kesme, elmas kayış kolları kesici ve kolları zincirli kesme yöntemleridir.

3.2.1.1 Elmas tel kesme yöntemi

Elmas tel kesme yönteminde, blok üretiminin yapılabilirliği için ilk işlem deliklerin delinmesidir. Blok üretimini yapılacak mermerde ve

doğaltaşta süreksizlikler blok boyunu belirlemektedir. Eğer mermer blokta, süreksizlikler çok ise kesilecek blok boyutu mümkün olduğu kadar büyük tutulmaktadır. Böylece bir kesimde birden çok parça elde edilmektedir. Her hangi bir yapısal bozukluğu olmayan bloklarda delik düzeni istenilen blok boyutuna göre planlanmaktadır.

Kesilecek blok boyutları belirlendikten sonra delik yerleri tespit edilir. nce düşey delikler delinir. Düşey yöndeki delik (1) derinliği basamak yksekligi kadar olmalıdır (4-5 m). Daha sonra birbirine dik iki yatay delik (2), (3) delinerek bu  delik çakıştırılır (şekil 7a). Delikler delinip akıştırdıktan sonra elmas tel, kesim için yatay deliklerden geçirilir. Elmas tel kesme makinesi yatay konuma getirilip yatay kesim gerçekleştirilir. Daha sonra aynı şekilde dikey kesimler yapılarak mermer bloğu ana kütleden ayrılmış olur (şekil 7b). Hidrolik yastık veya kriko devreye sokularak blok üzerinde süreksizlikler var ise öncelikle bunlardan ayrılır (şekil 7c).

Hidrolik yastık ve kriko ile mermer blok ana küttleden ayrıldıkça açılan aralığa uygun şekilde takoz konulmak suretiyle besleme yapılır. Ayrıca, devrildiğinde çatlamaması için bloğun devrileceği yerde toprak tepciciler oluşturulur. Böylece blok kırılmadan yatırılmış olur. Kesilip ana küttleden ayrılmış şekilsiz mermer blokları veya büyük bloklar sayalama makineleriyle kesilerek düzgün blok haline getirilir (Şekil 7d). Artık mermer bloklar fabrikada işlenmek üzere nakliye için hazır durumdadır (Demirel, 2008).

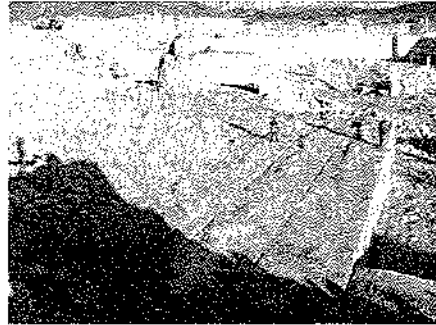
3.2.1.2 Elmas kayış kollu kesicilerle kesme yöntemi

Bu yöntem mermer üretiminde kullanılan en yeni yöntemdir. Makine; araba grubu, kesici kol, raylar ve elektrik kontrol panosu olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Elmas kayış kollu kesiciler kesme prensibi açısından zincirli kollu kesicilere benzemektedir. Yalnız burada kesme işini yapan kol, üzerinde 5 m/sn hızla dönen ve üzerinde çok sayıda sinterize elmas parçacıklar bulunan özel bir kayıştır. Kayışın kayganlığı ve soğutulması 100 lt/dak debili 3 atm basınçlı su ile yapılır. Kesme aralığı 40 mm, kesme derinliği 1.7-4.8 m arasında değişmektedir. Elmas kayışlı kollu kesici sadece dik kesim yapabilmektedir. Dolayısıyla yatay süreksizlikler içeren formasyonlarda yada alt kesim gerçekleştirecek makine ile kombine olarak kullanılır (Demirel, 2008).

3.2.1.3 Kollu zincirli kesme yöntemi

Kollu zincirli kesme makineleri özellikle masif doğaltaş ocaklarında blok üretiminde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu makinenin kullanıldığı doğaltaş ocaklarında üretim,

üretim basamakları oluşturularak yapılmaktadır. Zincirli kesicilerin basamak üzerine yerleştirilmesinde öncelikle üretilecek bloğun uzunluğuna göre zincirli kesicinin yeri tespit edilir. Ana makine, kepece yardımıyla kesim için uygun olan basamaklara yavaşça ve büyük bir dikkatle nakledilir. Kesici ve altındaki ray, basamak yüzeyine terazi ve ray ayakları yardımıyla paralel duruma getirilir. Kesici ve altındaki rayı sabit duruma getirmek için ray üzerinde bulunan deliklerin hizasından basamak yüzeyine 10 cm derinliğinde delikler delinir. Açılan bu deliklere T kazıkları çakılarak kesici sabitlenir. Kesici kol üzerinde bulunan kesici uçlar tek tek kontrol edilerek aşınmış olanlar değiştirilir ve gevşemiş olanlar ise sıkılır. Kesici uçların aşındığı zincirli kesicinin çalışma basıncının yükselmesi, zincirli kesicinin çektiği akım şiddetinin yükselmesi, kesim sırasında oluşan kırıntıların birleşmesi ile anlaşılmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Kollu zincirli kesme makinesi ile üretim

4. DEĞERLENDİRME

4.1 Traverten ocaklarında kollu zincirli kesicilerle blok üretimi verimliliği

Traverten ocaklarında blok üretimi, elmas tel kesme makinesi, havalı delici ve sayalama makineleri kullanılarak

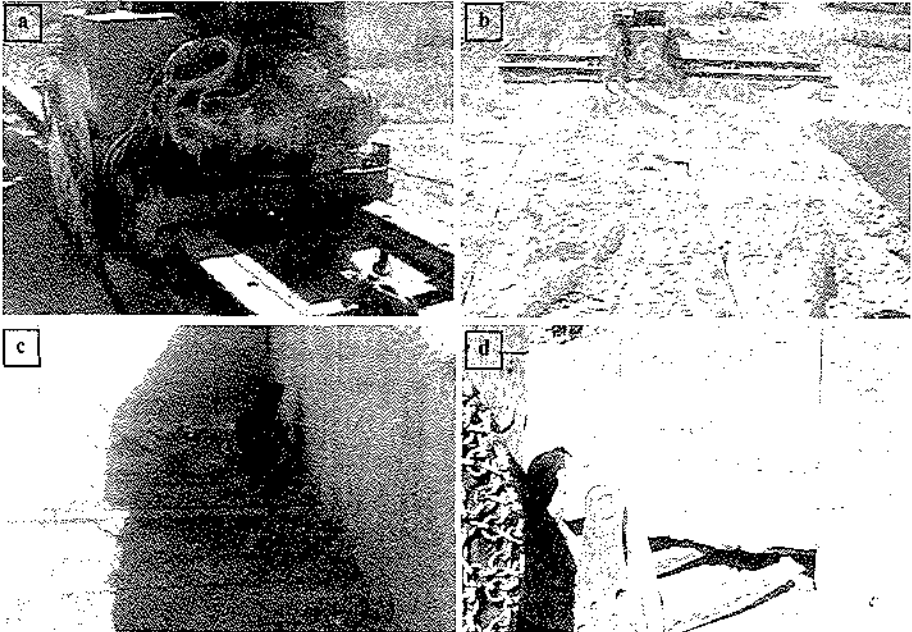
rezerv kayası üzerinde 11-12 m yüksekliğinde büyük blok kütlelerinin alınmasıdır. Büyük kütlelerin açık yüzeyi tarafında devirme işlemi sırasında yastık görevi görmesi amacıyla toprak tepelikler oluşturulur. Bu tepeliklerin görevi büyük blokların devrilmesi esnasında ataleti sönmülemektir. Bu yastıklama işlemine rağmen blok üzerindeki su yolları devirme işlemi sırasında parçalanmalara yol açmaktadır. Bu parçalanma sonunda büyük kütlelerin ancak %15-18'i kullanılabilir. Bu sonuç ülke kaynaklarının verimli kullanılması açısından olumsuz bir durumdur. Devirme işlemi öncesinde hazırlanan toprak tepeliği oluşturabilmek için bir hafriyat çalışması yapılmaktadır. Devirme işlemi sonrası bu toprak tepeliklerin uzaklaştırılması için de yeni bir hafriyat çalışması yapılmaktadır. Ayrıca devirme işlemi sonrasında kullanılamaz hale gelen blok parçalarının ortamdaki uzaklaştırılması için de hafriyat çalışması gerekmektedir. Tüm



Şekil 9. Traverten bloğunu devirme işlemi

bu işlemler için gerekli olan iş makinesi ve enerji kullanımı çok yüksek maliyetler oluşturmaktadır.

Tel kesme makinesi odaklı üretim sistemlerinde kullanılan devirme işleminde hammadde zayıfatı çok olmaktadır. Bunu önlemenin en iyi yöntemi istenilen ölçülerdeki traverten bloğunun ana rezerv kayası içinde ebatlanması ve ebatlanan bloğun devrilmeden nakledilmesidir. Bu yüzden yerinde blok ebatlama işlemi için en uygun yöntem Kollu zincirli kesme makinesi kullanımıdır (Şekil 10a). Bu



Şekil 10. Kollu zincirli kesme yöntemi ile üretim

makine yardımı ile ana rezerv kayası üstünde birbirine paralel ve dikey kesimler yapılarak ebatlanmış ve ardışık şekilde sıralanmış bloklar elde edilir (Şekil 10b). Kollu zincirli kesme makinesi ile birbiri ardınca sıralanmış blokların alt kesim işleminin tamamlanması durumunda, elde edilen hammadde nakledilmeye hazır hale gelir. Denizli traverten ocağında kil ara tabakası olduğu için alt kesime ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu traverten ocak işlemlerinde su yollarından faydalanılarak alt kesim işlemi daha kolay yapılmaktadır (Şekil 10 c). Dikey ve paralel bir şekilde ebatlanmış blokların açık yüzey tarafında ve alt kesim seviyesinde kompresör çivileri yardımıyla su yollarının sebep olduğu süreksizlikten faydalanarak bloklar rezerv kayadan lastikli loderlerin aparatlarıyla ayrılabilir (Şekil 10d).

4.2 Traverten ocaklarında kollu zincirli kesme yöntemi ile elmas tel kesme yönteminin karşılaştırılması

Denizli'nin Kaklık ilçesi Kocabaş bölgesinde bulunan DEMMER A.Ş.'nin traverten ocağında kullanılan DEMMAK TKE-50 model elmas tel kesme makinesi ile DEMMAK ZK-3400 model zincirli

Çizelge 4. Traverten Ocaklarında Kollu zincirli kesme makinesinin özellikleri

<i>DEMMAK Kollu Zincirli Kesme Makinesi (DZK 3400)</i>	
Yatırım Maliyeti (TL)	150.000,00
Toplam Motor Gücü (kW)	48,5
Kesim Performansı	9 m ² /h
Kesme Hızı	3 mt/h
Kestiği Yüzey (Kesici karbür)	1000-1200 m ²
Su İhtiyacı (Traverten için)	Yok
Ortam Çalışma Sıcaklığı	-15 °C / +40 °C
İş Güvenliği	Yüksek
Blok Verimliliği	%60 - 80
Blok devirmede ek işlemler (Akaryakıt Tüketimi, İş Makineleri Kullanımı)	Yok
Kesici Uç Maliyeti	0,7-0,8 TL/m ²

kollu kesme makinesinin deneysel olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Kollu zincirli kesme makinesi ile elmas telli kesme makinesinin Çizelge 4 ve Çizelge 5'de görüleceği gibi işletme masrafları, kesim performansı, ortam çalışma şartları, blok verimliliği, iş güvenliği, su tüketimi dikkate alındığında kollu zincirli kesme makinesinin avantajlı olduğu görülmektedir.

Kollu zincirli kesme makinesi ilk yatırım maliyeti açısından elmas tel kesme makinesinden daha pahalıdır. Ancak makinelerin kullanım ömrüne bakıldığında zaman zincirli kollu kesme makinesi elmas tel kesme makinesine göre 3 kat daha fazla kullanım ömrüne sahiptir.

Elmas tel kesme makinesi odaklı üretim sisteminde iklim şartları da çok önemlidir. Hava sıcaklığının düşük olması kesim işlemi sırasında kullanılan suyun donmasına sebep olacağı için üretimin gerçekleştirilmesi

Çizelge 5. Traverten Ocaklarında Elmas Tel Kesme Makinesinin Özellikleri

<i>DEMMAK Elmas Tel Kesme Makinesi</i>	
<i>Yatırım Maliyeti (TL)</i>	
Tel Kesme Makinesi	14.000,00
Sayalama Makinesi	6.000,00
Havalı Delici Makinesi	11.500,00
Hidrolik Kriko	6.500,00
Kompresör	13.500,00
Genel Toplam	51.500,00
<i>Motor Gücü (kW)</i>	
Tel Kesme Makinesi (kW)	37
Sayalama Makinesi (kW)	15
Havalı Delici Makinesi (kW)	11
Hidrolik Kriko (kW)	4
Kompresör (kW)	37
Toplam Motor Gücü (kW)	104
Kesme Hızı	10-12 m ² /h
Kestiği Yüzey (1 m elmas tel)	100-200 m ²
Su İhtiyacı	Var
Ortam Çalışma Sıcaklığı	+4 °C / +35 °C
İş Güvenliği	Düşük
Blok Verimliliği	%15 - 20
Blok devirmede ek işlemler (Akaryakıt Tüketimi, İş Makineleri Kullanımı)	Var
Kesici Uç Maliyeti	0,4-0,5 TL/m ²

zorlaşmaktadır. Ayrıca iklim şartlarının çalışanları etkilemesi durumunda blok üretimi verimliliği düşmektedir. Kollu zincirli kesme makinesinin traverten ocaklarında uygulanması esnasında sulu kesime ihtiyaç duyulmaması nedeniyle -15°C ile +40°C hava sıcakları arasında üretim yapılabilir. Bu sayede kollu zincirli kesme makinesinde kesim aşamasında, traverten ocaklarında su ihtiyacı olmadığı için dört mevsim blok üretim yapılabilir.

Bu çalışmadaki kollu zincirli kesme makinesinin uygulanması ile birlikte traverten ocaklarında blok verimliliği % 7-14 değerinden %80 değerine yükselmektedir. Kollu zincirli kesme makinesi, kol uzunluğuna bağlı olarak 2.0-7.4 m arasında değişen derinliklerde blok kesimi yapılabilir. Bloklar, ana rezerv kayası üzerinde ebatlandırıldığı için hammadde zayıtı azalmaktadır. Kesim işlemi tamamlanmış blokların verimliliği %65 ile %80 değerlerine kadar artmıştır. Bu değerler diğer kesim yöntemleri ile karşılaştırıldığında blok verimliliklerine göre 6-11 kat artış sağlanmaktadır. Doğaltaş ocaklarında blok almak için yapılan masrafın aynı olmasına karşılık, blok birim maliyeti 6-11 kat daha ucuzlamaktadır.

Kollu zincirli kesme makinesinde kullanılan ray yollarının birbiri ardınca montajı ve demontajı kolay bir şekilde yapıldığından üretimde zaman kaybı en aza indirilmiştir. Tel kesme makinesinde üretim için gerekli deliklerin delinmesi ve birleştirilmesi çalışmaları kollu zincirli kesme makinesinde olmadığı için üretimde duraklamalar olmamaktadır. Kollu zincirli kesme makinesinde kesime başlama süresi 90 dakika iken, tel kesmede 110 dakika olmaktadır.

Elmas tel kesme makinesi odaklı sistemle traverten blok üretimi sırasında; gerek kesici uç sıralı tellerin kopması

gerek blokların devrilmesi esnasında birçok iş kazası meydana gelmektedir. Bu sistemde ocaklarda iş güvenliğini sağlamak çok zordur. İş kazaları sonrası mağdur kalan işçi ve işçi aileleri yanında işveren de sıkıntılı günler yaşamaktadır. Kollu zincirli kesme makineleri ile blok üretiminde iş güvenliği en üst düzeyde olmaktadır. Tel kesme yöntemiyle yapılan kesimde görülen tel kopması gibi insan sağlığına zarar verecek durumlar kollu zincirli kesme makinelerinde görülmemektedir. Bloklar ana rezerv kayası üzerinde ebatlandırıldığı için blok üzerinde parçalanmalar olmaz ve çalışanları etkileyecek herhangi bir tehlikeli durumla karşılaşmamaktadır. İşçi sağlığı ve işçi güvenliği açısından diğer blok kesim yöntemlerine göre en güvenli kesim yöntemidir.

Yerlikolluzincirlikesmemakinesinin, ithal benzerleri ile karşılaştırılması incelendiğinde yatırım maliyeti, yedek parça temin süresi ve kesici uç tüketiminde yerli ürün makinenin diğerlerine göre daha avantajlı olduğu gözlenmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Yerli kollu zincirli kesme makinesinin ithal benzerleri ile karşılaştırılması

FİRMA	Demmak	Fantini	Garrone
Yerli/Yabancı	Yerli	Yabancı	Yabancı
Yatırım Maliyeti (TL)	150.000	187.000	161.500
Yedek Parça Temin Süresi	3 gün	8 hafta	10 hafta
Maksimum Kol Uzunluğu	3,4 m	6,8 m	7,4 m
Makina Çalışma Sistemi	Şanzımanlı	Hidrolik	Hidrolik
Toplam Motor Gücü (kW)	48,5	51,0	50,0
Kesme Performansı (Traverten İçin)	9-10 m ² /h	9-10 m ² /h	9-10 m ² /h
Kesici Uç Sarfıyatı (Traverten İçin)	0,132 Ad/m ²	0,166 Ad/m ²	0,166 Ad/m ²

SONUÇLAR

Kollu Zincirli Kesme makinesi (DZK-3400) Demmer AŞ'nin Denizli Kaklık Traverten Ocağında 340 cm kol uzunluğu ile 3.2 m yüksekliğinde düşey kesimlerde net kesim hızı 9-10 m³/h arasında olmaktadır. Düşey kesimlerde ortalama kesici uç sarfiyatı 0.132 ad/m² olmaktadır.

Kollu zincirli kesme makinesinde üretim hızı tel kesme makinesine göre 3 kat daha fazladır. Hammadde verimliliği 6-11 kat artmakla beraber tüm bu işlemler %30 daha az işçi kullanılarak yapılır. Tel kesme makinesi ile yapılan üretim yönteminde zorunlu olan tüm hafriyat işlemleri ortadan kaldırılmıştır. Traverten ocaklarında elmas tel kesme yöntemi ile blok verimliliği % 7-14 değerlerinde iken kollu zincirli kesme makinesi ile yapılan üretim yönteminde blok verimliliği % 65-80 değerlerine yükselmekte, blok verimliliği % 500-900 artış göstermektedir. Traverten ocağında atık miktarını azaltacak, dolayısı ile üretim verimini arttıracak, ocaklarda çalışanlar için daha emniyetli, düzgün çalışma basamakları oluşturacak olan yeni, yerli zincirli kesme makinesi Türkiye'de yaygınlaştığında, sınırlı olan doğal taş rezervlerinin daha etkin ve ekonomik üretimi sağlanacaktır.

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK-1507 Kobi Ar-Ge Başlangıç Desteği Programı kapsamında 7080164 numaralı projede mali destek ile yeni ürün Kollu Zincirli Kesme makinesi (DZK-3400), DEMMAK Demireller Makine San. ve Tic. A.Ş.'de geliştirilmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a ve DEMMAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ayaz, M.E. ve Gökçe, A., 1998. Sivas kuzeybatısındaki Sıcak Çermik, Sarıkaya ve Uyuz Çermik traverten yataklarının jeolojisi ve oluşumu. Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.15, S.1, s.1-12.

Copur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tunac, D., 2008. Laboratory Cutting Tests for Performance Prediction of Chain Saw Machines" 21st World Mining Congress & Expo, Poland, Kraków – Katowice – Sosnowiec, p.97-107.

Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tumaç, D., ve Düzyol, İ., 2007a. Full-Scale Linear Cutting Tests Towards Performance Prediction of Chain Saw Machines, Proc. of the 20th International Mining Congress of Turkey, ISBN 978-9944-89-288-9, 161-169, The Chamber of Mining Engineers of Turkey, Ankara.

Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tumaç, D., Düzyol, İ., Kekeç, N., 2007b. Doğal taş madenciliğinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin performansı. *Birinci Maden Makinaları Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Editör: C. Şensöğüt. ISBN 978-9944-89-277-3, 37-46.

Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., vd., 2006. Cutting performance of chain saws in quarries and laboratory", Proc. of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES, Torino, Italy.

Demirel, Ş., 2008. Mermer ocaklarında kollu zincirli kesme makinesinin uygulanabilirliği, I. Ulusal Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi, Tebliğler, sayfa 187-196, İzmir.

Demirkıran, Z., ve Çalapkulu, F., 2001. Kaklık-Kocabaş (Denizli)

travertenlerinin litolojik morfolojik özellikleri ve sınıflandırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu bildiriler kitabı içinde (17-31). Afyon.

Fantini, 2008. The Manuel of Chain Saw, Italy

Garrone, 2008. The Manuel of Chain Saw, Italy

Sarışık, G., 2007. Technical Characteristics of Some Turkish Natural Stones with Calcium Carbonate Root and Their Usage Fields on Structure and Restoration. Master Thesis, A.K.Ü, Institute of Sciences, Department of Mine Engineering, Afyon.

Menderes Masifi Güney Kesimindeki (Milas-Muğla) Ege Bordo Mermerlerinde Gözlenen Süreksizliklerin Blok Boyutuna Etkisinin Araştırılması

The Investigation of the Efficiency of discontinuities on block dimension in the Aegean Bordeaux Marbles in the Southern of Menderes Massif (Milas-Muğla)

M. Bağcı,

Afyon Kocatepe Üniversitesi İncehisar Meslek Yüksekokulu 03750, İncehisar/
Afyonkarahisar.

A. Yıldız²

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü,
ANS Kampüsü 03200 Afyonkarahisar.

ÖZET: İnceleme alanı Ege Bölgesi'nde, Milas (Muğla)'ın GB'sında yer almaktadır. Menderes Masifi'nin güneyindeki otokton birimlerin en üst düzeyini oluşturan Ege bordo mermerleri alloktonlarla, otoktonları ayırmaktadır. Paşalıdağ Formasyonu olarak adlandırılan birim genellikle rekristalize özellik göstermektedir. Mükemmel şistozite düzlemleri görüldüğü birim kırmızı, bordo ve açık yeşil renkli seviyelerden oluşmaktadır. Renk ve dokusal özelliklerine göre birimde dört seviye belirlenmiştir. Bunlar; tabandaki kırmızı renkli seviye (1), bu seviyenin üzerindeki bordo renkli seviye (2), beyazımsı matriks üzerinde bordo beneklerden oluşan geçiş seviyesi (3) ve en üstte ise beyaz, açık yeşil renkli kristalize kireçtaşı seviyesi (3) şeklindedir. Çalışmada, Ege Bordo mermerlerinin jeolojik özelliklerinin belirlenmesi ve blok boyutuna etki eden süreksizliklerin ortaya konması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, şistozite düzlemleriyle uyumlu bir şekilde birimde yayılım sunan laminaların mermerlerin rengini, dokusunu ve işletilebilirliğini olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca inceleme alanında maksimum blok boyutunun alınabileceği alanlar belirlenmiştir.

ABSTRACT: The study area located at southwestern of the Milas (Muğla) in Aegean region. The Southern of Menderes Massif. Aegean Bordeaux marbles characterized the upper level of autochthonous units and divided to allochthonous units from autochthonous ones. The unit was named as Kızılağaç formation and generally recrystallized. Aegean bordeaux marbles, have perfectly chistosity level, consist of

red, claret and bright green colored levels. Four stratigraphic level is distinguished according to their color and textural properties. These are red level at the bottom of deposits (1), Bordeaux level at the top of re done (2), transition level, consist of whitish matrix and Bordeaux spots and crystalline limestone level with white, light green colored (4).

In this study, It was aimed the investigation of the geological properties of Aegean Bordeaux marbles and the determination of discontinuities affecting block dimension in these marbles. In the result of study, it was observed that laminae, spread compatibly with chistosity level, affected the color, texture and exploitation of marbles. Moreover, the areas with maximum block dimension were determinate.

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Muğla'nın Milas ilçesi Kalınağıl köyü Abaz dere ve çevresinde yayılım sunan bordo renkli mermerlerin jeolojik özelliklerinin belirlenmesi ve blok boyutunu etkileyen yapısal unsurların ortaya konması amacıyla yapılmıştır. Bölgede şimdiye kadar çok sayıda mermer ocağı açılmış fakat kısa bir zaman sonra bu açılan ocakların kapandığı görülmüştür. Örneğin, Beroner Mermer, Aks Mermer, Söke Mermer bunlardan bazılarıdır (Bağcı., 2006). İlk bakışta mermerin renk ve deseni insanların ilgisi çekmekte ve herhangi bir jeolojik çalışma yapılmadan sahada birçok sayıda mermer ocaklarının açıldığı görülmektedir. Mermer yatağının işletilebilirliği açısından önemli olan ve çeşitli jeolojik özelliklerin belirlenmesine yönelik ön fizibilite çalışmalarının yapılmayışı veya eksik yapılmasından dolayı bölgedeki ocakların büyük bir bölümünde işletme durdurulmuştur. Bu çalışma, renk ve dokusal özellikleri bakımından albenisi yüksek olan fakat yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı işletilemeyen "*Ege Bordo Mermeri*" ticari ismiyle bilinen birimdeki maksimum blok boyutunun elde edileceği bölgelerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bunun için renk, şistozite, mineralojik bileşim gibi litolojik özelliklerden yararlanarak

1/5000 ölçekli jeolojik harita üzerinde inceleme alanı altı mikro bölgeye ayrılarak her bölgenin özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

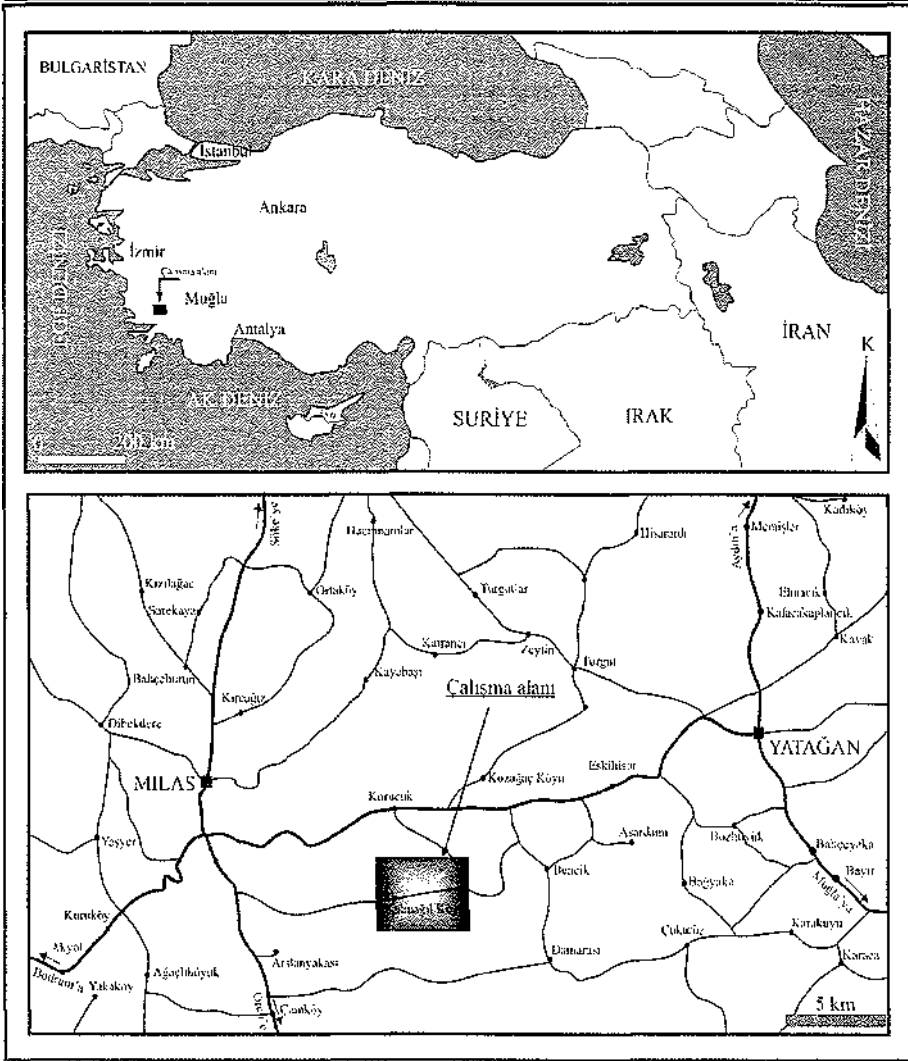
İnceleme alanı Ege Bölgesi'nde, Milas (Muğla)'ın 20 km GB'sında yer almaktadır. Koordinatları(81.000-21.000;81.000-22.000-83.000-22.000) arasındabuhunmaktadır. En yakın yerleşim birimleri Kayaderesi Köyü, Kalınağıl Köyü ve Çamlıbelen Köyü'dür. Milas'tan Çamlıbelen Köyüne kadar mesafede asfalt yolla ulaşım mümkündür. Çamlıbelen Köyü'nden mermer ocağına ise orman yolu ile ulaşılmaktadır (Şekil 1).

2. JEOLOJİ

2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı ve çevresindeki en yaşlı kaya birimi Menderes Masifi'nin örtü şistleridir. Şistlerin üzerine uyumsuz olarak, kalın karbonat istiften oluşan Paşalıdağ Formasyonu gelir. Paşalıdağ Formasyonunun üzerinde renk ve yapısal özellikleri farklı olan İlmin Kızılağaç Formasyonu bulunur. Bu formasyon inceleme alanında Kalınağıl Köyü ve çevresinde Ege Bordo ticari ismiyle bilinen mermerlerden oluşmaktadır (Şekil 2).

Konglomera kumtaşı kiltası birimlerinden oluşan Kazıklı Formasyonu Kızılağaç Formasyonu üzerinde yer

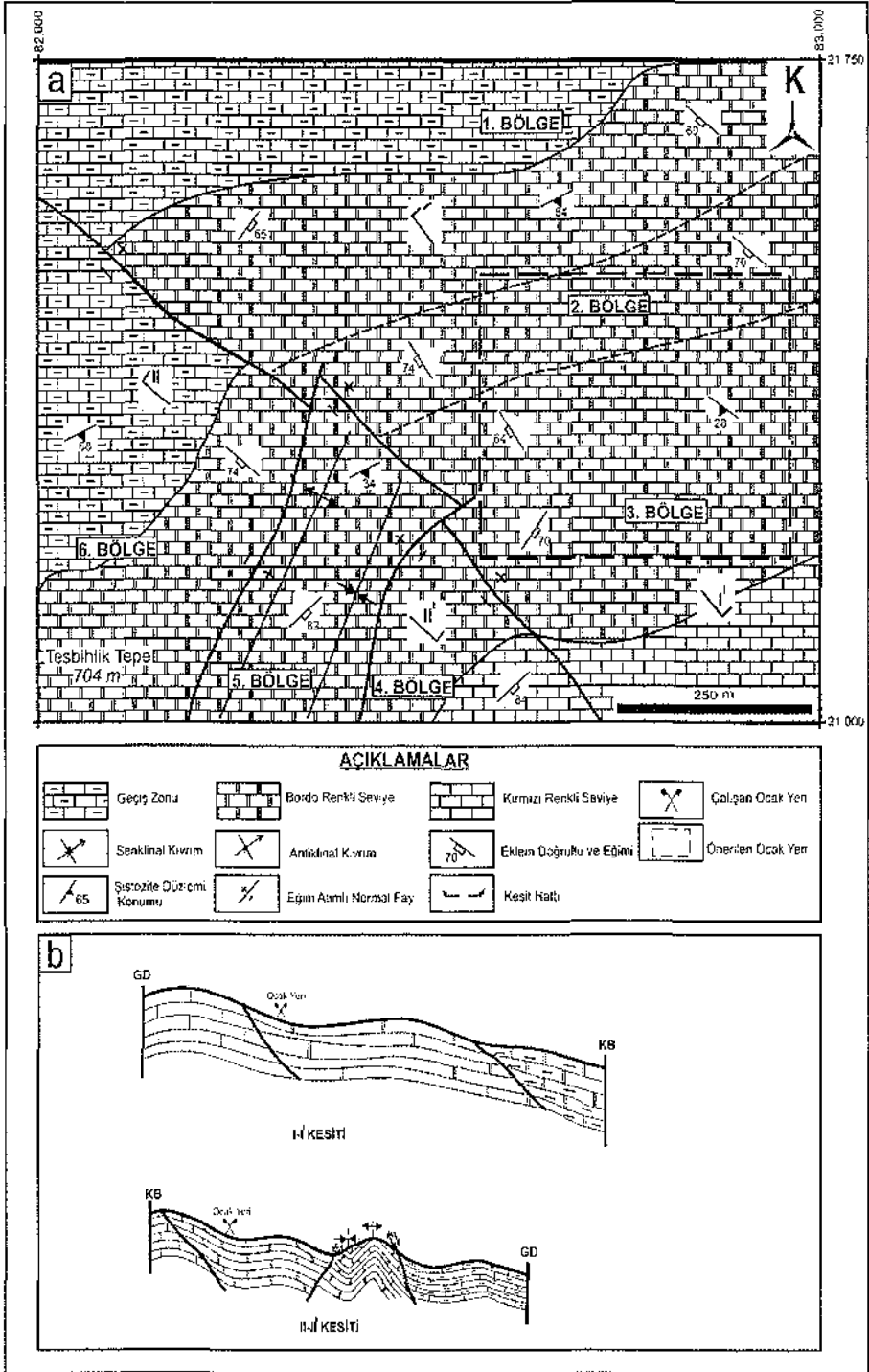


Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

almaktadır. Kazıklı Formasyonunun üzerine tektonik olarak (bindirme) kireçtaşlarından oluşan Kaplandığı Formasyonu gelir. Tersiyer yaşlı Yatağan Formasyonu uyumsuz dokanakla bütün birimleri üzerler. Konglomera-kumtaşı-kiltası-marn-linyit serisinden oluşan Yatağan Formasyonunun üzerinde güncel Alüvyon birimleri yer almaktadır (Kuşcu, 1991; 1992; Kibici,1974; Kun vd, 1999; Eren, 1999; Yavuz vd, 2005).

2. Kalmağıl Mermerlerinin Jeolojik Özellikleri

Menderes Masifi'nin güneyindeki otokton birimlerin en üst düzeyini oluşturan kırmızı kireçtaşı allokonlarla, otoktonları ayıran kılavuz düzey özelliğini taşımaktadır (Akdeniz vd 1979; Çağlayan vd 1980; Konak vd,1987). Genellikle rekristalize olan birimde yer yer şist seviyelerinin varlığı görülmektedir. Kırmızı ve kirli beyaz

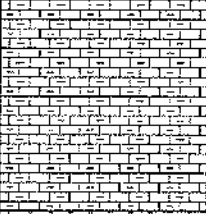
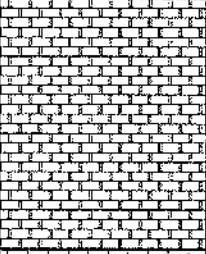
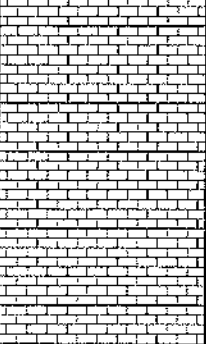


Şekil 2. (a): Çalışma alanının detay jeoloji haritası, (b): I-I' ve II-II' enine kesitleri.

renkli kireçtaşı, orta, ince tabakalı ve laminalıdır. Çapraz tabakalanma ve mikro devrik kıvrımların gözlemlendiği birimde konglomeratik kısımlar iyi boylanmalıdır. Kıvrımlanmanın sıklığı nedeniyle silis ara katkıları. Abaz Dere mevki güneyinde görüldüğü gibi budenler halinde gelmiştir. Budinajlaşma silis ara katkılarının kireçtaşlarının kıvrımlanması esnasında bu kıvrımlanmaya uyamaması nedeniyle meydana gelmiştir.

Kalınlaşmış mermerleri çoğunlukla kırmızı ve bordonun değişik tonlarında gözlenmekle birlikte bazı seviyelerde ise koyu gri ve açık yeşil renkler sunmaktadır. Kalın karbonat istiften oluşan Paşalıdağ Formasyonunun üzerine uyumlu olarak yer alan formasyonun üst kesimlerinde ise Kazıklı Formasyonunun konglomera, kumtaşı ve kiltası seviyelerine geçiş göstermektedir.

Kalınlaşmış mermerlerinde birimin rengi istifin tabanından tavanına doğru

YAŞ	KALINLIK (m).	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	70		Kristalize kireçtaşı ve Geçiş Zonu: 0,50-1.00m aralıklarla şistlerden oluşan damarlar içerir. Beyaz, açık yeşil ve koyu gri renktedir. Düşey yönde geçiş zonuna doğru değişim sunar.
	80		Bordo renkli seviye: Kalın tabakalı, yer yer şistlerden oluşan damarlar yer almaktadır.
	?		Kırmızı renkli seviye: Kalın tabakalı, masif yapılıdır.

Şekil 3. Çalışma alanının ölçülü stratigrafik dikme kesiti.

dört farklı seviye ayrılmıştır. Buna göre, tabanda kırmızı renkli seviye (1), orta düzeylerde çoğunlukla bordo renkli seviye (2) yer almaktadır. Üst seviyelerde ise beyazımsı matris içinde bordo renkli beneklerden oluşan geçiş zonu (3) ve beyaz, açık yeşil renkli kristalize kireçtaşı düzeyleri (4) bulunmaktadır (Şekil 3).

Belirgin şistozite özelliğine sahip olan Kalınağıl mermerlerinin şistozite düzlemleriyle uyumlu bir şekilde birimde damarlar gözlenmiştir. Ortalama 30 cm kalınlığındaki şistozite düzlemleri beyaz, açık yeşil renkli mermer, sarımsı kahverengi, koyu gri renkli biyotit-muskovit-grafit şist ve beyaz renkli kuvarsit türündeki metamorfik kayaçların araldanmasından oluşmaktadır.

Söz konusu düzlemler Kalınağıl mermerlerinin tabanında yaklaşık 1.5 m aralıklarla yer alırken, üste doğru ise bu düzlemler sık aralıklarla (0,50-1,00 m) birim kat etmektedir. Yukarıda özellikleri verilen damarların birim içindeki sıklıkları Kalınağıl mermerlerinin rengini, dokusunu ve işletilebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Düzlemlerin daha az gözlendiği taban seviyelerinde çoğunlukla kırmızı ve bordo renk gözlenirken, üste doğru ise beyaz, açık yeşil renkli kristalize kireçtaşı seviyelerinin bulunduğu bölgelerde açık yeşil, şistlerin yoğun olduğu yerlerde ise birimin rengi koyu griye doğru değişebilmektedir.

2.3. Ege Bordo Mermerlerinde Blok Veriminin Belirlenmesi

Çalışma sahası, bölgedeki yapısal unsurlar ve Ege Bordo mermerlerinin litolojik özelliklerindeki farklılıklardan hareketle 6 küçük bölgeye ayrılmıştır. Blok veriminin birimde yer alan çatlaklarla ilişkisi 6 bölgede ayrı ayrı

incelenerek her bölgedeki maksimum blok boyutu ortaya konmuştur. Sahada Kalınağıl mermerlerinin maksimum blok boyutunu belirleyebilmek için jeolog pusulası yardımıyla birimde egemen çatlakların konumu tespit edilmiş ve çatlaklar arası mesafeler ölçülmüştür. 6 bölgede yüzeyde yapılan çatlak ölçümleri neticesinde egemen çatlak doğrultu istikameti, çatlak eğim yönü ve eğim miktarları belirlenmiş ve bu sonuçlar yardımıyla deformasyona neden olan basınç ve tansiyon kuvvetlerinin yönleri bulunmuştur.

6 bölgede yapılan çatlak ölçümleri sonucunda egemen çatlak doğrultusunun;

- * 1. Bölge'de K40°-50° B ve K70°-80° D,
- * 2. Bölge'de K 30°-40°B ve K60°-70° D,
- * 3. Bölge'de K 10°-20° B, K 30°-40° B ve K 70°-80° D,
- * 4. Bölge'de K20°-30°B ve K70°-80° D,
- * 5. Bölge'de K10°-20°B ve K 70°-80° D
- * 6. Bölge'de K10°-20°B ve K 70°-80° D şeklinde olduğu ve deformasyonu oluşturan basınç kuvvetlerinin de bu yönde geliştiği belirlenmiştir (Şekil 4). Tansiyon kuvvetine paralel olarak gelişen çatlakların eğim yönleri ise;

- * 1. Bölge'de 10°-20° ve 220°-230°,
- * 2. Bölge'de 10°-30° ve 230°-240°,
- * 3. Bölge'de 10°-20° ve 230°-250°,
- * 4. Bölge'de 60°-70° ve 160°-170°,
- * 5. Bölge'de 70°-80° ve 150°-160°,
- * 6. Bölge'de 10°-20° ve 250°-260°

olarak bulunmuştur. Ayrıca 6 bölgedeki çatlakların eğim miktarları ise 60°-90° arasında değiştiği belirlenmiştir. 6 bölgede KB ve KD doğrultularında yapılan çatlaklar arası mesafe ölçümlerinde bu bölgelerdeki çatlak dağılımları aşağıda verilmiştir (Şekil 5).

- * 1. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %38'i ve KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %14'ü 1,50 m'den düşüktür.

Bölgenin özellikle kuzeyinde birimdeki şistozite düzlemleri arası mesafelerin 0,50-1,00 m arasında değişmesi blok verimliliği açısından olumsuz verilerden birisidir.

* 2. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %92'lik bölümü, KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin ise %94'lük bölümü 1,50 m'den büyüktür.

* 3. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %66, KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin ise %89'u 1,50 m'den büyüktür. Ayrıca gerek 2 ve gerekse 3. bölgede şistozite düzlemleri arası mesafelerin yaklaşık 1,50 m olması bu iki bölgeyi blok verimliliği açısından diğer bölgelere nazaran avantajlı duruma sokmaktadır.

* 4. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %94'ü, KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin ise %20'si 1,50 m'den küçüktür. Bu bölgedeki şistozite düzlemleri arası mesafelerin yaklaşık 1,50 m olmasına rağmen çatlaklar arası mesafelerin oldukça dar olması bu bölgedeki blok verimliliği açısından olumsuz verilerden birisidir. Kırmızı ve bordo rengin gözlemlendiği bu bölge moloz boyutunda üretim bakımından değerlendirilebilir.

* 5. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %52'si, KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin ise % 60'ı 1,50 m'den küçüktür.

* 6. Bölge'de KD doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin %100'ü, KB doğrultusundaki çatlaklar arası mesafelerin ise % 76'sı 1,50 m'den küçüktür. 5 ve 6 bölgelerde gerek çatlaklar arasındaki mesafelerin darlığı ve gerekse şistozite düzlemlerinin bu iki bölgede sık aralıklarla birimde yer

alması 5 ve 6 bölgenin blok boyutunu olumsuz etkilemektedir.

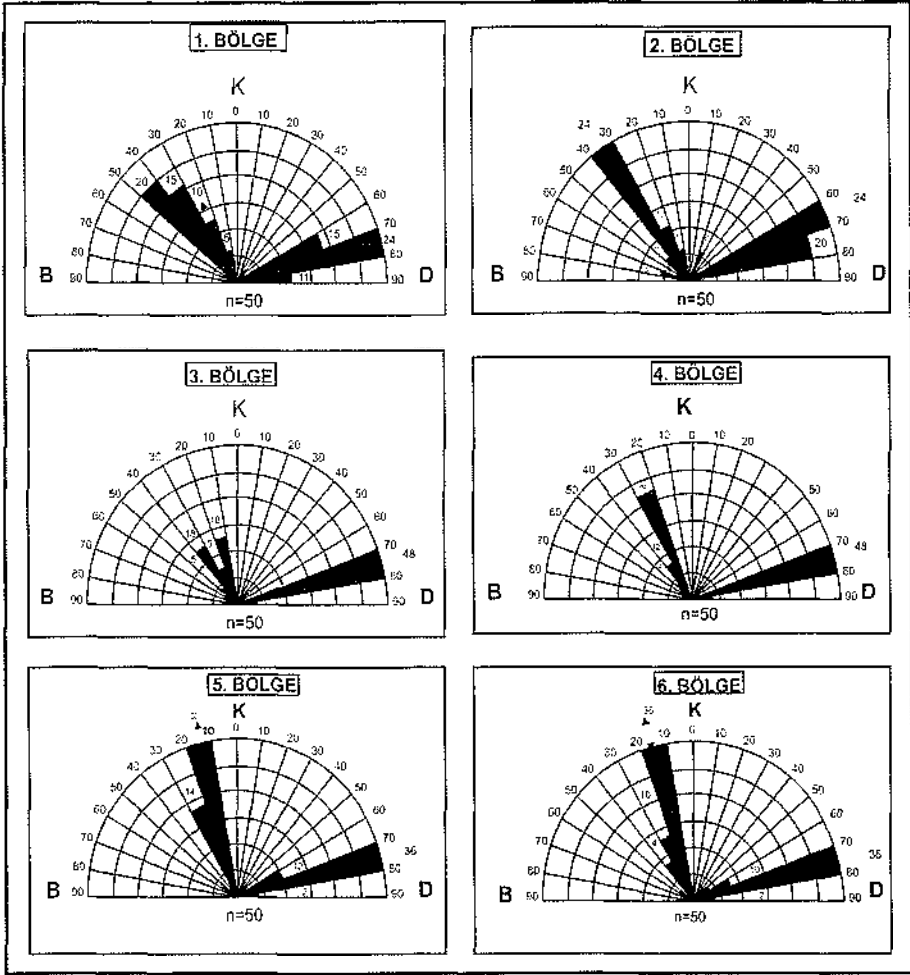
Halen ocak işletmesinin yapıldığı 4. bölgeyle 5 ve 6. bölgelerde çatlaklar arası mesafelerin dar oluşu ve birimde kıvrım ve fay gibi yapısal unsurların çokluğu, bu bölgelerin tektonizmadan daha çok etkilendiğini göstermektedir. Ancak blok verimliliği açısından değerlendirildiğinde, 2 ve 3. bölgedeki mermerler işletilebilir durumda olup, 1. bölge ise alternatif bölge olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölgede yapılan önceki çalışmalarda "*Kızılağaç formasyonu*" olarak adlandırılan ve "*EgeBordo*" ticari ismiyle satışı yapılan *Kalınbaşlı mermerleri* Senozoyik yaşlı olup, ruhsat sahasında çoğunlukla kırmızı ve bordonun değişik tonlarında gözlenmektedir. Birimde değişik renk ve litolojik özelliklerde dört farklı seviye ayırt edilmiştir. Bunlar; tabandaki kırmızı renkli seviye (1), bunun üzerinde yer alan bordo renkli seviye (2), beyazımsı matriks ve bordo beneklerden oluşan geçiş seviyesi (3) ve en üstte ise beyaz, açık yeşil renkli kristalize kireçtaşı seviyesidir (4).

Mükemmel şistozite özelliğinin görüldüğü Kalınbaşlı mermerlerinde birimin şistozite düzlemleriyle uyumlu bir şekilde yaklaşık 30cm kalınlığında damarlar bulunmaktadır. Birimin tabanında yaklaşık 1,50 m, üst seviyelerde ise 0,50-1,00 m aralıklarla yer alan damarlar Kalınbaşlı mermerlerinin rengini, dokusunu ve işletilebilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir.

Kalınbaşlı mermerlerinin blok verimini önemli ölçüde etkileyen çatlakların konumu, egemen çatlak doğrultu istikameti, çatlak eğim yönü ve eğim miktarları jeolog pusulası yardımıyla ölçülmüş ve çatlaklar arası mesafeler



Şekil 4. Kalınağıl mermerlerinde gözlenen çatlak düzlemlerine ait doğruftu diyagramları (n=50)

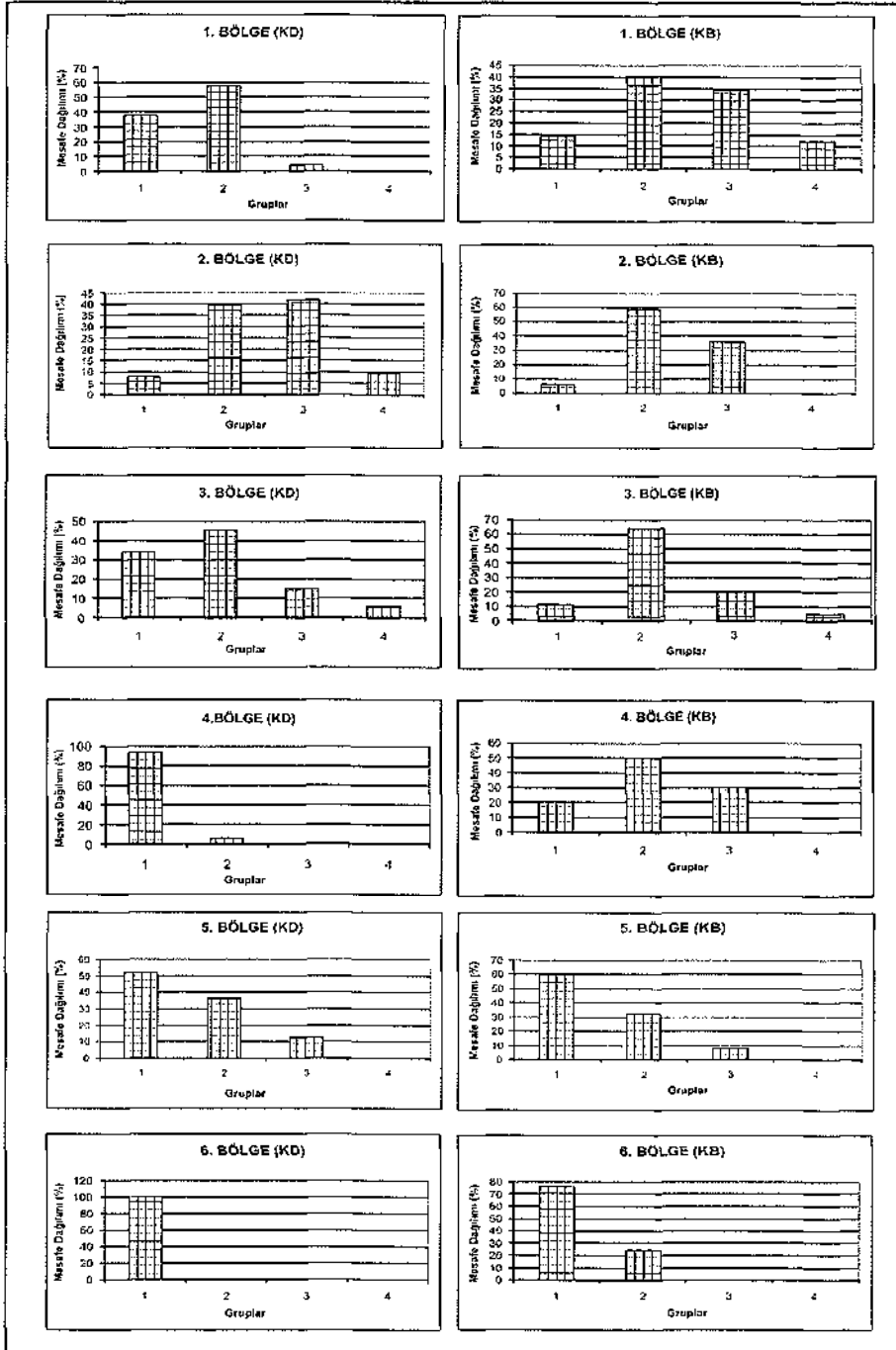
hesaplanmıştır. Buradan hareketle ruhsat sahasında maksimum blok boyutunun alınabileceğı bölgeler belirlenmiştir. Buna göre sahadaki maksimum blok boyutu 2. ve 3. bölgelerde olacaktır. Söz konusu bölgelerde Şekil 4'de belirtilen noktada ve işletme yönü boyunca çatlak doğruftuları dikkate alınarak işletme yapılması önerilmektedir. 1. bölge alternatif bölge olarak göz önünde bulundurulmaktadır. 4. bölge ise moloz boyutunda üretim bakımından değerlendirilebilir.

4. KATKI BELİRTME

Yazarlar saha çalışmalarını sırasındaki yardımlarından dolayı *Ufuk Mermer İşletmesi* personeline teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979, Menderes masifinin Simav dolayındaki kaya birimlerinin ve metabazik, meta ultrabazik kayaların konumları: TJK Bült., 22, 175-183.
Bağcı, M., 2006. Kozagaç - Kalınağıl



Şekil 5. Kalnağıl bölgesinde Ufuk mermer ocak sahasında KD – KB doğrultusu boyunca ölçülen çatlaklardaki mesafe dağılımı (%). (1): 0,00 m – 1,50 m, (2): 1,50 m – 3,00 m, (3): 3,00 m – 4,50 m, (4): 4,50 m – 6,00 m.

- (Muğla) Mermerlerinin Jeolojisi, Teknik Analizi ve Maden Ekonomisi açısından Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Çağlayan, MA., Öztürk, Z., Sav, H., Akat, U., 1980. Menderes Masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorum. Jeoloji Müh. Türkiye 10:9-19.
- Eren B., 1999, Milas-Yatağan-Kavaklıdere (Muğla) dolaylarındaki mermer yatakları, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 8-14 Mart 1999, İzmir.
- Kibici, Y., 1974, Muğla-Yatağan-Kediler-Akgedik-Deştin yöresinin jeolojisi, K.T.Ü. Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Bölümü "yüksek lisans tezi" (yayınlanmamış) Trabzon.
- Konak, N., Akdeniz, N., Öztürk, E.M., 1987. Geology of the South of Menderes Massif. In IGCP proj. 5. Field excursion guide book Western Anatolia, Turkey. Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey, 42- 53.
- Kun, N., Güngör, T., Erdoğan, B., 1999, Menderes masifindeki mermer yataklarının stratigrafik konumları ve özellikleri. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 8-14 Mart 1999, İzmir.
- Kuşcu, M., 1991, Muğla-Yatağan yöresi mermer yatakları, Metal-Maden cilt 2, sayı 3, s.41-44,
- Kuşcu, M., 1992, Kestanecik ve Kozagaç (Yatağan- Muğla) mermer yataklarının jeolojik ve ekonomik özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, s.42, 23-36, Ankara.
- Yavuz, A.B., Türk, N., Koca, M.Y., 2005, Geological parameters affecting the marble production in the quarries along the southern flank of the Menderes Massif, in SW Turkey, Engineering Geology 80 (2005) 214- 241.

Çelik Tel Donatılı Püskürtme Beton

Steel Fiber Reinforced Shotcrete

İ. M. Yerlikaya

Bekaert İzmit AŞ, Kocaeli

ÖZET Yeraltı madenciliğinde çelik tel donatıların kullanılması hızla yaygınlaşmaktadır. Püskürtme beton uygulamaları daha çok rampalar, shaft ve ana galeriler gibi kalıcı açıklıkların desteklenmesinde yoğunlaşmıştır. Klasik hasır çelik donatılı ile karşılaştırıldığında, çelik tel donatılı püskürtme beton, dayanıklılık ve süneklik kazanmakta, operasyonu daha basitleştirmektedir. Çelik tel donatı sayesinde betonun hızla yerine uygulanması ve kısa sürede yüksek bir dayanım kazanması, zeminin daha çabuk stabilizasyonunu sağlamaktadır. Toplam inşaat süresinin azalması, madencilik faaliyetlerinde verimliliği arttırmaktadır. Bu bildiriye çelik tel donatılı püskürtme betonun (ÇTDPB) kullanımını ve spesifikasyonuna dair öneriler verilmektedir.

ABSTRACT The use of steel fibre reinforcement for underground mining is developing fast. One of the main areas of sprayed concrete application is the support of permanent opening such as ramps, shaft and main galleries. The main benefits of steel fiber reinforced shotcrete (SFERS), when compared to conventional wire mesh reinforcement, are the simplification of the whole operation and its very high ductility or deformability. The shorter placing time of concrete and higher degree of early-age strength, provided by the steel fibre reinforcement, allows a faster stabilisation of the ground. Important reduction of the total construction time resulting in a higher productivity of the mining activities. This paper includes recommendations on how to specify SFERS and use.

1 PÜSKÜRTME BETON

1.1 Genel Özellikleri

Püskürtme beton, önceden hazırlanmış olan beton karışımının basınçlı hava yardımıyla uygulama yüzeyine püskürtülmesiyle elde edilen betondur.

Püskürtme beton agrega, çimento, su ve priz hızlandırıcı katkıdan oluşmaktadır. Yüksek oranda su azaltıcı

ve akışkanlaştırıcı katkıların yardımıyla su/çimento oranı 0,35 ve basınç dayanımları 60 MPa olabilmektedir.

Kalıba ihtiyaç olmadan borularla iletilmesi, kolay ve hızlı uygulanması, kısa sürede dayanım kazanarak taşıyıcılık özelliği kazanmasından dolayı, maden mühendisliği alanında gün geçtikçe geniş bir uygulama alanı

bulmuştur. Su ve hava etkisiyle ayrışma tehlikesi olan yüzeylerde, kazıdan hemen sonra uygulanarak gevşemeleri ve yüzey bozulmasını önler. Uygulama anında çatlakları doldurarak kayanın kesme dayanımını artırır, gerilme yığılmalarını azaltır ve açılan boşluk içinde bir kabuk gibi çalışarak kaya kütesinin yeniden kendi kendini taşımasını sağlar. (Vandewalle 2005)

Ancak, kazı yüzeylerinde oluşan çok küçük deformasyonlar bile püskürtme betonda çatlaklara yol açarlar .

Böyle bir durumda donatısız püskürtme beton tabakası yük taşıma kapasitesini tamamen kaybeder. Kaya bloğunun ani göçmesinden kaçınmak için püskürtme betonunu donatılı yapmak gerekir.

Donatılı betonların bu sünek davranışı, çatlak oluşan bölgelerde ilave püskürtme beton veya kaya bulonu kullanmak için bir uyarıdır.

Püskürtme betonun farklı donatılarla kullanılması kaya ortamının sağlamlık derecesine göre seçilmektedir. (Arioğlu, Yüksel ve Yılmaz 2008). Kesit geometrilerine uyum sağladığı için püskürtme beton, çelik tel ve kaya saplamalarından oluşan destekleme sistemi maden galerilerinde başarıyla uygulamaktadır.

1.2 Çelik Tel Donatılı Püskürtme Beton

Çelik teller püskürtme betona süneklik sağlamak ve enerji yutma kapasitesini arttırmak amacıyla ilave edilir. Bu amaç için üretilen çelik teller, değişik biçimlere ve çaplara sahiptirler.

Çelik tellerin uzunluğu, en büyük agregaya çapına göre değişir ve 25 ile 35 mm arasındadır. Tel uzunluğunun tel çapına oranı (l/d) 45 ile 80 arasında değişmektedir. Çelik tellerin uzunluk/

çap oranı arttıkça, püskürtme betonun eğilmede çekme mukavemeti, sünekliği ve enerji yutma kapasitesi artmaktadır.

Beton içinde bulunan çelik teller, matris içinde homojen olarak dağılmakta ve herhangi bir kesitte oluşan, gelişme eğilimindeki mikro çatlakları engelleyecek bir köprü görevini yapmaktadırlar.

Çelik tel donatılı püskürtme beton, kaya yüzeylerini takip ederek en az döküntü ile kazıdan sonra hemen uygulanabilir. Alternatif bir donatı olan çelik hasırı kaya yüzeylerine tutturmak zordur, tehlikelidir ve pahalı bir yöntemdir. Uzun ana galerilerde çelik hasırın uygulama yerine taşınması zaman gerektirir. Hasır montajı için kaya yüzeylerinde montaj deliklerinin açılması ve hasırın kaya yüzeyine uygun olarak tutturulması zahmetli ve riskli bir işlemdir.

Tünel mühendisliğinde kullanılan başlıca iki püskürtme yöntemi vardır. Uygulama yapılan yerin özelliklerine, uygulama hızına ve istenilen beton kalitesine bağlı olarak kuru veya yaş sistemden birisi tercih edilir.

1.2.1 Kuru sistem

Bu sistemde çelik tel, çimento, % 3-8 arasında nem oranına sahip kum ve agregaya karışımı püskürtme makinasına kuru olarak gönderilir ve ıslatılarak basınçlı hava ile uygulama yüzeyine püskürtülür. Agreganın nem oranı bu değerlerden az ise, uygulama yerinde toz problemi olur. Fazla olursa tıkanma sorunu yaşanır. Püskürtme ucuna malzeme taşıyan hortum çapı, en büyük agregaya çapının en az 3 katı olmalıdır.

Kuru karışım, nozuldan geçerken tamamen ıslanmalı ve su basıncı bunu sağlayacak mertebede ayarlanmalıdır. Araştırmalar, ıslatma işleminin, nozul

ucunun 1-3 m gerisinden yapılmasının daha homojen bir ıslatma sağladığını, tozumu ve dökülmeyi azattığını göstermiştir.

Bu sistemin zayıf yönü ,karışma ilave edilen su miktarının ,operatör tarafından nozulun üzerinde bulunan el vanası ile ayarlanmasıdır. Operatör su miktarını iyi ayarlayamaz ise ,beton mukavemeti düşer,geri dökülme artar.Bu bakımdan uygulamanın başarılı olması için püskürtme beton uygulamalarında deneyimli eleman kullanılmalıdır.

Geri sıçrama oranı ıslak sisteme göre yüksektir ve % 15-40 arasında değişmektedir.

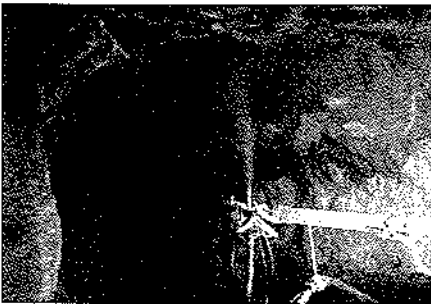
Bu yöntem düşük verimli ve küçük kapasiteli olduğu için küçük hacimli uygulamalarda ve küçük galerilerde tercih edilmektedir.

1.2.2 Islak sistem

Bu sistemde beton santralında hazırlanan beton karışımı pompa ile püskürtme ucuna iletilir.Burada basınçlı hava ve priz hızlandırıcı katkı ilave edilerek yüzeye püskürtülür.Kaliteli,yüksek dayanımlı bir beton elde etmek için,su azaltıcı katkı kullanılması tavsiye edilir.

Uygulamada püskürtme hortumu ağır olduğu için uzaktan kumandalı robot kol tercih edilir.

Islak sistemde geri sıçrama daha azdır,tünel içinde çok az toz oluşur ,beton



Şekil 1.Robot ile ÇTDPB uygulaması

dayanımı artar ve daha verimlidir.Büyük ölçekli uygulamalar için elverişlidir.

2 TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Maden galerilerinde yol tüneli inşaatlarında aranan yüksek standartların yerine, hız ve esneklik ön plandadır. Madencilikte bu yüksek standartlar gerekli değildir. Yol tünellerinde 100 yıl sorunsuz bir servis ömrü beklenirken, maden tünelleri sadece cevhere ulaşımı sağlayan bir bağlantıdır. Cevher bitince , tünelin işlevi de biter . Diğer tünel inşaatlarında tünelin inşaatı bir projedir ama madencilikte amaç tünelin bitirilmesi ve ana iş olan maden cevherinin üretimidir.

Klasik tünel inşaatlarında , aynaya ulaşım genelde sorunsuzdur . Madencilikte ise, ekipmanı ve yapı malzemelerini dağılmış değişik uygulama yerlerine ulaştırmak kolay değildir. Maden galerilerinin inşaat sistemini diğer tünel inşaatlarından ayıran en önemli özellik , devam eden madencilik faaliyetlerinden dolayı oluşan büyük deformasyonlara karşı , galerilerin ayakta kalmasıdır. Güçlendirmekten amaç kaya kütlelerinin kendisini taşımasını sağlamaktır. Yeraltı

açıklıklarının etrafını saran kaya kütlelerinin çökmesi, yerindeki gerilim seviyesine ve kaya kütlelerinin yapısına bağlıdır. Tünel deformasyonlarının kontrolünde ana rolü oynayan ,seçilen destek tipidir. Destek sisteminin tipine,kaya yapısına ve gerilmeye bağlı olarak ,destek sistemi kaya yüzeyine tam olarak uygulandığında ve mükemmel bir temas sağlandığında , elastik bir deformasyon yapar ve bir dengeye ulaşır. Yapılan destek sistemi yeterli değilse denge bozulur ve sistem çöker .

Eğer geç destek yapılırsa, kaya kütleli deformasyona devam eder ve

yine çökme ile sonuçlanır. Bu bakımdan zamanında yapılan uygun destek sistemi en ekonomik ve güvenlisidir.(Vandewalle 2008)

Çelik tel donatılı püskürtme beton, kazıdan sonra hemen uygulanabilmesi, deformasyon kapasitesi ve yüksek enerji yutma özelliği ile bu beklentileri karşılar. Betonun yük altında maksimum dayanımın aşılmasından sonraki deformasyon yapabilme yeteneği süneklik ve yuttuğu enerji miktarı tokluk olarak tanımlanır.

2.1 Tokluk Sınıfının Belirlenmesi

Çelik teller,püskürtme betonun yapısını değiştirir,kırılgan bir malzemeden sünek bir yapıya dönüştürür.Bu özelliği ölçebilmek için, kiriş eğilme ve Efnarc plak testleri yapılır.

2.1.1 Kiriş eğilme-çekme testi

Püskürtme beton ile doldurulan test panellerinden kesilerek çıkartılan 75x125x600 mm boyutlarındaki kiriş numuneleri,üçte iki noktalarından basit kiriş yüklemesi şeklinde yüklenerek test edilir.Kiriş orta açıklık deformasyonu 4 mm'ye ulaşınca ya da teste devam edilir ve yük-deformasyon eğrisi çizilir. Eşdeğer eğilme dayanımı ve tokluk faktörü aşağıda verilen formül (1) ve (2) ile hesaplanır. (TS10515)

$$F_e = A / \delta \cdot L / (b \cdot h^2) \text{ MPa} \quad (1)$$

$$Re3 = F_e / F_o \quad \% \quad (2)$$

F_e: Eşdeğer eğilme dayanımı N/mm²

A: Yük-deformasyon eğrisi altındaki alan Nmm

δ: Kiriş altında ölçülen deformasyon mm

b:Kiriş genişliği mm

h:Kiriş yüksekliği mm

L:Kiriş uzunluğu mm

F_o: Kirişin ilk çatlak dayanımı N/mm²

Re3: Tokluk faktörü %

2.1.2 Plak testi

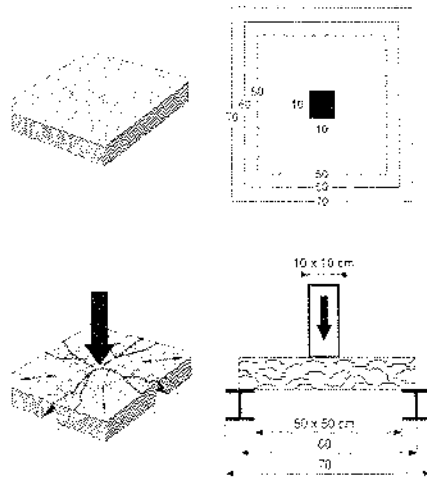
Kiriş eğilme testi,malzeme özelliklerini belirler,yapısal bir test metodu değildir. Beton kaplamaların gerçek davranışlarını temsil etmez. Kaya yüzeyleri düzensizdir ve zemin hareketlerini tahmin etmek zordur.

Püskürtme beton kaplamasının statik davranışının plaka olarak modellenmesi daha gerçekçidir.(Arioğlu ve Yüksel 2008)

Bu amaçla Fransa'da SNCF/Alpes Essais tarafından yeni bir plak testi geliştirildi.Bu plak testi Efnarc tarafından onaylandı günümüzde Avrupa standardı olarak kullanılmaktadır .

60x60x10cm boyutlarında püskürtme beton ile elde edilen plağa,Şekil 1'de gösterildiği gibi,orta noktasından yük uygulanır ve deformasyon 25 mm'ye ulaşınca ya da dakikada 1,5 mm hızla teste devam edilir.Yük-deformasyon eğrisinden elde edilen bilgilerle yutulan enerjiyi gösteren joule-deformasyon grafiği çizilir.(Efnarc 1996)

Bu yöntem beton kaplamanın tüneldeki gerçek davranışını canlandırır ve iki boyutta yüklenmiş plağın enerji



Şekil 2.Plak testi

Çizelge 1.Enerji Yutma Kapasitesi

Tokluk Sınıfı	Joules	
a	500	sağlam zeminler için
b	700	orta sınıf zeminler için
c	1000	zor zemin koşulları için

yutma kapasitesi hakkında iyi bir fikir verir.Bu test temel alınarak Çizelge1'de gösterilen 3 tip çelik tel donatılı beton sınıfı oluşturulur.

2.1.3 Deneysel dizayn

Yeraltı kazıları için püskürtme beton tahkimatının tasarımı çok kesin olmayan bir işlemdir.Şu an kullanılan püskürtme beton tahkimatının tasarım metodolojisi ağırlıklı olarak temel kurallara ve önceki deneyimlere bağlıdır.(Hoek 2006)

Barton ve Grimstad çelik tel donatılı püskürtme betonu içeren kaya kütle kalitesi Q ile bağlantılı tahkimat sistemleri abağı yayınlamışlardır.Bu abak yardımıyla, plak testlerinden elde edilen joule değerleri kullanılarak ön boyutlandırma yapılabilmektedir. (Vandewalle 2005)

2.2 Dayanıklılık

Çelik tel donatılı püskürtme betonların korozyon direnci bazı faktörlere bağlıdır. Matrix yapı alkali ortamda ve çatlaksız kaldıkça ÇTDPB'da bozulma oluşmaz. İyi kaliteli ÇTDPB, alkali derecesini değiştirecek etkilere maruz kalırsa yıllar sonra karbonatlaşma derinliği birkaç milimetreye ulaşır. (DSİ 2006)

Yüzeyde kalan teller zaman içinde paslanabilir.Ama bu durum yapısal bir zayıflık doğurmaz ve korozyona süreklilik kazandırmaz. Tellerin çapı 0,40 mm-0,60 mm aralığında olduğu için , korozyon sonunda beton yüzeyinde hasar oluşamaz.

3 UYGULAMALAR

Ülkemizdemaden ocaklarında püskürtme

beton uygulamaları yaygınlaşmaktadır.

Halen 5 büyük maden işletmesinde bu sistem tatbik edilmektedir. Bu işletmeler,

- Çayeli Bakır İşletmeleri/Rize
- Şirvan Bakır Madenleri/Süirt
- Koza Altın İşletmeleri/ Bergama
- Küre Bakır İşletmeleri/ Küre
- Pulpınar Krom İşletmesi/Kayseri'dir.

Bu işletmelerden Çayeli Bakır ve Pulpınar Krom işletmesinde yapılan uygulamalar aşağıda detaylı olarak verilmektedir.

3.1 Pulpınar Krom İşletmesinde püskürtme beton uygulaması /Kayseri

Pulpınar yeraltı krom işletmesinde boşlukların tahkiminde 2002 yılına kadar ahşap tahkimat kullanılmıştır.Bu tahkimat yeraltı ortam koşullarından dolayı çürümekte ve 6 ay ile 1 yıl içersinde yenilenmektedir.

Ahşap tahkimat, her yerde kesit geometrisine uymadığı için tam işlev görememekte ve yer yer dökülmeler olmaktadır. Ayrıca, ahşap tahkimat kesitleri önemli ölçüde daraltılmaktadır. (Yüksək, Demirci ve Dayı 2004)

Bu tahkimatın değiştirilmesi sırasında ani çökmeler olmakta ve işçiler için büyük risk oluşturmaktadır. Yukarıda bahsedilen bu olumsuzlukları gidermek için 2002 yılında ana nakliye yollarında kuru sistem çelik tel donatılı püskürtme beton uygulamalarına başlanmıştır.

Çizelge 2.Beton Karışım Dizaynı

Malzeme	Miktarı (kg)	Çapları (mm)
Kum	1100	0-7
Kırma Taş	230	5-12
Dere Çakılı	230	5-10
çimento	400	
Çelik Tel	30	0,55
Priz hızlandırıcı	20	

3.1.1 Uygulamaların karşılaştırılması

Yeryüzünde kuru şekilde karıştırılan beton karışımı, kuyudan vagonlarla uygulama yerine götürülmüştür. Burada priz hızlandırıcı katkı ilave edilerek ,6 m³/saat kapasiteli Aliva marka püskürtme beton makinası ile uygulama yüzeylerine basınçlı hava ile püskürtülmüştür.

Bu kaplama ile kuru ve daha emniyetli bir çalışma ortamı ortaya çıkarılmış, faydalı kesit alanı büyümüştür.

Her iki sistem için tahkimat malzemeleri ile makina ve enerji giderleri 2004 yılı baz alınarak karşılaştırılmıştır. Ahşap tahkimatın maliyeti 105 TL/m iken, çelik tel donatılı püskürtme betonun maliyeti 70 TL/m olmuştur. (Yüksek, Demirci ve Dayı 2004)

Ayrıca ahşap tahkimatın dezavantajı püskürtme beton uygulamasıyla ortadan kaldırılmıştır.

3.2 Çayeli Bakır İşletmeleri (ÇBİ)/Rize

ÇBİ, yüksek mekanize bir sistemle günde 3000 tonluk üretimle çalışmaktadır. Ana tahkimat elemanı olarak püskürtme beton ile birlikte kaya sapslamaları kullanılmaktadır.

ÇBİ'nde çelik tel donatılı püskürtme beton hazırlık amacıyla pasada sürülen ana rampa, havuzlar, araştırma galerileri, malzeme cepleri ve nakliye galerilerinde 1997 yılından itibaren uygulanmaktadır .

Çelik teller galeri girişinin yakınında bulunan beton santralında karışıma ilave edilmekte ve Normet transmikser ile uygulama yerine taşınmaktadır. Betonun püskürtülmesi için Normet ıslak püskürtme beton makinası kullanılmakta ve robot kol yardımıyla kaya yüzeyine 10 cm kalınlıkta uygulanmaktadır. 5 m x 5 m'lik bir galeride ve 4 m'lik bir ilerlemede (1 round) 10 m³ püskürtme

beton kullanılmaktadır.

Ayda 1000 m³ püskürtme beton tüketilmektedir.

Püskürtme beton karışım dizaynı:

-Çimento: 520 kg PKÇ/A 42.5R

-Agrega : 1088 kg 0-5 mm kum

457 kg 5-9 mm kırma taş

-Su : 160 kg (%10 nem düşünülerek)

-Slamp : 9-12 cm

-Çelik tel donatı : 40 kg/m³

-Tel uzunluğu : 35 mm

-Basınç dayanımı (28 gün) : 30 MPa

-Efnarc plak testi: 1000 Joule/25 mm

Islak kaya yüzeylerinde dökülmeyi önlemek ve yapışma sağlamak amacıyla çimento ağırlığının %10'u oranında silica fume ilave edilmektedir.

Yapılan ölçümlerde, ÇTDPB'un geri dökülme miktarı %10, çelik hasır donatılı püskürtme betonun ise, %15 olduğu görülmüştür.

Püskürtme betonun enerji yutma kapasitesinin ölçülmesi için Efnarc plak testleri yapılmış ve 1000 Joule/25 mm değeri bulunmuştur. Bu değer ,maden galerilerinde seçilen en üst enerji seviyesidir.

ÇTDPB'nun uygulama süresi, çelik hasırlı püskürtme betona göre %50 oranında azalmıştır.

İşçilik ve malzeme fiyatları da göz önünde bulundurulduğunda , ÇBİ'nde 10 cm kalınlığında ÇTDPB'un toplam maliyeti, hasır çelik ile desteklenmiş bir galeri maliyetinin %64'ü kadardır.

4 SONUÇLAR

Püskürtme beton uygulamalarında en büyük pay, madencilik sektörüne aittir. En önemli uygulama alanları rampalar, ulaşım galerileri, shaft ve araştırma galerileridir. Büyük galerilerde

ıslak püskürtme makinası tercih edilirken, nispeten daha dar galerilerde kuru sistem uygulanmaktadır

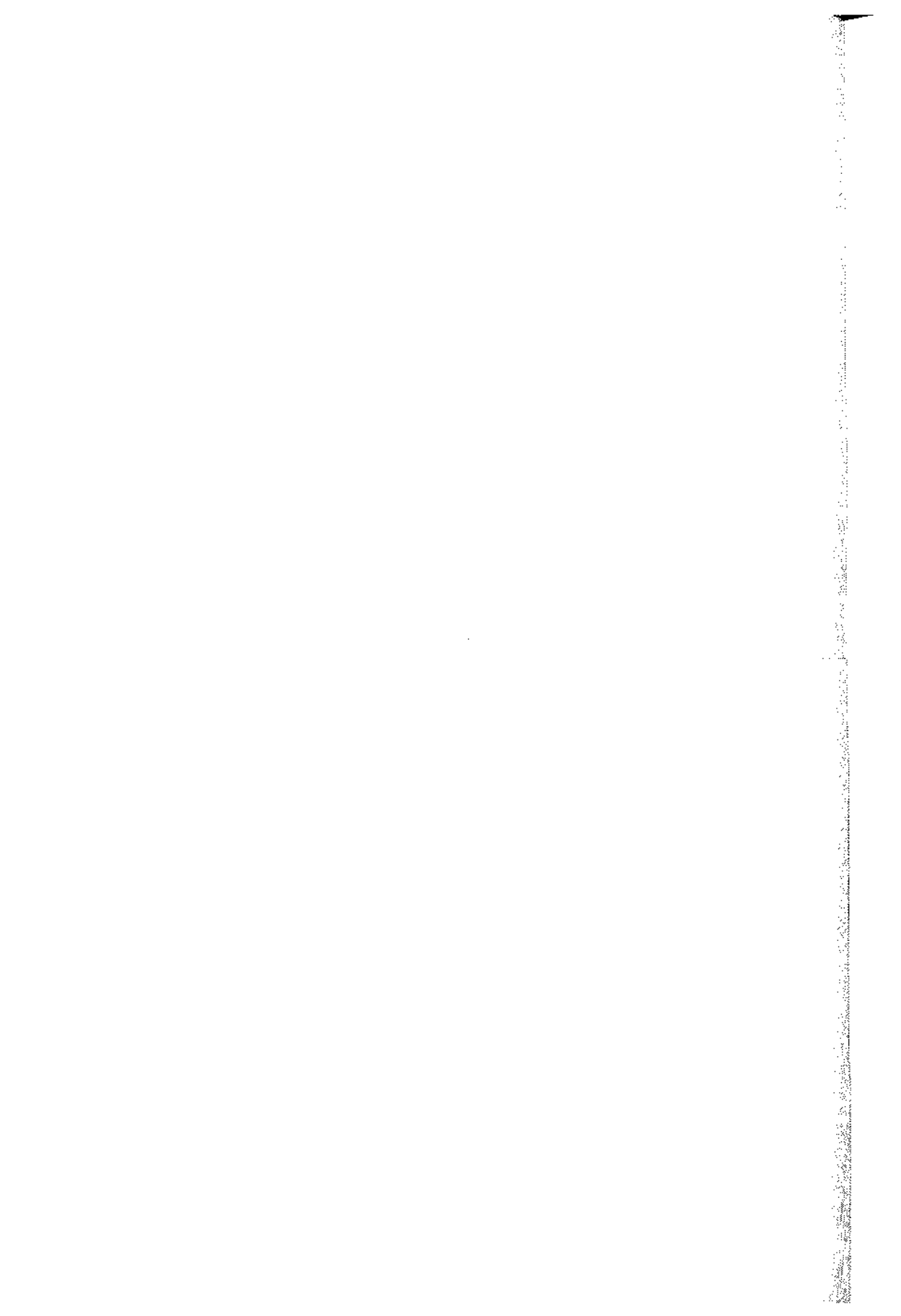
İşçiliği azalttığı ve hasır kullanımını kaldırdığı için, çelik tel ile güçlendirilmiş püskürtme beton uygulamaları verimliliği arttırmakta dolayısıyla daha az maliyet getirmektedir.

ÇTDPB, yüksek enerji yutma kapasitesine ve üstün dürabiliteye sahip sünek betondur. Çelik tel içeriğine bağlı olarak istenilen maksimum yüke ve yutulan enerjiye erişmek mümkündür.

Püskürtme betonun robot yardımı ile uygulanması ve kaya yüzeylerinde çelik hasır montajı yerine çelik tel kullanımı bu kritik yerlerde işçilerin hayatını tehlikeye atmadan en kısa sürede tahkimatı sağlamak ve iş güvenliğini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Wandevall, M., 2005. Tunnelling is an Art
NV Bekaert SA, s.70
- Arıoğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A., 2008. Püskürtme Beton, Maden Mühendisleri Odası, s.113
TS 10515 Çelik Tel Donatılı Beton
- Arıoğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A., 2008. Püskürtme Beton, Maden Mühendisleri Odası, s.16
- Efnarc, 1996. European Specification for Sprayed Concrete
- Hoek, E., 2006. Kaya Mühendisliği
Maden Mühendisleri Odası, s.291
- DSİ, 2007 Püskürtme Beton Teknik Şartnamesi s.24
- Yüksek, S., Demirci, A., Dayı, Ö., 2004. Pulpınar Krom İşletmesi Kayamek'2004-Kaya Mekaniği Sempozyumu, s.5



Pnömatik Ön Gerilmeli Ahşap Domuzdamı ve Uygulamaları

Pneumatic Prestressed Wooden Cribs and Their Applications

R. Dağdelen, T. Özkan, H. Demirler, C. Yamudi

Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, Zonguldak

ÖZET Yer altı kömür madenciliğinde arına paralel ahşap tahkimatlı uzun ayak yöntemi en yaygın olarak kullanılan üretim yöntemidir. Büyük yük taşıma kapasiteleri ve yüksek katlıkları nedeniyle domuzdamları, ahşap tahkimatlı uzun ayak yönteminde tahkimatın ayrılmaz ve önemli bir parçasıdır.

Bu bildiride; Türkiye Taşkömürü Kurumu yer altı üretim ocaklarında yeni bir uygulama olan pnömatik ön gerilmeli ahşap domuzdamı tahkimat sisteminin tanıtımı, tasarımın mekanik davranışı, yük taşıma kabiliyetleri ve Kozlu Müessesesindeki uygulama sonucu elde edilen yük ölçümleri değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Longwall method with parallel timbering is widely used in underground coal mining. Because of high load bearing capacity and high hardness, timber cribs are important and inseparable part of support in longwall method.

In this study, definition of timber cribs with pneumatic pretensioned which are newly applied in TTK's underground production areas, mechanical behavior of the project, load bearing ratio and loading measures obtained from the applications in Kozlu Colliery have been evaluated

1. GİRİŞ

Ülkemizin KİT kapsamında tek taşkömürü üreticisi konumunda olan Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), zor jeolojik koşullarda çalışmalarını sürdürmektedir. Havzanın iki kez tektonizma geçirmiş olması damarların faylarla bölünmesine, eğim ve kalınlıklarının sık sık değişmesine yol açmıştır. Hemen tüm panolarda

küçük veya büyük atımlı faylara rastlanmaktadır. Kömür damarları aşırı kıvrımlanma ve kalınlıklarında değişkenlik göstermektedir.

Dolayısıyla mekanize kazı ve tahkim elemanlarının kullanımı kısıtlı olup bu damarlarda emek yoğun, yüksek maliyetli ve emniyet açısından riskli koşullarda üretim çalışmaları sürdürülmektedir. 170 yıllık üretim

kültürü olan havzada, üretim klasik yöntemlerle günümüze kadar süre gelip, yeni kazı ve tahkimat yöntemleri klasik yöntemlere uyarlamaya çalışılmaktadır. Bu klasik yöntemlerden biri de yaygın bir şekilde kullanılmakta olan göçertmeli uzunayak yöntemidir.

Büyük yük taşıma kapasiteleri ve yüksek katlıkları nedeniyle domuzdamları, ahşap tahkimatlı göçertmeli uzun ayak yönteminde tahkimatın ayrılmaz ve önemli bir parçasıdır. Çünkü, domuzdamı tavan basıncını karşılar ve ayak arkası göçüğünün arına ve açılmış olan haveye yayılmasını önler.

Bu yeni sistem ile birlikte özellikle tavan taşının sert olduğu ani tavan kırılmaların meydana geldiği ortamlarda tabaka kontrolünün daha güvenli yapılabilmesi ve bunun yanında ekonomik hale getirilebilmesi sağlanmıştır. Ayak içinde tavan kontrolünün yeterli yapılamamasından meydana gelen iş kazalarından doğan iş gücü kaybının getirdiği mali külfet azımsanamayacak miktardadır.

2. KLASİK DOMUZDAMLARI

Ansiklopedik olarak "dam" eski Türkçe "tam" ya da "ev" den türetilmiş olup, bir binanın, bir yapının üst yüzü, küçük ev, ahır veya hapisane anlamlarında kullanılmaktadır (Büyük Larousse 1986). "Domuz ahin/ağılı" ya da "domuz kafesi" anlamına gelen domuzdamı sözeüğü, Türk Dil Kurumu'nun Halk Ağzından Derleme Sözlüğü'ne göre şu anlamlarda da kullanılmaktadır (TDK 1969):

Maden ocaklarında çökme tehlikesi olan yerlerde her tarafı ağaç direk ve ağaç kamalarla örülen bağ (Aliköy, Çaycuma - Zonguldak).

Çay ve ırmaklarda taş ve ağaçlarla

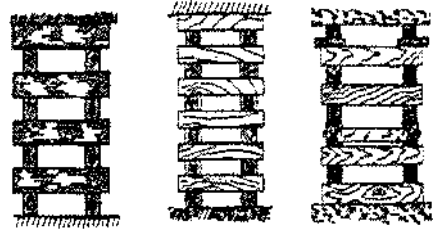
yapılan bent (Kargı - Çorum; Rize).

Sel baskınlarına engel olmak için derelerin kenarlarına yapılan korkuluk (Düzköy, Keşap - Giresun).

Suyun çıktığı kaynak ve çevresi, üzeri betonla kaplı su havuzu (Tanrıvermiş Mecitözü - Çorun)" (Ünlü T. & Gerçek H. 2000)

2.1 Klasik Ahşap Domuzdamları

Havzada geçmişte kullanılan domuz damlarının herhangi bir standardı bulunmamaktadır. Genel olarak, 20x20 cm civarında ve boyları ise 80 ila 150 cm arasında değişik uzunluklarda olup, genelde 30 cm çapındaki meşe, kayın ve gürgen gibi sert ağaçların dört tarafından 5'er cm tıraşlanmasıyla elde edilirdi. Bu ahşap direkler bir birine dik olacak şekilde düzenli ağaçtan yapılmış sikturma takozları ile sıkırlır(Şekil 1).



Şekil 1 Arka göçertmeli uzunayaklar da kullanılan klasik ahşap birkaç domuzdamı türü(Ünlü T. & Gerçek H. 2000).

3. PNÖMATİK ÖN GERİLMELİ AHŞAP DOMUZDAMI TAHKİMAT SİSTEMİNİN TANITILMASI

Ön gerilmeli ahşap domuzdamı sisteminin kurumumuzda araştırma ve geliştirme çalışmaları 2004 yılında başlamış olup boyut ve ahşap cinsi olarak birçok test aşamalarından geçerek günümüze kadar gelmiştir. Bu çalışmalar sonucunda sistem tamamıyla boyutlandırılarak standart hale getirilmiş

ahşap domuzdamlarından, öngerilme elemanı (yastık), ara bağlantı elemanları, basınç ölçer ve yastık koruyucu takozlardan oluşturulmuştur.

3.1 Ön Gerilme Elemanı

Ar-Ge çalışmaları sırasında ön gerilme elemanını tespitinde farklı tip, model ve boyutlarda yastık kullanılmış olup "Aramid" katkılı doku ile kuvvetlendirilmiş V68 tipinin kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 2). V68 öngerilme elemanının özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2 Öngerilme elemanı

Çizelge 1 Havzada kullanılan V68 tipi yastık özellikleri

Kaldırma kuvveti,max	677000 N
Kaldırma yüksekliği	52 cm
Boyutlar	95x95 cm
Kalınlık	2,5 cm
Normal iç hacim	161,9 litre
Hava ihtiyacı(8 bar da)	1457,1 litre
İşletme Basıncı	8 bar
Test Basıncı	12 bar
Patlama Basıncı	32,5 bar
Ağırlık	21,9 kg.

3.2 Yeni Ahşap Domuzdamı

Yeraltı madenciliğinde ilk defa kullanılan, ön gerilmeli bu sistemde;

- Ön gerilme ile domuzdamına gelen tavan yükünü eşit bir şekilde taşımaları,
- Tavan kontrolünün etkinliği,
- Kuruldukları anda yük taşıma özelliğinin olması,
- Ayak arkasının düzgün bir hat şeklinde keserek geçertilmesi,
- Ayakta her an domuzdamı yükünün ölçülebilmesi,
- Domuzdamı yük diyagramının çizilebilmesi sağlanmış ayak tahkimatının güvenliği artırılmıştır.

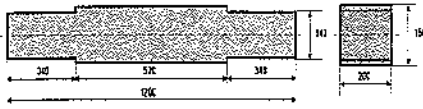
Domuzdamlarında yük taşıyan yüzeylerin paralel olması duraylılık (Stabilite) açısından çok önemlidir. Bu özellik göz önüne alınarak ahşap domuzdamları,20x15 cm kesitli,120cm eşit uzunlukta, kesme ve eğilme mukavemet değerleri yüksek olan kayın ve meşe ağaçlarından özel şekil verilerek piyasada imal ettirilmiş ve halen ocaklarda kullanılmaktadır (şekil 3).



Şekil 3 Üretim ayağında kurulan yeni gerilmeli domuzdamı(Nisan-2007)

3.2.1 Boyutlandırma

Ahşap domuzdamlarının yapımında kullanılan direklerin standart boyutları Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 4 Ahşap domuzdamında kullanılan direk boyutları (mm)

3.2.2 Yeni ahşap domuzdamlarının mekanik davranış ve özellikleri

Tasarım sırasında ahşap domuzdamının mekanik davranışı incelendiğinde; kiriş gibi çalışan domuzdamı A ve B mesnetlerine serbestçe oturmuş olup (Şekil 5), sıktırma yastığı veya ön gerilme elemanının $q(N/cm)$ büyüklüğünde eşit yayılı yükte çalışmakta dolayısıyla (1-2) kesitinde kesmeye ve 0 kesitinde eğilmeye zorlanmaktadır olduğu görülmektedir. Kirişin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları Şekil 5 ve 6 da verilmiştir.

Sistem simetrik olduğu için mesnetlerde meydana gelen reaksiyonlar da simetrik olacaktır.

T : Reaksiyon kuvvetleri

M : Moment

X : Uzunluk

q :yayılı yük

$T_A = T_B = qL/2 = q[N/cm] * 92[cm]/2$

$T_A = T_B = 46q[N]$

• $0 \leq x \leq 10$ cm için:

$T_x = -qx$

$M_x = -qx(x/2)$

$M_x = -qx^2/2$

$T_{x_0} = 0 \quad T_{x_{10}} = -10q, N$

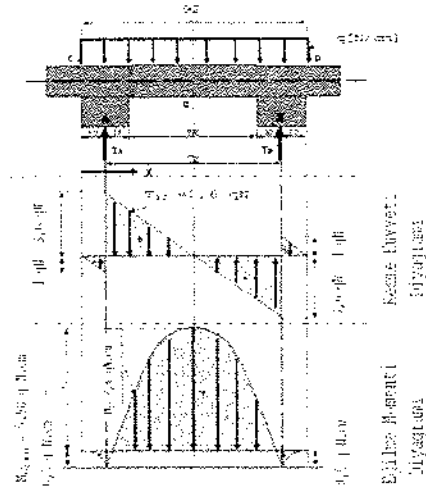
$M_{x_0} = 0 \quad M_{x_{10}} = -q * 100/2$

$M_{x_{10}} = -50q [N.cm]$

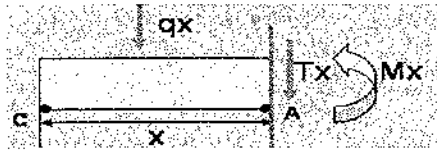
$T_x = 46q - qx$

$M_x = 46q(x-10) - qx^2/2$

$T_{x_{10}} = 46q - 10q$

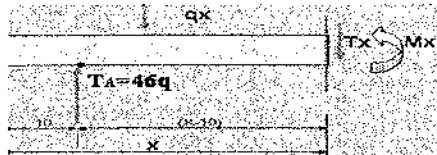


Şekil 5: Ahşap Domuz damının mekanik davranış diyagramı.



Şekil 6-A "A ve C" noktalarındaki gerilmeler

• $10 \leq x \leq 82$ cm için:



Şekil 6-B A ve B noktalarındaki gerilmeler

$M_{x_{10}} = -qx^2/2$

$T_{x_{10}} = 36q [N]$

$M_{x_{10}} = -50q[N.cm]$

$T_{x_{46}} = 46q - 46q$

$M_{x_{46}} = 46q(46-10) - q(46)^2/2$

$T_{x_{46}} = 0$

$M_{x_{46}} = 598q [N.cm]$

$T_{x_{82}} = 46q - 82q$

$M_{x_{82}} = 46q(82-10) - q(82)^2/2$

$T_{x_{82}} = -36q [N]$

$M_{x_{82}} = -50q[N.cm]$

(1-2) Kritik kesit için;

$T_{12} = T_{x_{20}} = 46q - 20q = 26q [N]$

$T_{12} = T_{x_{20}} = 26q [N]$

$$M_{12} = M_{x_{20}} = 46q(20-10) - q(20)^2/2$$

$$M_{12} = M_{x_{20}} = 260q \text{ [N.cm]}$$

$$M_x \text{ 'in } 0 \text{ olduğu noktalar;}$$

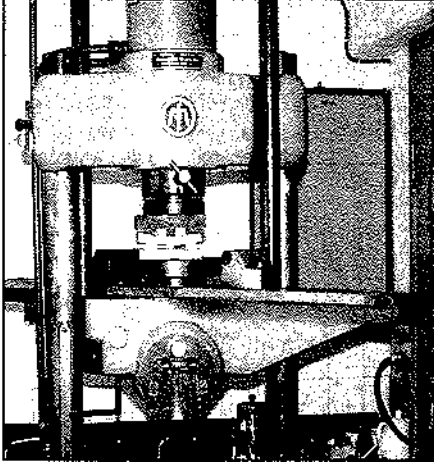
$$M_x = 46q(x-10) - qx^2/2 = 0$$

$$92(x-10) - x^2 = 0$$

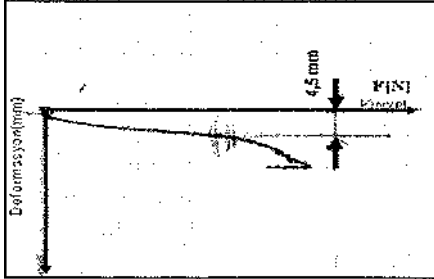
$$x^2 - 92x + 920 = 0$$

$$X_1 = 11,4 \text{ cm}$$

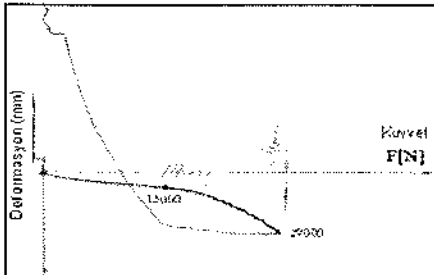
$$X_2 = 80,6 \text{ cm}$$



Şekil 7 MAZ laboratuvarında çekme-basma deney düzeneği



Şekil 8a Yaş Kayın ağacıyla yapılan basma deneyi diyagram



Şekil 8b Fırınlanmış Kayın ağacıyla yapılan basma deneyi diyagram

3.2.3 Ahşap domuzdamlarında emniyet gerilmeleri

Kullanılan domuzdamı ağaçları üzerinde yapılan deneyler TTK Merkez Atölyesi Zonguldak (MAZ) Kalite Kontrol Baş Mühendisliği Laboratuvarları'nda gerçek boyut ve 1/10 oranında küçültülmüş modeller üzerinde yaş ve fırınlanmış, kayın ve meşe ağaçları üzerinde yapılmıştır (Şekil 7-8). Tasarım sırasında yapılmış olan deneysel sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Malzeme	Kayın		Meşe	
	Yaş	Fırınlanmış	Yaş	Fırınlanmış
Toplam ezilme (mm)	4.5	4	4	3
Deformasyon (akma) Başlangıcı (N)	13000*	15000*	15400*	17000*
Çatlama kırılma başlangıcı (N)	16000	26500	23000	18000
Kırılma devam etme (N)	18500	29000	32000	21000
Model ağırlığı (gr)	27	25	30	22,5
*kabul edilen akma sınırı (N)				

Çizelge 2 Model domuzdamı üzerinde yapılan basma deney sonuçları

Maden Makinaları Fabrika İşletme Müdürlüğü (MAZ) bünyesindeki su

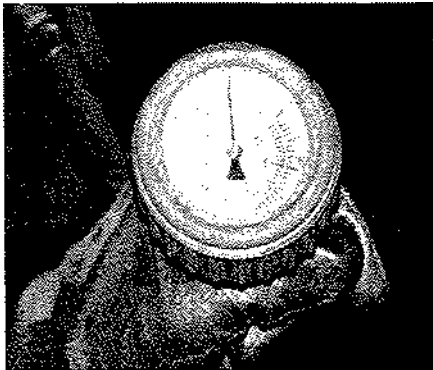
presinde gerçek boyuttaki domuzdamları (kayın) ile yapılan basma deney sonuçları yardımı ile ve mukavemet hesaplarında kullanılan emniyet değerleri çizelge-3 de verilmiştir.(Dağdelen, 2007)

Çizelge 3 Model domuzdamı üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler

P eğilme emniyeti	118 N / cm ²
q eğilme emniyeti deney	5441 N/cm
M eğilme emniyeti deney	32,4 kN.m
Q top eğil. emniyeti deney	1000 kN
p kesme emniyeti deney	143 N/cm ²
q kesme emniyeti deney	6604 N/cm
T12 kesme emni. deney	172 kN
Q top. kesme emni deney	1214 kN

3.3 Manometre ve Bağlantı Elemanları

Öngerilme elemanlarına ihtiyaç duyulan hava, ocak içerisindeki 4-6 bar basınçlı hava şebekesinden sağlanmaktadır. Bu ön gerdirme ile tahkimat elemanı pasif durumundan daha ilk kurulum aşamasında aktif duruma geçmektedir. Domuzdamının ilk kurulumu sırasında tavana uyguladığı basıncı manometre yardımıyla ölçülebilmektedir (Şekil 9).



Şekil 9 Basınç ölçümünde kullanılan manometre

4 KOZLU MÜESSESESİ 1. OCAKTAKİ UYGULAMA ÖRNEĞİ

Sistemin tamamıyla ve bir bütün olarak Kozlu Müessesesi'nde bir ayakta denenmesi Mayıs 2007'de gerçekleşmiştir. Bu tarihten önce sistemin davranışları laboratuvar şartlarında incelenmiş ve saha araştırmaları ise lokal olarak tek kurulan domuzdamı sistemi ile davranışlar gözlenmiştir.

İlk olarak bütünü ile uygulaması yapılan Kozlu T.İ.M. 1. Ocak Sulu Doğu Pano fiziksel şartları Çizelge 4 te verilmiştir.

Çizelge 4 KTİM Ocak 1 fiziksel şartları.

Ocak No	1. ocak
Damar adı	Sulu
Kotlar ve Konum	-485_014 / -560_358
Üretim yöntemi	Göçertmeli uzun ayak
Damar kalınlığı (Ortalama)	2.00 m
Tavan taşı şartları	Sağlam sert kayaç
Ana tavan	Konglomera
Taban taşı şartları	Sağlam sert kayaç
Damar eğimi (Ortalama)	32°

4.1 Uygulama Öncesi Durum

Klasik domuzdamı kullanılarak tahkim edilen ayakta tavan taşının sert olması akıcı olmaması, kendini ayakta tutma süresinin yüksek olması sebebi ile ayak arkasının göçüğe terk edilmesi için tavan taşına 1,6 m lik burgularla aynı hizada delikler delinerek lağımlama usulü ile arka göçertme çalışmaları yapılmıştır.

Bahsi geçen bu işlem rutin bir şekilde her vardiya devam etmiş ve bu işlem için sürekli 1 martoperfarator operatörü ve yardımcı olacak şekilde 2 kişi tertip edilmiştir.

Bu tertip döneminde deliklerin delinmesi veya patlatmalarda oluşacak

herhangi bir aksama (deliğin geri salması, yeterli uzunlukta delinmemesi vb.) zaten göçmekte güçlük çeken arkanın bir hat boyunca oturmasında olumsuz şartlar yaratmıştır.

Ani tavan taşı oturmasına karşılık alınan ek önlem ise "alışlagelmiş" çift sıra domuzdamı uygulaması olmuştur. Fakat bu alınan önlemin de çalışma periyodunu etkileyen eksileri ile karşılaşmıştır.

Şöyle ki: Arındaki oluk havesi, 1. sıra domuzdamı havesi, 2. sıra domuzdamı havesi ve emniyet havesi ile birlikte 4 have genişliği. Bununla birlikte şartların olumsuz gelişmesi ile (arkada tavan taşına atılmış olan lağımın iş yapmaması) arın havesinde oluşan tavan basıncı ile beraber arında kazı şartlarını olumsuz yönde etkiler duruma gelmiştir.

Bu karşılaşılan durumda arın havesindeki basıncı düşürmek için verilen tertip ya arkanın kendi kendine göçmesini beklemek (ki üretim aksamasına sebebiyet vermektedir) ya da müsait şartlar altında arka tavan taşına ilave delik delinerek göçertmektir.

Tabiî ki bu sırada arın havesindeki basınç yükselmesi ile tahkimat elemanlarının bozulması sonucu ilave işçilikle tekrardan tahkim edilmesi gibi arzu edilmeyen durumlarda görülmüştür.

Bu tavan basıncının dengesizliğinden ötürü göçüğe yakın olan domuzdamının sökülerek ilerletmesi çok zor şartlar altında yapılmıştır.

Şöyle ki: tahkimat vardiyasının görevi, kazılmış olan havenin tahkimatına belleme tahkimatı ile başlayıp sonrasında klasik domuzdamı sıkırtma takozunu sökerek boşalmış olan damları ötelemesidir.

Oysa basınç almış olan arka sıra domuz damını kolaylıkla sökme işlemi

nerdeyse mümkün olmamıştır yaklaşık olarak saat 11:00 civarında sökümler işlemi balyozla başlayıp sökülememe durumunda saat 13:30 civarında basınçlı hava ile çalışan hızar ile damlar kesilerek sökümler yapılmıştır.

Bu durum sonucu, gerek işçilikten ve gerek kesilmiş olan damlardan ötürü zayıat olmuştur ve en önemlisi ise güvenli çalışma ortamının sağlanmasında zorluk çekilmiştir.

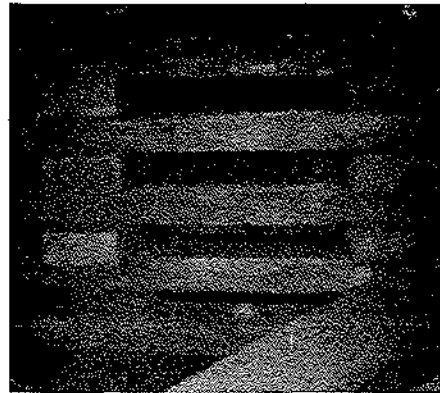
4.2 Öngörilmeli Domuzdamı Sisteminin Uygulama Aşamaları

Şekil 10'de uygulama aşamalarını görmek mümkündür.

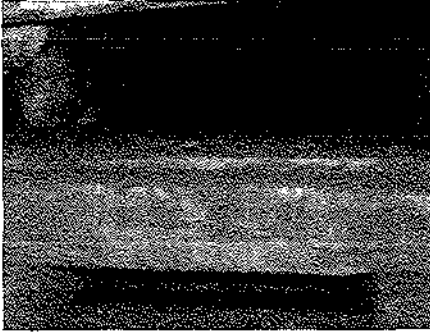


Şekil 10a. Çintili damlar.

Şekil 10a'da damlardaki mevcut çintilerin üst üste gelmesi sistemin duraylılığında pozitif etkileri olmuş ve kullanıcılara kurma kolaylığı sağlamıştır. Ayrıca düşük eğimlerde çatı diye tabir edilen dayama direklerinin kullanımı ortadan kalkmıştır.



Şekil 10b. Çatısız çintili damlar.



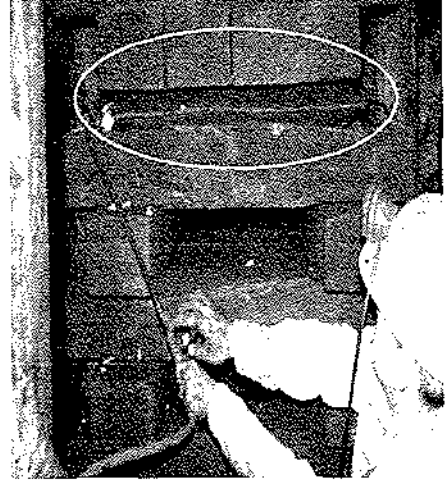
Şekil 10c. Ön gerdirme yastığına taban yüzeyi hazırlanması



Şekil 10d. Yastığın yerleştirilmesi.



Şekil 10e. yastık üzerinin basıncı dağıtacak şekilde uniform bir şekilde doldurulması.



Şekil 10f. Bağlantı elemanın yardımı ile sisteme basınçlı hava verilerek şişirilmesi (domuz damının aktif hale geçmesi).



Şekil 10g. Manometre marifeti ile aktif haldeki domuzdamının ilk yükleme basınç değerinin okunması .



Şekil 10h. Basınç değerinin kaydı.

6 MALİYET ANALİZİ

Ahşap malzemenin tekrar kullanımından dolayı malzeme gideri düşmüştür(Çizelge 6).

Çizelge 6 Son iki yılda damlara ödenen tutar.

	2007 (TL)	2008(TL)
Eski Dam bedeli	1.840.813	1.412.647
Hazır Dam Bedeli	280.954	331.200
Toplam Dam bedeli	2.121.767	1.743.847

Hazır domuzdamı uygulamasında malzeme zayıtı eski sistemden çok daha az olmaktadır. Çünkü eski domuzdamı ötelenmesi sırasında kesilerek sökülüp yapılır. Yeni sistemin ötelenebilirlik özelliği en önemli avantajıdır.

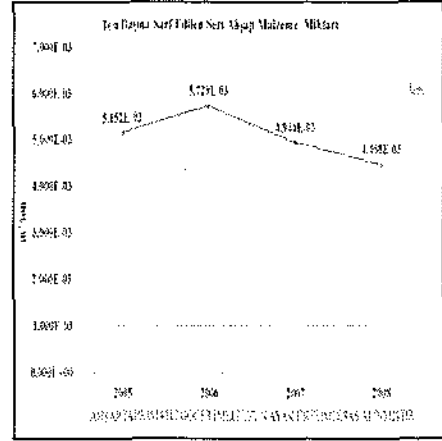
Kurumun 2004-2009 yılları arasındaki Ağaç tahkimatlı göçertmeli ayaklardan elde ettiği tüvenan üretim miktarı ile domuzdamında kullanılan sert malzeme miktarları arasındaki oran incelenecek olursa, yeni sistemin uygulamaya girişi ile azalan bir eğilim görülmektedir(Çizelge 7).

Kozlu T.İ.M. uygulamasındaki özele inerek maliyet analizi yapılacak olursa ve daha önce bölüm 4.1'de eski sistem uygulamasında sürekli olarak tavan göçertmede tertip edilen 2 kişi yeni sistemin uygulama başlangıcı olan 2007 Mayıs tarihinden itibaren Nisan 2008'e kadar tertip edilmemişlerdir(Yamudi 2008).

Bu 11 aylık dönemde 25 iş günü / ay, günde 3 vardiya, 2 işçinin anılan dönemdeki toplam yevmiye sayısı 1650 yevmiye olup pano üretim ustası giydirilmiş maliyeti ise günlük 136 TL'dir (2000 girişli işçi TTK-GMİS 22. Dönem Toplu Sözleşmesi).

İki kişinin sadece delik delmesi için verilen tertibin maliyeti 224.400 TL dir.

Kozlu Müessesesi'ne, yeni sistemi



Çizelge 7 Ton başına sert ahşap miktarı

Sulu Doğu panoda uygulaması için 100 adet öngerdirmeye yatırılmış olup, bunun da maliyeti 170.000 TL dir.

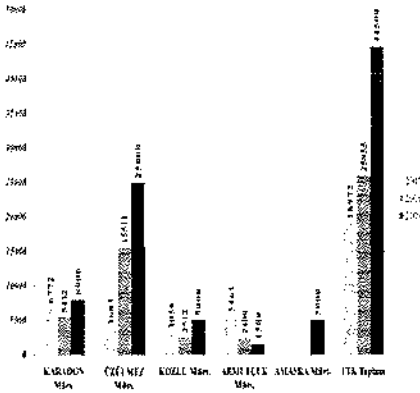
7 SONUÇ ve ÖNERİLER

Hazır dam ve öngertilme elemanının 2007- 2009 yılları ve müesseselere göre dağılımı şekil 12 ve 13 de görmek mümkündür.

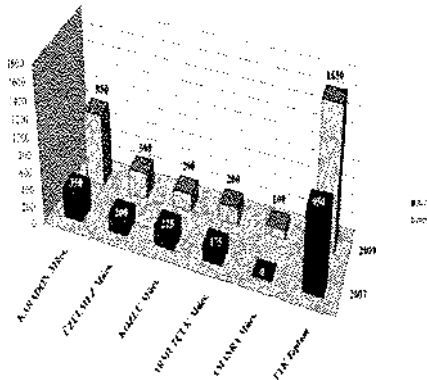
Türkiye Taşkömürü Kurumu 2009 yılı itibarı ile tüm ayaklarda yeni sisteme geçiş çalışmalarını sürdürmektedir. Bu sonuca varılmasında ise aşağıda belirtilen hususlar etkili olmuştur

- Çalışanın performansını olumlu yönde etkilemiştir.
- Dam öteleme zamanında etkin bir azalma gözükmemektedir.
- Eski sistemin pasif tahkimat olarak kurulması ve daha sonra aktif hale geçmesi ve yeni sistemde tahkimatın daha ilk kurulum aşamasında aktif yük alması önemli üstünlüğüdür
- Kazı havesindeki yüksek basınç oluşumunu ortadan kaldırarak çalışma riskini azaltmıştır.
- Ayak arkasının düzgün bir hat şeklinde kesilmesinde avantaj sağlamaktadır.

- Domuzdamının sökülebilirliği malzemenin ötelenebilirlik oranı ve dolayısıyla malzeme tasarrufunu sağlamıştır.
- Yeni domuzdamlarının tasarımında kullanılan hesaplamaların bilgisayar ortamında yazılım programı gerçekleştirilmiş olup ölçülen basınç değerlerinin girdisi ile şekil 14 da gösterilen diyagram ve bilgiler elde edilmiştir. Burada basınç değeri 12 bar olarak verilmiş olup domuzdamı girişinin kırıldığı görülmüştür. Sistemin tasarımında aşırı yüklemelere karşı emniyet valfi 10 bar'a göre ayarlanmıştır.

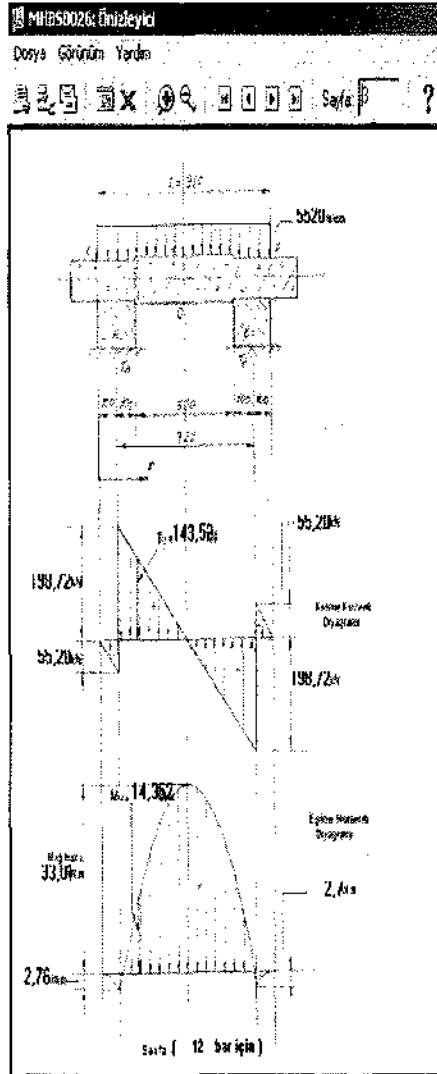


Şekil 12 Kurum bazında dam alımı (adet)

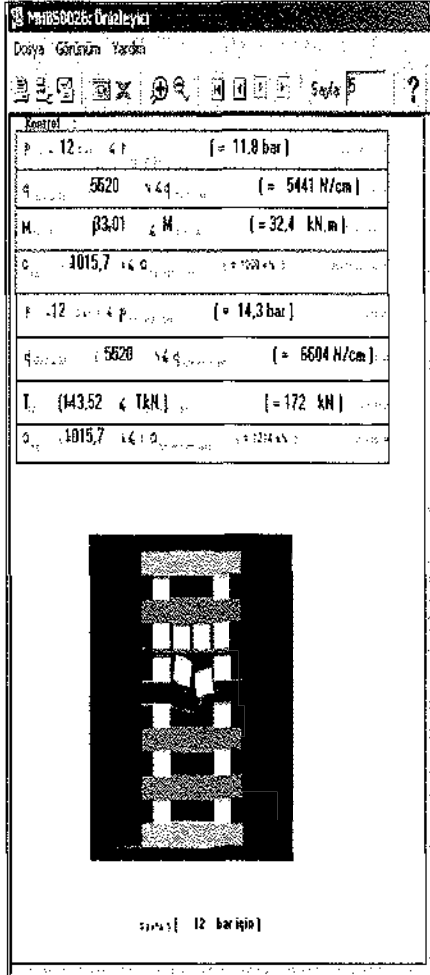


Şekil 13 Kurum bazında yastık dağılımı (adet)

Sistemin ayak içersinde tavan yükünün tamamının hesaplanması veya tahmininin yapılabilmesi için ayak tahkimatında kullanılan çatal direklere gelen yüklerin hesaplanarak sisteme entegre edilmesi ve bunun sonucunda ayak içersindeki ortalama tavan yükünün tahmini açısından yapılacak çalışmalar yararlı olacaktır.



Şekil 14-A Tasarımda 12 bar yükleme diyagramı



Şekil 14-B Tasarımda 12 bar yükleme sonucu domuzdamının davranışı

KAYNAKLAR

Büyük Larousse (1986) *Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi*, Gelişim Yayınları, Cilt 5, s. 2851.

Dağdelen R., Özkan T., Demirler A.H.: *Mehmet Kemal DEDEMAN Araştırma ve Geliştirme Proje Yarıması 2007*

Dağdelen R., Özkan T., Ünlü T.: *Ahşap Domuzdamlarının Çalışma performanslarının İyileştirilmesi. Türkiye 15. Kömür Kongresi*

Manfred Vetter GmbH & Comp.: *Firma Kataloğu*

Ünlü T. ve Gerçek H.: *Ahşap domuzdamlarının Mekanik davranışı ve tasarımı 2000*

Yamudi C. *KTİM Sulu Doğu Pano önerilmeli domuzdamı uygulaması Brifingi 2008 Nisan 01 Kozlu konferans salonu*

KİŞİSEL GÖRÜŞMELER:

- Kazım EROĞLU TTK Kozlu T.İ.M. Müessese Müdürü(2007)
- Nihat KAYABALI TTK Kozlu T.İ.M. Üretim İşletme Müdürü (2007)
- Şaban Yeşilkurt TTK Kozlu T.İ.M. 1.Ocak Şefi(2007)

Kozlu 1 No'lu Kuyusunun Derinleştirilmesi ve İhraç Sisteminin İncelenmesi

Investigation of the Deepening and Hoisting System of Kozlu Shaft No 1

F. Alp, B. Arık, H. Bultan,

TTK Kozlu Müessesesi, 67600, Zonguldak

N. A. Akçın,

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Müh Fak, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Genel Müdürlüğü'ne bağlı Kozlu Taşkömürü işletme Müessesesi'nin, öncelikle alt yapısının değerlendirilmesi irdelenmiş, ikinci olarak derinleştirme gerekçesi belirtilmiştir. Üçüncü olarak kuyu derinleştirme çalışmalarının uygulama aşamaları verilmiştir. Dördüncü olarak ihraç tesisi ve maliyet durumuna değinilmiştir. Sonuç olarak kuyunun, -865 kotuna kadar derinleştirilmesi ve kuyu içi ekipmanının tek veya çiftli kafese göre ve çelik kayıtlara göre hazırlanması detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

ABSTRACT In this study, Kozlu Colliery, which is a branch of Turkey Hardcoal Enterprise was introduced giving special attention to the infrastructure of the colliery, has been firstly evaluated then the deepening of the Kozlu No 1 shaft has been discussed. Thirdly the steps of deepening work of the shaft have been given. Fourthly, the hoisting system and the the costs have been mentioned. As a result, the deepening of the shaft to the level of -865 and the preparation of in shaft equipment according to single or double cage and according to steel have been explained in detail.

1 GİRİŞ

Derinleştirme gerekçesi, Müessesenin temiz hava girişi ve nakliyat bakımından en önemli iki tesisi Uzun Mehmet-I-II Kuyularıdır. 1950 yılından beri hizmet vermekte olan bu iki kuyu -200, -300 ve en derin kat olarak da -425 katlarına hizmet vermek, Uzun Mehmet-I kuyusu

temiz hava girişi yanında personel, malzeme ve kayaç nakli için kafes kuyu (hizmet kuyusu), Uzunmehmet-II kuyusu ise sadece kömür ihracı için (skip kuyusu) planlanmış ve tesis edilmiştir. Müessesenin bütün teknik ve idari tesisleri bu iki kuyunun işlev ve konumunu esas alan bir plana göre

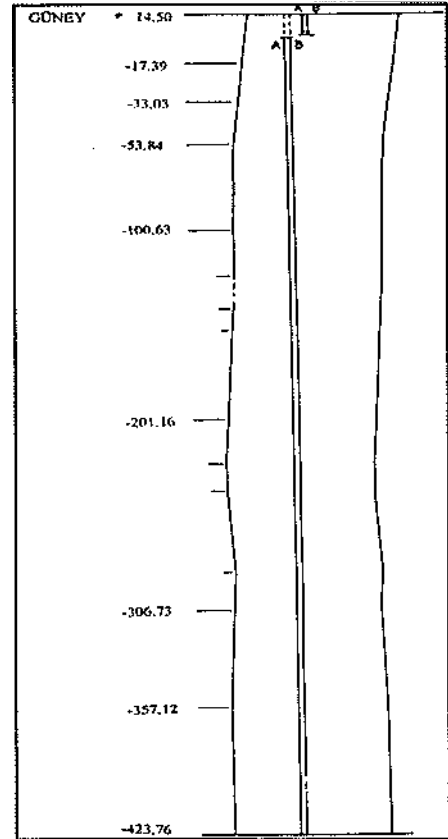
oluşturulmuştur. İşletme Müessesine uzun yıllardır hizmet veren Uzunmehmet I-II kuyuları, üretim çalışmalarının derinleşmesiyle yetersiz kalmaya başlamıştır. Kozlu Müessesesi'nde üretim, ağırlıklı olarak -560 katında yapılmakta iken, servis kuyusu olan Uzunmehmet-I ve ihrac kuyusu olan Uzunmehmet-II kuyularının hizmet verdikleri en dip kot -425'dir. -560 ve daha alt kotlardan yapılacak kömür ihracı için Kozlu Yeni Kuyu tamamlanmış ve hizmete verilmiştir. Müessesenin üst katlardaki üretimin zamana bağlı olarak derin kotlara inmesi nasıl kaçınılmaz ise Uzunmehmet-I kuyusunun derinlere inen üretime paralel olarak derinleştirilmesi de o derece önemlidir.

Kozlu kuyularının açıldığı sahada, I No'lu kuyuda -200 kotuna kadar inen kuzeye doğru zaman zaman merkezden 1,5 m'yi bulan sapmalar tespit edilmiştir. Bu sapmanın giderilmesi için -425 katı merkezi esas kabul edilerek kuyu başına taşınmış ve kuyu başından itibaren 84,5 m'si 7,5 m, 145.5 m'si 7,0 m iç çapta taranarak ileriki yıllarda olabilecek bir sapmaya karşı hareket serbestliği kazanılmıştır (Şek. 1).

Şekil 2'de görüldüğü gibi derinleştirme projesinin uygulama aşamalarında; Kuyu başı +14,5 ve -212 kotları arasındaki tarama işlerinde, +14.5 ile -70 arasındaki kısım tamamen kırılarak 7,5m iç çapta, -70 ile -212 arasındaki kısım ise 7,0m iç çapta kuyu taraması ve yeni betonarme tahkimatı yapılmıştır. Tarama işleri düzenli olarak 3 vardiya sistemi ile yürütülmüştür. Taramada, bir vardiyada 2,15m'lik tarama delikleri delinip patlatılmıştır. Kuyu içinde bulunan 13 adet kuyu mahmuzu aynı yerlerde yeniden yapılmıştır. -70'de ve -212'de oluşacak çap değişim tırnaklarına çelik profil ve beton kullanılarak kuyucudan sızan suların

toplanmasına uygun kanallar yapılmıştır. Su geliri tespit edilen kısımlara çimento enjeksiyonu yapılmıştır. Mevcut kuyu dibi olan -595 ile -865 kotları arasında derinleştirme çalışmaları -594 kotundan sonra, ortalama 2 m/gün ilerleme ile yapılmıştır. Kuyu 6,5m iç çapta 270m olarak derinleştirilmiştir.

İnsetlere gelmeden hemen önce ve insetlerden çıktıktan hemen sonra mahmuzlar yapılmıştır. Kuyu kaplaması (tahkimatı); 75 cm kalınlıkta BS25 beton kullanılarak betonarme yapılmıştır. 26 mm çapta nervürlü betonarme çubukları ile çemberler ve 14 mm çapta nervürlü betonarme çubukları ile dikmeler yapılmış ve arasındaki mesafe 25 cm olmuştur. Birinci sıra betonarme



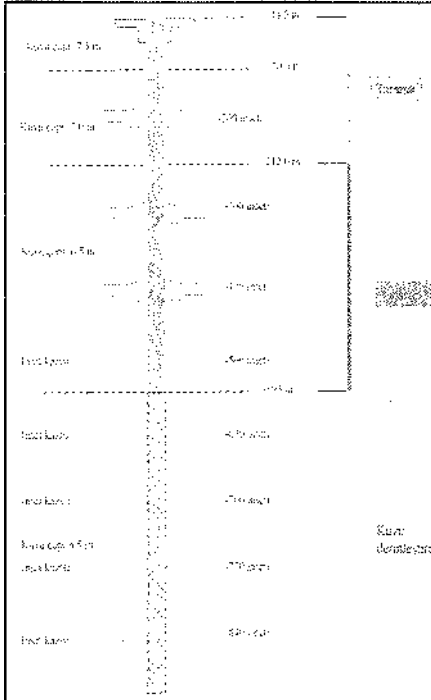
Şekil 1 I Nolu kuyunun sapma kesiti

demirleri iç çemberden 5 cm ikinci sıra betonarme demirleri iç çemberden 65 cm içeride olmuştur.

Mevcut kuyunun -360, -425, -560, ana kat insetlerinin inşası ve onarımı tamamlanmıştır. -425 insetinin iki ayrı kafese uygun çukurları tek kafes sistemine göre değiştirilmiş, Kuyuda -560 katından itibaren her 70 m'de (-560, -630, -700) bir olmak üzere 5 adet inset yapılmıştır. Bunların kuyu içindeki yükseklikleri ray seviyesinden 5,75 m'dir.

2 KOMPLE İHRAÇ TESİSİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

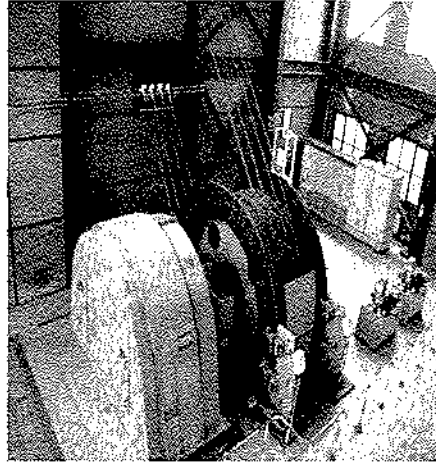
Kozlu Uzunmehmet-İ kuyusu ihraç sistemi çok katlı ihraç sistemi olup, bu sisteme uygun olarak çalışacak İhraç vinci ve kurtarma vinci içermektedir.



Şekil 2 I Nolu kuyunun derinleştirme aşamaları

2.1 İhraç Vinci

İhraç vinci güvenli ve ekonomik bir çalışmayı sağlayacak şekilde dizayn edilmiş, gerekli bütün aksamaları ile birlikte elektrik-elektronik ve mekanik sistem komple yere monteli dört halatlı sürtünmeli ihraç vinci'dir. Bu vinci'nin tahrik sistemi doğrudan akupleli, düşük hızlı 1100 KW gücünde, 58 dev/dak hızında DC motorlu sistemdir. İhraç sistemi, iki katlı insan taşımacılığına uygun her katı 52 kişi ve alt katı 5,3 m³ kapasiteli ocak arabasını alacak, kafes ve karşı ağırlık çalışacak şekildedir. İhraç vinci'nin komple elektronik kontrol sistemi, tristör kontrollü DC doğru akım sistemidir. Motor armatür ve alan devresinde kullanılan tristörlerin tetikleme sayısı 12 pulse' tır (Şek. 3).



Şekil 3. İhraç vinci'nin genel görünümü.

2.1.1 İhraç vinci'nin dizayn parametreleri

Ana molet çapı	: 3500 mm
Sürtünmeli tambur çapı	: 3500 mm
İhraç halatları sayısı	: 4
İhraç halatları çapı	: 38 mm
İhraç hızı	: 10,63 m/sn
Hızlanma/yavaşlama ivmeleri	: 0,7 m/sn
Birinci aşama çalışma katları	
	-425 m, -560 m, -630 m, -700 m

2.1.2 İhraç ve denge halatlar

İhraç halat tipi : ZZ sağ sarımlı,
SS sol sarımlı

Halat çapı : 38mm

Halat birim ağırlığı: 6,14 kg/m

Toplam ihraç halatı sayısı : 4 adet

Bir adet ihraç halatı uzunluğu : 960m

Denge halatı tipi : Düz denge Halatı

Düz halat ölçüleri : 170mmx28mm

Halat birim ağırlığı : 12/30kg/m

Toplam denge halatı sayısı: 2 adet

Bir adet denge halatı uzunluğu: 800m

2.1.3 İhraç vincinin aksanı

İhraç vinci mekanik ekipmanları yere monteli çok halatlı sürtünmeli tip ihraç vinci, ana mil, ana tambur ünitesi, molet grupları, disk fren ünitesi, fren hidrolik güç ünitesi, tambur yiv açma torna tertibatı, halat sabitleme ekipmanı ve kilitleri, halat yakalama kilitleri, enkoder-takometre, halat atlatma ekipmanı, disk kayması izleme cihazı sistemi vb. ekipmanlardan oluşmaktadır.

2.1.4 Vinç elektrik ekipmanları

2.1.4.1 Ana tahrik motoru detayları

Motor Tip : ZKTD düşük hızlı
doğrudan bağlamalı askılı tip DC elektrik motoru

Motor Gücü : 1100 KW

Motor Devri :58 Devir/dakika

Armatür Voltajı :DC 750 V

Aşırı Yük Kapasitesi: Motor tam yükte % 220 momente maruz kalacak şekildedir.

Tahrik Sistemi : Bağımsız tahrik sistemi

Tahrik Voltajı : DC 110 V

İzolasyon Sınıfı : F sınıfı

Koruma Sınıfı : IP23

2.1.4.2 Motorun teknik karakteristikleri

- Motor, armatür ve alan devresinde kullanılan 12 pulse tetiklemeli tristör kullanımına sahip,
- çift yönlü dönmeye ve armatür değiştirmeye uygun,
- stator sargılarında 4 adet PT100 sıcaklık sensörleri mevcuttur (2 adet ana kutup sargılarında, 2 adet yardımcı sargılarda).
- Fırçalı tip motor topraklaması kullanılmaktadır.

2.1.4.3 İhraç vinci dijital DC-doğru akım kontrol sistemi

İhraç vincinde JKMK-SZ model dijital Kontrol Sistemi kullanılmıştır. Sistemin özelliği; Bu elektrik kontrol sisteminin statik ve dinamik performans parametreleri, kuyu vinç motorunun her çalışma koşulunda çalışabilmesine uygun, vinci ve vinç havalandırma vantilatörünün çalışmasından oluşabilecek vibrasyonlarından etkilenmeyecek özelliklerde dizayn edilmiştir. Sistem elektro manyetik uyumluluğu ilgili standartları tümüyle karşılamaktadır. Sistem paralel dizaynı yapıları sayesinde emniyet devreleri gibi önemli devrelerin her koşulda çalışmasını mümkün kılmaktadır. Sistemin kuyu içerisindeki elemanları, alev sızdırmaz, su geçirmez ve paslanmaz özelliklerde imal edilmiştir.

Elektrik kontrol sisteminin çalışma ortamı koşulları; deniz seviyesinden 2000m yüksekliklerde kullanılabilir özelliklerdedir. Çalışma ortam sıcaklıkları +40°C ve -15°C sıcaklıklarıdır. Ortam bağıl nem değerleri %10-%98 tolere edilebilir. Vibrasyonlu ve darbesiz vibrasyonlu ortamlarda çalışmaya uygundur. Tozlu, havasız ve patlamaya müsait

gazlı ortamlarda çalıştırılmamalıdır. Güç dağıtım kalitesi, sabit 50Hz çiftli sürekli dalga diyagramına sahiptir. Voltaj dalgalanmaları $\pm\%10$ aralığında çalışmaya uygun olup kısa süreli $\pm\%15$ dalgalanmalara müsaittir. Kuyu içerisinde alev sızdırmaz ve kendinden emniyetli ekipmanlar kullanılmaktadır.

2.1.4.4 İhraç sistemi elektrik kontrol sistem genel dizaynı

Hız kontrol sisteminde Siemens / Alman marka 6RA70 SİMOREG serisi dijital DC hız regülâtörleri kullanılmaktadır. Vincin hızı ve yönü 12 puls lı sürücü üzerinden alan sargısının akım yönü ve şiddeti değiştirilerek yapılır. Çeşitli koruma fonksiyonları ile birlikte sistemin statik ve dinamik performans parametreleri, kuyu vinç motorunun her işletim koşulunda çalışabilmesine uygundur. Yukarıdaki özellikler, ihraç vinci çalışma modu bilgilerinin depolanması, çalışma parametrelerinin ve arızalarının izlenmesi, sistemin kontrol edilmesi ve bunların yazdırılmasını da sağlamaktadır. Sistemin bakım çalışması sırasında maksimum müsaade edilebilir işletim hızı 0,5m/sn olup, bakım çalışmasında operatörün ihraç sistemini manuel olarak elle daha düşük hızlarda çalıştırması mümkündür. Ayrıca hız sürekli olarak ayarlanabilir.

Müessese trafo merkezinin 3,3 kv bara bölümünden birbirine yedekleyecek şekilde iki ana güç hattı vinç binasına çekilecektir. Vinç binası içerisinde, şalt bölümüne, 6 adet 3.3 kv'luk KYN28 model yaylı vakumlu şalt kabini (devre kesici) bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi güç giriş, bir tanesi ölçüm ve koruma kabinesi, üç tanesi de ihraç vinci besleme kabinesi olarak dizayn edilmiştir. Şalt kabinleri, aktif güç göstergesi, reaktif güç göstergesi, akım

ve voltaj göstergeleriyle teçhiz edilmiştir. Kabinler, aşırı akım koruma, topraklama ve izolasyon, kaçak kontrolü, düşük voltaj koruma devreleri özelliklerine sahip olup ölçüm ve koruma kabinesinde sistemi koruyan bir adet ikili akım ve voltaj göstergesi de mevcuttur ki bunlar ihraç sisteminin otomatik çalışması sırasında analog ölçülen voltaj, akım ve kesme değerlerini izleme ünitesine aktarır.

Şekil 4 de görüldüğü gibi izleme bilgisayarı; PLC ile iletişim ara yüzüne sahip Microsoft Windows-WIN2000 işletim sisteminde çalışmaktadır. İhraç vinci elektrik kontrol sistemi klavye üzerinden programlanabilmektedir. Ayrıca vinç hızı, ihraç derinliği, arıza kayıtları ve benzeri özellikleri gerçek zamanlı olarak izlenilmektedir. Işıklı diyagram, kafesin konumunu gösterir mimik diyagram ve ışıklı ihbar, inset kapılarının durumu ve pozisyonu, personel ve malzeme naklinde sefer sayısı, fren sistemindeki tüm arıza ihbarlar, vinç hızı dinamik grafik görüntüsü, armatür akımı dinamik karakteristik grafik görüntüsü izleme bilgisayarıda görüntülenebilmektedir.

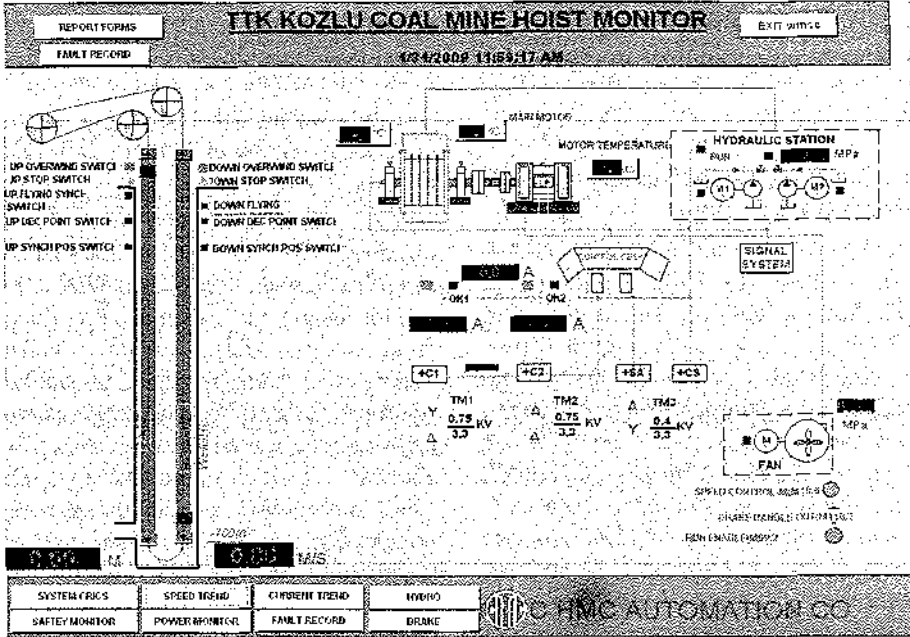
Ekran çevrimiçi emniyet devresi ekranı olup vincin tüm ihbar ve arızalarının teknik personele görülebilmesini temin eder. Bu ekran sayesinde müdahale edilecek nokta tespiti kolay olur.

Şekil 5 de Hız grafiği çevrimiçi olarak vincin bir periyodundaki hızını hem ekrana görüntüler hem de arşivleyerek geriye dönük izleme sağlar.

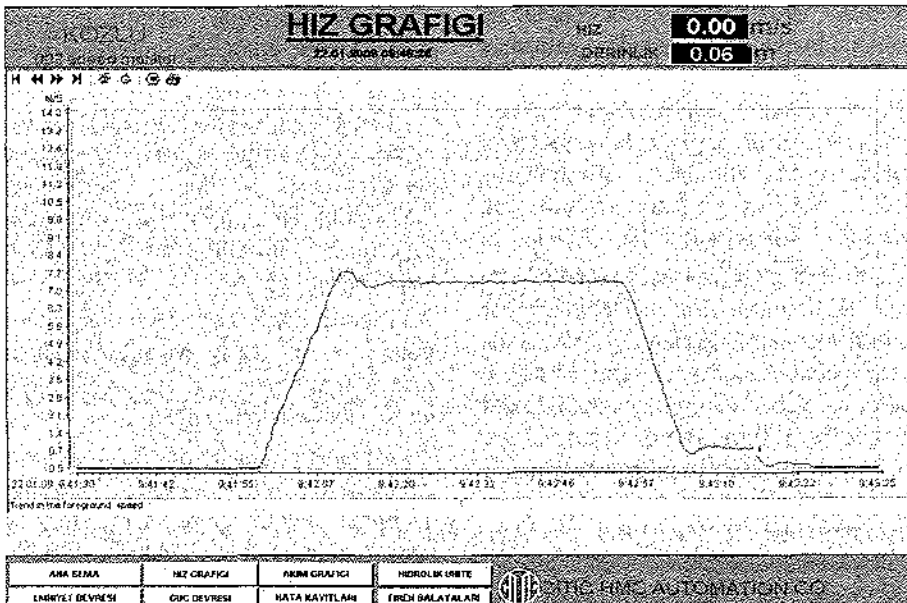
Kumanda masası, son derece ergonomik ve kolay kumanda edebilme özelliklerine sahip olarak yeni yedi parçalı dizayndır. Kumanda masası üzerinde ana emir kontrolörü, hidrolik fren kontrol kolu, gösterge

lambaları, çeşitli enstrümanlar, seçme anahtarları, butonlar, sesli haberleşme ve sinyalizasyon ekipmanları ve benzeri cihazlar bulunmaktadır. Kumanda

masası, komple ihraç sisteminin güvenli, emniyetli ve sürekli çalışmasını sağlayan tüm fonksiyon ve parametrelerin kontrol ve kumanda edilmesini sağlar(Şek. 6).



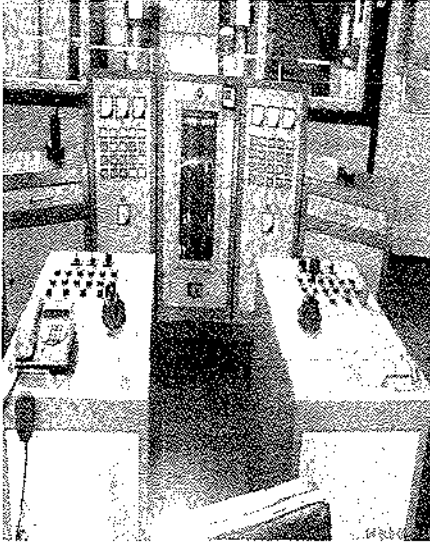
Şekil 4. İzleme bilgisayarı.



Şekil 5. Hız grafiği ve sinyal kaydı

Kumanda panosu üzerindeki göstergeler; kafes derinliğini gösteren dijital gösterge, doğrusal derinlik göstergesi, ihraç hızı, armatür akımı, tahrik akımı, fren hidrolik yağı basıncı, ayarlanabilir fren akımı, yüksek voltaj giriş değeri, armatür voltajı vb.

Kombine gösterge lambaları: İhraç sistemi işletim modu göstergesi, sinyal lambası ve arıza gösterge lambalarıdır.



Şekil 6 Kumanda masası

Seçmeli anahtar ve butonlar: işletim modu seçme anahtarı, aşırı ihraç reset anahtarı, kendinden kilitlemeli acil frenleme butonu ve test butonudur. Ayrıca network haberleşme ve sinyalizasyon sistemi ana kumanda masasında yer almaktadır.

2.2 Kurtarma Vinci

Kurtarma vinci aksamı. JK-2 X 1.5 kurtarma vinci ana mil, ana molet, disk fren ünitesi, hidrolik fren güç ünitesi, dikey tahrik yavaşlatıcısı, yağlama istasyonu, tambur kilit sistemi ve benzeri ekipmanlardan oluşmuştur

2.2.1 Tek tamburlu vinci dizayn parametreleri

Ana molet çapı : 2000mm

Tambur çapı : 2000mm

Tambur uzunluğu : 0.9m

Halat tipi : Tek halat 24ZBB

6VX21+FC 1570ZZ

Halat çapı : 24mm

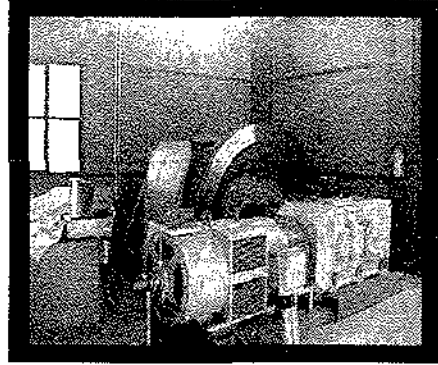
Maksimum ihraç hızı : 3m/sn

Hızlanma/yavaşlama ivmeleri: 0,5m/sn²

Çalışma katları : -425m, -560m, -

630m, -700m

Kurtarma kafesi kapasitesi: 4 kişi (Şek. 7).



Şekil 7. Kurtarma vinci'nin bina içi görüntüsü

2.2.2 Kurtarma vinci elektrik ekipmanları

2.2.2.1 Tahrik motoru

Motor tipi : Y355L-10 Tip

Asenkron Motor, AC

Motor gücü : 132kw

Motor devri : 591dev/dk

Çalışma voltajı: 380 V, 50 Hz.

Çalışma sistemi: S1 sürekli çalışma sistemi

Aşırı yük kapasitesi: 2,4 kat motor tam yükte %240 momente maruz kalacak

şekildedir.

Soğutma metodu : Doğal havalandırma

İzolasyon sınıfı : F sınıfı

Koruma sınıfı : B sınıfı I

2.2.2.2 Kurtarma vinci AC-DC-AC frekans konvertörlü elektrik kontrol sistemi

Elektrik Kontrol sisteminin çalışma ortamı koşulları: Deniz seviyesinden 1000m yüksekliklerde, çalışma ortamı sıcaklıkları 39°C ve -7.2°C sıcaklıklarda, Tek halatlı çok katlı ihraç sistemi çalışmasına uygundur.

Güç besleme voltajı: düşük voltaj, AC 380/220V

Kurtarma vincinin komple elektrik kontrol sistemi, ana bilgisayar kontrol sistemi, dijital AC-DC-AC frekans konvertörlü hız ayarlama sistemi ve izleme bilgisayarından oluşmaktadır.

Vincin dijital hız düzenleme sisteminde, Siemens/ Almanya marka 6SE70 serisi dijital frekans konvertör hız düzenleme cihazları kullanılmaktadır. Bu sistem, sektör çalışma, vektör kontrolü özelliklerine sahip olup, ivmeleme hızının, ve yavaşlama hızının otomatik düzenlenmesinin, aşırı akım koruması, aşırı voltaj koruması ve aşırı hız koruması özellikleri sağlayarak, vinci tüm işletim koşullarında emniyetli çalışmasını temin etmektedir.

Vincin, manuel, bakım, düşük hızda çalışma modu kontrollerini sağlamak üzere Simens/Almanya marka S7-300 serisi PLC- programlanabilir Logic Kontrol Cihazları ana kontrol sisteminde kullanılmaktadır.

Vinç izleme bilgisayarı, işletme durumu, işletme parametreleri ve arızaları izleme, depolama ve yazdırma özelliklerine sahip olup sistem esnek yapısal ve görüntülü izleme özellikleri ile

tüm fonksiyonların operatör tarafından izlenebilmesini mümkün kılmaktadır.

2.2.2.3 Elektrik kontrol ekipmanları

380V Güç sistemi, dijital AC-DC-AC konverter kabini, ana kumanda panosu, izleme bilgisayarı, operatör kontrol masası, takometre, aksiyel enkoder ve TCK serisi manyetik şalterlerden oluşmaktadır.

3. SİNYALİZASYON

3.1 İhraç Vinci Sinyalizasyon Ekipmanları

Sinyalizasyon ekipmanları, yeraltı kömür ocaklarında kullanılan kendinden emniyetli, akustik, hafif, dijital hafızalı ve haberleşme sinyalizasyon özelliklerine sahip ekipmanlardır.

Veri akışı ve kontrolü için programlanabilir mikro kontrolörler kullanılmaktadır. Bu sistem çok katlı sinyalizasyon sistemine uygundur. Uzaktan haberleşme için yaygın olarak kullanılan PLC haberleşme protokol modülü kullanılmaktadır.

Her katta çalışma yönergelerinin açık ve görünür halde gösterilmesini sağlayan büyük led displayerler kullanılmaktadır.

Vinç binasının operatör odasında izleme ve kontrol sisteminin çalışma koşullarını göstermek amacıyla yüksek çözünürlükte ekrana sahip bir endüstriyel izleme bilgisayarı kullanılmıştır. Bu bilgisayar sistemi ekranla senkronize çalışan sesli alarm verecek şekilde dizayn edilmiş olup özel ve acil durumlarda sesli ve görüntülü alarm alınmaktadır.

İhraç sinyalleri hem dijital sinyal hem de metin olarak gösterilmektedir. Ayrıca daha basit bir yedek sinyalizasyon sistemi sistem içerisine dahil edilmiştir. İhraç sayısı hafızada biriktirilir ve

tüm sinyaller sınırsız olarak hafızada depolanabilir.

Çeşitli iç kilitlemeler sistemde mevcuttur. Acil durumlarda alarm fonksiyonu Sinyaller arasındaki iç kilitleme ve sinyal dağıtım fonksiyonu vardır.

3.2 Sinyalizasyon Ekipmanlarının Teknik Özellikleri

Giriş voltajı : AC 127V

Çalışma voltajı : DC 24V

Çalışma akımı : 50mA

Kontrol mesafesi : 1000m

Ses frekansı : 1000-1200Hz

3.3 İhraç Vincinin Sinyalizasyonu Çalışma Koşulları

- Deniz seviyesinden -800+2000 m yüksekliklerde kullanılabilir özelliklerdedir.
- Çalışma ortam sıcaklıkları +40°C ve -15°C sıcaklıklardadır.
- Ortam bağıl nem değeri %10-%98'dir.
- Kuyu ve ocak içerisinde kullanılacak ekipmanlar alev sızdırma ve kendiliğinden emniyetli, su ve toz geçirmez, darbeye mukavim özelliklerdedir.

3.4 Kurtarma Vinci Sinyalizasyonu Çalışma Koşulları

Sistem Kompozisyonu: KDLT-1 Ocak tipi radyo haberleşme sinyalizasyon sistemi, ana istasyon güç ünitesi, ana istasyon, haberleşme kablosu, röleler, güç kutuları, mobil haberleşme ve sinyal gönderme el ünitelerinden oluşmaktadır.

Kurtarma vinci sinyalizasyonunda telsizle haberleşme ve sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır.

Sistemin Özellikleri: Sistemde kullanılan tüm ekipmanlar alev

sızdırmazdır. Mobil haberleşme ve kurtarma vinci kafesi içindeki sinyal gönderme sistemi sadece sinyal göndermez aynı zamanda kuyu başı sinyal operatörü ile sesli olarak konuşabilir. Kuyu başında bulunan ana istasyondan mobil haberleşme ve sinyal alındığında hem sesli hem de ışıklı olarak gösterilmektedir. Ana istasyon son sinyali dijital olarak hafızasında tutar.

Normal durma sinyalinden farklı olan acil durma sinyali için ana istasyona yerleştirilmiş butonlar aracılığıyla sinyal gönderilir.

Kuyu derinliğinin 400m den fazla olduğu durumlarda çift yönlü röleler kullanılarak haberleşme mesafesi uzatılmaktadır.

Ana istasyona alev sızdırmaz bir zil veya megafon konulacak şekilde ara yüze sahiptir.

Ana istasyonda bulunan acil durdurma iç kilitleme ara yüzü vinç acil durdurma iç kilitleme sistemi ile entegre edilmiştir.

3.5 Haberleşme Sistemi

Kuyu başı binasındaki sinyalizasyon odasına ve yeraltında her kata, kendinden emniyetli alev sızdırmaz telefonlar yerleştirilerek yeraltıyla haberleşme sağlanmıştır. Ayrıca sinyalizasyon sistemi kablo üzerinden haberleşme fonksiyonu vinç binası, kuyu başı, ile yeraltı arasındaki haberleşmede de kullanılmaktadır.

Vinç binasındaki normal telefonlara, yeraltı telefon şebekesi bağlanarak kuyu başı ve yeraltıyla sürekli haberleşme sağlanmıştır.

Kurtarma kafesi ile vinç operatörü arasındaki sesli ve ışıklı haberleşme telsiz haberleşme sinyalizasyon sistemi özellikleri kullanılarak yapılmaktadır.

4 KAFESLER

Kafesler, 5 katın (-700 katı dahil) her birinde ve kuyu başında durma özelliğine sahiptir. Kafeslerin ilk aşamada durabileceği katlar; kuyu başı, -425, -560, -630 ve -700 katları olarak dizayn edilmiştir. Hareketli bir platform kafeslerin değiştirme işlerinde kullanılmak üzere kuyu başında yer almaktadır. İhraç kafesinin aşırı ihraç konumuna geçerek normal durma seviyesinin 0,5m üzerine kadar acil durum frenlemesine rağmen durmaması halinde, kafes esnek halatlı çarpmayı sönmümlendirme sisteminin kafes tutma platformuna çarparak, sürtümlü halat düzeneği ile tutulmaya çalışılmaktadır. Bu düzenekteki sürtümlü halatlar çarpmayı sönmümlendirebilecek şekilde açılarak, kafes tutulmaktadır.

4.1 Servis Kafesi

Servis kafesi kısaca aşağıdaki özelliklere sahiptir. Ebatı: uzunluk: 4450mm, en:2250mm, yükseklik:5600mm dir. Servis kafesi çift katlı olup, her katta 52 kişi olmak üzere toplam 104 kişiyi taşıyacak şekildedir. (1 kişi 75 kg olarak göz önüne alınmıştır). Alt katta ise 1 adet 5,3 m³ kapasiteli ocak arabası (vagon) taşınmakta olup Kuyu başı ve kuyu dibinde ocak arabalarının kafese giriş ve çıkışı farklı kapılardan yapılmaktadır. Ayrıca kafes içinde, arabaların durmasını sağlamak üzere kayma sabitleyici tutucular kullanılmaktadır. Kuyu başında ise özel olarak dizayn edilmiş olan araba durdurucular mevcuttur. her iki aparat oldukça basit şekilde tasarlanmıştır ve personel için kullanımı gayet kolaydır. Kafes içinde uzun malzeme taşınabilmesini teminen kafes üzerinde ve içinde menteşeli hareketli kapaklar yerleştirilmiştir. Servis kafesinin koşum takımlarında en yeni teknolojiye sahip XSZ model dinamik otomatik gergi

ayarlamalı koşum takımı kullanılmış, emniyet katsayısı 13'tür. Sistemde, halat uç kesimi yapılmadan halat boyu 80cm'ye kadar uzatılabilir.

Kafesin boş ağırlığı takribi 11 ton'dur. Ayrıca kafes üzerinde 300mm çapında kayıt makaraları mevcuttur.

4.2 Karşı Ağırlık

Ebatı: 1800mm uzunluk; 680mm en ve 10000mm yüksekliktedir. Koşum takımlarında en yeni teknolojiye sahip XSZ model dinamik otomatik gergi ayarlamalı koşum takımı kullanılmış olup, emniyet katsayısı 13'tür. Sistemde, halat uç kesimi yapılmadan halat boyu 80cm'ye kadar uzatılabilir.

4.3 Acil Durum (Kurtarma) Kafesi

Kurtarma kafesi en az 4 kişilik kapasiteye sahip ve paraşüt tertibatlı olacak şekilde dizayn edilmiştir. Kafesin her iki tarafında kapılar mevcut olup, herhangi bir acil durumda, personelin her iki taraftan da giriş çıkışı sağlanmış ve kafes her katta durup kalkacak şekilde tasarlanmıştır.

4.4 Kuyu Başı ve Kuyu Dibi Teçhizatı

Kafese araba itme teçhizatı, çeşitli katlarda ve kuyu başında arabaları kafese itme ve tutma (durdurma, sabitleme) amacıyla, iner kalkar köprü, arabayı kafese itme aparatı, araba sabitleme, kafes sabitleme aparatı, merkezi hidrolik istasyonu ve elektrik kumanda sisteminden oluşan araba-vagon itme sistemi kullanılmaktadır.

Teknik Özellikler; kuyudan kafese erişim iner kalkar köprü ile yapılmakta, İner kalkar köprü, 2500mm döner kola sahip bir hidrolik piston ile tahrik edilmektedir. Kafese araba bindirme ve indirme aparatı zincir tahrikli itme sistemi olup, 2 adet hidrolik motorlarla tahrik edilmektedir. Araba tutucu ve

kafes tutucu, hidrolik pistonla tahrik edilmektedir. Zincirli emniyet kapısı da hidrolik motorla tahrik edilmektedir. Merkezi hidrolik istasyonu alev sızdırmaz tipte olup, 12,5MPa basınçta, HFC tip yanmaz özellikte yağla çalışmaktadır. Yağ tankı ve hidrolik boruları paslanmaz çelikten imaldir ve sistem 0C⁰'den daha düşük sıcaklıklarda rahatlıkla çalışmaktadır.

Arabaları ve diğer aksamı çarpmalardan korumak üzere, hidrolik silindirler, açılmasını ve kapanmasını düzgün ve uyumlu olarak yapabilecek şekilde tamponlama özelliğine sahiptir.

Zincir Tahrikli Vagon Katarı İtme Sistemi; Vagon katarı itme sistemi hidrolik motorla çalışan zincirle tahrik edilmektedir. Araba tutucu, hidrolik pistonla çalışmaktadır. Merkezi hidrolik istasyonu alev sızdırmaz tipte olup, 12.5 MPa basınçta, HFC tip yanmaz özellikte yağla çalışmaktadır.

Kafese Araba İtme Sisteminin Elektronik Kumandası; Araba itme sisteminin kumandası için dijital kontrol sistemi kullanılmaktadır. Arabaların emniyetli ve hassas yerleşimini sağlamak üzere emniyet kapılarında fotoelektrik hücreler ve zincir tahrikli itme aparatına sinyal anahtarları mevcuttur. Kumanda sistemi, kilitleme, kapı, köprü ve sabitleyici, ve itme aparatının çalışma sırasını (sekans) kontrol ve kumanda eder. Malzeme, personel nakliyesi ve aparatlarının kumandası sinyalcı odasından yapılır. Gerekli durumlarda isc, kapıların, köprünün, sabitleme ve itme aparatlarının kumandası yerinde ve manuel olarak yapılabilir. İtme sisteminin Elektronik kontrol ünitesi alev sızdırmaz veya kendinden emniyetli tipte olabilir.

Vagon Katarı İtme Sisteminin Elektronik Kumandası; Kuyubaşı Vagon

Katarı itme sisteminin kumandası ve kontrolü, kafese araba itme sisteminde olan aynı özelliklere sahiptir.

Kuyubaşı Teçhizatı; Şekil 8'de görüldüğü gibi kuyubaşı binası içinde, vagon işletim ringi teçhiz edilmiştir. Ring sistemi ve üzerindeki meyiller, kuyubaşı ve tumba arasındaki kodlar dikkate alınarak tasarlanmıştır. Kuyubaşında, iner kalkar köprü, emniyet kapısı, arabayı kafese itme aparatı, araba sabitleme aparatları elektro-hidrolik olarak teçhiz edilmiştir. Kafes konumuna erişip, tamamıyla durduktan sonra, önce köprü incek ve sonra emniyet kapısı açılacaktır. Daha sonra, arabanın ön tutucusu açılarak arabayı kafes içine itmeye başlar, akabinde kayar bloklu araba tutma sistemi sayesinde araba emniyetli bir şekilde kafes içerine yerleştirilir. Araba rahatça kafes içine yerleştikten sonra araba itme aparatı eski pozisyonuna döner, aynı zamanda ön sabitleyici ve emniyet kapısı kapanır ve köprü kalkarak araba itme işlemi tamamlanmış olur. Çekilmiş arabalar, tumbaya kadar ilerleyecek ve boşaldıktan sonra ön tarafta bulunan zincir tahrikli vagon katarı itme sistemi sayesinde, öndeki boşalmış arabalar katar tarafına çekilecektir. Tumbada boşaltılan pasa ise konveyörle siloya taşınacaktır. Daha sonra ise katar ve vagonlar tekrar kuyu başına kafese sokulmak üzere getirilerek, kuyudan aşağı indirilir.

Personel binme platformu, kafeslerin değişimi veya yerleştirilmesi esnasında ters döner, ayrıca katlanabilir hareketli menteşeli platform halat bakım işlerinde kullanılmak üzere yerleştirilmiştir.

5. İNSETLER

-425, -560, -630 ve -700 insetlerinde, zincir sistemli inset kapıları, elektro-hidrolik iner kalkar köprü ve kafes

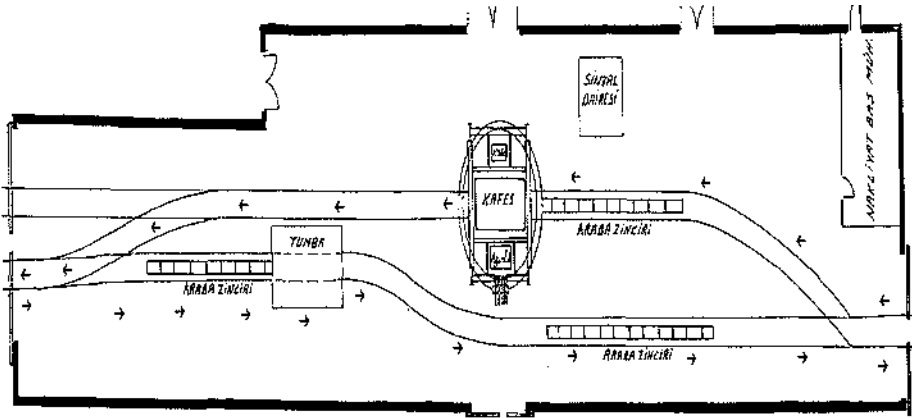
tutucular, mandal, zincir tahrikli elektro-hidrolik kafese vagon itici ve sıkırtma freni ile giriş(batı) ve çıkış(doğu) olmak üzere iki adet zincirli tip elektro-hidrolik vagon itme sisteminden oluşmuştur. Kafese personel iniş ve binişleri için personel platformu ve merdivenler insette mevcuttu

6. MALİYET

TTK Genel Müdürlüğü 2002 yılı verilerine göre, 6,5 m iç çapında bir kuyu açılmasının maliyetleri; İşçilik, patlayıcı madde, tahkimat tipi, inşaat demiri, ağaç ve beton malzemesi, direk-endirekt işçilik ve muhtelif malzeme bedelleri dahil 12.349 TL/m civarındadır.

Günümüz değeri ile ortalama 7.500 ABD Doları/m etmektedir. Keşif bedeli üzerinden yapılan ihaleye göre kuyu onarım ve derinleştirme proje maliyeti 7.329.201 ABD(\$)' Doları' dir.

Komple anahtar teslimi kuyu teçhiz ise; kuyu vinci malzeme ve montaj 1.807.358 Euro, kurtarma vinci malzeme ve montaj 467.625 Euro, ihraç kulesi 758.877 Euro, kafesler, moletler, karşı ağırlık, koşum takımları, halatlar 455.533 Euro, kuyu başı kuyu dibi tesisleri ile inset tesisleri 595.605 Euro, vinç ve kuyu başı binası 1062.996 Euro, kuyu başı iticiler, tumbalar, çelik bantlar, durdurucular 287.854 Euro, çevre düzenleme ve saha betonlaması ile birlikte toplam 5.708.474,58 Euro dur.



Şekil 8 Kuyu başı 5 Tonluk vagon ringi

7. SONUÇ

-828 katına hizmet verilecek şekilde Kozlu Yeni kuyusu ile birlikte çalışacak bir kuyunun kazı işi gündeme gelmiş ve bu amaçla I nolu kuyunun derinleştirilmesi planlanmıştır.

Kuyu kazı maliyeti yaklaşık 8.000.000 ABD(\$)' Doları' dir. Komple anahtar teslimi kuyu teçhiz, çevre düzenleme ve saha betonlaması ile birlikte toplam 5.708.474,58 Euro'dur.

Kurum maliyetleri dikkate alındığında, söz konusu miktar oldukça tatmin edicidir.

I Nolu Kuyunun -828 m. Katına kadar derinleştirilmesi ile öncelikle üretim -425/-560 kotlarında üretim yapılmaya başlanmıştır. Bunu takiben -560/-630 kotlarında üretim yapılmaya başlanacaktır. Bu şekilde işletmede verimlilik artacak, maliyetler azalacaktır. Kuyunun hizmete alınmasından sonra Müessese gerçek kapasitesine tekrar

kavuşmuş, en az bir 30 yıl daha sorunsuz kömür üretimi gerçekleştirilecektir.

-700 katına kadar teçhizi yapılan bu kuyu da çift katlı, karşı ağırlıklı, çok halatlı koepe vinci kullanılarak -425, -560, -630 ve -700 katlarına insan, malzeme ve taş nakli gerçekleştirilmekte, -560'dan -828'e kadar bütün ana katlara doğrudan personel nakliyatı yapılabilecek ve personelin yolda geçen süresi azalacaktır. Bütün katlar ile yeryüzü tesisleri arasında 5,3 m³ hacimli vagonların nakliyatı sağlanabilecektir. Her ana kata, kuyu içinden doğrudan, elektrik kabloları ve basınçlı hava boruları ile ulaşılabileceğinden yatırım ve işletme maliyetlerinde enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Temiz hava girişi -560, -530, -700, -770 ve -828 katlarına ulaşacaktır.

Kuyu onarım ve kazısında mevcut teknolojiden yararlanılmamıştır. Kuyu açma çalışmalarını ihale yoluyla başka şirketlere yaptıran TTK'nın kuyuları kendisinin açması hususunda yeterli bilgi birikimi ve deneyimi vardır. Ancak yeterli donanımın bulunmaması bir dezavantajdır.

KAYNAKLAR

- CODCO (2000), *Proje ile ilgili 2000 yılı teknik bilgi ve belgeler*; TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- CODCO (2001) *Proje ile ilgili 2001 yılı teknik bilgi ve belgeler*; TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- CODCO (2002) *Proje ile ilgili 2002 yılı teknik bilgi ve belgeler*; TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- TTK (1996) *Yönetim Komitesi Kararı Dokümanları* TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- TTK (1999) *Kredi Keşif Dosyası*, TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- TTK Kozlu Müesssesesi (2002) *2002 Yılı Nihai Raporu*, TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü, Zonguldak.
- Alp, F, 2003, *Kozlu 1 No'lu Kuyusunun Derinleştirilmesi ve İhraç Sisteminin İncelenmesi*, Yüksek lisans , TTK Kozlu Müessesi, 67600, Zonguldak.

Çekme-Kepçe (Dragline) Bum Gerilme Dağılımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi

Dragline Boom Stress Analysis Using Finite Element Method

N. Demirel

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Çekme-kepçe (dragline), ocak geometrisi içerisinde malzemeyi kazma ve uzun mesafelere dökmeye yarayan uzun bum (boom) ile karakterize edilir. Bum, yapısı ve döngüsel hareketi sebebiyle yapısal bütünlük açısından önemli bir yapıdır. Buma asılan azami yük tarafından bum elemanları üzerinde yüksek eğilme gerilmeleri ve burulma momentleri oluşabilmektedir. Farklı yüklemelerde oluşan gerilim dağılımını belirlemek ve bum bileşenlerinin yorulma ömrünü anlamak makine ömrü, verimliliği ve güvenilirliği açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, bum üzerindeki gerilme dağılımı sonlu elemanlar analizi kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan model MSC.Nastran programı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları bum gerilme dağılımının asılan yüklerle doğru orantılı olarak arttığını ve en yüksek deformasyonun bum ayağına yakın ana kollar arasındaki bileşenlerde olduğunu göstermiştir. Ayrıca uygun destek sistemlerinin gerilim dağılımını azalttığı görülmüştür.

ABSTRACT The dragline is characterized by a long boom which allows substantial reach for excavating and dumping material within the layout geometry. The boom is a major bottleneck in terms of structural integrity due to its geometry and cyclic loading. Significant bending stresses and torsional moments are created by the long boom geometry and maximum suspended load at the boom sheave. Understanding and determining the stress distribution level and fatigue life of the boom components under different cyclic loading is a problem of high interest for walking dragline toward machine longevity, productivity, and reliability. In this study, the boom stress loading is modeled using finite element analysis. The developed model is analyzed in MSC. Nastran environment. The results showed that the boom stress distribution is affected highly by the suspended load and the maximum displacement occurs at the boom sheave. The appropriate support structure leads to less stress distribution.

1 GİRİŞ

Çekme-kepçenin en tipik özelliği olan bum, kepçe ile kuvvet nakli arasında yer alan, malzemenin çok uzun mesafelere dökülmesini ve düşey yönde yüklemeyi sağlayan, uzun ve karmaşık bir yapıdır. Birbirine paralel dört ana koldan ve bu kollar arasında tüp şeklindeki borulardan oluşmaktadır. Bumu oluşturan tüp şeklindeki bileşenler birbirlerine ve bu dört ana kola bağlı durumdadır. Bum geometrik yapısı ve çekme-kepçenin döngüsel hareketi sebebiyle önemli bir eğilme gerilmesi ve burulma momenti etkisi altında kalmaktadır.

Bu gerilme dağılımının ve burulma momentlerinin malzemenin mukavemetini geçmesiyle ve/veya döngüsel harekete bağlı oluşan metal yorgunluğu sebepleriyle bum bileşenlerinde çatlaklar, kırıklar ve hatta büyük iş kazaları oluşabilmektedir. Bu hasarların önceden tahmin edilip gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Çoğu mühendislik yapısı Limit State Dizayn (LSD) yaklaşımına göre tasarlanmasına rağmen, çekme-kepçe yapıları buna dahil değildir (Acarp, 2006). Bumun dayanımını ve duraylılığını doğru bir şekilde tahmin edememek onun kaldırabileceğinden daha az yükte çalıştırılmasına neden olur, bu da çekme-kepçenin veriminin büyük oranda azalmasına, işletme maliyetlerinin yükselmesine neden olur. Bu nedenlerden ötürü bum üzerindeki gerilmelerin numerik yöntemlerle analiz edilmesi gerekmektedir.

2 BUM GERİLME DAĞILIMI ANALİZİ

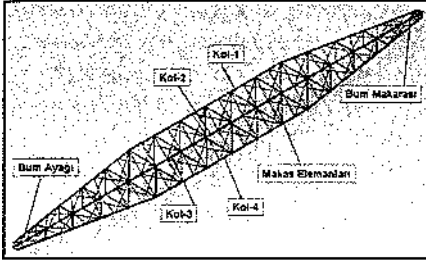
Bum gerilme dağılımı deneysel ve numerik yöntemlerle analiz edilmiştir (Dayawansa ve ark., 2004).

Farklı yükleme koşullarında bum elemanları üzerinde oluşan gerilme dağılımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak MSC.Patran/Nastran programları ortamında analiz edilmiştir. Çözüm algoritması olarak lineer statik yaklaşım seçilmiştir. Bu algorithmada, bum elemanlarında oluşan deformasyonlar uygulanan kuvvetlerle lineer ilişkili olduğu ve yapının elastik (davranışı tamamen geri çevirilebilir) olduğu varsayılmıştır.

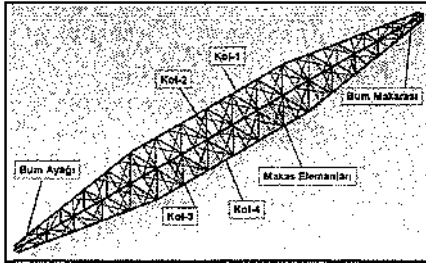
Sonlu elemanlar yöntemi başlıca üç aşamadan oluşmaktadır (Becker, 2004): (i) ön işlem ya da analiz edilecek cismin üç boyutlu (3-B) katı modelinin oluşturulması, (ii) analiz edilecek yapının küçük bileşenlere ayrılması ve şekil fonksiyonunun tanımlanması, (iii) sınır değerlerinin tanımlanması. Çözüm algoritması, oluşturulan modelin uygun bir numerik çözüm tekniği kullanılarak çözülmesi ile tamamlanır.

2.1 Üç Boyutlu Bum Modelinin ve Ağ Modelinin Oluşturulması

Üç boyutlu katı bum modeli (Şek. 1) SolidWorks 3-B tasarım ortamında gerçekleştirilmiştir. Geometrik modelin doğrulanmasından sonra model MSC.Patran programı ortamına aktarılmış ve geçerli bir ağ modeli oluşturulmuştur. Bu ağ modelinin oluşturulmasında bumun geometrik yapısı uygun olduğundan iki düğümlü giriş elemanları kullanılmıştır. Modelin tamamı 2946 düğüm ve 3136 giriş elemanından oluşmuştur. Her düğüm noktasının serbestlik derecesi altıdır. Şekil 2'de bum makarasına yakın bölgenin ağ modelindeki giriş elemanları ve düğüm noktaları görülmektedir.



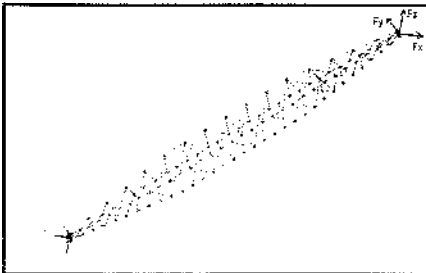
Şekil 1. 3-B katı bum modeli.



Şekil 2. Bum sonlu elemanlar ağ modeli.

2.2 Sınır Değerlerin Belirlenmesi ve Tanımlanması

Sınır değerleri analiz edilecek cismin sınır noktaları ve bu noktalarda uygulanan kuvvetlerin değer ve yön olarak belirlenmesi ile bulunur. Bum çekme-kepçenin operasyonu sırasında düşey ve yatay yönde yer değiştirmedikinden ve üçüncü boyuttaki sahnin hareketi de bu çalışmaya dahil edilmediğinden, bum ayağı diye tanımlanan nokta dönme (rotational) ve nakil (translational) serbestlik derecelerinde sabitlenmiştir (Şek. 3).



Şekil 3. Bum sınır değerleri.

Bum üzerinde uygulanan kuvvet noktaları şunlardır: (i) bum ayağı ile çekme-kepçe arasındaki bağlantı noktası, (ii) bum makarasındaki çekme ve kaldırma halatlarının uyguladıkları gerilme kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenleri, (iii) bumun ağırlık merkezinde etki ettiği kabul edilen kendi ağırlığıdır. Çekme-kepçenin ön parçalarının kinematik ve dinamik modelleri bum üzerine farklı koşullarda etki eden kuvvetlerin hesaplanması için önceden çözülmüştür (Demirel, 2007). Çözülen modeller MARION 7620 çekme-kepçe modeli için denenmiştir. Bum yapısı üzerindeki gerilme dağılımı farklı kuvvet etkileri altında izlenmiştir. Bu farklı yüklenme durumları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bum üzerinde farklı yüklenme durumları.

Yükleme	Kaldırma Halatı (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)
1	647	-542	0	-1002
2	1474	-1233	0	-2281
3	1479	-1238	120	-2284
4	1479	-1238	120	-2284

Kaldırma halatının, kepçenin ağırlığı ve kepçedeki yükten doğan gerilimi düşey kuvvetlere eklenmiştir.

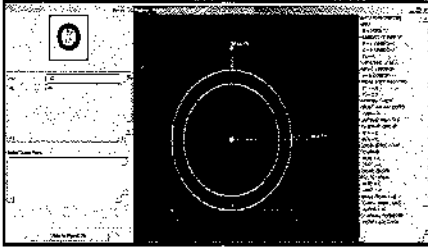
2.3 Malzeme ve Kiriş Özellikleri

Bum malzemesi düşük alaşımlı karbon çelik malzemesi olarak kabul edilmiştir. Lineer analiz için gereken malzeme bilgileri AISI 1010 ve AISI 1020 standartlar için aşağıda verilmiştir (Matweb, 2006):

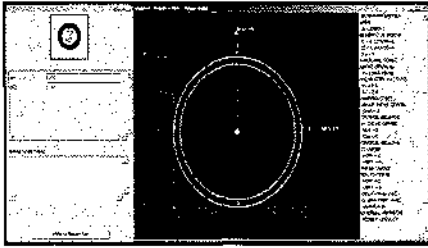
Çizelge 2. Malzeme ve kiriş özellikleri.

Özellikler	R100	R200
Yarıçap	100mm/80mm	200mm/180mm
Alan	11,310 mm ²	23,876 mm ²
Atalet	4.637x10 ⁷ mm ⁴	4.322x10 ⁸ mm ⁴
Moment	4.637x10 ⁷ mm ⁴	4.322x10 ⁸ mm ⁴
	0	0

Bum yapısı içerisinde değişik bölgelerde iki farklı kiriş kullanılmıştır. Bunların kesit alanlarının yarı çapı sırasıyla 100 mm (R100) ve 200 mm (R200), kalınlıkları ise 20 mm'dir. Kirişlerin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. R100 ve R200 kirişlerinin mekanik özellikleri Şekil 4-5'de verilmiştir.



Şekil 4. R100 kesitinin mekanik özellikleri.



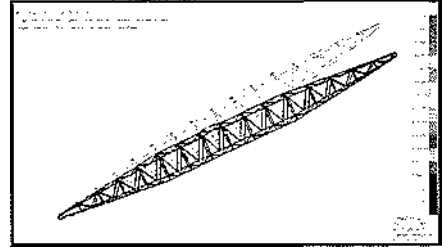
Şekil 5. R200 kesitinin mekanik özellikleri.

Katı model için belirlenen mekanik özellikler ve verilen malzeme özellikleri ile bum yapısının kütlesi 178 ton olarak hesaplanmıştır.

3 NUMERİK DENEYLER VE ANALİZ SONUÇLARI

Sonlu elemanlar yönteminin ön işlem aşaması tamamlandıktan sonra, elde edilen model farklı yüklemeye koşulları altında test edilmiştir. Numerik çözümler genel amaçlı bir sonlu elemanlar yöntemi yazılımı olan MSC. Nastran (MSC. Adams,2004) ortamında gerçekleştirilmiştir.

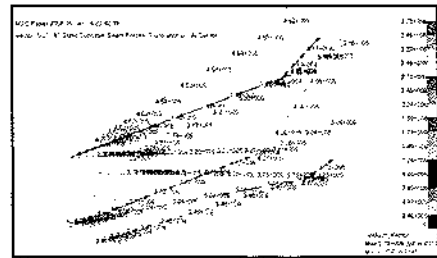
İlk olarak herhangi bir destek sistemi olmadan bum üzerinde meydana gelebilecek gerilmeler ve bumdaki deformasyon hesaplanmıştır. Beklendiği gibi bum etkisi altında olduğu yükleri kaldıramamış ve deformasyona uğramıştır. Bum makarasına yakın bölgede en yüksek deformasyon gözlenmiştir (Şek.6).



Şekil 6. Destek halatları olmadan çalışan bumdaki deformasyon.

Numerik deneylerde bum üzerindeki gerilme dağılımı ve eğilme momenti dağılımı dört farklı yüklemeye ve bum destek sistemi koşulu altında analiz edilmiştir.

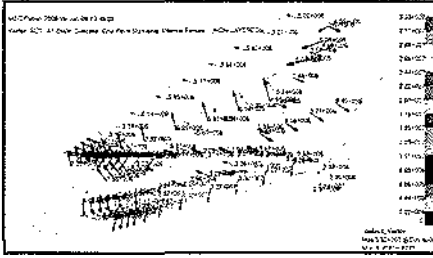
Bu bölümde Çizelge 1'de verilen yüklemeye durumlarından sadece 4 numaralı yüklemeye durumunun sonuçları verilmiştir. Bu durumda kepeçe dolu ve kaldırma halatı da lineer bir ivme ile kepeçeyi kaldırmaktadır. Bu yüklemeye modunun bum üzerinde oluşturduğu eksenli kuvvet ve eğilme momenti dağılımları Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Şekil 7'de bum ayağına yakın bölgedeki



Şekil 7. Eksenli kuvvet dağılımı.

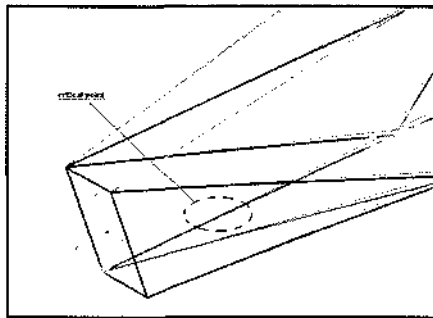
ana kollar ve bileşenler üzerindeki eksenli kuvvet dağılımı gösterilmiştir. En yüksek kuvvetin kol-2 denilen eksende oluştuğu görülmektedir.

Şekil 8'de de aynı bölgede oluşan eğilme momenti dağılımını görülmektedir. Analizlerin sonuçları en yüksek eksenli kuvvetin 166,5 MPa olduğu ve akma gerilmesinden düşük olduğu için çekme-kepçenin güvenle çalışabileceğini göstermiştir. En yüksek eğilme momentin aynı bileşenler üzerinde etki etmediği görülmüştür ve iki farklı kritik nokta belirlenmiştir.



Şekil 8. Eğilme momenti dağılımı.

Şekil 9'da kesik çizgilerle görülen bölge bum yapısı içerisinde en yüksek gerilme etkisi altında olması nedeniyle en kritik bölge olarak tespit edilmiştir. Burada hesaplanan gerilme 394 MPa olarak bulunmuştur. Yarıçapı 100 mm olan kırışlerde hesaplanan en yüksek gerilme değeri 180 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 9. En kritik gerilme bölgesi.

Çizelge 3 ve 4'de Kol-1 ve Kol-2 diye isimlendirilen ana yapılarıdaki kuvvet, gerilme ve moment dağılımları verilmiştir.

Çizelge 3. Kol-1 üzerindeki eksenli kuvvet, eğilme momenti, ve gerilme dağılım sonuçları.

Deney	F (N)	M (Nmm)	Gerilme (MPa)
1	3.72E+06	2.32E+07	167
2	5.69E+06	2.74E+07	251
3	8.81E+06	5.41E+07	394
4	8.81E+06	5.41E+07	394

Çizelge 4. Kol-2 üzerindeki eksenli kuvvet, eğilme momenti, ve gerilme dağılım sonuçları.

Deney	F (N)	M (Nmm)	Gerilme (MPa)
1	3.45E+06	3.33E+07	160
2	5.31E+06	4.79E+07	245
3	1.26E+06	1.40E+07	59
4	1.26E+06	1.40E+07	59

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çekme-kepçenin bumu üzerindeki gerilme dağılımlarını tahmin etmek için sonlu elemanlar yöntemi başarıyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bumun farklı yüklemeye ve destek koşullarında nasıl bir deformasyona uğradığını, bu yüklemelere dayanıp dayanamayacağını, en kritik gerilme bölgelerini tespit etmemizde önemli bulgular sağlamaktadır. En kritik gerilme bölgesi bum ayağına yakın olan bölgededir, bu bölgedeki kaynak işleminin daha dikkatli yapılması bölgenin güçlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Diğer bir yöntem de kullanılacak malzemenin seçimi olabilir. Bu kısımda kullanılacak olan malzemenin akma dayanımı en az 400 MPa olmalıdır.

Bun verilen yüklemeye koşulları için burulma (torsiyon) etkisi altında değildir.

Yani burulma bu yükleme koşulları için bir tehdit oluşturmamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan yükler çekme-kepçenin operasyonu sırasında meydana gelen kepçedeki yüke ve kepçenin ivmesine bağlı olan dinamik kuvvetlerdir. Ayrıca, bunun kendi ağırlığı da hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu sonuçlar operatör etkisi dahil edilmeksizin ideal operasyonlar için kullanılabilir. Ancak, bu üzerindeki gerilme dağılımlarını etkileyen en önemli faktörlerden birinin operatörün yetkinliği ve tecrübesi olduğu unutulmamalıdır. Bu bağlamda, çekme-kepçe operatör kabinlerinin kontrol sistemleri ile donatılması ve gerektiğinde operatöre uyarı gönderecek bir izlemenin gerekliliği kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Acarp, 2006. Getting the Most Out of Current Dragline Booms Safely, *Australian Coal Association Research Program (ACARP) Research Project C12047*. Abstract of the Final Report, Dayawansa, D., Kerezsi, B., and G. Chitty (eds.) June, MTI Monash University.
- Becker, A. A., 2004. *An Introductory Guide to Finite Element Analysis*, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 167 sayfa.
- Dayawansa, P., Chitty, G., Kerezsi, B., Bartosiewicz, H. and J. W. H. Price, 2004. Fracture Mechanics of Mining Dragline Booms, http://eprint.uq.edu.au/archive/00001603/01/dayawansa_sif04.pdf (Last Accessed July 31, 2006).
- Demirel, N., 2006. "Dynamic Dragline Modeling and Boom Stress Analysis for Efficient Excavation," (*PhD Dissertation*, Missouri University of Science and Technology, 2007).
- Matweb (2006). <http://www.matweb.com> (en son erişim Mart 10, 2009).
- MSC. ADAMS (2004), "MSC. Software Corporation," © MSC. ADAMS® Santa Ana, CA.

TOPSIS Tekniği Kullanarak Hidrolik Yerkazar Seçimi ve Duyarlılık Çözümlemesi

Hydraulic Excavator Selection by using TOPSIS Method and Sensitivity Analysis

M. Yavuz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Karar Verme diğer mühendislik dallarında olduğu gibi maden mühendisliği faaliyetlerinin tasarım ve proje süreçlerinin en önemli aşamalarından biridir. Her maden mühendisi genel madencilik faaliyetleri sırasında üretim yöntemi, ekipman, tesis yeri, tahkimat seçimi ile ocak planlaması ve tasarımı gibi kesin kararlar verir. Kaynaklarda çeşitli tipteki karar problemlerinin farklı çözümleri için çok sayıda teknik bulunmaktadır. Bu çalışmada, Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinden bir tanesi olup orijinal adı Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) tekniği ekipman seçimi ile ilgili madencilik tabanlı bir problemi çözmek için kullanılmıştır.

ABSTRACT Decision-Making is one of the most important stages in the design or project procedure of mining engineering operations like other engineering professions. Every mining engineer might make precise decisions in all mining operations such as the selection of mining method, equipment, facility location, support type, mine planning and design, etc. There are a number of techniques available for solving different type of decision problems in the literature. In this paper, the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), which is the one of the Multiple Attribute Decision Making techniques, was used to solve mining based decision problem related to selection of equipment.

1 GİRİŞ

Karar Verme diğer mühendislik dallarında olduğu gibi maden mühendisliğinde de tasarım ve proje uygulamalarının en önemli aşamalarından bir tanesidir.

Bütün maden mühendisleri günlük madencilik faaliyetleri sırasında önemli birçok kararlar verirler. Üretim yöntemi seçimi, ekipman seçimi, tesis yeri seçimi, tahkimat seçimi, ocak tasarımı seçimi ve

hatta personel seçimi bu kararlara örnek gösterilebilir. Bunların tamamı maden mühendislerinin bilgi, yetenek, tecrübe ve içgüdüleri ile verdikleri kararlardır. Kararların yanlış verilmesi durumunda çoğu zaman işletmeler gerek emniyet ve gerekse ekonomik açıdan çok ciddi sıkıntılar ile karşı karşıya kalabilirler. Bu nedenle, bütün karar vericiler gibi maden mühendisleri de uygun bir Karar Verme tekniği kullanarak en doğru kararları vermeye çalışmalıdırlar.

Kaynaklarda Karar Verme çok geniş uygulama alanı bulmuş bir bilim dalıdır. Karar Verme problemlerinin çözümü iki ana grupta incelenmektedir. Bunlar; Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Nitelikli Karar Verme olarak isimlendirilmektedir. Genellikle de bu iki problem grubu birbiri ile sıklıkla karıştırılmaktadır. Eğer bir Karar Verme problemi matematiksel olarak ifade edilebiliyorsa Çok Amaçlı Karar Verme, aksi takdirde Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri kullanılarak çözülebilmektedir (Hwang ve Yoon, 1981). İlgili kaynaklarda karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen birçok Çok Nitelikli Karar Verme tekniği bulunmaktadır.

Madencilik alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı Karar Verme tekniklerinin çeşitli madencilik problemlerine uygulandıkları görülmektedir. Bulanık Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinden Yager yöntemi yeraltı üretim yöntemi seçimi (Karadoğan vd., 2001; Bitarafan ve Ataei, 2004; Alpay ve Yavuz, 2009), ekipman seçimi (Kesimal ve Başçetin, 2002; Acaroğlu vd., 2006) ve tesis yeri seçimi (Yavuz, 2008) problemleri çözümünde kullanılmıştır. Yine Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinin en bilinenlerinden bir tanesi olan Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile delik delme yatırım çözümlemesi, tahkimat

tasarımı, tünel tasarımı, tesis yeri seçimi ve risk çözümlemesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Kazakidis vd., 2004; Ataei, 2005; Yavuz ve Ankara, 2006; Alpay ve Yavuz, 2007; Yavuz vd., 2008; Yavuz ve Alpay, 2008). Bu tekniklerin yanında Eleveli ve Demirci (2004) PROMETHEE tekniğini kullanarak bir yeraltı krom ocağında nakliyat sistemi seçimini yapmıştır.

Buçalışmada, Eskişehir'in Mihalıççık ilçesi kuzeyinde yer alan Koyunağılı köyü civarında çalışan bir firmanın örtükazı işlerinde kullanmak için almayı düşündüğü paletli hidrolik yerkazar seçimi konusuna özgün adı Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) olan teknik uygulanmıştır. Hidrolik yerkazar seçimi için en uygun çözüm araştırılmış ve sonuçlar üzerinde duyarlılık çözümlemeleri yapılarak verilen karar detaylı olarak incelenmiştir. TOPSIS tekniğinin madencilik alanında sık kullanılmamasına rağmen, madencilikte Karar Verme problemlerinde kolaylıkla kullanılabiliceği görülmüştür.

2 ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME TEKNİĞİ OLARAK "TOPSIS"

TOPSIS ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilmiş bir Çok Nitelikli Karar Verme tekniğidir. Tekniğin kullanımıyla tercih edilen seçeneğin pozitif-ideal çözüme en kısa, negatif-ideal çözüme ise en uzak mesafede bulunması hedeflenmektedir.

2.1 "TOPSIS" Tekniği Algoritması

TOPSIS tekniği "*m*" tane seçeneği "*n*" tane ölçüt ile değerlendiren bir Çok Nitelikli Karar Verme tekniğidir. Aşağıda Çizelge 1 ile teknik için oluşturulan bir

Karar dizeyi verilmiştir. Bu dizeyde; A_i , i . seçeneği, C_j , j . ölçütü, W_j , j . ölçütün normalleştirilmiş ağırlığını, x_{ij} ise i . seçeneğin j . ölçüt karşısında aldığı değeri göstermektedir, (Chen ve Tzeng, 2004).

Çizelge 1. Karar dizeyi.

Seçenekler	Ölçütler			
	C_1	C_2	C_n	
	W_1	W_2	W_n	
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

TOPSIS tekniği uygulamasının ilk aşaması hem karar verici tarafından verilen ağırlıkların hem de her bir seçeneğin ölçütler karşısında aldığı değerlerin (x_{ij}) normalleştirilmesidir. Bu sayede birbirinden farklı boyuttaki girdinin aynı ortamda değerlendirilebilmesi sağlanmaktadır. Normalleştirilmiş yeni değerler (r_{ij}) aşağıdaki bağıntı yardımıyla elde edilmektedir:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

Burada,

r_{ij} : Normalleştirilmiş yeni değerleri,

x_{ij} : i . seçeneğin j . ölçüt karşısında aldığı değeri belirtmektedir.

Daha sonra, normalleştirilmiş ağırlıklı dizey oluşturulur. Bu dizey, elde edilen normalleştirilmiş değerler (r_{ij}) ve ağırlıkların (W_j) çarpılması ile elde edilmektedir.

$$V = (v_{ij}) \quad (2)$$

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot W_j \quad (3)$$

Burada,

v_{ij} : i . seçeneğin j . ölçüt karşısındaki normalleştirilmiş değerini,

W_j : normalleştirilmiş ağırlıkları,
 v_{ij} : i . seçeneğin j . ölçüt karşısındaki normalleştirilmiş ağırlıklı dizey içindeki değerini belirtmektedir.

Sonraki aşama pozitif-ideal (A^+) ve negatif-ideal (A^-) çözümlerin belirlenmesidir. Bu çözümler problemin maliyet veya fayda tabanlı olmasına göre aşağıdaki bağıntılara göre oluşturulmaktadır:

$$A^+ = \left\{ \begin{array}{l} (\max v_{ij} | j \in J) \\ (\min v_{ij} | j \in J') \\ i = 1, 2, 3, \dots, m \end{array} \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (4)$$

$$A^- = \left\{ \begin{array}{l} (\min v_{ij} | j \in J) \\ (\max v_{ij} | j \in J') \\ i = (1, 2, 3, \dots, m) \end{array} \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (5)$$

Burada,

A^+ : Pozitif-ideal çözümleri,

A^- : Negatif-ideal çözümleri,

J : Fayda tabanlı problemler için çözümü,

J' : Maliyet tabanlı problemler için çözümü,

v_j^+ : Pozitif-ideal çözümler için en iyi değerleri,

v_j^- : Negatif-ideal çözümler için en iyi değerleri ifade etmek için kullanılmaktadır.

Her bir seçenek için, pozitif (S_i^+) ve negatif-ideal (S_i^-) çözümler için ayırım mesafelerinin hesaplanması aşağıdaki bağıntılarla yapılmaktadır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

Burada,

S_i^+ : Pozitif-ideal çözümler için ayırım mesafelerini,

S_i^- :Negatif-ideal çözümler için ayırım mesafelerini ifade etmektedir.

Son aşama olarak, ideal çözüme göreli yakınlıklar aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (8)$$

Burada,

C_i^+ :İdeal çözüme göreli yakınlık değerini ifade etmekte olup bu $0 \leq C_i^+ \leq 1$ arasında değerler almaktadır (Hwang ve Yoon, 1981).

3 "TOPSIS" TEKNİĞİ İLE HİDROLİK YERKAZAR SEÇİMİ

TOPSIS tekniği, Eskişehir ili Mihalıççık ilçesinde faaliyetine yeni başlamış olan bir kömür ocağının açık ocak örtükazı işlerini üstlenmiş olan bir madencilik firmasında patlatma ile gevşetilmiş olan kayaçların kazı ve yüklemesinde kullanılmak üzere alınması düşünülen paletli hidrolik yerkazar seçimi problemine uygulanmıştır. Bu çözümlemede kullanılan bütün ölçütler firma sahibi bir maden yüksek mühendisi tarafından belirlenmiştir. Karar verici tarafından seçeneklere verilen dilsel ifadeler aşağıda Çizelge 2 ile verilen ölçek kullanılarak sayısal hale dönüştürülmüştür.

Çizelge 2. Dilsel ifadelerin sayısal değerlere dönüştürülmesi.

Fayda Modeli	İfade	Maliyet Modeli
Az	1	Çok
Orta	2	Orta
Çok	3	Az

Firma sahibi tarafından belirlenen ölçütler ve satın alınması düşünülen üç farklı marka hidrolik yerkazarın nitelikleri aşağıda Çizelge 3 ile verilmiştir (Eşmeliler, 2008).

Çizelge 3. Seçim süreci için belirlenen nitelik ve seçenekler.

Nitelikler	Seçenekler		
	A	B	C
Net Motor Gücü (kW)	345	316	302
Ençok Yürüyüş Hızı (km/saat)	3.40	3.00	4.10
Yakıt Deposu Kapasitesi (lt)	900	840	800
Kepece Kazma Kuvveti (kN)	369	374	332
Taşıyıcı Kol Uzunluğu (mm)	6800	6600	6590
Kepece Kolu Uzunluğu (mm)	2900	2900	2570
Çalışma Ağırlığı (kg)	68500	68800	70550
Yer Seviyesinden Ençok Erişim (mm)	11500	11200	11044
Ençok Kazma Derinliği (mm)	7120	7250	6896
Ençok Yükleme Yüksekliği (mm)	7330	6960	6776
Fiyat (Avro)	285000	270000	380000
Yakıt Tüketimi (litre/saat)	58	55	50
İkinci El Satış (Dilsel ifade)	Orta	Düşük	Yüksek
Kova Kapasitesi (m ³)	3.30	4.10	4.40
Çalışma Yerine Uyum (1-10 arası puan)	7	8	10

Çizelge 3'de hem sayılabilen hem de sayılamayan değerlerin seçenekler için girildiği görülmektedir. Bu girdilere göre oluşturulan Karar ve Normalleştirilmiş Karar Dizeyleri sırasıyla aşağıda verilmiştir. Bu dizelerde her bir satır ölçütleri, her bir sütun ise seçenekleri ifade etmektedir.

Normalleştirilmiş karar dizeyi 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Örneğin karar dizeyinde birinci satırın ilk değeri olan 0.6196, 1 numaralı eşitliğin kullanımıyla aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

Karar Dizeyi:

$$D = \begin{bmatrix} 345 & 316 & 302 \\ 3.40 & 3.00 & 4.10 \\ 900 & 840 & 800 \\ 369 & 374 & 332 \\ 6800 & 6600 & 6590 \\ 2900 & 2900 & 2570 \\ 68500 & 68800 & 70550 \\ 11500 & 11200 & 11044 \\ 7120 & 7250 & 6896 \\ 7330 & 6960 & 6776 \\ 285000 & 270000 & 380000 \\ 58 & 55 & 50 \\ 2 & 1 & 3 \\ 3.30 & 4.10 & 4.40 \\ 7 & 8 & 10 \end{bmatrix}$$

Normalleştirilmiş karar dizeyi:

$$R = \begin{bmatrix} 0.6196 & 0.5675 & 0.5423 \\ 0.5562 & 0.4907 & 0.6707 \\ 0.6130 & 0.5721 & 0.5449 \\ 0.5937 & 0.6018 & 0.5342 \\ 0.5891 & 0.5718 & 0.5709 \\ 0.5992 & 0.5992 & 0.5310 \\ 0.5708 & 0.5733 & 0.5879 \\ 0.5902 & 0.5748 & 0.5668 \\ 0.5798 & 0.5904 & 0.5615 \\ 0.6024 & 0.5719 & 0.5568 \\ 0.5216 & 0.4942 & 0.6955 \\ 0.6152 & 0.5834 & 0.5303 \\ 0.5345 & 0.2673 & 0.8018 \\ 0.4810 & 0.5977 & 0.6414 \\ 0.4796 & 0.5482 & 0.6852 \end{bmatrix}$$

Normalleştirilmiş karar dizeyi:

Karar verici tarafından her bir ölçüt için aşağıdaki ağırlıklar verilmiştir. Karar verici, sektörde 20 yıl tecrübeli bir maden yüksek mühendisidir. Karar verici tarafından her bir ölçüt için sırasıyla 7, 3, 4, 10, 8, 7, 10, 7, 7, 9, 10, 8, 10 ve 10 şeklinde 1 ile 10 arasında önem derecelerine göre ağırlıklar verilmiştir (Eşmeliler, 2008). Normalleştirilmiş ağırlıklar aşağıdaki gibi olup tümünün toplamı 1'e eşittir.

$$W = (0.0598, 0.0256, 0.0342, 0.0855, 0.0684, 0.0598, 0.0855, 0.0598, 0.0598, 0.0598, 0.0769, 0.0855, 0.0684, 0.0855, 0.0855).$$

Normalleştirilmiş ağırlıklı karar dizeyi 3 numaralı eşitlik kullanılarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$R = \begin{bmatrix} 0.0371^+ & 0.0340 & 0.0324^- \\ 0.0143 & 0.0126^- & 0.0172^+ \\ 0.0210^+ & 0.0196 & 0.0186^- \\ 0.0507 & 0.0514^+ & 0.0457^- \\ 0.0403^- & 0.0391 & 0.0390^+ \\ 0.0358^- & 0.0358^- & 0.0318^+ \\ 0.0488^- & 0.0490 & 0.0502^+ \\ 0.0353^+ & 0.0344 & 0.0339^- \\ 0.0347 & 0.0353^+ & 0.0336^- \\ 0.0360^+ & 0.0342 & 0.0333^- \\ 0.0401 & 0.0380^+ & 0.0535^- \\ 0.0526^- & 0.0499 & 0.0453^+ \\ 0.0365 & 0.0183^- & 0.0548^+ \\ 0.0411^- & 0.0511 & 0.0548^+ \\ 0.0410^- & 0.0469 & 0.0586^+ \end{bmatrix}$$

Normalleştirilmiş ağırlıklı karar dizeyinin her bir satırdaki en küçük ve en büyük değerler işaretlenmiştir. Fayda tabanlı ölçütlerde en büyük, maliyet tabanlı ölçütlerde ise en küçükleme süreci 4 ve 5 numaralı eşitlikler kullanılarak uygulanmıştır. Bu durumda pozitif-ideal (A^+) ve negatif-ideal çözümler (A^-) aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$A^+ = (0.0371, 0.0172, 0.0210, 0.0514, 0.0390, 0.0318, 0.0502, 0.0353, 0.0353, 0.0360, 0.0380, 0.0453, 0.0548, 0.0548, 0.0586)$$

$$A^- = (0.0324, 0.0126, 0.0186, 0.0457, 0.0403, 0.0358, 0.0488, 0.0339, 0.0336, 0.0333, 0.0535, 0.0526, 0.0183, 0.0411, 0.0410).$$

Ayrım ölçüm değerleri 6 ve 7 numaralı eşitlikler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$S_i^+ = [0.0303, 0.0395, 0.0177]$$

$$S_i^- = [0.0241, 0.0206, 0.0439]$$

İdeal çözüme göreli yakınlık 8 numaralı bağıntı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C_i^1 = [0.4430, 0.3428, 0.7127]$$

Bu çalışmada 3 farklı seçenek için tercih sıralaması belirlenmiştir. Seçeneklerin sırası; Model C, Model A ve Model B olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, en iyi seçenek Model C olarak görülmektedir ve bu seçenek pozitif-ideal çözüme en yakın aynı zamanda negatif-ideal çözüme ise en uzak mesafeye sahip seçenektir.

3.1 Duyarlılık Çözümlemesi

Eldeki girdilere göre TOPSIS tekniği ile bir karara varıldıktan sonra verilen kararın sorgulanması amacıyla çeşitli duyarlılık çözümlenmeleri yapılmıştır. Çizelge 4 ile bazılarının detayları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4. Duyarlılık çözümlenmeleri.

Değişim	Ağırlıklar
A'nın kova kapasitesi 5 m ³ 'e arttırma	0.4906 (A) 0.3072 (B) 0.6898 (C)
A'nın fiyatını diğerlerinden daha az düzeye indirme	0.4617 (A) 0.3449 (B) 0.7024 (C)
Çalışma ağırlığı, Yakıt tüketimi, Kova kapasitesi ve Çalışma yeri ağırlıklarını yarılama	0.5169 (A) 0.3199 (B) 0.6877 (C)
Çalışma ağırlığı, Yakıt tüketimi, Kova kapasitesi ve Çalışma yeri ölçütlerini kaldırma	0.5579 (A) 0.3105 (B) 0.6770 (C)
A'nın bir üst modelini diğer seçeneklerle karşılaştırma	0.6254 (A) 0.2586 (B) 0.5492 (C)
C'nin uzun bomlu modelini diğer seçeneklerle karşılaştırma	0.4576 (A) 0.3521 (B) 0.6947 (C)

Bu çözümlenelerde öncelikle bazı seçenekler için bazı ölçütlerin nitelikleri ve karar verici tarafından verilen ağırlıklar değiştirilmiş, sonuçta nihai kararın değişip değişmediği incelenmiştir. Bunun yanında, bazı ölçütler değerlendirme sürecinden kaldırılmış, A seçeneğinin bir üst modeli ve C seçeneğinin uzun taşıyıcı kollu modeli sırayla diğer seçeneklerle karşılaştırılmıştır. Çizelge 4'de görüldüğü gibi sadece A'nın bir üst modeli seçildiğinde tercih sıralamasında en öne gelmekte, diğer bütün durumlarda C seçeneğinin tercih edilmesi gerektiği TOPSIS tarafından ortaya konulmaktadır. Dolayısıyla, TOPSIS tekniği kullanılarak verilen ilk kararın uygunluğu yapılan duyarlılık çözümlenmeleri sonucunda doğrulanmıştır.

4 SONUÇLAR

Madencilik faaliyetleri genellikle çok fonksiyonlu ve birbirleri ile bağlantılı bir yapı göstermektedir. Bu nedenle maden mühendislerin alacakları olası yanlış kararların geri dönülmez sonuçlara dönüşmesini engellemek açısından Karar Verme problemleri ile karşılaştıklarında bilimsel teknikleri kullanmaları son derece önemlidir. Karar Verme tabanlı bilimsel tekniklerin kullanımıyla madencilik sektöründe verimliliğin artması ve madencilik süreçlerinde maden mühendislerinin daha etkin rol oynamaları sağlanacaktır.

Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında TOPSIS kolay anlaşılabilir olması ve diğer bazı tekniklere göre daha kolay uygulanabilmesi açısından tercih nedeni olan bir tekniktir. İnsan beyninin sınırları incelendiğinde, normal koşullar altında insanların 7 ± 2 sınırları içerisindeki ölçütü sağlıklı bir şekilde birbiriyle kıyaslayıp değerlendirilebileceği bilimsel olarak ispatlanmıştır (Saaty ve

Özdemir, 2003). Bu nedenle de karmaşık problemlerin çözümünde seçenek ve niteliklerin ikili karşılaştırmalarına yer vermeyen TOPSIS tekniğinin maden mühendislerinin daha doğru kararlar vermesini sağlayacağı açıktır.

Bu çalışmada, TOPSIS tekniği gerçek bir ekipman seçim problemine başarı ile uygulanmıştır. Paletli hidrolik yerkazar seçim probleminde Taşıyıcı kol uzunluğu, kepçe kolu uzunluğu, yakıt tüketimi ve ekipman fiyatı gibi ölçütler en küçüklenmeye çalışılırken diğer ölçütler ise en büyüklenmiştir.

TOPSIS tekniği üretim yöntemi seçimi, ekipman seçimi, tesis yeri seçimi, tahkimat seçimi, personel seçimi gibi bir çok Çok Nitelikli Karar Verme probleminin çözümünde maden mühendislerinin daha doğru kararlar vermesinde yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acaroglu, O., Feridunoglu, C. ve Tumac, D., 2006. Selection of roadheaders by fuzzy multiple attribute decision making method, *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, 115, A91-A98.
- Alpay, S. ve Yavuz, M., 2007. A decision support system for underground mining method selection. *Lecture Notes Artificial Intelligence*, 4570, 334-343.
- Alpay, S. ve Yavuz, M., 2009. Underground mining method selection by decision making tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24, 173-184.
- Ataei, M., 2005. Multicriteria selection for alumina-cement plant location in East-Azerbaijan province of Iran. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105, 507-514.
- Bitarafan, M.R. ve Ataei, M., 2004. Mining method selection by multiple criteria decision making tools. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104, 493-498.
- Chen, M.F. ve Tzeng G.H., 2004. Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting and Expatriate Host Country. *Mathematical and Computer Modelling*, 40, 1473-1490
- Elevli, B. ve Demirci A., 2004. Case Study: Multicriteria choice of ore transport system for an underground mine: Application of PROMETHEE methods. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104, 251-256
- Eşmeliler, A.Y., 2008. Kişisel Görüşme. *Yamaç Madencilik*, Eskişehir.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K., 1981. *Multi Attribute Decision Making Methods and Applications*, Springer-Verlag.
- Karadogan, A., Bascetin, A., Kahrıman, A. ve Gorgun, S., 2001. A New Approach in Selection of Underground Mining Method, *International Conference-Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection*, 171-183.
- Kazakidis, V.N., Mayer, Z. ve Scoble, M.J., 2004. Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, 113, A30-A42.
- Kesimal, A. ve Bascetin A., 2002. Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Mining Operations. *Mineral Resources Engineering*, 11, 59-72.
- Saaty, T. L. ve Özdemir M.S., 2003. Why the magic number seven plus

- or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38, 233–244.
- Yavuz, M., 2008, Selection of plant location in the natural stone industry using the fuzzy multiple attribute decision making method. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108, 641–649.
- Yavuz, M. ve Alpay, S., 2008. Underground Mining Technique Selection by Multicriterion Optimization Methods. *Journal of Mining Science*, 44, 391–401.
- Yavuz, M. ve Ankara, H., 2006, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Madencilikteki Uygulamaları, *Türkiye 15. Kömür Kongresi*, 101–108.
- Yavuz, M., İphar, M. ve Önce, G., 2008, The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, 111–119.

Bilgisayar Destekli Enli Dilim Çekme-Kepçe Kazı Modeli

Computer-Aided Model of Extended-Bench Dragline Operation

B. Erdem

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

ÖZET Bu çalışma kapsamında çekme-kepçe örtükazı yöntemlerinden enli dilim modellenmiştir. Çalışmanın asal amacı belirli boyutlara sahip bir çekme-kepçenin çalışabileceği örtükazı panosunun boyutlarının tespit edilmesidir. Çekme-kepçe ve dilim boyutlarının uyumlu olduğu durumda geometrik duraylılık sağlanmaktadır.

ABSTRACT In this study extended bench dragline stripping is modeled. The basic objective is to determine the geometry of strip panel, on which a dragline with specific dimensions can be deployed. When dragline and panel dimensions are in concordance geometrical stability is achieved.

1 GİRİŞ

Çalışma kapsamında enli dilim çekme-kepçe örtükazı yöntemi modellenmiştir. Bu yöntem, özellikle pasa kalınlığında meydana gelebilecek artışlar hâlihazırda uygulanan çekme-kepçe kazı yöntemi için uygun olmayan bir dilim geometrisi ile sonuçlandığında başvurulmaktadır. Böyle durumlarda pasanın kömür üzerine yığılması için daha uzak bir noktaya dökülmesi gerekmektedir. Gerekli uzanımın çekme-kepçe çalışma yarıçapından büyük olduğu böyle durumlarda getirilebilecek çözümlerden birisi basamağı belirli oranda genişleterek çek-

me-kepçenin yığına yaklaşmasını sağlamaktır. Bu amaca ulaşmak için dilimden kazılan pasanın bir bölümü şeve yaslanacak şekilde dökülmekte ve gerekli genişleme sağlanmaktadır. Bu yöntem özgü temel dezavantaj dilimdeki pasanın bir bölümünün tekrar kazılması gerekliliğidir. Tekrarkazı oranındaki gereksiz artış doğrudan örtükazı maliyetine yansıtacağından, kazı tasarımının hassas şekilde yapılması zorunludur.

Çekme-kepçe çalışması görsel bir tasarım paketi kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Böylece kesit diyagramlarının hatalı yaklaşımları sonucunda

elde edilen pano geometrilerinden daha doğru tasarımlara erişilebilmektedir.

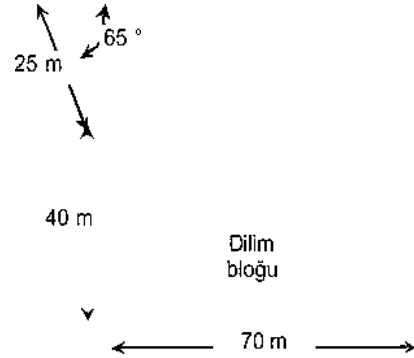
Çekme-kepçe çalışmasında kazılan örtü malzemesinin tek küme yerine yaycıl küme halinde yığılmasının yığın hacim kullanım oranını artırdığı belirlenmiştir (Erdem ve Doğan, 2008a). Tasarım programında yaycıl kümeler, bir daire yayı boyunca küçük açısız mesafelerle dökülmüş belirli sayıda bileşen koninin birleşim kümesinden oluşturulmaktadır. Bileşen koni taban yarıçapı sabit olmak üzere, koni tepeleri arasındaki açısız mesafe azaldıkça, hacim kullanım oranı da artmaktadır. Ayrıca, hacim kullanım oranının yaycıl kümeyi oluşturan bileşen konilerin taban yarıçapının (r_{bk}) fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Ancak en yüksek hacim kullanım oranına, bileşen konilerin taban yarıçapı, malzeme tek koni halinde döküldüğünde oluşan tek koninin taban yarıçapının (r_k) yaklaşık %70'ine eşit olduğunda ulaşılmaktadır. Geniş bilgi Erdem ve Doğan (2008b) tarafından verilmiştir.

2 ENLİ DİLİM MODELİ

2.1 Veri

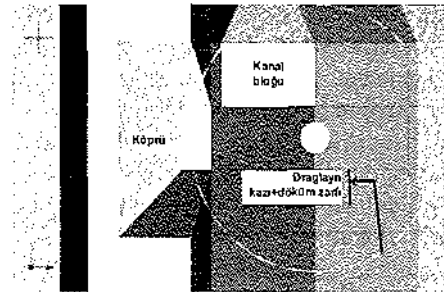
Modelleme işleminde çalışma yarıçapı 85 m olan orta büyüklükte bir çekme-kepçe kullanılmıştır. Böylece çekme-kepçe dilim üzerindeki herhangi bir sette oturma konumunda iken, önündeki set tamamen kazı zarfı içerisinde kalmaktadır.

Modelleme çalışması orta kalınlıkta bir örtü ve orta derecede kabarma yüzdesi alınarak yapılmıştır. Kazı bloğuna (Şekil 1) ait boyutlar: Dilim genişliği, W : 70 m, köprü genişliği, W_k : 10 m, set boyu, L_{set} : 40 m, dilim kalınlığı, H_o : 25 m, dilim şev açısı, Φ_{dy} : 65° , kabarma yüzdesi, δ : %35, dilim bloğu yerinde hacmi, V_{dby} : 70000 m³, dilim bloğu kabarmış hacmi, V_{dbk} : 94500 m³.



Şekil 1. Set boyutları (plan görünüşü).

Enli dilime yaslanarak çekme-kepçe erimini artırması planlanan köprü, kanal kazısından alınan malzeme ile kurulacağından, başlangıç aşamasında kanal boyutları verilmemiştir. Tasarımda köprü boyutları, dolayısıyla içerdiği malzeme miktarı, belirlendikten sonra kanal bloğu boyutları hesaplanmaktadır. Diğer bir husus ta başlangıç çukuru (boxcut) kazısını takiben ilk dilimin ilk setine ait kanal bloğunun, ilk köprünün kurulması için gereken büyük miktarda malzemeyi içerecek şekilde oluşturulması gereğidir (Şekil 2). Böylece çekme-kepçe kanal kazısı konumunda iken dilim, malzemenin kömür damarı topoğuna döküleceği şekilde boyutlandırılmıştır.



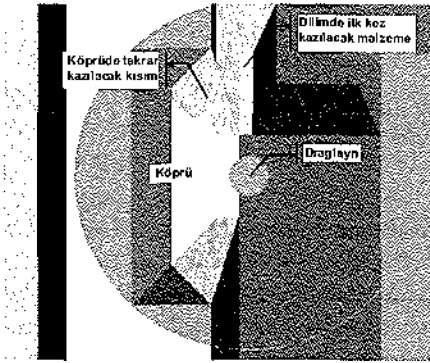
Şekil 2. İlk dilim kanal bloğu ve ilk köprü (yukarıdan bakış).

2.2 $r_{bk} = 35$ m denemesi

İlk denemeye 10 m'lik köprü genişliği ile başlanılmıştır. İlk dilimin ilk setinde köprü, yandaki boş dilime serbest olarak döküleceğinden yalnızca dilim şevine yaslanmakta, diğer düzlemler tarafından kısıtlanmadığından, büyük bir hacim gerektirmektedir. Böylece 70 m genişliğindeki setin büyük kısmı, kanal konumundan kazılıp köprüye dönüştürülmelidir.

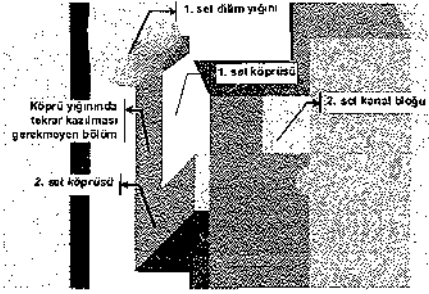
Şekil 2'de örneklendiği üzere ilk köprü, 66889 m³ hacime sahiptir. Setin kanal bloğu geometrisi, %35'lik kabarma yüzdesi göz önüne alındığında, 51452,5 m³ yerinde hacime sahip olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Daha sonra dilimde kalan malzeme ile köprünün dilim üzerine yaslanan ve kömürü kapatan kısmı, tekrarkazı yapılarak alınmakta ve nihai döküm gerçekleştirilmektedir (Şekil 3).

İkinci ve takip eden setlerde köprüler öncekilere yaslanmak durumunda olduğundan, artık iki düzlem tarafından kısıtlanmaktadır. Bu da köprü hacminde, dolayısıyla kanal bloğu hacminde hızlı bir düşüşe neden olmaktadır. Bu durum Şekil 4'te gösterilmektedir.



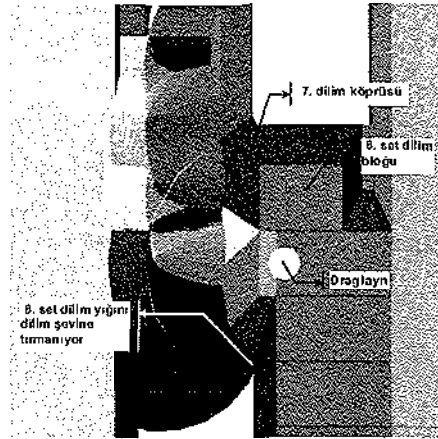
Şekil 3. Dilim ve köprü üzerinde tekrarkazı (yukarıdan bakış).

Modelleme çalışması 8. sete kadar düzenli olarak ilerlemiştir. Bu setin dilim bloğu ve buna yash 7. dilim köprüsü



Şekil 4. İkinci set köprüsü (yukarıdan bakış).

toplam hacmi 89390 m³ iken, boş dilimde mevcut hacim de 89441 m³ olmaktadır. Her ne kadar mevcut hacim gerekli hacimden hafifçe fazla olsa da, sürekli artan dönüş açıları ve nihai yığın kümesinin dilim şevine tırmanacak kadar büyük bir yaysal uzunluğa sahip olması sonucunda ikinci tekrarkazı gereksinimi doğmuş ve modelleme çalışması bu aşamada durdurulmuştur. Şekil 5 bu durumu göstermektedir.

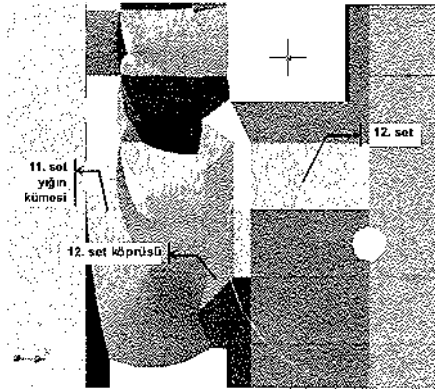


Şekil 5. 8. set yığın kümesinin ilerleme yönünde öndeki dilim şevine tırmanması (yukarıdan bakış).

2.3 $r_{bk} = 60$ m denemesi

İkinci deneme aynı blok boyutları ile başlatılmış ancak yığın kümesini oluşturan bileşen konilerin taban yarıçapı

hızla artırılarak 60 m'ye yükseltilmiştir. İlk denemenin aksine, yığın kümelerinin ilerleme yönünde öndeki setlere tırmanmasına izin verilmiştir. Ancak bu durumda da, çekme-kepçe ve dilim geometrilerinin uyuşturulmaması nedeniyle boş dilimdeki yığın kümeleri, gitgide daha uzun yaylara dökülmek durumunda kaldığından takip eden setlere ait köprüler daha düşük hacimlere sahip olmak zorunda kalmaktadır. 12. sete kadar bu şekilde ilerlenmiştir ve kanal bloğundan köprüye aktarılması gereken hacim 13857 m³ olarak hesaplanmıştır. Ancak taban genişliği 0 m olan bir kanal bloğu bile daha büyük hacim sunduğundan modelleme çalışmaları durdurulmuştur. Bu durumda da döküm modelleme çalışmasının sürdürülmesi, ardışık yığınların dilime daha yüksek tırmanmasına yol açacağından tüm set bloğu, dilim kazısı olarak kabul edilecek ve daha uzun yaysal yığınla oluşacaktı. Böylece ikincil tekrarkazıya neden olunacağından, bu durumda çekme-kepçe yöntemi rasyonelliğini yitirecekti (Şekil 6).



Şekil 6. 12. set köprüsü için çok az malzeme gerekli (yukarıdan bakış).

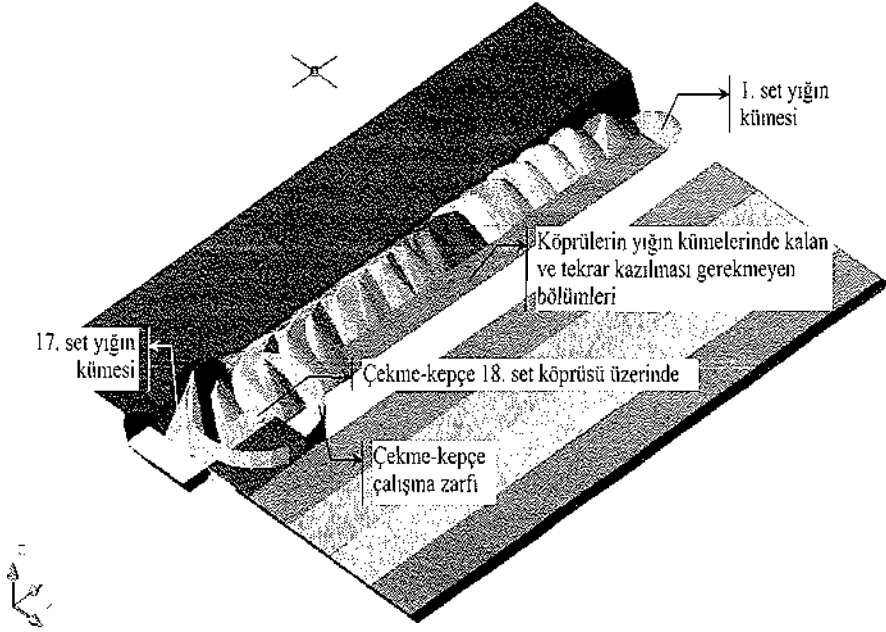
2.3.1 W_k : 20 m denemesi

Önceki iki denemede yığın kümesini oluşturan konilerin taban yarıçaplarının

olabildiği kadar geniş alınmasına rağmen geometrik uyumun oturtulamaması, çekme-kepçe boyutlarının dilim için yetersiz kalmasından kaynaklanmıştır. Bu nedenle yığın kümelerinin daha uzağa dökülebilmesi amacıyla köprü, 10 m'den 20 m'ye genişletilmiştir.

Modelleme çalışması 17 setten oluşan ilk dilimle başlatılmıştır. Tüm setler için kanal bloğundan kazılan örtü malzemesi köprü inşaatı için kullanılmış ve çekme-kepçenin konumlandığı sete yaslanacak şekilde dökülmüştür. Setin dilim kısmı ve köprünün yığın kümesinde kalmayan bölümü, çekme-kepçe arka set köprüsü üzerinde konumlanırken kazılarak boş dilim içerisinde daha ileriye, dilim şevine tırmanmayacak şekilde dökülmüştür. Yığınlar başlangıçtan itibaren küçük artırımlarla daha uzun yaysal kümeler halinde sıralanmış ancak etekleri, boş dilim içerisinde kalmış ve kömür damarı ile dilim şevine tırmanmamıştır. Çekme-kepçe dönüş açıları sabitlenmemekte ancak ardışık dönüş açılarındaki marjinal artış düşmektedir. Bu nedenle bu dilim için çekme-kepçe ve pano boyutlarının uyduğu ve tasarımda geometrik tutarlılığın sağlandığı söylenebilir. İlk dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 7'de gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 1 ve 2'de sunulmuştur.

Modelleme çalışması ikinci dilimle devam etmiş ve ardışık 20 setin örtü malzemesi, ilk dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Burada da yığınlar uzun yaysal kümeler halinde sıralanmadığından etekleri, direkt yana döküm uygulamasına uygun olarak boş dilim içerisinde kalmış ve kömür damarı ile dilim şevine tırmanmamıştır. Çekme-kepçe dönüş açıları da, yaklaşık 8. setten sonra sabitlenmektedir. Böylece, çekme-kepçe ve pano boyutlarının uyduğu ve tasarımda geometrik tutarlılığın sağlandığı



Şekil 7. İlk dilim sonu 17. set dökülmüş durumda (Güneydoğudan baktık).

Çizelge 1. İlk dilim için kanal kazısında yay-sal küme döküm tasarımı sonuçları

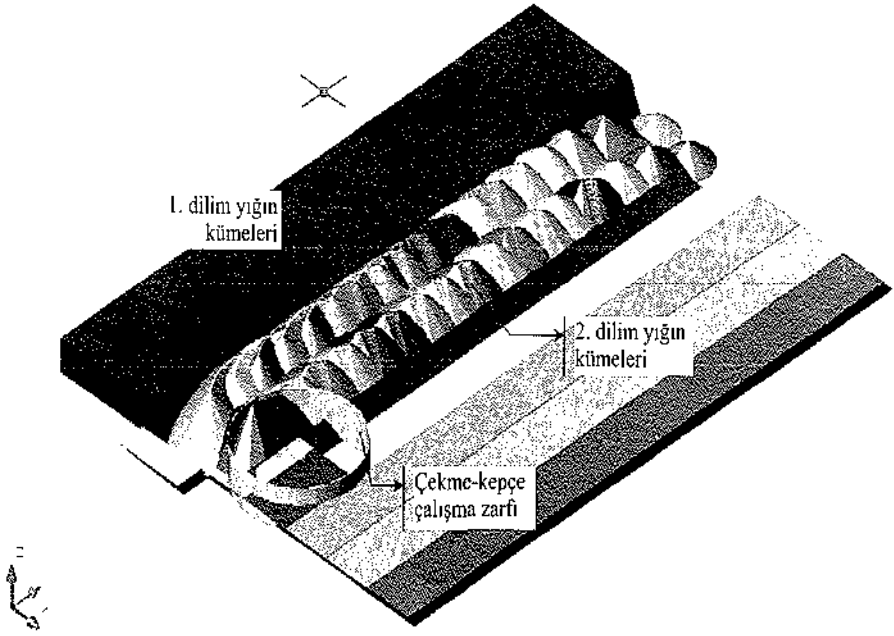
Set	V_{KPR} (m^3)	V_{KNI} (m^3)	O_{TK} (%)
1*	91741	69461	3,40
2	41311	41311	26,03
3	41311	41311	26,03
4	41311	41311	26,03
5	41311	41311	26,03
6	41311	41311	26,03
7	41311	41311	26,03
8	41050	41311	26,03
9	39827	39828	26,03
10	37675	37675	26,03
11	34817	34817	26,03
12	31856	31857	26,03
13	28776	28775	26,03
14	25832	25832	26,03
15	23385	23389	26,03
16	21661	21661	26,03
17**	24201	24202	26,03

* İlk set köprüsü, kanal bloğundan sağlanan malzeme yetersiz olduğundan, ilave üstkazi ile desteklenmiştir.

** 17. set köprü genişliği 30 m'ye çıkarılmıştır.

Çizelge 2. İlk dilim için dilim kazısında yay-sal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	r_{TK} (m)	V_{YGN} (m^3)	V_{DLM} (m^3)	V_{TKK} (m^3)
1	35	28235	25039	3213
2	58	77433	53189	24600
3	60	78312	53188	24600
4	65	78172	53188	24600
5	65	77631	53188	24600
6	65	77823	53188	24600
7	65	76872	53188	24600
8	65	78949	53188	24600
9	65	79585	54672	24600
10	65	82730	56825	24600
11	65	84153	59684	24600
12	65	86302	62643	24600
13	65	89976	65725	24600
14	65	92871	68668	24600
15	65	95828	71111	24600
16	65	97984	72839	24600
17	85	93985	70298	24600



Şekil 8. İkinci dilim sonu 17. set dökülmüş durumda (Güneydoğudan bakış).

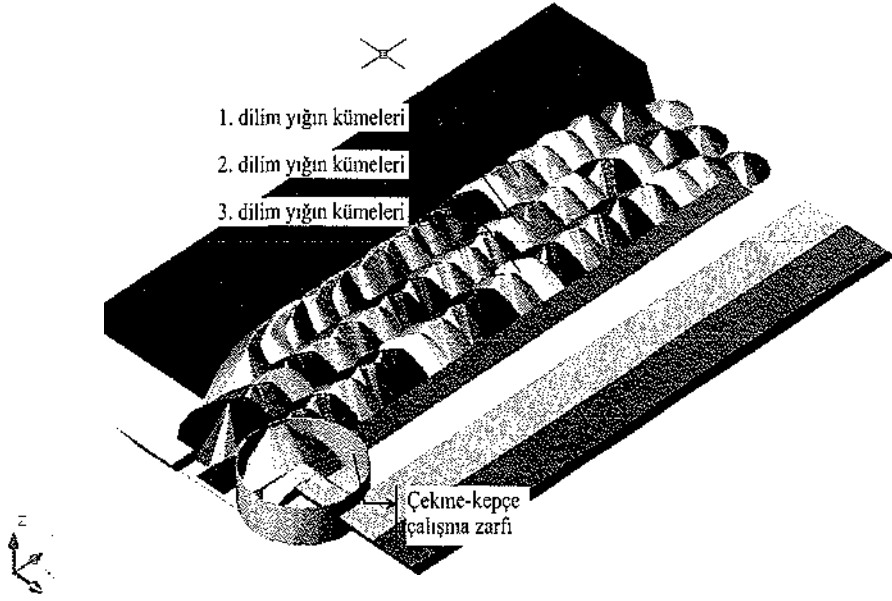
Çizelge 3. İkinci dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	V_{KPR} (m^3)	V_{KNL} (m^3)	O_{TK} (%)
1*	91741	69461	8,00
2	41311	41311	26,03
3	41311	41311	26,03
4	41311	41311	26,03
5	41311	41311	26,03
6	41311	41311	26,03
7	41311	41311	26,03
8	41311	41311	26,03
9	41311	41311	26,03
10	41311	41311	26,03
11	41311	41311	26,03
12	41311	41311	26,03
13	41311	41311	26,03
14	41311	41311	26,03
15	41311	41311	26,03
16	41311	41311	26,03
17	41311	41311	26,03

* İlk set köprüsü, kanal bloğundan sağlanan malzeme yetersiz olduğundan, 22280 m^3 ilave kabarmış üstkazi ile desteklenmiştir.

Çizelge 4. İkinci dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	r_{hk} (m)	V_{YGN} (m^3)	V_{DLM} (m^3)	V_{TKK} (m^3)
1	36	32559	25039	7559
2	55	77040	53189	24600
3	60	77709	53189	24600
4	60	77250	53189	24600
5	65	77842	53189	24600
6	65	78308	53189	24600
7	65	76664	53189	24600
8	65	76555	53189	24600
9	65	79045	53189	24600
10	65	76586	53189	24600
11	65	77295	53189	24600
12	65	77867	53189	24600
13	65	76595	53189	24600
14	65	78192	53189	24600
15	65	78306	53189	24600
16	65	77811	53189	24600
17	65	77377	53189	24600



Şekil 9. Üçüncü dilim sonu 20. set dökülmüş durumda (Güneydoğudan bakış).

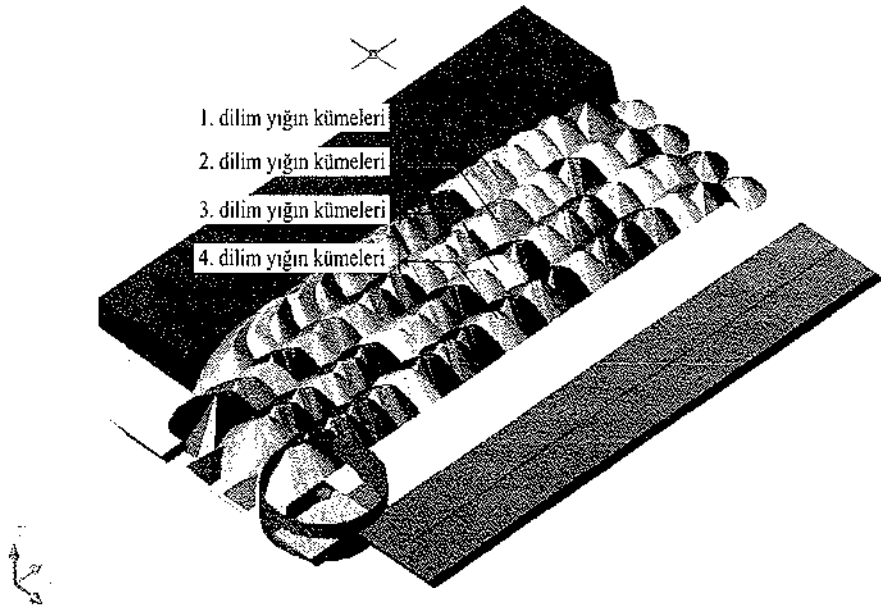
Çizelge 5. Üçüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	V_{KPR} (m^3)	V_{KNL} (m^3)	O_{TK} (%)
1*	91741	69461	8,00
2	41311	41311	26,03
3	41311	41311	26,03
4	41311	41311	26,03
5	41311	41311	26,03
6	41311	41311	26,03
7	41311	41311	26,03
8	41311	41311	26,03
9	41311	41311	26,03
10	41311	41311	26,03
11	41311	41311	26,03
12	41311	41311	26,03
13	41311	41311	26,03
14	41311	41311	26,03
15	41311	41311	26,03
16	41311	41311	26,03
17	41311	41311	26,03
18	41311	41311	26,03
19	41311	41311	26,03
20	41311	41311	26,03

Çizelge 6. Üçüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	T_{Bk} (m)	V_{YGN} (m^3)	V_{DLM} (m^3)	V_{TKK} (m^3)
1	35	32941	25039	7559
2	55	77344	53189	24600
3	60	78791	53189	24600
4	60	77387	53189	24600
5	65	77915	53189	24600
6	65	77250	53189	24600
7	65	77559	53189	24600
8	65	77400	53189	24600
9	65	77154	53189	24600
10	65	76925	53189	24600
11	65	78307	53189	24600
12	65	77963	53189	24600
13	65	78651	53189	24600
14	65	76777	53189	24600
15	65	77500	53189	24600
16	65	77928	53189	24600
17	65	77760	53189	24600
18	65	78875	53189	24600
19	65	77101	53189	24600
20	65	77252	53189	24600

* İlk set köprüsü, kanal bloğundan sağlanan malzeme yetersiz olduğundan, 22280 m^3 ilave kabarmış üstkazi ile desteklenmiştir.



Şekil 10. Dördüncü dilim sonu 20. set dökülmüş durumda (Güneydoğudan bakış).

Çizelge 7. Dördüncü dilim için kanal kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	V_{KPR} (m^3)	V_{KNL} (m^3)	O_{TK} (%)
1*	91741	69461	8,00
2	41311	41311	26,03
3	41311	41311	26,03
4	41311	41311	26,03
5	41311	41311	26,03
6	41311	41311	26,03
7	41311	41311	26,03
8	41311	41311	26,03
9	41311	41311	26,03
10	41311	41311	26,03
11	41311	41311	26,03
12	41311	41311	26,03
13	41311	41311	26,03
14	41311	41311	26,03
15	41311	41311	26,03
16	41311	41311	26,03
17	41311	41311	26,03
18	41311	41311	26,03
19	41311	41311	26,03
20	41311	41311	26,03

* İlk set köprüsü, kanal bloğundan sağlanan malzeme yetersiz olduğundan, 22280 m^3 ilave kabarmış üstkazi ile desteklenmiştir.

Çizelge 8. Dördüncü dilim için dilim kazısında yaysal küme döküm tasarımı sonuçları

Set	T_{BR} (m)	V_{YGN} (m^3)	V_{DLM} (m^3)	V_{TKK} (m^3)
1	36	32935	25039	7559
2	55	77269	53189	24600
3	60	76929	53189	24600
4	60	78912	53189	24600
5	65	77965	53189	24600
6	65	76622	53189	24600
7	65	76267	53189	24600
8	65	76963	53189	24600
9	65	76948	53189	24600
10	65	77519	53189	24600
11	65	77499	53189	24600
12	65	78799	53189	24600
13	65	77594	53189	24600
14	65	76767	53189	24600
15	65	78809	53189	24600
16	65	78613	53189	24600
17	65	78515	53189	24600
18	65	78032	53189	24600
19	65	78012	53189	24600
20	65	78830	53189	24600

söylenbilir. İkinci dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 8'de gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 3 ve 4'de sunulmuştur.

Modelleme çalışması üçüncü dilimle devam etmiş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, ikinci dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-keççe dönüş açıları da, yaklaşık 8. setten sonra sabitlenmektedir. Üçüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 9'da gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 5 ve 6'da sunulmuştur.

Modelleme çalışmasındaki son aşaması dördüncü dilim olmuş ve ardışık 20 setin kanal ve dilim bloklarından gelen örtü malzemesi, üçüncü dilimden boşaltılan bölgeye dökülmüştür. Geometrik tutarlılık devam etmektedir. Çekme-keççe dönüş açıları da, yaklaşık 8. setten

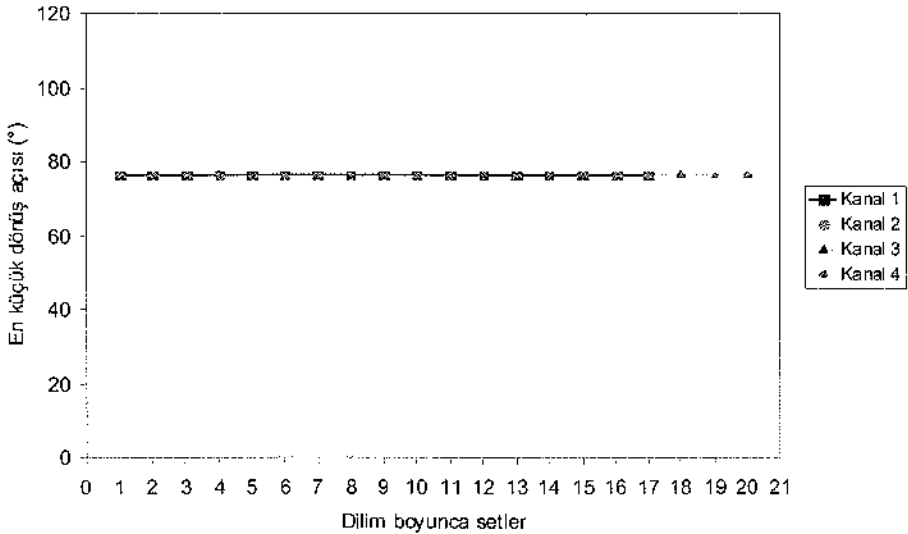
sonra sabitlenmektedir. Dördüncü dilim kazısı sonrasında ocağın durumu Şekil 10'da gösterilmektedir. Kanal ve dilim blokları kazısı ile ilgili tasarım sonuçları Çizelgeler 7 ve 8'de sunulmuştur.

3 DEĞERLENDİRMELER

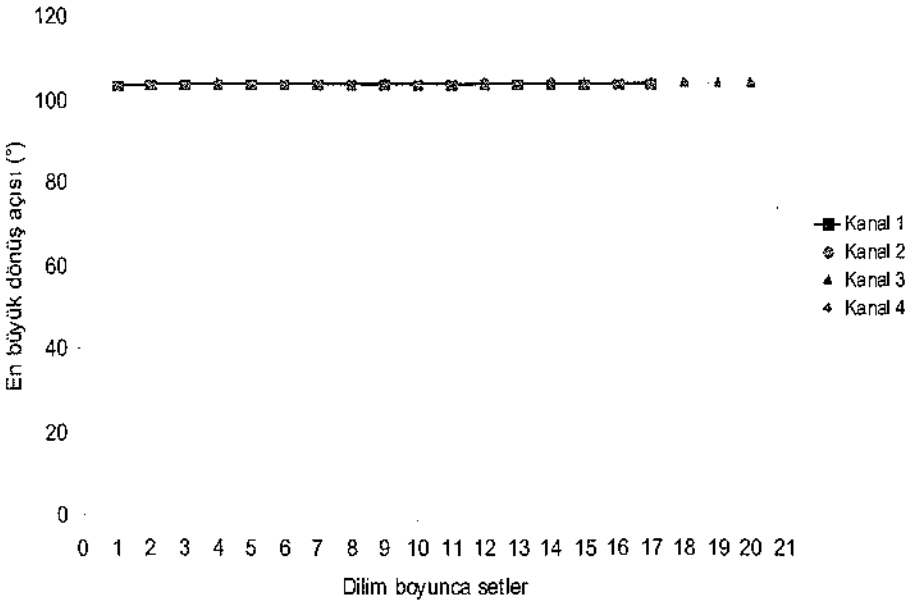
Köprü ve farklı taban yarıçaplarına sahip konilerin birleşim kümelerinden elde edilen yaysal dilim kümelerine ait en büyük, ortalama ve en küçük dönüş açılarının ve dilimler boyunca değişimi Şekiller 11 – 16 arasında gösterilmektedir. Şekillerden aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

i. Kanal kazısındaki en küçük (β_{\min}), en büyük (β_{\max}) ve ortalama dönüş açıları (β_{ave}) dilim boyunca ve dilimler arasında ilerlemeden bağımsızdır. Bunun nedeni döküm başlangıç noktasının köprü geometrisi tarafından belirlenmesi ve bunun sabit olmasıdır.

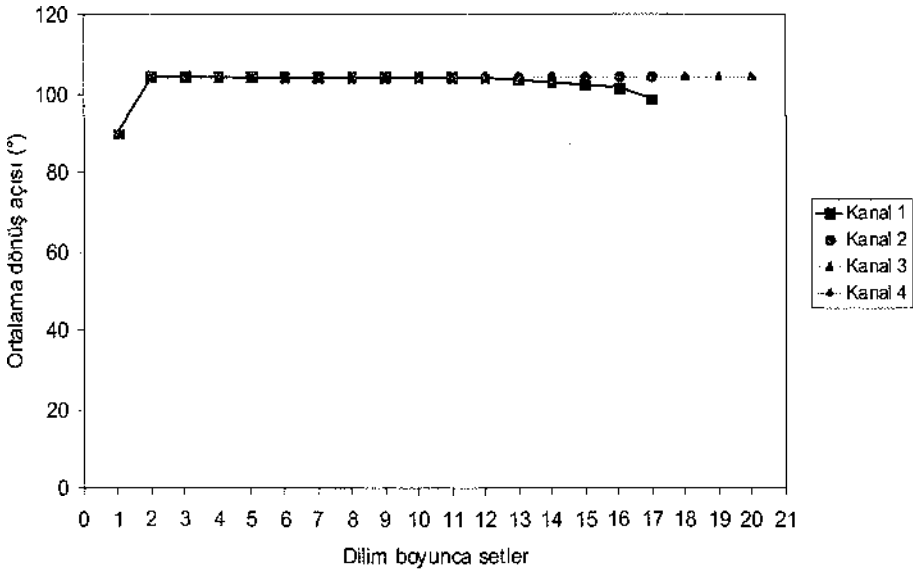
ii. Dilim kazısında en küçük dönüş açısı, yine yığın kümesi eteği dilim



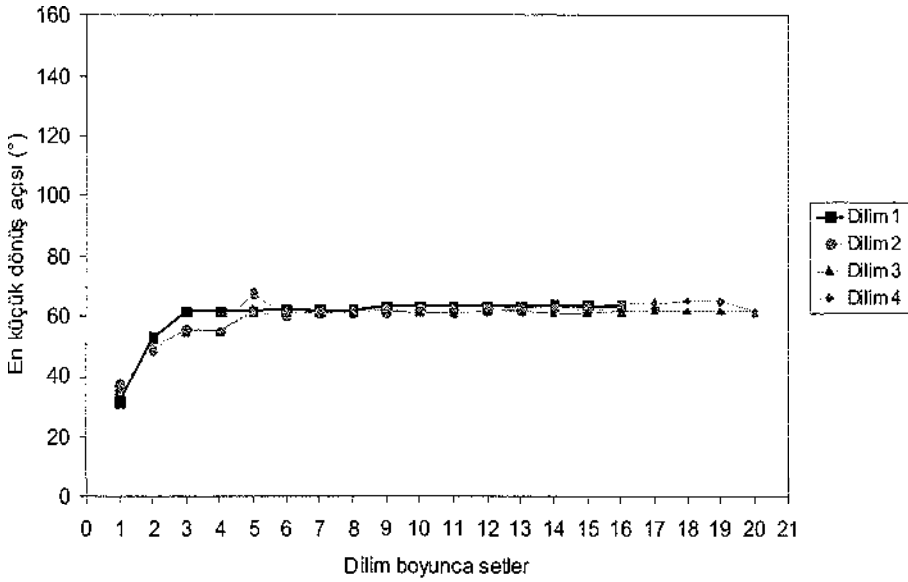
Şekil 11. Kanal kazısına ait en küçük dönüş açıları (β_{\min}).



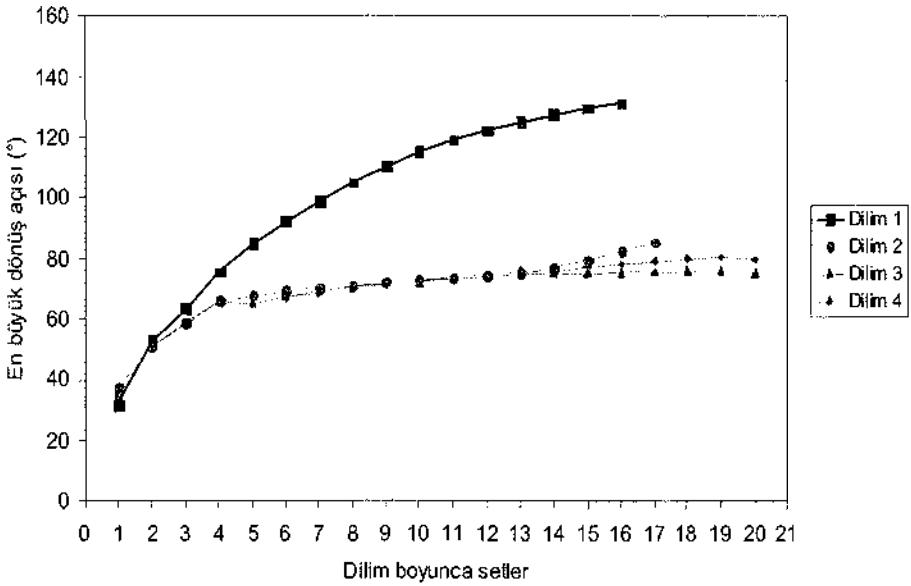
Şekil 12. Kanal kazısına ait en büyük dönüş açıları (β_{max}).



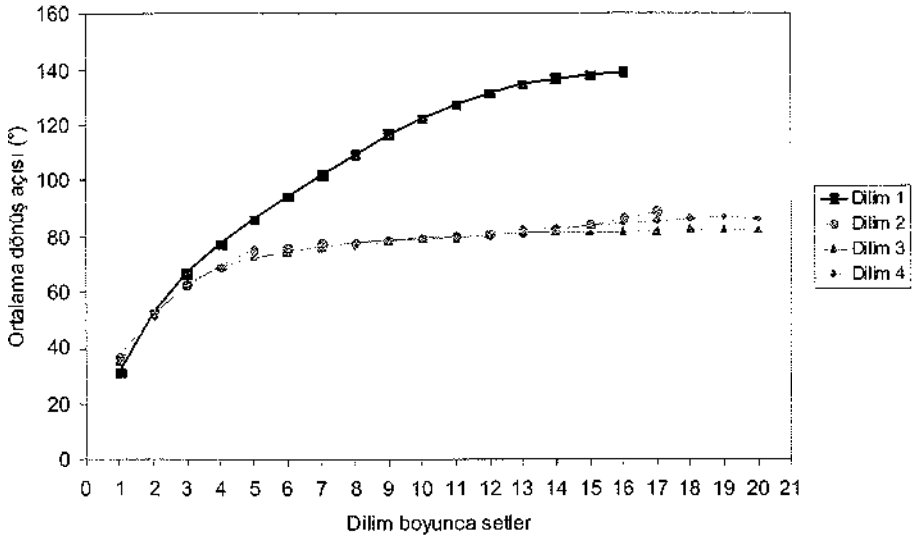
Şekil 13. Kanal kazısına ait ortalama dönüş açıları (β_{ave}).



Şekil 14. Yaysal dilim kümelerine ait en küçük dönüş açıları (β_{min}).



Şekil 15. Yaysal dilim kümelerine ait en büyük dönüş açıları (β_{max}).



Şekil 16. Yaysal dilim kümelerine ait ortalama dönüş açıları (β_{ave}).

şevine tırmanmayacak şekilde dilime yaysal olarak en yakın nokta tarafından belirlendiğinden, sabittir. Bundan ötürü bu açı, dilim boyunca ve dilimler arasında değişiklik göstermemektedir.

iii. Dilim kazısında en büyük (β_{max}) ve ortalama (β_{ave}) dönüş açıları ilk dilimdeki başlangıç setlerinde hızla artmakta ve sabitleme eğilimi göstermemektedir. 65 m'lik koni taban yarıçapına erişildiğinde dönüş açılarındaki artış yavaşlamıştır. Yine de ilk dilimin kalan setleri için açılarda artmaya devam etmesi, koni taban yarıçapının büyütülmesinin geometrik tutarlılığa pozitif etki yapacağına işaret etmektedir. Dönüş açıları 2. dilimde büyük oranda düşmekte, 3. ve 4. dilimlerde de bu durumu korumaktadır. Dolayısıyla geometrik tutarlılık 2. dilimden itibaren sağlanmış görünmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

a. Bir çizim paketi kullanılarak yatımsız bir kömür damarının bulunduğu yerüstü kömür ocağında çekme-kepçe panosu tasarlanmıştır.

b. Enli dilim yöntemi modellenmiştir.

c. Çekme-kepçe panosu her biri 20 setten oluşan dört dilime ayrılmıştır. Böylece 80 adet setteki örtü malzemesinin kazı ve döküm benzetimi yapılmıştır.

d. Çalışmada kazılacak ve dökülecek hacimler, kanal ve dilim bloklarındaki dönüş açıları, tekrarkazı oranları belirlenmiş olup bu parametrelerin dilim boyunca ve dilimler arasında değişimi izlenmiştir. Parametre değerlerindeki değişim belirli ilerlemeden sonra değişmemekte ve sabitlenmektedir. Bu durum çekme-kepçe ve dilim geometrilerinin uyduğunu ve 'geometrik tutarlılık' sağlandığını göstermektedir.

e. Serbest döküm yapıldığında en büyük hacim kullanım oranı değerine

küçük taban yarıçaplı koniler ile erişilirken, birkaç yüzey tarafından kısıtlanmış durumdaki kömürü alınmış dilime döküm yapıldığında ancak büyük taban yarıçaplı koniler hacim kullanım oranını enbüyüklemektedir.

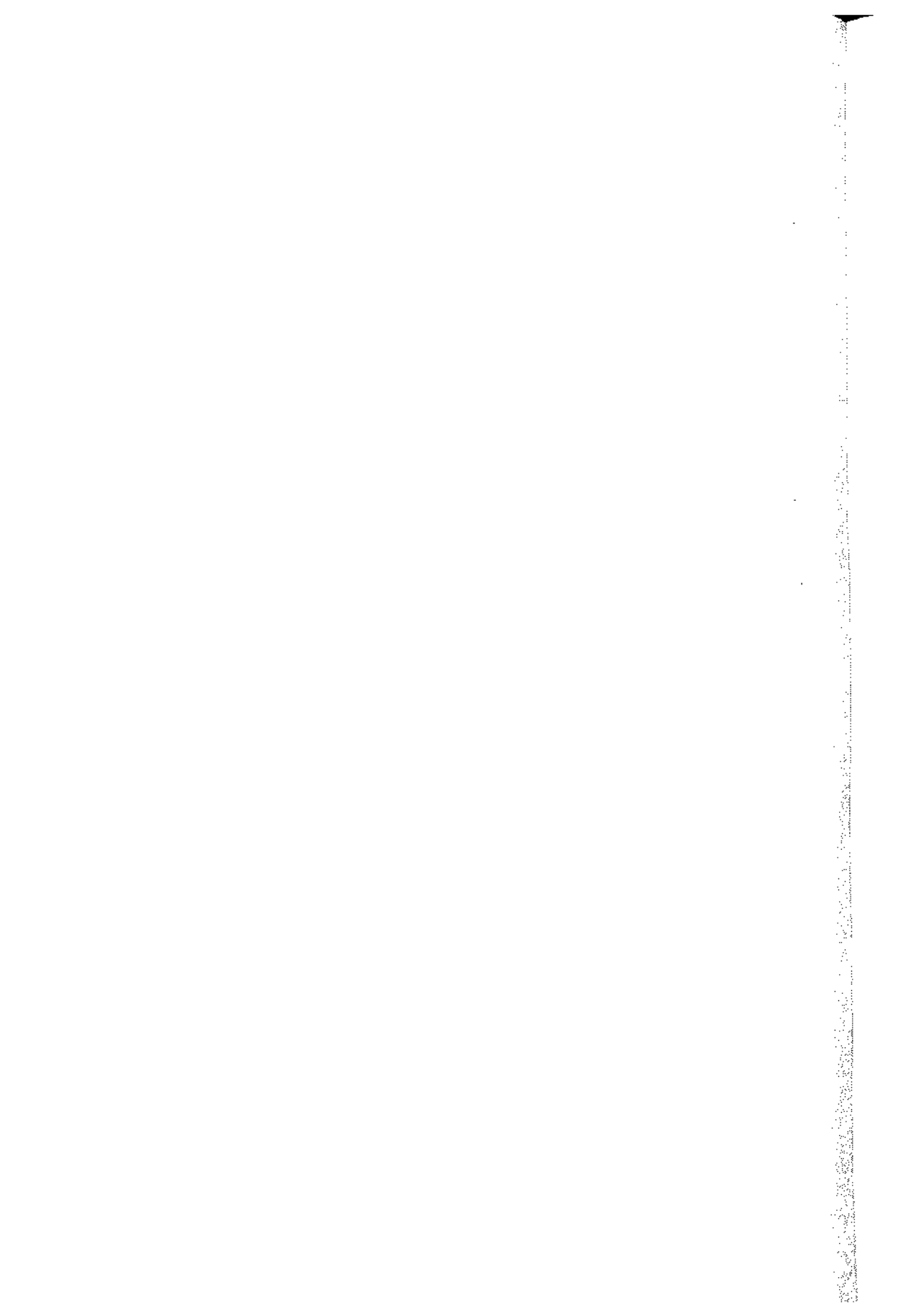
TEŞEKKÜR

Yazar, M-244 no'lu araştırma projesine maddi katkılarından ötürü Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na (CÜBAP) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Erdem, B. ve Doğan, T., 2008a. Bilgisayar destekli draglayn yığın kümesi optimizasyonu, *Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, (Ed. Aydın, H. ve Çakır, A.), ISBN: 978-9944-89-578-1, s.259-273, Zonguldak.

Erdem, B. ve Doğan, T., 2008b. *Bilgisayar destekli tasarım yaklaşımı ile draglayn panosu ve yığın kümesi modellemesi*, M-244 no'lu proje sonuç raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı, Sivas, 110 s.



Çekme-Kepçe Modelleme Tablası Üzerinde Çalışmalar *Studies on Dragline Modeling Table*

T. Doğan, S. Ercins, B. Erdem

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

ÖZET Bu çalışmada doğrudan döküm çekme-kepçe işletme yönteminin ölçeklendirilmiş bir model kum havuzunda benzetimi yapılmıştır. Model havuz 2500 mm × 2500 mm × 500 mm boyutlarındadır. Örtü malzemesi olarak ufalanmış killi toprak kullanılmıştır. Öncel çalışmalarda örtü malzemesi, farklı hacimlere sahip tekil koni ve yaycıl koniler halinde dilim tabanı ve basamak üzerine dökülmüştür. Her iki döküm tipinde de, yerinde blok geometrisi ile tekil ve yaycıl koni geometrileri arasındaki hacimsel fark, blok boyutu büyüdükçe, azalmaktadır. Doğrudan döküm yöntemi uygulaması üzerine iki deneme yapılmıştır. Pano ilkinde dokuz, ikincisinde altı setten oluşan ve ilki başlangıç çukuru olan toplam dört adet kazı bloğundan oluşmuştur. Farklı geometrilerdeki kazı blokları, 70 m çalışma yarıçapına sahip çekme-kepçe tarafından tekrarkazıya yol açmadan, dökülebilmektedir. Modelleme tablası ile enli dilim ve pullback yöntemlerinin de döküm benzetimi yapılabilir. Modelleme tablası ile enli dilim ve pullback yöntemlerinin de döküm benzetimi yapılabilir.

ABSTRACT In this study dragline stripping methods have been simulated on a scaled model dragline sand pit. Dimensions of the model sand pit are 2500 mm × 2500 mm × 500 mm. Crumbled clayey earth is used as overburden material. In preliminary studies overburden material is spoiled on the pit bottom and on the bench as single cones and curvilinear cones. For both cases volumetric difference between in-situ block and single and curvilinear cones is decreased with increasing block size. Two trials are conducted with dragline direct dumping method. The excavation panel is divided into four blocks, the first being the box-cut. In the first trial a block is composed of nine sets while in the second there are six successive sets in a block. In both trials the blocks can be excavated by a dragline of 70 m operating radius without causing rehandle. Modeling table allows operational simulation of extended benching and pullback stripping techniques.

1 GİRİŞ

Çekme-kepçe örtükazı yöntemi görece basit, esnek ve ekonomiktir.

Ancak çekme-kepçelerin yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle çalışacakları ocakta etkin üretim planlaması yapılması gerekmektedir.

Çekme-kepçe modelleme tablası ile operatörlerin ve saha mühendislerinin eğitimi yapıldığında çekme-kepçe kullanımı, üretim yöntemleri, çekme-kepçe konumlandırılması ve yürütmesi gibi pek çok konuda görsel olarak bilgi verilebilmekte, karşılaşılabilen problemler çok daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Böylece işletmelerde çekme-kepçe çalışma verimi artmakta, daha güvenli ve etkili üretim yapılmaktadır. Benzer şekilde proje mühendislerine eğitim verildiğinde kazı yöntemlerinin uygulanabilirliği incelenmekte, gerçek ölçekli çalışma sistemi işleyişinin benzetimi yapılabilmekte ve modelleme sisteminin geçerliliği sağlandıktan sonra gerçek örtükazı uygulaması hakkındaki senaryolara cevap aranabilmektedir.

Bu çalışmada çekme-kepçe kazı yöntemlerinin ölçeklendirilmiş bir ilk örnek modelleme tablasında benzetilmesi amaçlanmıştır. Böylece basitten karmaşığa doğru birçok kazı yönteminin uygulanabilirliği incelenebileceği ve benzetimi yapılabileceği gibi, ölçeklendirme sayesinde herhangi bir ocakta uygulanabilecek örtükazı yöntemi ve kullanılan çekme-kepçe(ler)in verimi, önceden belirlenebilecektir.

2 BENZETİM

Benzetim (simülasyon), gerçek bir süreç ya da sistemin işletilmesinin, zaman üzerinden, sistem objeleri arasında tanımlanmış ilişkileri içeren bir model aracılığıyla taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır (WEB1). Benzetim, karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizinde kullanılan en güçlü çözümlenme araçlarından birisidir.

Modeller, gerçek bir sistemin küçük ölçekli temsili örneği olan fiziksel modeller ile bir sistemi göstermek için

sembolik notasyonlar ve matematiksel eşitlikler kullanılarak hazırlanan matematiksel modeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel benzetim modelleri gerçek sistem hakkında bilgi vermek ve laboratuvar uygulamaları aracılığıyla kişileri konuya hazır hale getirmek için kullanılmaktadır. Gerçek dünyada çok daha karmaşık olan süreçleri incelemek için ise genel amaçlı programlama dillerinden veya benzetim için geliştirilmiş dillerden türetilen paket programlar kullanılmaktadır.

Benzetim yöntemleri madencilik açısından yatırım maliyeti çok büyük olan projeler için büyük avantajlar sağlamaktadır. Yalçın (1991) çekme-kepçe üretim planlaması aşamasında oldukça karmaşılaşabilen ocak geometrisi nedeniyle yoğun matematiksel işlemlere başvurulması gerektiğini, elle yapıldığında oldukça uzun süreye yayılan bu işlemler için günümüzde belirli sayıda profesyonel paket bulunduğunu belirtmiştir.

Fluor Mining & Metals (1977) 'DPS' benzetim paketi ile belirli fiziksel koşullara sahip ocaklarda çekme-kepçe operasyonlarının optimizasyonunu amaçlamıştır. McDonnell Douglas Electronics (1978) tarafından tur süresi, kepçe doluluk oranı ve kepçe doldurma süresi gibi faktörleri ölçen ve kaydeden 'DIGS' çekme-kepçe benzetim modeli geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) bulunan tek damarlı kömür ocaklarındaki çekme-kepçe yöntemleri incelenmiş ve bilgisayar benzetim modelleri ile programlar geliştirilmiştir. Günümüzde çekme-kepçe operasyonlarının benzetimi amacıyla geliştirilen ticari DRAGSIM ve 3D-DIG2000 bilgisayar paket programları da bulunmaktadır.

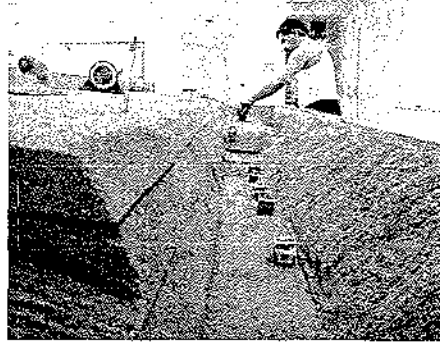
3 ÇEKME-KEPÇE MODELLEME TABLASI İLE EĞİTİM

Tasarım paketleri yanında, özellikle kömür üreticisi firmalar tarafından tercih edilen laboratuvar çaplı ilk örnek modelleme çalışmaları da bulunmaktadır ve operatörlere, model çekme-kepçe panosu üzerinde eğitim verilmektedir. Williams vd. (1997) çekme-kepçe eğitim simülatörleri üzerine yaptıkları çalışmada operatörlerin çekme-kepçe kullanım performanslarının simülatör eğitimi ile arttığını ifade etmişlerdir. ABD'de bulunan Güney Illinois Üniversitesi'ne bağlı 'Dragline Productivity Center'da (DPC) çekme-kepçe benzetimi yapılmakta ve düzenlenen kurslarda operatörler, model çekme-kepçe panosu üzerinde eğitilmektedir (WEB2). Bu kurslarda çekme-kepçe kullanımı, üretim yöntemleri, çekme-kepçe konumlandırılması ve yürütmesi gibi pek çok konuda görsel olarak bilgi verilmekte, karşılaşılabilecek problemler çok daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Böylece işletmede çekme-kepçe çalışma verimi artmakta, daha güvenli ve etkili üretim yapılmaktadır. Ayrıca açık ocak olarak tasarlanan kum havuzu şeklindeki ilk örnek masa ile de çekme-kepçenin basamaktaki yerleşimi ve kazı teknikleri gibi pek çok parametre ile operatörler eğitilmektedir (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. DPC modelleme tablasında çekme-kepçe eğitimi (WEB3).

Lubbert vd (2001) çekme-kepçe model havuzu üzerinde eğitilen operatörlerin çekme-kepçe kullanımını daha iyi anladıkları, daha güvenli çalıştıkları ve buna bağlı olarak da verimi yükselttikleri üzerinde durmaktadır.



Şekil 2. DPC çekme-kepçe modelleme tablası (WEB3).

Avustralya merkezli 'Dragline Productivity Technologies (DPT)' tarafından da benzer kurslar düzenlenmektedir (Şekil 3). Bu kurslarda etkili çekme-kepçe kullanımı yöntemleri anlatılmakta ve çalışma veriminin artırılması amaçlanmaktadır (WEB4).



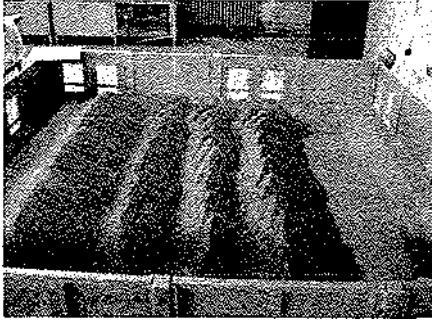
Şekil 3. DPT çekme-kepçe modelleme tablası (WEB4).

4 BENZETİM ÇALIŞMALARI

4.1 Modelleme Tablası

Bu çalışmada çekme-kepçe işletme yöntemlerinin ölçeklendirilmiş bir ilk

örnek modelleme tablasında benzetimi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tabla 2500 mm × 2500 mm × 500 mm boyutlarındadır (Şekil 4). Örtü malzemesini temsil eden yaklaşık 2 ton killi toprak oda sıcaklığında kurutulmuş, takiben boyut küçültme ve eleme işlemlerinden geçirilerek hazırlanmıştır. Malzemeden alınan örnekler üzerinde elek analizi yapılmıştır.



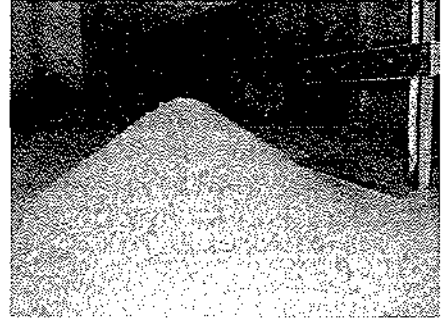
Şekil 4. Tasarınlanan modelleme tablası.

4.2 Öncel Çalışmalar

4.2.1 Metal yüzeye döküm

Modelleme tablasının sağlıklı benzetim yapabildiğini sınamak amacıyla bir dizi çalışma yapılmıştır. Öncelikle, hacmi bilinen bir kutu kullanılarak metal yüzey üzerinde küçük (1 kutu), orta (2 kutu) ve büyük (3 kutu) konik yığınlar oluşturulmuş (Şekil 5) ve yığın hacmi, taban çapı ile yüksekliği en az üç kez ölçülerek, ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır. Daha sonra, konik yığının hesaplanan hacmi ile kutudaki hacmi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Çizelge 1'de sunulmuştur.

1. Malzemenin kutudaki hacmi ile yığındaki hacmi arasında fark vardır. Malzemenin her iki durumda da kabarmış halde olması, farklılığın kabarma faktörüne adreslenemeyeceğine işaret etmektedir. Kanımızca hacimsel farklılık, ölçüm aletlerinin yüksek



Şekil 5. Metal yüzeye dökülen konik yığın.

hassasiyet sağlayamamasından ötürü yapılan ölçümlerin doğruluğunun yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.

2. Hacimsel farklılık, yığın boyutu ile ters orantılıdır. Büyük yığında hacimler arasındaki fark %5'e düşmektedir. Bunun nedeni uzunluk ölçümlerindeki hatanın küçük boyutlu yığında büyük olması, ancak yığın boyutu büyüdükçe okuma hatasının görece küçük kalmasıdır.

4.2.2 Toprak yüzeye konik döküm

Çekme-keçenin çalışma yarıçapı içerisinde döküm alanlarını en yüksek verimle nasıl kullanacağına yönelik çalışmalar dilimden kazılan malzemenin basamak olarak kabul edilen toprak zemin üzerine dökülme denemesi ile sürdürülmüştür (Şekil 6). Önceki denemeye ek olarak burada, kazı sonrası oluşan boşlukların boyutları da ölçülerek, hacimleri hesaplanmıştır. Bu durumda da 1, 2 ve 3 kutu malzeme dökülerek konik yığın elde edilmiş ve geometrisi, tekrarlanan ölçümler ile belirlendikten sonra hacmi hesaplanmıştır. Ulaşılan sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Kazı işlemlerinin hassas biçimde blok sınırları içerisinde yapılmış olmasına rağmen gevşek toprak malzemenin duraysız olması nedeniyle duvarlarda göçme ve akma gibi sorunlar ölçüm işlemlerinde önlenemeyen hatalara yol

Çizelge 1. Metal yüzeye konik yığın döküm denemeleri.

	Deneme	Silindirik kutu			Konik yığın			Fark		
		Çap (cm)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Ortalama çap (cm)	Ortalama yükseklik (cm)	Hacim (cm ³)	Yığılma açısı (°)	Hacim (cm ³)	Oran (%)
KÜÇÜK YIĞIN (1 KUTU)	1				27,87	8,70	1768,72	31,98	143,98	8,14
	2				28,73	8,50	1837,21	30,61	212,48	11,57
	3				27,80	8,80	1780,50	32,34	155,76	8,75
	4				27,53	8,70	1726,65	32,29	101,92	5,90
	5	10,25	19,69	1624,74	27,50	8,00	1583,89	30,19	-40,85	-2,58
	6				27,40	8,60	1690,32	32,12	65,58	3,88
	7				26,70	7,90	1474,41	30,62	-150,33	-10,20
	8				26,73	8,30	1552,93	31,84	-71,80	-4,62
	9				26,97	8,40	1599,20	31,92	-25,54	-1,60
	10				27,37	7,20	1411,71	27,75	-213,03	-15,09
ORTA YIĞIN (2 KUTU)	1				34,40	11,30	3500,77	33,30	251,30	7,18
	2				34,50	12,20	3801,60	35,27	552,13	14,52
	3				34,27	11,00	3381,47	32,70	131,99	3,90
	4				35,10	11,30	3644,70	32,78	395,22	10,84
	5	10,25	19,69	1624,74	34,37	11,20	3463,07	33,10	213,60	6,17
	6				34,43	10,80	3352,36	32,10	102,88	3,07
	7				34,17	11,20	3422,88	33,25	173,41	5,07
	8				34,30	11,10	3418,85	32,91	169,37	4,95
	9				34,27	11,20	3442,95	33,17	193,47	5,62
	10				34,23	11,00	3374,89	32,73	125,41	3,72
BÜYÜK YIĞIN (3 KUTU)	1				38,93	12,90	5119,19	33,53	244,98	4,79
	2				38,77	13,00	5114,80	33,85	240,59	4,70
	3				38,83	13,10	5171,89	34,01	297,68	5,76
	4				38,93	13,10	5198,56	33,94	324,35	6,24
	5	10,25	19,69	1624,74	39,03	13,20	5265,19	34,07	390,97	7,43
	6				38,83	13,00	5132,41	33,80	258,20	5,03
	7				38,93	13,00	5158,88	33,74	284,66	5,52
	8				38,93	13,00	5158,88	33,74	284,66	5,52
	9				38,93	12,90	5119,19	33,53	244,98	4,79
	10				39,10	13,30	5323,21	34,23	449,00	8,43



Şekil 6. Toprak zemine dökülen konik yığın.



Şekil 7. Toprak zemine dökülen yaysal yığın.

açmış ve tüm deneylerde karşılaşılmıştır. Hacimsel fark %5 düzeyindedir.

4.2.3 Toprak yüzeye yaysal döküm

Üçüncü aşamada 1, 2, 3 ve 4 kutu toprak kullanılarak yaysal koniler elde edilmiştir (Şekil 7). Çekme-kepçe çalışması sırasında oluşan en küçük ve en büyük dönüş açıları kaydedilerek, zeminde çekme-kepçe çalışma yarıçapının belirlediği yay üzerinde oluşan her koninin geometrisi belirlenmiş, hacmi hesaplanmış ve dilimden kazılan malzeme hacmi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3'te görülmektedir.

Önceki denemelere benzer şekilde burada da, kazı bloğu geometrisi büyüdükçe hacimler arasındaki fark azalmaktadır. Örnek olarak, dört kutu toprak dökülerek oluşturulan yaysal konilerin hacmi, kullanılan malzeme hacmi ile karşılaştırıldığında ortalama %2 kadar fark bulunmaktadır. Bu fark malzemenin kutu ile yığın içerisindeki kabarma faktörlerinin farklı olmasına bağlanabileceği gibi, zemin üzerindeki

yaysal koni geometrisini belirleyen koni taban çapı ve yüksekliğindeki değişimlere de atfedilebilir. Hacim hesaplarında yaysal koni, çekme-kepçe çalışma zarfı üzerindeki en küçük dönüş açısına dökülen bir tekil koninin en büyük dönüş açısına kadar dairesel yörünge üzerinde uzatılmasından elde edilen bir cisim olarak alınmaktadır. Ancak yaysal koni üzerindeki her noktanın eşit taban çapı ve yüksekliğine sahip olmaması nedeniyle cisim, büzüşüp, genişleyebilmektedir. Boyutların çok sayıda noktadan ölçüm yapılarak belirlenmesine ve hacim hesaplarında bunların ortalamalarının kullanılmasına rağmen, hacimler arasındaki farktan sorumlu olma olasılığı büyüktür.

5 DOĞRUDAN DÖKÜM DENEMELERİ

Deneme çalışmalarında hacimsel farklılığın oldukça düşük düzeyde indirgenmesi sonucu doğrudan döküm yönteminin ölçekli modellenmesi yapılmıştır. Dilim boyutlarının çekme-kepçe çalışması üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

Çizelge 2. Toprak yüzeye konik yığın döküm denemeleri.

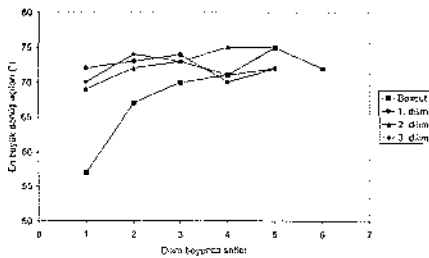
Den.	Dilim						Yük.	Hacim	Çap	Konik yığın			Fark			
	Taban yüzeyi		Tavan yüzeyi		Alan	Yük.				Hacim	Çap	Yük.	Hacim	Yığılma	Hacim	Oran
	En (cm)	Boy (cm)	En (cm)	Boy (cm)												
(1 KUTU)	1	19,25	14,00	260,5	33,00	37,83	1248,4	19,20	14571,7	55,73	16,07	13066,6	29,97	-1505,1	-11,5	
	2	15,60	16,48	257,1	36,33	36,13	1312,4	19,50	15302,7	53,18	13,55	10030,5	27,01	-5272,2	-52,6	
	3	11,00	11,50	126,5	31,67	34,83	1103,1	18,85	11588,7	51,10	17,65	12065,8	34,64	477,1	3,9	
	4	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	4874,2	39,60	10,90	4474,9	28,83	-399,3	-8,9	
	5	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	6499,0	43,93	13,40	6770,1	31,39	271,2	4,0	
(2 KUTU)	1	14,63	35,00	511,9	37,00	54,00	1998,0	17,90	22463,4	68,70	18,73	23143,0	28,60	679,6	2,9	
	2	17,83	30,83	549,7	35,67	49,00	1747,8	19,70	22630,7	68,40	19,55	23945,7	29,75	1315,0	5,5	
	3	16,33	32,83	536,1	41,10	52,67	2164,7	18,80	25388,0	68,30	19,65	23927,6	29,95	-1460,3	-6,1	
	4	18,50	33,00	610,5	34,25	49,00	1678,3	17,25	19740,5	63,93	18,55	19848,2	30,13	107,8	0,5	
	5	18,00	31,00	558,0	34,00	47,50	1615,0	17,50	19013,8	65,63	19,10	21538,1	30,20	2524,3	11,7	
(3 KUTU)	1	20,83	57,33	1194,2	38,13	77,63	2959,4	17,75	36863,5	78,90	24,65	40173,5	32,00	3310,0	8,2	
	2	17,13	50,67	867,7	33,50	71,38	2391,1	20,35	33158,2	77,90	22,75	36143,1	30,29	2984,9	8,3	
	3	20,00	53,30	1066,0	26,20	73,67	1930,2	18,75	28088,9	74,60	22,15	32271,6	30,70	4182,6	13,0	
	4	19,17	48,83	936,1	37,25	64,00	2384,0	19,25	31955,7	74,17	21,45	30892,5	30,05	-1063,2	-3,4	
	5	20,25	49,83	1009,1	33,30	66,30	2207,8	19,40	31203,4	75,60	22,85	34190,0	31,15	2986,5	8,7	

Çizelge 3. Toprak yüzeye yaysal döküm denemeleri.

Deneme	Blok			Yaysal konik yığın					Fark			
	Hacmi (cm ³)	Taban çapı (cm)	Yükseklik (cm)	Alan (cm ²)	θ_{\max} (°)	θ_{\min} (°)	Çalışma yarıçapı (cm)	Yaysal hacim (cm ³)	Yığılma açısı (°)	Hacim (cm ³)	Yüzde (%)	
(1 KUTU)	1	13729,05	35,40	7,50	132,75	107	62	70	9758,89	22,96	-3970,17	-28,92
	2	12997,92	36,20	8,80	159,28	100	63	70	10219,13	25,93	-2778,79	-21,38
	3	12997,92	37,70	8,14	153,44	63	35	70	8277,75	23,36	-4720,17	-36,31
	4	12348,02	35,04	8,70	152,42	89	42	70	11548,90	26,41	-799,13	-6,47
	5	13810,29	33,04	7,60	125,55	87	29	70	11068,67	24,70	-2741,62	-19,85
	6	11373,18	34,94	8,38	146,40	77	38	70	9653,82	25,63	-1719,36	-15,12
	7	13404,11	31,60	7,52	118,82	72	8	70	11256,21	25,45	-2147,90	-16,02
	8	12997,92	32,60	8,12	132,36	81	21	70	11961,43	26,48	-1036,49	-7,97
	9	12997,92	32,02	8,14	130,32	83	15	70	13011,72	26,95	13,80	0,11
	10	12997,92	31,50	7,34	115,61	80	18	70	10663,48	24,99	-2334,44	-17,96
	11	12997,92	30,66	6,86	105,16	78	12	70	10168,05	24,11	-2829,87	-21,77
	12	12997,92	31,50	7,60	119,70	80	18	70	11041,21	25,76	-1956,71	-15,05
	13	12997,92	30,70	7,18	110,21	80	18	70	10119,95	25,07	-2877,97	-22,14
	14	13404,11	31,60	7,52	118,82	71	8	70	11111,05	25,45	-2293,06	-17,11
	15	14622,66	29,88	6,68	99,80	84	4	70	11315,59	24,09	-3307,07	-22,62
	16	14622,66	30,02	6,95	104,32	83	10	70	10943,61	24,85	-3679,05	-25,16
(2 KUTU)	1	14622,66	41,90	11,15	233,59	74	41	70	14542,51	28,02	-80,15	-0,55
	2	14622,66	42,60	11,05	235,37	71	40	70	14164,02	27,42	-458,64	-3,14
	3	12997,92	40,58	10,28	208,45	80	50	70	12068,85	26,86	-929,07	-7,15
	4	12997,92	39,55	10,18	201,21	75	38	70	13262,27	27,23	264,35	2,03
	5	12997,92	39,63	10,25	203,08	79	42	70	13393,33	27,35	395,41	3,04
	6	12997,92	40,93	10,40	212,81	79	50	70	12100,05	26,94	-897,87	-6,91
	7	13647,82	40,88	10,73	219,19	76	42	70	13796,16	27,69	148,35	1,09
	8	14622,66	42,50	11,28	239,59	77	42	70	15576,83	27,95	954,17	6,53
	9	13729,05	41,78	10,38	216,71	80	48	70	13212,40	26,41	-516,66	-3,76
	10	13647,82	40,85	10,53	214,97	81	46	70	13790,43	27,26	142,62	1,04
(3 KUTU)	1	14622,66	45,00	11,35	255,38	76	47	70	15065,11	26,77	442,45	3,03
	2	14622,66	46,98	12,25	287,72	77	52	70	15864,79	27,54	1242,13	8,49
	3	14622,66	46,90	13,03	305,44	80	57	70	16083,23	29,05	1460,57	9,99
	4	14622,66	46,13	11,60	267,53	82	55	70	15285,77	26,70	663,11	4,53
	5	14622,66	46,48	12,70	295,12	81	58	70	15474,14	28,66	851,48	5,82
	6	14622,66	47,58	12,80	304,48	81	57	70	16512,48	28,28	1889,82	12,92
	7	14622,66	46,05	12,10	278,60	80	55	70	15227,02	27,72	604,36	4,13
	8	14622,66	46,35	11,62	269,29	85	59	70	15089,54	26,63	466,88	3,19
	9	14622,66	46,03	12,06	277,53	81	55	70	15503,87	27,66	881,21	6,03
	10	14622,66	45,38	11,84	268,62	80	54	70	14914,67	27,56	292,01	2,00
(4 KUTU)	1	14622,66	48,16	14,13	340,25	78	64	70	14399,65	30,40	-223,01	-1,53
	2	14622,66	48,38	14,30	345,88	75	60	70	15099,46	30,59	476,80	3,26
	3	14622,66	48,00	14,16	339,84	81	65	70	15184,20	30,54	561,54	3,84
	4	14622,66	47,28	13,63	322,06	83	66	70	14661,04	29,96	38,38	0,26
	5	14622,66	46,98	13,13	308,27	75	56	70	14738,22	29,20	115,56	0,79
	6	14622,66	47,40	13,55	321,14	76	58	70	15032,24	29,76	409,58	2,80
	7	14622,66	47,68	13,08	311,68	80	63	70	14253,53	28,75	-369,13	-2,52
	8	14622,66	47,23	13,03	307,55	75	56	70	14744,03	28,88	121,37	0,83
	9	14622,66	47,48	13,08	310,37	78	60	70	14540,42	28,85	-82,24	-0,56

Çizelge 4. Doğrudan döküm yöntemi benzetimi-1.

	Set	Blok						Yığın				Fark		
		Φ_0 (°)	W_{UST} (cm)	W_{ALT} (cm)	$L_{SETÜ}$ (cm)	L_{SETA} (cm)	H_0 (cm)	V_{SET} (cm ³)	n_{KUTU}	$V_{YIĞIN}$ (cm ³)	θ_{min}	θ_{mak}	Hacim (cm ³)	Oran (%)
BAŞLANGIÇ ÇUKURU	1	70,00	44,00	32,35	20,00	8,35	16,00	8735,49	6,00	9748,44	88,00	88,00	1012,95	10,39
	2	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	65,00	98,00	-843,29	-7,41
	3	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	61,00	97,00	-843,29	-7,41
	4	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	60,00	98,00	-843,29	-7,41
	5	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	60,00	97,00	-843,29	-7,41
	6	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	59,00	96,00	-843,29	-7,41
	7	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	60,00	97,00	-843,29	-7,41
	8	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	59,00	95,00	-843,29	-7,41
	9	70,00	44,00	32,35	20,00	20,00	16,00	12216,47	7,00	11373,18	58,00	95,00	-843,29	-7,41
1. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	20,00	8,35	16,00	6604,49	5,80	9423,49	59,00	98,00	2819,00	29,91
	2	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,50	10560,81	52,00	90,00	960,81	9,10
	3	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,50	10560,81	54,00	92,00	960,81	9,10
	4	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,50	10560,81	53,00	90,00	960,81	9,10
	5	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	53,00	87,00	148,44	1,52
	6	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	55,00	89,00	148,44	1,52
	7	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	56,00	89,00	148,44	1,52
	8	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	55,00	88,00	148,44	1,52
	9	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	55,00	89,00	148,44	1,52
2. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	20,00	8,35	16,00	6604,49	5,30	8611,12	60,00	95,00	2006,63	23,30
	2	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	48,00	84,00	148,44	1,52
	3	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	59,00	82,00	148,44	1,52
	4	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	60,00	84,00	148,44	1,52
	5	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	60,00	85,00	148,44	1,52
	6	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	60,00	85,00	148,44	1,52
	7	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	60,00	83,00	148,44	1,52
	8	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	7,00	11373,18	58,00	80,00	1773,18	15,59
	9	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	60,00	83,00	148,44	1,52
3. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	20,00	8,35	16,00	6604,49	5,60	9098,54	60,00	92,00	2494,05	27,41
	2	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	48,00	80,00	148,44	1,52
	3	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	52,00	81,00	148,44	1,52
	4	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	58,00	82,00	148,44	1,52
	5	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	58,00	81,00	148,44	1,52
	6	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	58,00	80,00	148,44	1,52
	7	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	59,00	81,00	148,44	1,52
	8	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	58,00	82,00	148,44	1,52
	9	70,00	30,00	30,00	20,00	20,00	16,00	9600,00	6,00	9748,44	58,00	80,00	148,44	1,52



Şekil 8. En büyük dönüş açılarının dilimler ve setler boyunca değişimi.

5.1 İlk Deneme

1/100 ölçekli ilk denemede öncelikle başlangıç çukuru açılmış, daha sonra her biri dokuz setten oluşan ardışık üç dilimin kazısı yapılmıştır. Tabla zemini kömür tabakası olarak kabul edilmiş ve paşa kabarması katsayısı 1 olarak alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur.

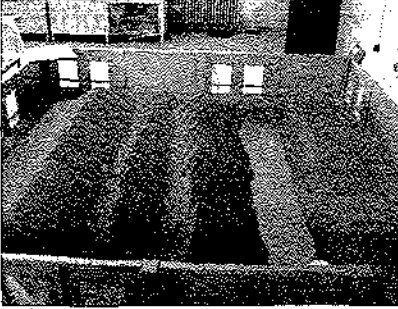
70 m çalışma yarıçapına sahip olan çekme-kepçe, 16 m kalınlığındaki örtü



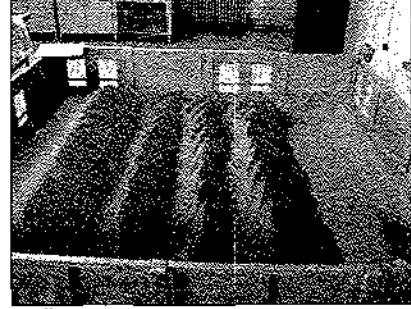
a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra



b. Birinci dilim kazısı yapıldıktan sonra



c. İkinci dilim kazısı yapıldıktan sonra



d. Üçüncü dilim kazısı yapıldıktan sonra

Şekil 9. İlk doğrudan döküm benzetimi aşamaları.



a. Başlangıç çukuru açıldıktan sonra



b. Birinci dilim kazısı yapıldıktan sonra



c. İkinci dilim kazısı yapıldıktan sonra



d. Üçüncü dilim kazısı yapıldıktan sonra

Şekil 10. İkinci doğrudan döküm benzetimi aşamaları.

Çizelge 5. Doğrudan döküm yöntemi benzetimi-2.

	Set	Φ_D (°)	Blok					Yığın				Fark		
			W_{OST} (cm)	W_{ALT} (cm)	L_{SETG} (cm)	L_{SETA} (cm)	H_O (cm)	V_{SET} (cm ³)	θ_{CUTU}	V_{YGIN} (cm ³)	θ_{min}	θ_{max}	Hacim (cm ³)	Oran (%)
BAŞLANGIÇ ÇUKURU	1	70,00	44,00	32,35	30,00	18,35	16,00	14928,45	8,10	13160,39	57,00	57,00	-1768,06	-13,43
	2	70,00	44,00	32,35	30,00	30,00	16,00	18324,71	10,00	16247,40	48,00	67,00	-2077,31	-12,79
	3	70,00	44,00	32,35	30,00	30,00	16,00	18324,71	10,00	16247,40	52,00	70,00	-2077,31	-12,79
	4	70,00	44,00	32,35	30,00	30,00	16,00	18324,71	10,00	16247,40	53,00	71,00	-2077,31	-12,79
	5	70,00	44,00	32,35	30,00	30,00	16,00	18324,71	10,00	16247,40	51,00	75,00	-2077,31	-12,79
	6	70,00	44,00	32,35	30,00	30,00	16,00	18324,71	10,00	16247,40	50,00	72,00	-2077,31	-12,79
1. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	30,00	18,35	16,00	11490,81	8,00	12997,92	42,00	72,00	1507,11	11,59
	2	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,50	13810,29	50,00	73,00	1810,29	13,11
	3	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,60	13972,76	52,00	74,00	1972,76	14,12
	4	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,70	14135,24	50,00	70,00	2135,24	15,11
	5	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,60	13972,76	51,00	72,00	1972,76	14,12
2. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	30,00	18,35	16,00	11490,81	8,00	12997,92	45,00	69,00	1507,11	11,59
	2	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,60	13972,76	51,00	72,00	1972,76	14,12
	3	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,60	13972,76	54,00	73,00	1972,76	14,12
	4	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	8,70	14135,24	53,00	75,00	2135,24	15,11
	5	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	9,00	14622,66	53,00	75,00	2622,66	17,94
3. DİLİM	1	70,00	30,00	30,00	30,00	18,35	16,00	11490,81	8,50	13810,29	44,00	70,00	2319,48	16,80
	2	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	9,00	14622,66	52,00	74,00	2622,66	17,94
	3	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	9,20	14947,61	52,00	73,00	2947,61	19,72
	4	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	9,00	14622,66	53,00	71,00	2622,66	17,94
	5	70,00	30,00	30,00	30,00	20,00	16,00	12000,00	9,00	14622,66	54,00	72,00	2622,66	17,94

dilimini doğrudan döküm yöntemine uygun şekilde, kanal ve dilim blokları olarak kazabilmektedir. Önceki denemelerin aksine burada oluşturulan yaysal yığınların hacminin, boyutları üzerinden hesaplanması olanaksızdır. Öngörüleceği üzere, malzemenin kazıldığı bloğun ölçülen boyutlarından hesaplanan hacim (V_{SET}) ile bloktan çıkan malzemenin kutu içerisindeki hacmi (V_{YGIN}) arasındaki fark, dilimler ilerledikçe azalmakta ve %1,5 seviyelerinde sabitlenmektedir. Ancak kohezyonsuz malzeme, her dilimin başlangıç seti tekne şeklinde olduğundan uzunluk ölçümlerini etkilemiş ve hacimlerin farklı olmasına yol açmıştır.

5.2 İkinci Deneme

1/100 ölçekli ikinci denemede set boyu (L_{SET}) 10 m artırılarak 30 m'ye çıkarılmış ve çekme-kepçe kazı bloğu büyütülmüştür. Yine, başlangıç çukurunu

takip eden ve her biri altı setten oluşan üç dilimin örtükazı benzetimi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5'te sunulmuştur. Ancak kazı bloğu geometrisinden hesaplanan hacim ile bloktan kazılan malzemenin ölçülen hacmi arasındaki %20 seviyesine yükselen büyük fark dikkat çekicidir.

Çekme-kepçe, örtü dilimini tekrarkazı gerektirmeden kazabilmektedir. Tasarımın geometrik olarak duraylı olduğunu gösteren bu durum, Şekil 8'de verilmiştir. Başlangıç çukuru ve takip eden tüm dilimlerde çekme-kepçe en büyük dönüş açısı (θ_{max}) ilk setlerde artmış ancak sonra sabitlenmiştir. Bu da, yaysal yığınların sabit bir geometriye sahip olduğunu ve daha uzun yayılma, diğer bir deyişle daha büyük hacim kaplama eğiliminde olmadığını göstermektedir.

Başlangıç çukurundan itibaren tüm dilimlerin kazı benzetim aşamaları, her iki deneme için Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada çekme-kepçe öriükazı çalışmasının benzetimini yapabilmek amacıyla bir kum havuzu kullanılarak fiziksel modelleme yapılmıştır. Havuz, basitten karmaşığa doğru çekme-kepçe kazı yöntemlerinin benzetiminin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ölçekli bir model ile bilinen boyutlara sahip bir çekme-kepçenin yine bilinen boyutlardaki bir panoda planlanan kazı yöntemine göre çalışıp, çalışmayacağı belirlenebilmektedir. Doğrudan döküm yanında, enli dilim ve geri çekimli kazı (pullback stripping) yöntemleri de modellenenbilmektedir. Karşılaşılan en büyük problem elenmiş killi topraktan kaynaklanmaktadır. Malzeme kolay akabilir olduğundan dik ayna ve şevlerin oluşturulmasına izin vermemekte ve dolayısıyla kazı bloklarının boyut ölçümlerinde büyük güçlük yaşanmaktadır. Çözüm olarak, DPC'da yapıldığı üzere, yağ ile muamele edilmiş ince kum kullanılması planlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, M-344 no'lu araştırma projesine maddi katkılarından ötürü Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na (CÜBAP) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Fluor Mining & Metals, 1977. *Economics of large-scale surface coal mining*

using simulation modes, National Technical Information Service (NTIS), Springfield, USA, 246p.

Lubbert, J.R., Mead, J.S. and Wiltowski, T., 2001. Transforming engineering education and experience into higher productivity in mining, *Proceedings of the International Conference on Engineering Education*, s.6B4-23-6B4-24, Oslo.

McDonnell Douglas Electronics, 1978. *Development of operational aids for improved dragline utilization*, US Department of Energy, USA.

Yalçın, E., 1991. Bilgisayar yardımıyla çekmekepçe (dragline) seçimi, *Madencilik*, Cilt XXX, Sayı 1, s.13-20.

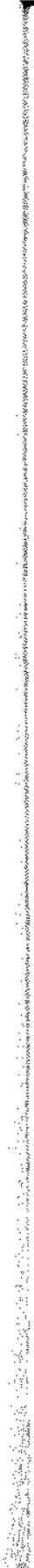
WEB1, http://listweb.bilkent.edu.tr/ab/1999/Dec/att-0029/01-bt.12.11.1999-S_M_LASYON_NED_R.doc.

WEB2, <http://news.siu.edu/windows/101001/what.html>.

WEB3, <http://www.cdp.siu.edu/dragline.htm>

WEB4, <http://www.draglinept.com/Dragline%20Productivity%20Course.htm>

Williams, M., Blair, J., McGovern, P., 1997. Determining the functionality of a dragline training simulator, *Proceedings of the Simulation Technology and Training Conference Australia*, s.275-281, Canberra.



Elektrikli Yerkazar Kepçeleri Ve Başarımını Etkileyen Değiştirgenler

Power Shovel Dippers, and Parameters Influencing Performance

M. Özdoğan

İdeal Makina Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara

ÖZET Bu bildiriye, elektrikli maden yerkazarlarının kazı ve yükleme birimleri olan kepçeleri ve bunların kazabilirliliğini ve başarımını etkileyen değiştirgenler incelenmiştir. Kepçenin diş ve kazı açısı, bu açılarda basamakta kazıya etkisi, açının ayarlanması ve en uygun duruma getirilmesi açıklanmıştır. Ayrıca, kepçe saplanması-kazı gereçlerine ve kepçe aşınma bölgelerine değinilmiş; kepçe başarımını etkileyen kayaç kazılabilirliği, kepçe dolma çarpanı, kayaç kabarma çarpanı gibi değiştirgenler tartışılmıştır. Kazılan kayaca ve işletmeye uygun kepçe seçiminde göz önünde bulundurulması gereken yönler belirtilmiştir.

ABSTRACT : In this paper, dippers which are digging and loading units of electrical open cast mining shovel excavators and their diggability and performance parameters are investigated. Tooth and rake angle, and their effect on bench excavation, adjustment and optimization of these angles are explained.

Furhermore, Ground Engaging Tools (GET) and wear areas are explained and parameters influencing the performance of dippers like rock diggability, rock swell factor, dipper fill factor are discussed. Points considered in the selection of mine and rock matched dippers are given.

1 GİRİŞ

Elektrikli yerkazı makinelerinin kazılıp taşınacak, yüklenecek kayaç ya da madene değen, girişen, en önemli birimdir. Bütün görkemli teknolojiler, diğer birimler, hep kayayı kazan-yükleyen bu bölümü çalıştırmak içindir.

Bu uç birim yıllardır, yalnız işletmecilerden değil yerkazı makinesi

üreticilerinden de yeterli ilgiyi görmemiştir. Shi ve Joseph (2005) elektrikli yerkazar kepçe tasarımı ana hatlarının, neredeyse elli yıldır hiç değişmediği belirtilerek, son on yıldır yapımı firmaların kepçe üreticilerinin bunu, işletme, bakım giderlerini düşürmek ve daha az aşınan, kayacın daha az yapıştığı kepçeler geliştirmek için yaptıklarını belirtmektedir.

Kepeçlerin kazı basamağındaki kayaç ile girişimini sağlayan birimleri de kepeç damağına takılan kepeç dişi kökleri ve dişleridir. Bu girişim birimlerinin görevi hem kayaca saplanması sağlamak hem de kepeçenin aşımına karşı savunmasız alanlarını kendisi aşınarak korumaktır (Carter, 2008).

Yerkazar kepeçleri çalıştıkları kayacın cinsine göre anılır; kömür kepeçleri, kaya kepeçleri gibi. Kömür kepeçleri, kömür hafif yoğunlukta olduğundan genellikle büyük hacimli olup daha ince gereçten yapılabilir. Kömürün parçalanmasını sağlamak için bunların içi bölüntülü olabilir. Kaya kepeçleri ise örtükazı için yapılmış olup vuruşa, aşımaya dayanıklı olması için daha kalın gereçten üretilir; buna ek olarak değişebilen aşınıtı plakaları ile kaplanır. Ayrıca, çalıştığı kayacın türüne göre kolay, orta ve ağır hizmet türü kepeçler olarak da anılabilirler.

Tutamak lipine göre çeşitleri yerkazar kepeçleri, tutamak kısmı olanlar ve olmayanlar olmak üzere iki ana türe ayrılır. Olağan uygulamada, boşaltma yüksekliğinin sorun olmadığı durumlarda, yerkazar kepeçleri tutamaklı olarak üretilir. Şayet küçük kapasiteli bir yerkazar büyük bir kaya taşıtına yüklemek durumunda ise bu durumda tutamaksız kepeç tercih edilir. Tutamaksız kepeç sayesinde 1.2-1.8 m ek boşaltma yüksekliği kazanılır (Anon b, 2005).

Kepeç ve kayaç ağırlıklarına bağlı olarak, her yerkazı makinesi bir dizi kepeç hacmi taşıyabilecek yetidedir. Yerkazarın, genel kepeç kapasite aralığına karar verildiğinde makine yapımıcısı firma ile istenen kesin teknik özellikler kayacın parçalanışına, kayacın ağırlığına, bakım gibi düzenlerine bağlı olarak tartışılıp görüşülerek karara bağlanır (Sargent, 1990).

2 GENEL

2.1 Kepeç Değişim Nedenleri

Açık ocakta çalışan bir elektrikli yerkazarın kepeçesinin yenisi ile değiştirilmek istenme nedenleri aşağıda belirtilen gerekçelerden bir ya da birkaçı olabilir: Eldeki kaya taşıtlarının daha iyi dolmasını sağlamak, bu kaya taşıtlarını daha az kepeç sayısında doldurmak, alınacak daha büyük kaya taşıtlarına uyum sağlamak, toplam üretim miktarını arttırmak için kepeç büyütme, kayaç yoğunluk değişimlerine uyum sağlamak, yerkazı makinesinin değişik bir kayaçta çalışma durumunda kalması, yıpranmış kepeçenin artan bakım-onarım giderlerini azaltmak, kepeçenin daha çok kullanımda kalmasını sağlamak, kepeçenin bakım aralıklarını uzatmak, diğer makinelerdeki kepeçlere uyum sağlamak ve onlarla değiştirilebilir kılmak, kepeç doluş çarpanını yükseltmek, kaya taşıtlarının aşırı yüklenmelerini önlemek, uygun olmayan kepeçeyi değiştirmek gibi nedenler olabilir (Anon. c, 2005).

2.2 Kepeç İriliğinin Belirlenmesi

Kepeç ya da yerkazar üretim miktarının belirlenmesinde başlangıç noktası, kayacın yerindeki yoğunluğudur. İkinci adım patlatma ya da yüklemeye sonraki gevşek ağırlığı verecek olan kabarıma ya da kabarış çarpanıdır. Kepeç doluş çarpanı (silme kapasitenin yüzdesi), malzemenin kepeç hacmine göre hacim değerini verir (Sargent, 1990).

Yerkazı makinesi yapımıcıları tarafından verilen standart kepeç kapasiteleri genellikle yerinde birim ağırlığı 2.30 t/m^3 , kabarış çarpanı (kabarış katsayısı) 1.30 olan kayaca göre hesaplanır. Bu durumda kabarmış kayaç birim ağırlığı 1.77 t/m^3 olmaktadır

(Özdoğan, 2002). Bu nedenle, kazılacak kayaç varsayılandan daha hafif ise seçilen makinede daha büyük kepçe kullanılabilir.

Yerkazarlar ilke olarak yük kaldırıcı araçlara (vinç) benzerler. Her yerkazarın kaldırabileceği bir anma ve ağıdırma yükü (rated and maximum suspended load) vardır. Kepçenin ağırlığı ile içindeki kayacın ağırlıkları toplamı ağıdırma yükünü aşmamalıdır. Kepçenin ölü ağırlığı azaltılabilir ya da malzeme hafif ise aynı makine modeli için daha büyük hacimli bir kepçe seçilebilir. Kazılıp yüklenecek kayacın yerinde ve kabarmış yoğunluğuna, kabarmış çarpanına, aşındırıcılığına, yüklenecek taşıtların boyut ve taşıma yetisi gibi özelliklerine göre kepçe iriliği belirlenir. Kepçe anma kapasitesi elektrikli yerkazar yapımcılarınca silme olarak belirtilir. Bu kepçenin içine alabileceği suyun hacmidir (Anon. a, 2003).

Kepçe doluş çarpanı, kepçe içindeki gevşek kayaç hacminin, kepçenin anma hacmine oranıdır. Bu oran 100 ile çarpılıp Kepçe Doluş Yüzdesi olarak da ifade edilebilir. Kepçe iriliğinin belirlenmesi ve en uygun kepçe yükünün elde edilmesi bakımından kepçe doluş çarpanı kavramı iyi anlaşılmalıdır (Anon. a, 2003). Parçalanmanın başarılı olmadığı, çok iri parçalı kayaların bulunduğu, durumdaki kazılarda kepçe doluş çarpanı değerleri 0.40 ile 0.50 arasında değişir. Daha gevşek ve hafif tortul malzemede bu değer 1.20 ye kadar yükseltilir. İyi patlatılmış ve parçalanmış örtü katmanında ise bu değer ortalama olarak 0.85 olarak alınabilir (Sargent, 1990).

2.3 Kepçe İçindeki Yararlı Yük

Kepçenin birim hacmine düşen kayaç ağırlığı, kepçe hacmi ile kayacın

kabarmış birim ağırlığının çarpımını ile hesaplanır. Kayacın kabarmış birim ağırlığı ise, kayacın yerinde birim ağırlığının, kabarma çarpanına bölümü ile elde edilir.

Kabarmış kayaç ağırlığını ölçmenin en iyi yolu arada sırada bir kepçe dolusu kayacın ağırlığını tartmaktır. Bu tür tartular ile, kullanılan kayaç kabarmış çarpanının doğruluğu izlenebilir.

Yeni kuşak yerkazarlar ve kaya taşıtları yük izleme düzenekleri ile donatılmış olup her kepçenin içindeki yararlı yükün ağırlığı ve her kamyonun sırtında taşıdığı yararlı yükün ağırlığı işletmenler tarafından anında görülebilir. Ayrıca bu bilgiler sayısal teknolojilerle sürekli yazılıp işlenebilir. Sözgelimi, elektrikli yerkazar kepçesi yararlı yükünü ölçen P&H LoadWeigh® düzenegi gibi (Paterson ve Özdoğan, 2001). Böylece, gerek yükleme ve gerekse taşıyıcı aracın yük yeteneğinin tümünün kullanılıp kullanılmadığı izlenebilir.

3 KEPÇENİN YAPISI VE SAPLANIŞ-KAZIŞ GEREÇLERİ

3.1. Kepçenin Yapısı

Elektrikli maden yerkazarının kazı birimi kepçe ya da kovasıdır. Bu kazı biriminin dış kökü yardımı ile değiştirilebilen dişlerinin takıldığı kesici bir kenarı bulunur. Kepçenin içindeki kayacın boşaltılmasını sağlayan açılıp kapanan bir kapağı vardır ve bir kepçe koluna bağlanmıştır (Patnayak et al, 2008).

Kepçe, ana gövde, kepçe ağız ve diş düzenekleri, kepçe kapağı, ve kepçe tutamak kısmı gibi ana öğelerden oluşur, Şekil 1. Gerek kepçenin ve gerekse kepçe diş, diş kökü, damak gibi kısımların aşınmaya karşı dayanıklı yapılması ve korunması bakımından

kazılacak kayacın aşındırıcılık özellikleri belirlenip yapımcıya verilir. Buna göre üretici koşullara en uygun kepçeyi üretmeye çalışır.

Kaya aşındırıcılığı, aşındırıcılık sınıflaması, Cerchar Aşınma Katsayısı gibi bilgiler ve bu konuda ülkemiz kayaçlarında yapılan bir araştırmanın sonuçları (Yaralı, 2008) tarafından verilmiştir. Araştırmacıya göre, kayacın dayanımı ve sertliği, mineral bileşimi, mineral parçacık boyutu ve sertliği kayacın aşındırıcılığını etkileyen değişirgenler arasında bulunur. Bunların dışında kayaçtaki kuvars ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarı ve bunların ortalama parçacık boyutu ve kayacın çimentolanma derecesi de önemli olmaktadır (Yaralı, 2008).

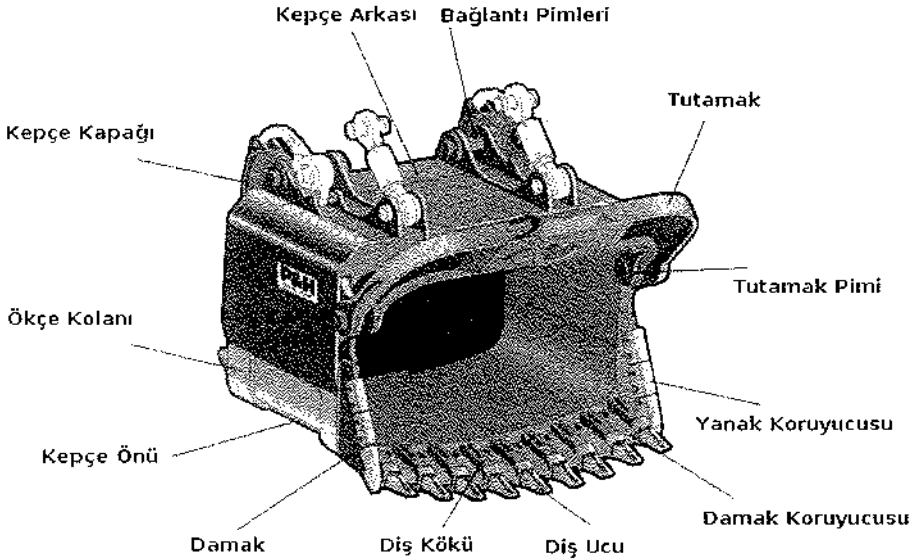
Yerinde (basamakta) ve kabarmış kayaç birim ağırlığı, kabarış çarpanı, kepçe doluş çarpanı, kepçe biçimi, kayaç aşındırıcılığı, anma ve tepe ağıdırma yükü, aşınma plakaları, kepçe tutamağı kaldırış

kuvveti, kaya taşıtı iriliği, basamak yüksekliği, basamak patlatması ve kayaç parçalanışı gibi etmenlerin kepçenin kazdığı kayaç miktarını bir diğer deyişle başarımını etkilediği bilinmektedir.

3.2 Kepçe Saplanması-Kazış Gereçleri

Kepçenin saplanması ve kazışını sağlamak üzere kepçe ağzına (damak) takılan diş ve diş düzeneklerine kepçe saplanması-kazış gereçleri denir. Bunlar, kepçenin kazı basamağında kayaç ile girişimini sağlarlar. Hem kepçe ağzının, kepçe tabanının, köşelerinin ve taban kenarlarının aşınmasını önlerler, hem de kepçenin kayaca dokunuş enini bir bakıma azaltarak kayaca daha yüksek bir saplanması ve kazış kuvveti aktarılmasını gerçekleştirirler.

Kepçe kayaç girişim gereçleri de denilen bu gereçler, kepçenin basamaktaki kayaca daha iyi saplanması ve kendisi aşınarak kepçenin aşınmaya



Şekil 1. Bir yerkazar kepçesi (Anon b, 2005).

karşı savunmasız olan kesimlerini korumak gibi bir işlevi vardır (Carter, 2008). Yeni kuşak kepçe dişleri bağlantı elemanları tokmak kullanmadan sökülüp takılabilecek biçimde üretilmektedir. Kepçe dışında bir diğer gelişme de, kullanıldıkça keskinliğini kaybetmeyecek bileşimde gereçten ve tüm malzemesi aşınıp bitinceye kadar kullanılabilen dişlerdir. Saplanmış-kazış gereçleri önemli bir tüketim gereci olup bazı kayaçlarda çok önemli bir gider kalemi oluşturabilir, (Carter, 2008). Ana hatlarıyla iki tür kepçe dişi düzeneği bulunur: Tek parçalı dişler, bunlara kazma dişi de denir; çok parçalı birleştirilmiş dişler.

3.2.1 Tek Parçalı Kazma Dişler

Tek parçalı dişler, tek parça halinde döküm olup kepçe damağına bağlantı kama sistemi ile çakılırlar. Bu daha eski bir düzenek olup seyrek olarak kullanılmaktadır. Kazma ucu körelince, dişin tümü çıkarılıp atılır; bu durumda çelik malzemenin hepsi yitilmektedir; oysa parçalı diş düzeneğinde yalnız aşınan diş ucu değiştirilir. Kazma dişlerin tek yararlı yanı bağlantı yeri sayısının azlığıdır. Tek bağlantı noktası kepçe damağıdır; sıklığın denetleneceği tek yer orasıdır, bu nedenle bakımı görece kolaydır. Kazma dişte, iki parçalı düzeneğe göre daha ağır tek bir parçanın sökülüp takılması gibi bir eksiklik söz konusudur.

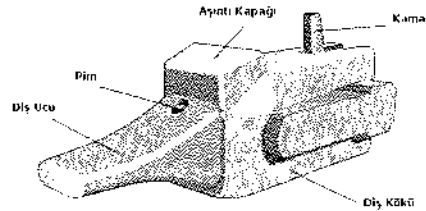
3.2.2 İki Parçalı Birleşik Dişler

Tek parçalı kazma dişlerin eksikliklerini gidermek için geliştirilmiş güncel bir diş düzeneğidir. Diş ucu ve bunun takıldığı bir diş kökünden oluşur. Diş ucu aşındığında, kırıldığında diş düzeneğinin

yalnızca uç kısmı atılıp yenisi takılarak diş tüketim giderleri azaltılır. Parçalı oluşu nedeniyle sökülüp takılması daha kolaydır. Çok parçalı diş düzeneklerinin tek eksiği, bağlantı yerlerinin çokluğu nedeniyle bağlantı yeri sıklıklarının sürekli denetlenmesi gereğidir. Birleşik dişler çoklukla iki parçalı olmakla birlikte özellikle sallama kepçeli yerkazarlarda üç parçalı olanlar da vardır.

Birbirine geçen ve bağlanmış bileşenlerden oluşan birleştirilmiş dişi oluşturan öğeler; diş ucu, diş kökü, sıkıştırma kaması ve C-biçimli kenetleyici, kıskaç ve dişi diş köküne bağlayan bir bağlaç'dan oluşur (Şekil 2). Kepçe damağı ile diş kökü yerine çok ince ayarlı bir biçimde oturacak boyutlarda olmalıdır. Bu, taşlama ve yeniden işleme gerektirmeden yerine oturması için önemlidir. Diş kökü gevşek oturursa, kök oynar, kepçe damağına zarar verip diş kökünün erken kırılmasına neden olur.

Diş uçları belirli diş kökleri ve uygulamalara göre çeşitli biçim ve uzunluklarda üretilir. Kayaç kazımı için yapılmış diş uçları, yüksek dayanımlı ve daha uzun sürede aşınması için uzun ve et kalınlığı yüksek yapılırlar. Özetle, diş uçlarının tasarımı, yapıldıkları malzemeler, ölçüleri özgül uygulama koşullarına göre ayarlanır. Diş kökleri de zamanla aşınıp bozulduklarında yenileri ile değiştirilir.



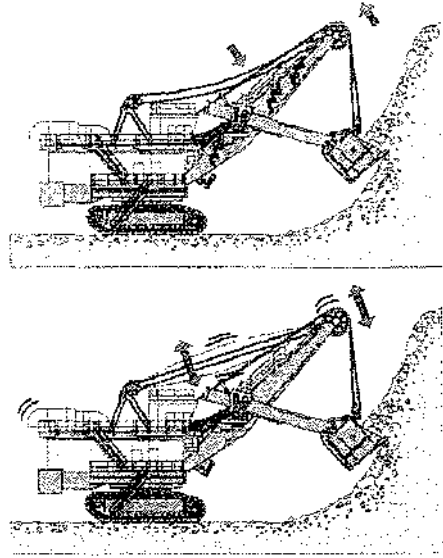
Şekil 2. Birleşik kepçe dişi düzeneği (Anon. b. 2005).

4. KEPÇE KAZIŞ ÖZELLİKLERİ

4.1 Kepçe Kazı Geometrisi ve Kepçeye Etki Eden Kuvvetler

Bir elektrikli yerkazar iş döngüsünün kazı bileşeni, iki ögenin, itiş ve kaldırış devinimlerinin bir bileşimidir. Kazı sırasında kaldırış hareketi kepçeyi kazı basamağında yukarı doğru çektirir, itiş hareketi ise kepçeye itme kuvveti uygulayarak kazılan kayaç içinde tutulmasını sağlar. Kaldırış devinimi sırasında, itiş devinimi kepçenin basamakta iş döngüsünün kazı bileşeni süresince kepçenin uygun bir derinlikte saplanışını sağlar. Bu nedenle itiş kuvveti kepçe saplanışını, kaldırış kuvveti ise koparış kuvvetini temsil eder (Patnayak et al, 2008). Kepçe saplanışı kepçe kolu ve kepçenin ağırlıklarının dikey bileşen kuvvetleri ve itiş motorunca kepçe koluna uygulanan itiş kuvvetinin dikey bileşenleri toplamıdır. Kepçe koparış kuvveti itiş kuvveti ve kaldırış halatı çektirış kuvveti bileşkesidir. Bunun kaykılması olmaması için itiş kuvvetinin koparış kuvvetinin yatay bileşke kuvvetinden büyük olmaması gerekir (Şekil 3).

Son yıllarda elektrikli yerkazarlarda kazı kinematığı ve dinamiğı, kazı yörüngesi, kazı derinliğı gibi kazı mekaniğı konusunda çalışmalar artmıştır. Bu konuda ayrıntılı çözümlene (Shi ve Joseph, 2005), (Demirel ve Frimpong, 2007) tarafından verilmiştir. Bir kepçe tasarım çalışması için bir elektrikli yerkazarın kazı döngüsünün modellemesi yapılarak, kepçe başarımı yerkazar kazı döngüleri ile bağlantılı olarak benzetişimi (simülasyon) yapılmıştır. Elektrikli yerkazarın enerji verimliliğı, (en uygun birim elektrik tüketimi), için yapılan kazı en iyileştirmesi ve benzetişim çalışmasında; gene yerkazar kazı kinematığı ve dinamiğı, kazıya



Şekil 3. Erişme-taşıma kolu kaykılması ve neden olduğı sarsıntı (Anon. b, 2005).

direnç gösteren kuvvetler, aracın kazı verimliliğı konusunda ayrıntılı bilgi verilmiştir (Offei ve Frimpong, 2007).

En iyi kazı verimliliğı için makine işletmeni itiş ve kaldırış hareketini öyle ayarlamalıdır ki en uygun kazı derinliğini elde etsin, en az enerji tüketimi ile kepçeyi en kısa sürede doldursun (Offei ve Frimpong, 2007). Kazı derinliğı, kesme kalınlığı itiş kuvvetinin çoğaltılıp azaltılması ile sağlanır. Kesme kalınlığının çok olması kaldırış hızını azaltabilir ve kazı süresinin artışına neden olabilir, erişme-taşıma kolu kaykılması oluşabilir. Elektrikli yerkazarlarda yapılan bir çalışmada, eşit kazı süresi olan döngülerde, sığ kesme kalınlığının derin kesme kalınlığından daha az kaldırış enerjisi tükettiğini belirtilmiştir (Patnayak ve Tannant, 2005).

Yeni kuşak elektrikli yerkazarlar itiş ve kaldırış kuvvetlerini en iyi duruma

getirip ayarlayan, araç kullanıcısının ustalık ve isteğine bırakmayan P&H OptiDig® gibi düzeneklerle donatılmışlardır (Paterson ve Özdoğan, 2001). Bu aygıt, sayısal teknoloji sayesinde makinenin kazı devinimini algılayarak itiş ve kaldırış devinimlerini dengeleyerek enerji tüketimini, malzeme yoğunluğu ve işletmenin deneyiminden bağımsız olarak, en uygun hale getirir.

4.2 Kepçe Kazış Açısı ve Kepçe Diş Açısı

Kepçe diş açısı ve kepçe kazış açısı kepçenin doluş biçimini ve doluş sürecinde ne kadar enerji tüketildiğini belirleyen etkileyicilerdir. Kazış ve diş açısı Şekil 4'de gösterilmiştir. Kazış açısı artırılıp küçültülürken, kepçe diş açısı da buna bağlı olarak kendiliğinden ayarlanır (Şekil 4).

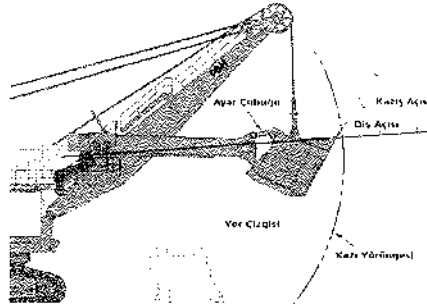
Diş açısı ne kadar büyükse (dikse), kesme eylemi de o kadar artar. Bu yüzden diş açısı, olabildiğince büyük olacak biçimde ayarlanmaya çalışılır. Burada, dikkat edilecek nokta, kepçe ökçesi aşınma kolunu açıklığı öyle ayarlanmalıdır ki aşınma kabul edilebilir düzeyde olsun. Uygulamada, kepçe diş açısı çok dik (yüksek) ise kepçenin topuk kısmı erken aşınacaktır. Bu durumda, kepçe ökçesi aşınma kolanında ve kepçe diş köklerinin alt kısmında çok aşınma oluşur. Kepçe diş açısı çok yatık (küçük) ise kepçe doğru dürtüst dolmaz ve basamağı kesmekten ziyade tırmalar; diş kökleri üst kısmı çok aşınır.

Aşınmanın çok önemli olmadığı kolay kazı koşullarında, daha dik kazış açısı (saplanmış açısı) en yüksek verimliliği sağlar. Aşınmanın çok aşırı olabildiği çetin kazıda, daha yatık kazış açısı (daha çok saplanmış için) önerilir. Aşındırıcı olmayan kayacıkta bile aşırı düşük kazış açısı kepçe saplanışını azaltabilir.

Kazış açısı, diş açısını, kazı basamağına uygulanan kuvveti, kepçenin aşınmasını doğrudan etkiler. Kazış açısı, ayar çubuklarının boyu ayarlanarak en uygun hale getirilir. Kazış açısını dikleştirmek, kepçe ağzının işe daha çok koşularak, verimliliğin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılmasını sağlar. Düşük kazış açısı ile çalışıldığında, kepçe diş kayaca saplanıp, yontarak kopardığı için yerkazar aşırı biçimde güç tüketir. Kazış açısının büyümesi, makinenin güç tüketimini azaltır, kayacık basamaktan taranarak kazılmasını sağlar (Anon. b, 2005).

4.2.1 Kepçe Kazış Açısının Uygunlaştırımı

Diş ve kazış açısı ayarı için önerilen başlangıç açıları aşağıda verilmiştir: Sert kayacık kazı koşullarında diş açısı ayarı için önerilen başlangıç açı değerleri 46°-



Şekil 4. Yerkazar kepçesi kazış ve diş açısı (Anon. b, 2005).

48° arası olup, bu değerler kazış açısı için 48°-50° arasındadır. Orta-sert kayacık kazısı koşullarında ise diş açısı ayarı için önerilen başlangıç açı değerleri 59°-61° arasındadır. Bu koşullarda kazış açısı ayarı için önerilen başlangıç açıları ise 57°-59° arasında değişmektedir (Anon. b, 2005). Kazış açısının, kayacık yoğunluğuna, patlatmanın niteliği ve sıklığına göre en uygun kazı elde etmek için ince ayarı gerekebilir.

Kepece, kazı basamağında kaldırış halatları dikeye yakın bir biçimde çalışıyor ise bu makinenin basamağa iyi yanaştırılmış olduğunu gösterir. Bu konumda makine, kepece dişine en yüksek kaldırış kuvvetini uygulayarak kazı verimliliğini en yükseğe çıkartır.

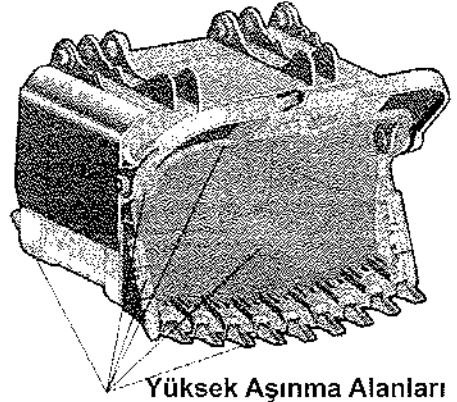
4.3. Kepece Aşınma Alanları ve Kayaç Aşındırıcılığı

Kazılacak ya da kazılmakta olan kayacın aşındırıcılık özellikleri arada sırada yapılacak ölçümlerle belirlenmelidir. Yapıncıya elde edilen bu değerler verilmeli, kepece buna göre tasarlanıp üretilmelidir. Bu deneyler ve nasıl yapılacağına dair ayrıntılı bilgi Yaralı (2008), Özdemir (2008), ve Nilsen et al., (2006) tarafından verilmiştir. Bu konuda çeşitli dizinler bulunmasına karşın en bilineni Cerchar Aşınma Katsayısı'dır, (CAK).

Kömür içeren kayalarda yapılan bir çalışmada (Yaralı et al, 2008) Cerchar aşındırıcılık katsayısı ve taşın yapısal özellikleri arasındaki ilişki verilmiştir. Buna göre ortalama kuvars tane iriliği ile Cerchar Aşındırıcılık Katsayısı arasında iyi bir doğrusal ilişki vardır. Çalışma ayrıca, mineral bileşenleri, çimento tipi, çimentolaşma derecesi, kuvars içeriği, ortalama kuvars tane iriliği gibi özelliklerin Cerchar Aşındırıcılık Katsayısı'nı etkilediğini bildirmektedir.

Kepece dişi, damağı, yanaklarında kullanılan aşınma ve kapak örtüleri aşağıda açıklanmıştır: Diş ucu dibi ile diş kökü birleşme yeri en çok aşınan yerdir. Aşınma kapakları adından da anlaşılacağı gibi kendisi aşınarak, diş ile diş kökünün birleştiği yerin aşınmasını önler (Anon. b, 2005).

Damak koruyucu örtüleri bütünüyle aşınıp damağın ve yanağın aşınmasına yol açmadan değiştirilmelidir. Bir başka



Şekil 5. Birinci derecede kepece aşınma alanları (Anon. b, 2005).

deyişle, koruma görevini yapamayacak duruma gelmeden yenisi takılmalıdır. Damak aşınma örtülerini değiştirirken, bütün örtü bağlantı elemanları ile birlikte değiştirmelidir. Kepece ökçesinin köşe ve orta bölümlerini aşınmadan korumak için ökçe koruma kuşakları bulunur (Anon. b, 2005).

5. KEPCE BAŞARIMINI ETKİLEYEN DEĞİŞTİRGENLER

Yerkazanın iş döngüsünün kazı evresi kepecinin kazı basamağında geçirdiği gerçek süreyi gösterir. İş döngüsünün dönüş ve boşaltış evreleri ise kazılan kayacın yük aracına taşınıp boşaltıldığı evrelerdir (Patnayak, S. et al., 2008). Yerkazar bir örnek kayacın kazı yaparken bile, başarımında aşağıdaki etmenler de etkili olur; operatörün teknik ve stili, makine tipi, kepece ve diş tasarımı, kazı yörüngesi (kepece saplanış derinliği ve kazı boyu), kayaç katmanına göre kazı yönü, (Patnayak, S. et al., 2008).

Herhangi bir işin ne kadar verimli yapıldığı, o iş için doğru araca sahip olup olunmadığına bağlıdır. Yerkazı araçlarının iş yapan kısmı olan kepeceler, karmaşık birimler olup bir çok

değiştirgen tarafından etkilenirler. İlk bakışta kepçenin başarımı iriliği ile doğru orantılı gibi görünebilir. Oysa, kepçe hacmi tek başına, kepçenin başarımını etkilemez. Kepçenin ağırlığı, biçimi, kazılmakta olan kayacın yapısı, makine işletmeninin eğitimi ve ustalığı gibi bazı etkenler de kepçenin ne kadar kayaç kazabildiğini etkilemektedir (Anon. b, 2005). Kepçenin kazdığı kayaç miktarını belirleyen ve etkileyen ana değiştirgenler ayrıntılarıyla aşağıda verilmiştir:

5.1 Kayaç Yoğunluğu

Her ne kadar kepçenin kapasitesi hacmi ile ölçülmekte, m³, ise de, bu kapasitesinin sınırı içindeki kayacın ağırlığıdır. Çünkü, makinenin kaldırma yeteneğinin bir sınırı vardır. Kepçe ve donanımlarının ölü ağırlığı ve kepçe içindeki kayacın ağırlığı toplamı ağıdırma yükü (denge bozucu yük) sınırını aşmamalıdır. Bu yüzden, kepçe başarımını değerlendirmek için kayaç hacmi ile ağırlığı arasındaki ilişki kesinlikle bilinmelidir. Özgül ağırlık maddenin suya göre göreceli yoğunluğudur.

5.2 Kayaç Kabarış Çarpanı

Kayaç kabarış çarpanı, gevşetilmiş kayacın birim hacimdeki ağırlığının, kayacın yerindeki (kazi basamağında) birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Kabarış çarpanı kayaç patlatıldığında ya da kazıldığında kaya parçaları arasında kalan boşluğun değeridir.

Kabarış çarpanı, kayaç patlatıldığında ya da kepçe tarafından basamaktan koparılıp gevşek hale getirildiğinde kayaç parçaları arasındaki boşluklardan dolayı kayaç hacmindeki artışı ya da kabarış gösterir. Kabarış çarpanı ne kadar yüksek ise, basamaktaki belirli

hacimdeki bir kayacı kaldırmak için o kadar çok sayıda kepçe boşaltmak gerekecektir.

Bugünkü büyük kepçelerde ise bunun tersine olarak, kayaç kepçenin içine akarken hafif bir sıkışım olduğunu da görüyoruz. Kepçenin içindeki kayacın gerçek ağırlığını merak ediyorsak, kamyona iki üç dolu kepçe boşaltıp götürüp tartmak, ortalama kepçe yükü ağırlığı konusunda bir fikir edinmek en iyisidir. Yeni kuşak yerkazarlarda ve kaya taşıtlarında her kepçe yükünü gösteren yük ölçme ve izleme düzenekleri bulunmaktadır.

5.3 Kaldırılabilen Yük ve Ağıdırma Yükü

Yerkazar, kepçe içindeki kayacın ağırlığından başka, kepçenin kendi ağırlığını da kaldırmak durumundadır. Bir yerkazar, model ve biçimine göre, kepçeyi ve içindeki yükü kaldırabilecek şekilde ayarlanır; buna kaldırılabilen yük (rated suspended load) denir.

Yerkazarca kaldırılabilen yük, iyice doldurulmuş kepçenin içindeki yük artı kepçenin ve ilgili parçalarının toplam ağırlığıdır. Yerkazarın ağıdırma yükü (maximum suspended load) ise belirli bir yerkazar modeli için yapısal ya da termal sınırlar ya da bunların birlikteliğinden oluşan etmenlerin oluşturduğu güvenli olarak ağıdırmadan yani dengesi bozulmadan kaldırılmasına izin verilen en yüksek yük sınırıdır.

5.4 Kepçe Tutamağı Çektiriş Kuvveti

Bir yerkazarın kepçeyi yukarı kaldırış yeteneği ve yeterli kesme kuvveti sağlaması tutamak çektiriş kuvvetine ve yerkazarın ön bölümünün biçimine bağlıdır. Tutamak çektirişi, kepçeye kaldırış halatı tarafından uygulanan kuvvettir.

5.5 Silme ve Yığma Kepçe Kapasitesi

Silme kepçe kapasitesi bir kepçenin alabildiği su miktarının hacmi olup m^3 cinsinden ifade edilir. Elektrikli yerkazar kepçe hacimleri bu şekilde ifade edilir. Yığma kepçe kapasitesi ise daha ziyade hidrolik yerkazar üreticileri tarafınca kullanılır, kazılan malzemenin 45° veya 60° derece açıda kepçe üstünde yığın hacmidir (Anon. a, 2003).

5.6 Kepçe Doluş Çarpanı

Kepçe doluş çarpanı, kepçe içindeki kayacın gevşek hacminin kepçenin anma silme hacmine oranı olarak tanımlanır.

Kepçenin doluş çarpanı bir bakıma kayacın akış kolaylığını gösterir. Kepçe tasarım ve yapıml özellikleri de kayacın akış kolaylığını olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, aynı kayaçta çalışan, aynı kapasiteli iki ayrı üreticiye ait kepçenin doluş çarpanı farklı olabilir. Ocak koşullarına uygun üretilmiş ismarlama kepçeler, iyi parçalanmış kayaçta, 1.00 - 1.20 hatta daha yüksek doluş çarpanlarına ulaşabilirler (Anon. a, 2003).

5.7 Kayaç Kazılabilirliği

Kayaç kazılabilirliği kazı basamağındaki kayacın, kazılmaya karşı gösterdiği direngenlik olarak tanımlanır. Bu

direngenliğin düzeyi kayacın sertliğine, birim ağırlığına, parçalanmasına ve başka etkenlere bağlıdır. Örneğin, kayacın ağırlığı içerdiği minerallere, neme, parçacık boyutu ve yapısına göre de büyük ölçüde değişebilir (Anon. a, 2003). Kayacın kepçeye akış ve doluş kolaylığı demek olan kepçe doluş çarpanı ile bir kayacın kazılabilirliği belirlenebilir. Kepçe doluş çarpanı kayacın kepçe içine akış kolaylığını göstermekle birlikte, kepçenin tasarım ve yapısı da kepçenin doluş özelliklerini etkileyebilir. Kepçeye doluş kolaylığı ölçüt alındığında, Çizelge 1, kayaçların kazılabilirliği kepçe doluş çarpanı ile dizelenebilir (Anon. a, 2003).

5.8 Kesme Kalınlığı ve Uzunluğu

Kepçe başarımını etkileyen önemli bir değiştirgen de kesme kalınlığıdır. Bir başka deyişle malzemeye kepçe saplanmış derinliğidir. Kesme kuvveti kepçe itiş ve kepçekaldırışkuvvetlerininbileşkesiolup kesme kalınlığı yerkazar işletmeninin ustalık ve deneyimine bağlıdır. Deneyimli ve yetenekli işletmenler en uygun kazı derinliğini elde ederler. Ancak günümüz sayısal teknolojileri yeni kuşak yerkazarlarda, kendiliğinden optimum kesme derinliğini ayarlayan düzenek ve donanımları takılabilir kılmaktadır. Kazış yörüngesinin bir diğer bileşeni olan kazı uzunluğu da kepçe başarımını etkileyen bir değiştirgendir.

Çizelge 1. Kepçe doluş çarpanına göre kayaç kazılabilirlik dizelemesi (Anon a, 2003).

Kayaç Kazılabilirliği	Yaklaşık Kepçe Doluş Çarpanı
Kolay	1.05 - 1.20
Orta-Kolay	1.00 - 1.15
Çetin	0.90 - 1.00
Çok Çetin	0.85 - 0.95

5.9 Serviste Kalma Oranı

Aracın kullanıma (kazı-yükleme) hazır durumda olduğu sürenin çalışmak üzere programlandığı süreye oranıdır (availability). Bu süre bakım ve yakıt alma için durma sürelerini kapsamaz. Serviste kalma yüzdesi yalnız programlanmış kazı ve yükleme sürelerini içerir (Anon. B, 2005).

5.10 Kullanım Oranı

Aracın fiilen çalıştığı sürenin çalışmak üzere programlandığı süreye oranıdır (utilization). Aracın verimli kullanılıp kullanılmadığını gösterir.

5.11 Güvenilgenlik

Makinanın günlük kazı-yükleme işlerinin yoğunluk ve ağırlığına dayanma ölçütü olup aracın çok az duraksaması ya da beklenmedik hiçbir duraksama yapmamasıdır (reliability) (Anon b, 2005). Serviste kalma yüzdesi araç güvenilirliğinin bir ölçütü olarak sıkça kullanılır.

5.12 Üretkenlik

Verilen bir süre içinde kazılıp yüklenen malzeme miktarıdır (productivity) ((Anon b, 2005).

6 SONUÇLAR

Kepçe kayaç girişimini sağlayan kepçe saplanması ve kazış birimleri (kepçe diş düzeneği) hem kepçenin basamaktaki kayaca saplanışını sağlar, hem de kepçenin aşınmaya karşı savunmasız alanlarını kendisi aşınarak korur (Carter, 2008). Bazı aşındırıcı kayaçlarda kayaç-kepçe girişim gereçleri çok önemli bir gider kalemi olabilir. Kepçe dişlerinin bu koruma işlevine ek olarak ayrıca kepçe aşınma plakaları da koruma sağlar.

Kepçe diş açısı ve kazış açısı, kepçe dolum sürecinde, doluşu ve enerji tüketimini belirleyen ana etmenlerdir. Ayar çubukları ile kazış açısı aşağı yukarı ayarlanırken, diş açısı da buna bağlı olarak kendiliğinden ayarlanmış olur. Amaç en yüksek kesme kuvveti elde etmek için olabildiğince büyük diş açısına ulaşmaktır; ancak bu açı öyle ayarlanır ki kabul edilebilir bir aşınma düzeyi için de uygun bir kepçe ökçe kolanı açıklığı bırakılır. Diş açısı ile ökçe kolanı açıklıkları dengeli olmalıdır (Anon. b, 2005).

Kepçe doluş çarpanı değerini yükseltmek için geniş ağızlı ve büyük hacimli kepçeler kullanılması önerilmektedir (Kahle, 1990). Kepçe doluş çarpanı bir bakıma malzeme akış kolaylığını gösterir. Ancak, kepçenin tasarım ve yapısı da kepçe doluş oranını artırıp eksiltebilir. Ocak koşullarına göre üretilmiş ısmarlama kepçeler, iyi parçalanmış kayaç koşullarında, %100 - %120 ve üstü doluş yüzdelere ulaşabilirler (Anon. a, 2003).

Tutamaksız kepçelerin yapılış amacı, yerkazımachinesinin kayataşıtmaya yüklenen yüksekliğini artırmak içindir. Gelişen dev kaya taşıtlarına ayak uydurabilmek bakımından geliştirilmiştir. Elektrikli yerkazarların ömrü boyunca en az bir kez kaya taşıtı filosu yenilenir. Bunu gözönünde tutarak, ileride daha büyük kaya taşıtlarına geçilebileceğinden, tutamaksız kepçeleri yeğlemek ileriye dönük bir kolaylık olabilir.

İşletme ve kayaç koşullarına uygun seçilmiş, keskin kepçe dişleri olan bakımlı, ve yüklediği araca uyumlu kepçeler kazı makinelerini daha verimli ve üretken kılar. Kazı döngü süreleri kısalmır. Kepçe itiş ve kaldırış devinimini uyumlu hale getiren düzenekler, kepçenin doluşunu, içindeki

malzemenin ağırlığını algılayıp uyaran düzenekler, daha hızlı dönüş motorları ya da üçüncü bir dönüş motoru konması, kazı aynasına doğru yansıması ve doğru kazı yörüngesini sağlayıcı sistemler iş döngüsünün kazı ve öteki bölümlerini kısaltarak döngüyü önemli ölçüde kısaltmaya katkıda bulunabilir (Fiscor, 2007). Bu düzenekler kepçenin dolayısı ile yerkazarın başarımını artırabilir. Nitekim, bu tür düzeneklerin bazıları yeni kuşak makinelerde kullanılmaya başlamıştır: bunlar, P&H OptiDig®, P&H LoadWeigh® gibi optimum kazı ve yük ölçüm sistemleri, üçüncü bir dönüş motoru ve dişli kutusu konulması gibi yeniliklerdir.

Gerek yerkazar üreticisinin, gerekse araştırma-geliştirme kuruluşlarının ve işletmelerin tüm çabası her kepçe içindeki yararlı yükün bir kaç ton artırılabilmesi içindir. Yapımcı firmaların geliştirdikleri yeni tip kepçeler araştırma kurumlarında 1/25 ölçeğinde modelleri yapılarak deney evinde özellikleri, dolma süreleri, ton başına enerji tüketimleri, aşınma gibi özellikleri için denenmektedir (Fiscor, 2005). Fiscor'un yazdıklarına göre uygunlaştırılmış kepçelerde yararlı yük ve başarımların artışı maden işletmelerince de doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Anon. a, 2003; Yüksek Başarımlı Uygulamaları, Yerkazar Seçkisi, *P&H MinePro Services, Milwaukee, USA*.
- Anon. b, 2005; Peak Performance Practices, Dippers, *P&H MinePro Services, Milwaukee, USA*.
- Anon. c, 2005; P&H Dipper Analysis Guide, *Milwaukee, USA*.
- Anon. d, 2006; P&H Dipper Fact Sheet, *Milwaukee, USA*.

Atkinson, T., 1986; Assessment of abrasive wear resistance potential in rock excavation machinery, *International Journal of Mining and Geological Engineering, 1986, Vol.3, pp 151-163*.

Atkinson, T., 1992; Selection and sizing of mining equipment, *SME Mining Engineering Handbook 2nd Ed., Vol.2, SME, Chapter 13.3. pp.1311-1333, Colorado, USA*.

Awuah-Offei, K., and Frimpong, S., 2006; Cable shovel digging optimization for energy efficiency, *Mechanism and Machine Theory, Vol. 42 (2007) pp.995-1006*.

Carter, A.R., 2008; GET Smart, *Coal Age, June, Vol.113, No.6, pp 44-46*.

Demirel, N. and Frimpong, S., 2007; Dragline dynamic modelling for efficient excavation, *20th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET, Ankara, Turkey, pp. 265-276*.

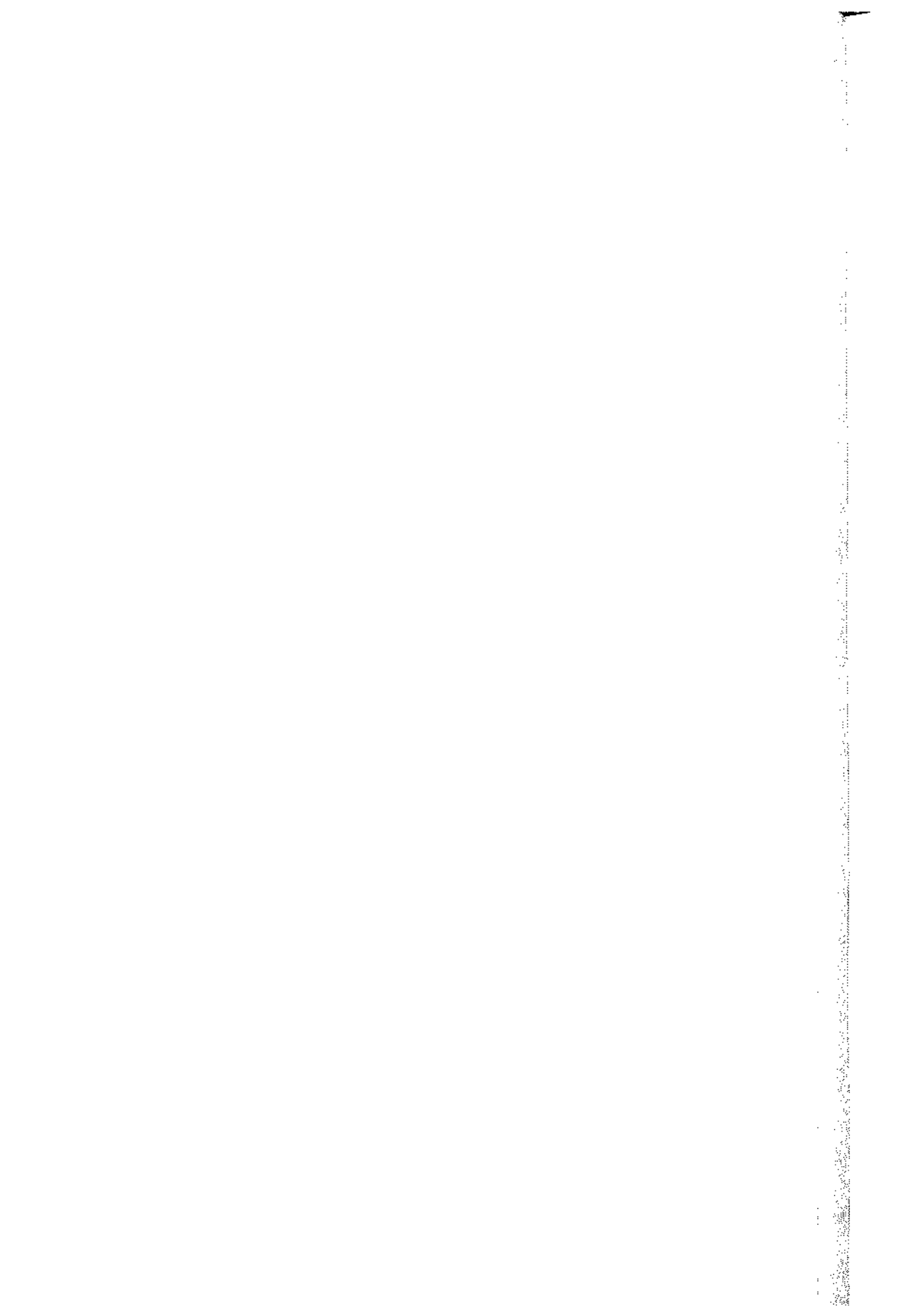
Fiscor, S., 2005; Optimized dippers fine-tune shovel performance, *Coal Age, June 2005, pp 28-34, www.coalage.com*.

Fiscor, S., 2007; Productivity considerations for shovels and excavators, <http://www.womp-int.com/story/2007vol16/story024.htm>.

Halatchev, R.A. And Knights, P.F., 2007; Spatial variability of shovel dig performance, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol.21, No.4, December, pp 244-261*.

Kahle, M.B., 1990; Chapter 6. Productivity, *SME Surface Mining 2nd Ed., USA* http://books.smenet.org/Surf_Min_2ndEd/sm-ch06-sc14-ss00-bod.cfm.

- Kennedy, B.A., Editor, 1990 ; *SME Surface Mining 2nd Ed., USA* "http://books.smenet.org/Surf_Min_2ndEd/sm-ch06-sc14-ss00-bod.cfm."
- Nilsen, B. et al, 2006; Abrasivity testing for rocks and soils, *Tunnels and Tunnelling International*, April 2006; [http://folk.ntnu.no/bnilsen/T&T part 2_0406.pdf](http://folk.ntnu.no/bnilsen/T&T_part2_0406.pdf).
- Özdemir, L., 2008; Cerchar Abrasivity Index physical property measurements, *Colorado School of Mines, Golden, USA*; http://www.mines.edu/academic/mining/research/emi07_physical_property.
- Özdoğan, M., 2002; Elektrikli yer kazı makinalarının kazı gücü etkileyicileri ve karşılaştırma ölçütleri, *Madencilik, Cilt 41, Aralık s. 3-10*.
- Paterson, L.B., ve Özdoğan, M., 2001; Performance of the bigger, faster and smarter new generation electric mining shovels, Ankara, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, s.237-242*.
- Patnayak, S. and Tannant, D.D., 2005; Performance monitoring of electric cable shovels, *International Journal of Mining , Reclamation and Environment, Vol.19, No.4, pp 276-294*.
- Patnayak, S. et al, 2008 : Operator and dipper tooth influence on electric shovel performance during oil sands mining, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol.22, No.2, pp 120-145*.
- Sargent, F.R., 1990; Mining and Quarry Shovels Productivity and Costs, *SME Surface Mining 2nd Ed.,USA*, http://books.smenet.org/Surf_Min_2ndEd/sm-ch06-sc04-ss00-bod.cfm.
- Shi, N., ve Joseph, T.G., 2005; Optimizing shovel dipper design for cutting soft rock and soils, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, İzmir, s.145-151*.
- Singh, S.P. and Narendrula, R., 2006; Productivity indicators for loading equipment, *CIM Bulletin May 2006, Volume 1 No.3. Available online at: www.cim.org*.
- Yaralı, O., 2008; Kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılıklarının belirlenmesi, *Türkiye 16. Kömür Kongresi ve madencilik Sergisi, Zonguldak, Türkiye, s. 65-76*.



Kumtaşı Örneğinin Sayısal Modelleme Çalışmaları Öncesi Mikro Özelliklerinin PFC^{3D}'de Kalibre Edilmesi

Calibration of Micro Properties of a Sandstone Specimen in PFC^{3D} Prior to Numerical Modeling Studies

O. Su, N.A. Akçın

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Kaya mekaniği alanında karşılaşılan sorunların çözümlerinin araştırılmasında sayısal analiz yöntemleri oldukça popülerlik kazanmıştır. Bu alanda kullanılan sayısal modelleme programlarından bir tanesi, ayrı elemanlar yöntemini kullanarak kayacın mekanik davranışını ve sağlam kayaçtaki çatlak ilerlemesinin modellenmesine olanak sağlayan üç boyutlu Particle Flow Code (PFC^{3D})'dir. PFC^{3D}'de bir model hazırlamadan önce, kayacın dayanım ve deformasyon özellikleriyle (yani, makro davranışıyla) ilişkili olan mikro özellikler kalibre edilir. Kalibrasyondaki temel amaç hem laboratuvar ve hem de PFC^{3D}'de kullanılan numunelerin aynı dayanım ve elastik özellikleri sergilemesini sağlamaktır.

Laboratuvarda yürütülen kayaç kesme deneyleri ileriki dönemlerde PFC^{3D} yardımıyla modellenecektir. Bu bildiriye, kayaç kesme deneylerinin sayısal modellenmesi öncesi yürütülen kalibrasyon çalışmalarına değinilmiştir. Bu amaçla tek eksenli basınç dayanımı deneyi PFC^{3D}'de modellenmiştir. Modelleme sonucu kumtaşı örneğinin laboratuvar ve PFC^{3D}'deki dayanım ve deformasyon özellikleri birbirleriyle eşleştirilmiştir.

ABSTRACT Numerical analysis methods have gained popularity in looking for solutions for the problems encountered in the field of rock mechanics. One of the numerical modeling programs used in this field is the Particle Flow Code in 3 Dimensions (PFC^{3D}), which allows modeling of the mechanical behavior of rock, including the crack propagation in intact rock, by employing the distinct element method. Prior to creating a model in PFC^{3D}, the micro properties, which are related to the strength and deformability properties (i.e. macro behavior), of the intact rock are initially calibrated. The main purpose of the calibration process is to obtain the same strength and elastic properties of the specimens employed both in laboratory and PFC^{3D}.

The rock cutting tests performed in the laboratory will be modeled in further studies by PFC^{3D}. In this paper, the calibration studies, conducted prior to numerical modeling of rock cutting test, were mentioned. For this purpose, uniaxial compressive strength test was modeled in PFC^{3D}. As a result of modeling, the strength and deformability properties of sandstone specimen used both in laboratory and PFC^{3D} were matched.

1 GİRİŞ

İnşaat ve maden mühendisleri yüzyıllardır kayaç içerisinde tünel, galeri vb. yer altı açıklıkları açmaktadırlar. Bu açıklıklar, formasyonun özelliklerine göre klasik delme-patlatma veya mekanize tünel açma yöntemleriyle açılmaktadır. Açıklığın oluşturulması sırasında basit veya karmaşık sorunlar ile karşılaşılabilir. Bu sorunlar, kaya mekaniği alanında yılların birikimi sonucu elde edilen tecrübeler ışığında ortaya çıkmış pratik ve teorik bilgilerle çözümlenebilir hale gelmiştir.

İlerleyen teknolojiyle birlikte yeraltında karşılaşılan bu problemlerin çözülmesi, bilgisayar ortamında da yapılabilmektedir. Bu çerçevede analitik modeller ve çeşitli sayısal yöntemler geliştirilmiştir. İlk analitik model, Kirsh (1898) tarafından bir dairesel açıklık etrafını çevreleyen gerilmelerin hesaplanması için ortaya atılmıştır. 1960'lı yıllarda kaya mekaniği alanında çok önemli rol oynayan sürekli ve süreksiz sayısal modelleme tekniklerinin gelişmesiyle problemlerin çözülmesi oldukça kolaylaşmıştır. Clough (1960) tarafından sonlu elemanlar yöntemi, Crouch ve Starfield (1983) tarafından sınır elemanlar yöntemi, Cundall (1971) tarafından ayrık elemanlar yönteminin uygulamaları çözümlenmeye başlamıştır. Daha sonra; Kimmelman vd. (1984) ile Lorig ve Brady (1984) tüm bu tekniklerin bir karışımını ortaya çıkarmıştır. Tüm bu model ve sayısal yöntemler artık günümüzde kaya mekaniği alanında uygulanması kaçınılmaz olan uluslararası birer araç olmuştur (Hoek, 2007). Ancak, uygulanan sayısal yöntem ne olursa olsun, kayacın süreksiz, anizotropik, heterojen ve elastik olmayan şekil değiştirme özellikleri sergileyen bir malzeme olması, modellemede kullanılmasını oldukça sınırlandırmaktadır (Jing,

2003). Her yöntemin kullanım alanına göre avantajları bulunmaktadır.

Kayaç sayısız mikro çatlaklardan oluşur. Kayaç üzerinde yapılan yüklemdeki artış ile birlikte yapısındaki mikro çatlaklar birleşerek makro çatlak haline gelir (Potyondy vd., 1996). Kayaçların tanecikli bir malzeme olduğu varsayılarak; bünyesindeki mikro çatlaklar, süreksizlikler ve gözenekler, sayısal analiz yöntemlerinden ayrık elemanlar yöntemiyle en iyi şekilde modellenebilmektedir. Bu yöntemle modelleme yapmaya olanak sağlayan güçlü programlardan bir tanesi üç boyutlu Particle Flow Code (PFC^{3D}) dur.

Sayısal analiz yöntemlerinden sürekli yöntemlerin uygulandığı modellerde kayacın dayanım ve deformasyon özellikleri laboratuvarında belirlenen sonuçlardan yararlanarak doğrudan program içerisinde tanımlanabilmektedir. Fakat, PFC^{3D} gibi süreksiz yöntemin uygulandığı bir programda malzemenin makro ölçekli davranışı, bünyesindeki mikro ölçekli bileşenlerinin etkileşimiyle oluşur (Potyondy ve Cundall, 2004). Dolayısıyla, PFC^{3D}'de bir model oluşturulmadan önce bu bileşenler, yani kayacın mikro özellikleri uygun bir yöntemle belirlenerek kalibre edilmelidir.

Bu bildiride tek eksenli basınç dayanımı deneyinin PFC^{3D}'de modellenmesiyle kumtaşı kayacının mikro özellikleri kalibre edilmiştir. Bu amaçla ilk olarak kayacın mikro özelliklerine bağlı olarak yükseklik (H) / çap (D) oranı 2 olan prizmatik bir kumtaşı örneği hazırlanmıştır. Daha sonra, numune üzerine düşey yönde 0,2 m/sn hızla yüklem yapılarak TEBD deneyi modellenmiştir. Modelleme sonucu eksenel gerilme-eksenel birim şekil değiştirme ve eksenel gerilme-yanal birim şekil değiştirme grafikleri

çizilmiştir. Bu grafiklerden okunan dayanım (tek eksenli basınç) ve deformasyon (Young modülü ve Poisson oranı) özellikleriyle laboratuvarda elde edilen özellikler mukayese edilmiştir. Tüm özellikler birbirine eşyada çok yakın sonuçlar elde edilinceye kadar mikro özellikler değiştirilerek TEBD deneyi tekrar tekrar modellenmiştir. Deneyin yanılma yöntemiyle birkaç modelleme çalışması sonucunda kumtaşı kayacının gerçek mikro özellikleri belirlenmiştir.

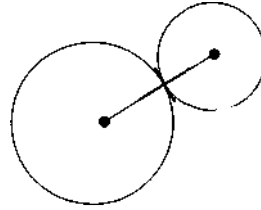
2 MİKRO ÖZELLİKLERİN KALİBRE EDİLMESİ

2.1 Kalibrasyon Parametreleri

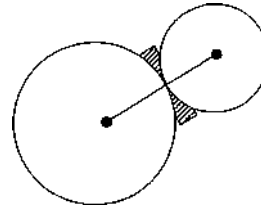
PFC^{3D}'de en temel elemanlar; küresel tanecikler ve duvarlardır. Tanecikler, bağlar ile birbirlerine bağlanırlar. PFC^{3D}'de temas ve paralel bağlar olmak üzere 2 tür bağ vardır. Temas bağ, iki tanecik arasında gözle görülemeyecek kadar küçük bir noktada oluşurken, paralel bağ iki tanecik arasına sınırlı miktarda çimento malzemesinin depolandığı bağıdır (Şek. 1-2). Küresel tanecikler belirli bir dayanımı olan bu bağlarla birbirine bağlanırlar ve arzu edilen gözenekliliğe göre duvarlar arasında sıkıştırılırlar. Böylece bir tanecik topluluğu oluşturulur. Bu tanecik

topluluğu laboratuvarında kullanılan bir örneği veya sağlam kaya malzemesini temsil eder. Bu örneğin tanımlanan duvarlarına hız verilebilir veya kuvvet uygulanabilir. Amaç, uygulanan hız ve kuvvetler ışığında tanecik topluluğunun dinamik davranışını modellemektir. Modelleme sırasında, bağların dayanımını aşıldığında örnek yenilmiş olur (ITASCA, 2006).

Kayacın mikro özellikleri temas bağı numune için beş, paralel bağı numune için sekiz adet mikro parametreden oluşur (Çiz. 1).



Şekil 1. Tanecikler arası temas bağı (ITASCA, 2006).



Şekil 2. Tanecikler arası paralel bağı (ITASCA, 2006).

Çizelge 1. PFC^{3D}'de hazırlanan bir numunciyi tanımlayan mikro özellikler (ITASCA, 2006).

Temas Bağı (TB)	Paralel Bağı (PB)
Tanecikler arası temas modülü (E_c)	Tanecikler arası temas modülü (E_c)
Tanecik normal katlığının kayma katlığına oranı (k_n/k_s)	Tanecik normal katlığının kayma katlığına oranı (k_n/k_s)
Tanecikler arası sürtünme katsayısı (μ)	Tanecikler arası sürtünme katsayısı (μ)
TB normal dayanımı [ort & std sap] ($\bar{\sigma}_c$)	PB normal dayanımı [ort & std sap] ($\bar{\sigma}_c$)
TB kayma dayanımı [ort & std sap] ($\bar{\tau}_c$)	PB kayma dayanımı [ort & std sap] ($\bar{\tau}_c$)
	PB yarıçapını ayarlayan katsayı ($\bar{\lambda}$)
	PB modülü (\bar{E}_c)
	PB normal katlığının kayma katlığına oranı (\bar{k}_n/\bar{k}_s)

2.2 Kalibrasyon Yöntemi

Kayacın mikro özellikleri laboratuvar şartlarında (üç eksenli basınç dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, statik yorulma deneyi) veya arazi şartlarında (çeşitli kazıların etrafındaki hasarın büyüklüğü ve genişliği) elde edilen özellikleriyle kalibre edilebilir.

Kalibrasyon için seçilecek yöntem daha çok kayacın laboratuvarından veya araziden elde edilen dayanım ve deformasyon özellikleriyle ilişkilidir. Bu çerçevede; kayacın laboratuvar ve modellemede koşulları arasında ne kadar fazla özelliği eşleştirilirse, modelleme için hazırlanan numunenin mekanik özellikleri de o kadar fazla ölçüde fiziksel numunenin özelliklerini yansıtacaktır. Bu yüzden kayacın hemen hemen tüm dayanım ve deformasyon özelliklerinin eşleştirilebildiği üç eksenli basınç dayanımı yaygın olarak kalibrasyon sürecinde uygulanmaktadır. Dolayısıyla, aşağıda üç eksenli basınç dayanımı yöntemine göre kayacın mikro özelliklerinin kalibre edilmesi adım adım verilmiştir. Buna göre modelleme ve laboratuvar çalışmaları arasında öncelikle deformasyon, daha sonra dayanım ve en son aşamada da taneçikler arası sürtünme katsayısı ve dayanım zarfları eşleştirilmesiyle kayacın mikro özellikleri kalibre edilir (ITASCA, 2006).

- İlk olarak malzemenin normal ve kayma dayanımı yüksek bir değere ayarlanır. Temas bağlı malzeme için sadece taneçikler arası temas modülü (E_c), paralel bağlı malzeme için hem taneçikler arası temas modülü (E_c), hem de paralel bağ modülü (\bar{E}_c) değerleri değiştirilerek örneklerin Young modülleri eşleştirilir. Daha sonra, temas bağlı malzeme için taneçik katılık oranı (k_n/k_s), paralel bağlı malzeme için hem taneçik

katılık oranı (k_n/k_s) hem de paralel bağ katılık oranı (\bar{k}_n/\bar{k}_s) değerleri değiştirilerek örneklerin Poisson oranları eşleştirilir.

- Arzu edilen elastiklik koşulları sağlandıktan sonra, malzemenin normal ve kayma dayanımlarının standart sapma değerleri sıfıra ayarlanır. Daha sonra temas bağlı malzeme için normal (σ_c) ve kayma (τ_c) dayanım değerleri, paralel bağlı malzeme için hem taneçik normal (σ_c) ve kayma (τ_c) dayanımları, hem de paralel bağın normal ($\bar{\sigma}_c$) ve kayma ($\bar{\tau}_c$) dayanım değerleri değiştirilerek eksenel gerilme-eksenel birim şekil değiştirme grafiğindeki numunenin en tepe (pik) noktası eşleştirilir.
- Deformasyon ve dayanım değerleri ayarlandıktan sonra, malzeme dayanımlarının standart sapma değerleri değiştirilerek çatlak başlangıç gerilmesi eşleştirilir. Bu durumda dayanım değeri azalabilir. Bu yüzden 2. ve 3. adımlar arasında birkaç iterasyon yapmak gerekebilir.
- Eğer malzemenin yenilme sonrası davranışı incelenmek istenirse, taneçikler arası sürtünme katsayısı (μ) değiştirilir.
- Üç eksenli basınç dayanımı deneyinde yanal basınçların değiştirilmesiyle dayanım zarfı da elde edilebilir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Laboratuvar Çalışmaları

Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndan alınan kumtaşı örneklerinin kazılabilirliğini belirlemek üzere Kel (2003) tarafından laboratuvarda bağımlı ve bağımsız kesme deneyleri yürütülmüştür. Ayrıca aynı örneklerin tek eksenli basınç dayanımı ve Young modülü değerleri belirlenmiştir. Bununla

birlikte Gerçek (2007) tarafından yapılan çalışmaya göre Havza'daki kömür çevre kayaların Poisson oranları incelenmiştir. Buna göre ince taneli kumtaşı örneklerinin Poisson oranının 0,20 alınabileceği tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. İnce taneli kumtaşı kayacının makro-mekanik özellikleri (Kel, 2003).

Özellik	Değer
Tek eksenli basınç day.	113,6 MPa
Young modülü (E_{ub})	17,0 GPa
Poisson oranı *	0,20

* Gerçek'ten (2007) alınmıştır.

3.2 Modelleme Çalışmaları

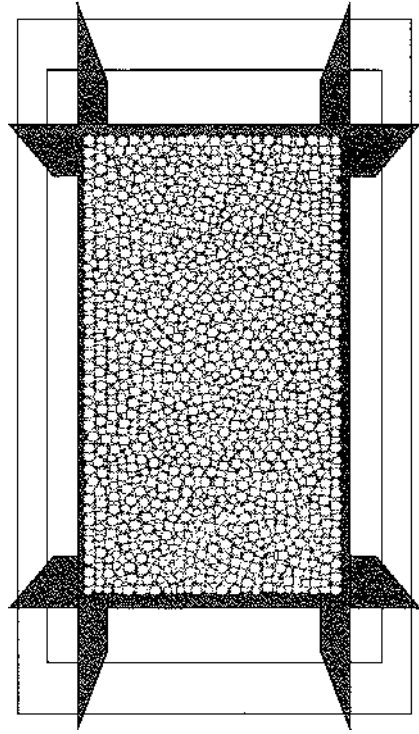
Daha önce Havza kayaları üzerinde yürütülen bağımsız kesme deneyleri ileriki dönemlerde PFC^{3D}'de modelleneyecektir. Bu çalışmada, ilk adım olarak TEBD deney yönteminin PFC^{3D}'de modellenmesiyle kumtaşı örneğinin mikro özellikleri kalibre edilmiştir.

3.2.1 Örnek hazırlama

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin modellenmesi için öncelikle en-boy oranı birbirine eşit olan 11*22*11 mm boyutlarındaki prizmatik bir numune PFC^{3D}'de hazırlanmıştır. Bu boyutlar ISRM (1979) tarafından belirlenen standartlara göre, numunenin eni boyunca en az 10 adet tanecikle etkileşim halinde olması göz önüne alınarak seçilmiştir.

3 mm kesme derinliğinde modellenecek olan kayaç kesme deneyi 0,25-0,30 mm yarıçapa sahip tanecikler üzerinde yürütüleceği için, TEBD deneyi için hazırlanan prizmatik numunede de aynı boyut aralığı kullanılmıştır. Bu yüzden 0,25-0,30 mm'lik yarıçaplara sahip küresel tanecikler, temas ve paralel bağ kullanılarak %35 gözeneklilik

oranıyla, altı adet duvar arasında sıkıştırılmış ve numunenin denge haline gelmesi sağlanmıştır (Şek. 3).



Şekil 3. PFC^{3D}'de hazırlanmış prizmatik numune.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinin modellenmesinde hiçbir yanall yüklem yapılmayacağı için dört adet yan duvar silinmiş ve sadece üst duvarlar bırakılmıştır. Bu duvarlar eksensel yönde sabit hızla yüklem yapmak üzere yüklem başlıkları olarak kullanılır (Şek. 4a).

Ayrıca yan, alt ve üst yüzeylerin tam orta noktasına en yakın konumdaki altı adet tanecik belirlenmiştir (Şek. 4b). Bu tanecikler modelleme sırasında deformasyon ölçer (strain gauge) olarak kullanılmaktadır. Yapılan yüklemle birlikte bu taneciklerde meydana gelen yerdeğiştirme eksensel ve yanall

birim şekil değiştirme olarak kabul edilmektedir.

Tüm bu aşamalardan sonra tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılacak örnek modellemeye hazır hale gelmiştir.



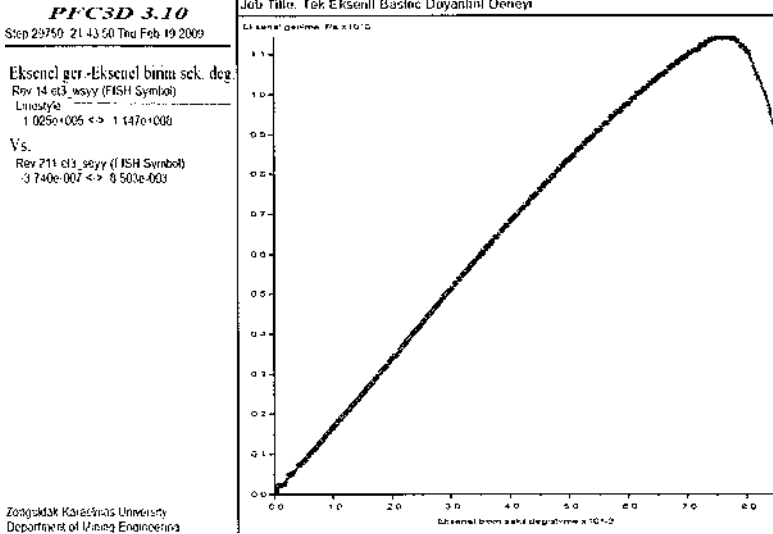
a. Yüklemeye başlıkları b. Deformasyon ölçerler

Şekil 4. Yüklemeye başlıkları ve deformasyon ölçerlerin genel görünümü.

3.2.2 Modelleme sonuçları

Deney için uygun örnek hazırlandıktan sonra alt ve üst yüzeyler bir servo-kontrol ünitesiyle 0,2 m/sn hızla hareket ettirilmiştir. Modelleme başlangıcında altı taneciğin koordinatları program tarafından belirlenmiş ve modelleme sonunda koordinatlar tekrar kontrol edilerek yatay ve dikey yöndeki yer değiştirme (birim şekil değiştirme) miktarları elde edilmiştir. Ayrıca, alt ve üst yüklemeye başlıklarındaki gerilmeler kayıt edilmiştir. Buna göre deney sonucunda eksenel gerilme-eksenel birim şekil değiştirme ve eksenel gerilme-yanal birim şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir (Şek 5-6).

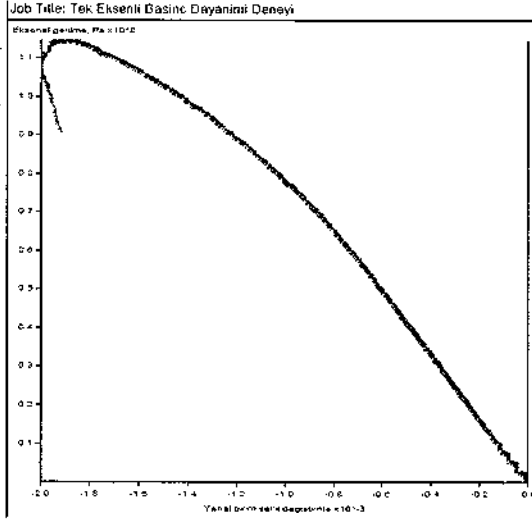
Şekil 5'te verilen eksenel gerilme-eksenel birim şekil değiştirme grafiğinde kayacın tek eksenli basınç dayanımı



Şekil 5. 11*22*11 mm boyutlarındaki numunenin modelleme sonucu çizilen eksenel gerilme-eksenel birim şekil değiştirme grafiği.

PFC3D 3.10
 Step 29750 21 45 37 Thu Feb 19 2009
 Eksenel ger.-Yanal birim şek. değ.
 Rev 14 et3_wsyty (FISH Symbol)
 LineStyle
 1.025e+005 <-> 1.147e+008
 Vs.
 Rev 213 et3_ave_xx_zz (FISH Symbol)
 -2.002e-003 <-> 2.239e-006

Zonguldak Karaelmas University
 Department of Mining Engineering



Şekil 6. 11*22*11 mm boyutlarındaki numunenin modelleme sonucu çizilen eksenel gerilme-yanal birim şekil değiştirme grafiği.

Çizelge 3. Grafiklerden elde edilen veriler.

Eksenel gerilme (σ_a), Pa	57,44.10 ⁶
Eksenel birim şekil değ. (ϵ_a)	3,37.10 ⁻³
Yanal birim şekil değ. (ϵ_x)	-0,73.10 ⁻³
Yanal birim şekil değ. (ϵ_z)	-0,66.10 ⁻³

$$E = \frac{\sigma_a}{\epsilon_a} = 17,04.10^9 \text{ Pa} \quad (1)$$

$$\nu = -\frac{0,5 * (\epsilon_x + \epsilon_z)}{\epsilon_a} = 0,206 \quad (2)$$

değeri gösterilmiştir. Ayrıca, bu grafiğin düzgün doğrusal kısmının orta noktası (% 50'si) belirlenmiş ve buna göre Eşitlik 1'den Young modülü (E) tespit edilmiştir. Yine Şekil 6'da gösterilen eksenel gerilme-yanal birim şekil değiştirme grafiğinin düzgün doğrusal kısmının orta noktası belirlenerek Eşitlik 2'den Poisson oranı (ν) değeri belirlenmiştir. Her iki grafiğin orta noktalarına karşılık gelen veriler Çizelge 3'te verilmiştir.

Modelleme sonucu çizilen grafiklerden okunan dayanım ve deformasyon değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4'te görüldüğü üzere, TEBD

Çizelge 4. Modelleme sonucu elde edilen dayanım ve deformasyon özellikleri.

Özellik	Değer
Tek eksenli basınç day.	114,7 MPa
Young modülü (E_{sim})	17,04 GPa
Poisson oranı	0,21

deneyinin PFC3D'de modellenmesinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 2'de verilen laboratuvar sonuçlarıyla birbirine oldukça yakındır. Her iki çizelgedeki değerlerin birbirleriyle eşleşmesini sağlayan mikro özellikler de Çizelge 5'te sunulmuştur.

4 SONUÇLAR

Hem yeraltı, hem de yerüstünde karşılaşılan sorunlar ve elde edilen tecrübeler ışığında kayacın birçok mühendislik alanında sayısal olarak modellenmesi ve sergilediği davranışın incelenmesi oldukça önem kazanmıştır. Bu amaçla geliştirilmiş programlardan

bir tanesi PFC^{3D}'dir.

PFC^{3D}'de sağlam kaya malzemesinin çeşitli davranış türleri modellenenbilir. Ancak, bir model oluşturmadan önce ilk olarak kayacın mikro özelliklerinin kalibre edilmesi gereklidir. Tüm bu süreç PFC^{3D}'de hazırlanacak bir modelin ilk aşamasını oluşturur.

Çizelge 5. Kumtaşı örneğinin kalibrasyon sonucu elde edilen gerçek mikro özellikleri.

Temas Bağ (TB)	
Tanecik boyut aralığı (mm)	0,25 – 0,30
Tanecikler arası temas modülü (E_c)	16,3 GPa
Tanecik normal katılığının kayma katılığına oranı (k_n/k_s)	3,8
Tanecikler arası sürtünme katsayısı (μ)	0,50
TB normal dayanımı, ortalama (σ_c)	18 MPa
TB normal dayanımı, standart sapma (σ_c)	5 MPa
TB kayma dayanımı, ortalama (τ_c)	18 MPa
TB kayma dayanımı, standart sapma (τ_c)	5 MPa
Paralel Bağ (PB)	
PB modülü (\bar{E}_c)	16,3 GPa
PB normal katılığının kayma katılığına oranı (\bar{k}_n/\bar{k}_s)	3,8
PB yarıçap çarpanı ($\bar{\lambda}$)	1,0
PB normal dayanımı, ortalama (σ_c)	78 MPa
PB normal dayanımı, standart sapma (σ_c)	5 MPa
PB kayma dayanımı, ortalama (τ_c)	78 MPa
PB kayma dayanımı, standart sapma (τ_c)	5 MPa

Bu bildiriye; henüz ülkemizde çok fazla uygulama alanı bulmamış olan PFC^{3D} programının en önemli ve en temel süreçlerinden olan mikro özelliklerin kalibrasyonu anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ileride kayaç kesme deneyinin modellenmesi için hazırlanacak numunede girdi olarak kullanılacaktır.

Yer bilimleriyle ilgili dallarda oldukça kullanışlı bir program olan PFC^{3D}'nin ülkemizde daha fazla kurum ve araştırma merkezlerinde kullanılması ülkemizin bilimsel değerlerine çok önemli katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar; Arizona Üniversitesi'nde birtakım sayısal modelleme çalışmaları yapılmasına olanak sağlayan TÜBİTAK 2214-Yurtdışı Araştırma Burs Programına, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi tarafından desteklenen Bilimsel Araştırma Projesi Başkanlığına (2006-45-03-02) ve ayrıca dencysel çalışmalarda emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- Clough, R W, 1960. The finite element method in plane stress analyses, *Proc. of 2nd ASCE conference on electronic computation*, Pittsburgh, pp. 345-378.
- Crouch, S L and Starfield, A M, 1983. *Boundary element methods in solid mechanics*, George Allen and Unwin Press, London, 322 p.
- Cundall, P A, 1971. A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems, *Proc. of the international symposium on rock mechanics*, II-8, pp. 129-136.
- Gerçek, H, 2007. Poisson's ratio values for rocks, *International journal of rock mechanics & mining sciences*, 44, 1, pp. 1-13.
- Hoek, E, 2007. *Practical rock engineering*, Course notes by Evert Hoek, <http://www.rockscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.
- ISRM, 1979. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials, *Int. Journal of Rock Mech. & Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 16, 2, pp. 135-140.
- ITASCA, 2006. *Particle Flow Code in 3 Dimensions (PFC^{3D}) Users Guide*, Minneapolis, Minnesota.
- Jing, E, 2003. A review of techniques advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering, *International journal of rock mechanics & mining sciences*, 40, 3, pp. 283-353.
- Kel, K. 2003. *Zonguldak havzası kömür çevre kayaçlarının kazılabilirliğinin incelenmesi*. Doktora Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s.
- Kimmelman, V M R, Hyde, B and Madgwick, R J, 1984. The use of computer applications at BCL Limited in planning pillar extraction and the design of mine layouts, *Design and performance of underground excavations*, E.T. Brown and J.A. Hudson (eds), British Geotechnical Society, London, pp. 53-64.
- Kirsch, G, 1898. Die theorie der elastizität und die bedürfnisse der festigkeitslehre. *Veit. Deit. Ing.* 42, 28, pp. 797-807.
- Lorig, L J and Brady, B H G, 1984. A hybrid computational scheme for excavation and support design in jointed rock media, *Design and performance of underground excavations*, E.T. Brown and J.A. Hudson (eds), British Geotechnical Society, London, pp. 105-112.
- Potyondy, D O, Cundall, P A and Lee, C A, 1996. Modelling rock using bonded assemblies of circular particles, *Proc. second north american rock mechanics symposium*, M. Aubertin (ed.) Balkema, Rotterdam, pp. 1934-1944.
- Potyondy, D O and Cundall, P A, 2004. A bonded particle model for rock, *International journal of rock mechanics & mining sciences*, 41, 8, pp. 1329-1364.

Madencilik Yatırım Projelerinin Yeni Bir Yazılım İle Değerlendirilmesi

Evaluation Of Mining Investment Projects With A new Software

N. Kavaklı
T.K.İ, Ankara

ÖZET Madencilik faaliyetlerinin doğal oluşum şartlarına bağımlı olması bu sektöre yönelik yapılan yatırımları daha riskli kılmaktadır. Dolayısıyla madencilik alanında hazırlanan yatırım projelerinin uygulamaya dönüştürülmeden önce risklerinin belirlenmesi ve elde edilen verilerin ışığında karar verilmesi, kaynakların akılcı kullanılması açısından bir zorunluluktur.

Madencilik sektörüne yönelik hazırlanan yatırım projeleri çoğunlukla geleneksel yöntemlerle değerlendirilmektedir. Bu yöntemlerde kullanılan parametrelerinin mutlak biçimde gerçekleşeceğine yönelik ön kabullerin yapılması, hatalı değerlendirme sonuçlarına yol açabilmektedir.

Bu çalışmada, madencilığe özgü, riskleri belirlemeye ve ölçmeye yarayan, proje değerlendirme amaçlı olarak DELPHI programlama dilinde hazırlanan ve "Monte Carlo" Similasyon tekniğini kullanan ANRISK adlı yazılım tanıtılmıştır.

ABSTRACT Mining depends on natural conditions. Because of this reason, mining investments projects have more risks than the other industrial projects. Before deciding on implementation of projects, determination of riskness is very important to use mineral resources efficiently.

Mining projects are usually evaluated with classical technics. Assumption of the parametres used in these technics could cause erranous evaluations.

The main purpose of this study is to examine the riskness of the mining projects on the base of Monte Carlo Simulation. In order to assess the risks of the projects on the probability base a new program named as ANRISK is developed in DELPHI.

1 GİRİŞ

Maden kaynakları yenilenemez doğal servetlerdir. Bu servetlerin kaynak

kaybına neden olmayacak şekilde kullanılması ve bu doğrultuda madencilik yatırımlarının projelendirilmeleri gerekmektedir.

Madencilik yatırım projelerinin madenciliğin doğasından kaynaklanan belirsizlikler ve riskler dikkate alınarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Madencilik sektörüne yönelik hazırlanan projeler genellikle statik veya dinamik yöntemler şeklinde adlandırılan geleneksel yöntemlerle incelenmektedirler.

Madencilik yatırımlarının riskli yatırımlar olması nedeniyle proje önerilerinin riskliliğinin geleneksel proje değerlendirme yöntemleriyle incelenmesi, analiz edilmesi, bu yöntemlerde kullanılan verilerin mutlak biçimde gerçekleşeceğine yönelik ön kabullerin yapılması nedeniyle hatalı değerlendirme ve karar verme sonuçlarına yol açabilmektedir. Bir başka ifadeyle klasik değerlendirme yöntemlerine dayalı olarak, hazırlanan bir proje hakkında kesin hüküm vermek mümkün değildir (Lumby, 1998). Bu nedenle, madenciliğin karakteristiklerine uygun, riskleri belirlemeye ve ölçmeyi amaçlayan bir yazılım geliştirilmiştir.

Literatürde, projedeğerlendirilmesine yönelik çeşitli yazılım çalışmalarının mevcut olduğu görülmüştür. Bunlar; Michel L. Bileodeau ve Yearn H. Park (1988) tarafından yapılan "Computer-aided mine investment analysis" adlı çalışma, David Gulley ve Simon Handelsman (1988) tarafından "Microcomputing in International investment negotiations" adlı çalışma, P.A. Dowd ve C Xu (1995) tarafından C++ programlama dili kullanılarak geliştirilen "Financial Evaluation of Mining Projects" adlı çalışma, Lijic Wang ve Zhidong Liu (2001) tarafından "The application of computer simulated technology in coal price forecasting" adlı çalışmalarıdır.

Ülkemizde ise "Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Bilgisayar Kullanımı" adlı bir master çalışması (Yılmaz, 1995) Turbo Pascal diliyle geliştirilmiştir. "Proje Değerlendirmede Şebeke Analizi ve Bir Bilgisayar Uygulaması" adlı çalışmada ise (Şahbazoğlu, 1991) kritik yörünge metodu kullanılarak projenin maliyet analizi ve kaynak dengelemesinin yapılmasına yönelik Gw Basic programlama diliyle bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımların ortak yanı geleneksel proje değerlendirme teknikleri esas alınarak geliştirilmeleridir.

Bu çalışmada tanıtımı yapılan yazılımda geleneksel değerlendirme yöntemleri kullanılmamıştır. Söz konusu bilgisayar yazılımında enflasyon, proje değerlendirme modelinde "veri" olarak dikkate alınmıştır. Yine, dünyanın çeşitli ülkelerinde uygulaması olan ancak ülkemizde, maden kanunda yer almayan rezerv tükenme payı, geliştirilen modelde bir "veri" olarak kullanılmıştır.

Bu yazılım ile madencilik yatırımı proje önerisinin risk analizinin yapılması, risklerin ölçülmesi, gerçekleşme olasılıklarının belirlenmesi, alternatif proje önerileriyle karşılaştırılması, sıralanması, yatırıma değer olup olmadıklarının ortaya konulması, karar vericiye yardımcı olunması temel amaç olarak düşünülmüştür.

1.1 Madencilik Yatırımlarının Özellikleri

Madencilik yatırımları büyük ölçüde jeolojik faktörlere bağımlıdır. Jeolojik faktörler değiştirilemez faktörler olup maden yatağının oluşum tipi, rezerv miktarı, yan kayaçların türü, tektonik yapı bu faktörlerce tayin edilmektedir. Bu faktörler aynı zamanda önemli risk kaynaklarıdır. Bu nedenle

Yazılım, simülasyon sayısını tamamen esnek biçimde uygulanmasına imkan vermektedir.

Yazılımda değişkenlerin dağılımlarının belirlenmesinde dört farklı dağılım modeli esas alınmıştır. Bu dağılımlar normal, tekdüze, üssel ve logaritmik dağılımlardır.

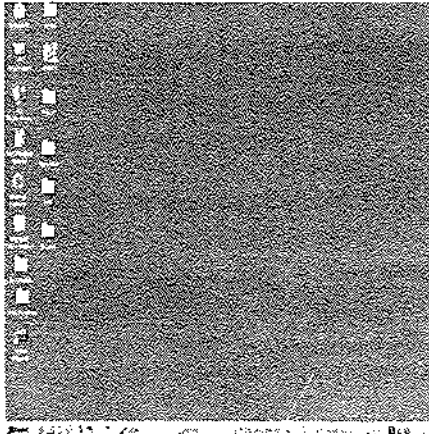
Tanıtımı yapılan yazılımda, klasik değerlendirme yöntemlerinden farklı olarak enflasyon ve rezerv tükenme payı da faktör olarak dikkate alınmıştır.

Yazılım, Trona maden yatağı üzerinde uygulanmış ve bu uygulama kapsamında sözü edilen yazılım aşağıda tanıtılmıştır.

3 YAZILIMIN MODÜLLERİ VE ÇALIŞTIRILMASI

Yazılım; kayıt girişi, dağılım tiplerinin seçilmesi, simülasyon sayısını belirleme ve simülasyon yapılması, nakit akışını hesaplatma, enflasyona göre yeniden değerlendirme, NBD hesaplatma, NBD gerçekleşme olasılıklarını bulma, grafik çizdirme ve risklerin ölçülmesi modüllerinden oluşmaktadır.

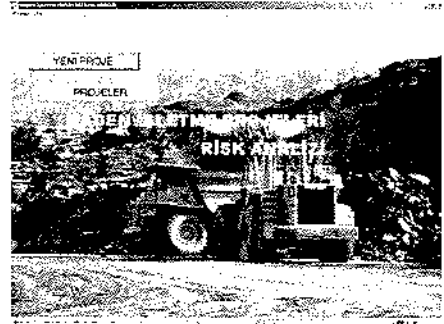
Yazılım, bilgisayarın masaüstünde bulunan ANRISK kısa yolu (Şekil 2) kullanılarak çalıştırılır.



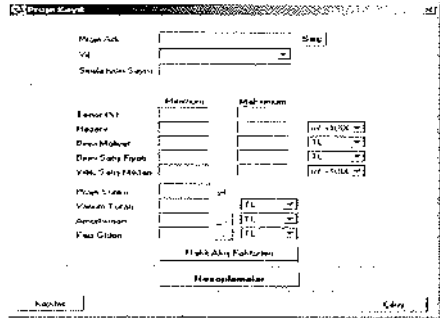
Şekil 2 – Programın açılış kısa yolu

Yazılımın ana sayfasında iki bölüm vardır. Bunlar: “yeni proje” ve projeler” adlı bölümlerdir.

“Yeni proje” giriş modülü (Şekil 3) ile açılan pencereden (Şekil 4) yeni projenin adı, proje başlangıç yılı, simülasyon sayısı rezerv, tenör, birim maliyet, birim satış fiyatı, yıllık satış miktarı gibi kritik değişkenler ile, proje süresi, yatırım tutarı, amortisman oranı, faiz gideri değerlerinin girişleri yapılır.



Şekil 3 – Programın ana sayfası



Şekil 4 – Kritik değişkenlerin ve diğer dataların giriş sayfası

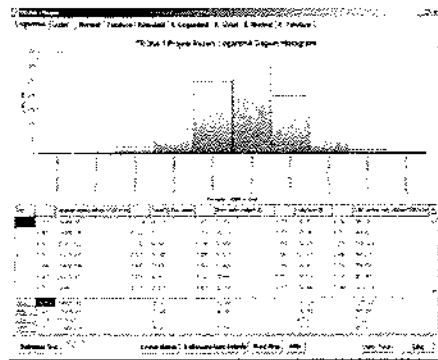
Projenin nakit akış tablosunun oluşturulması için gerekli olan proje başlangıç yılı, enflasyon oranı, vergi oranı, indirgeme oranı, Devlet hakkı, rezerv tükenme oranı bilgilerinin girişi “Nakit Akış Faktörleri” adlı butonun tıklanması ile açılan “parametre” adlı pencereden (Şekil 5) yapılır.

“Proje Kayıt” adlı penceredeki “hesaplamalar” butonuna tıklanarak açılan pencereden her değişken için simülasyon sayısı kadar yeniden data üretilir. Üretilen dataların dört farklı dağılım tipi esas alınarak dağılımları, bunlara ait histogramları (Şekil 6) standart sapmaları hesaplatılabilir.

Çıkış butonuna tıklanarak bu bölümden çıkılır.

Ana işlem modülü ile maksimum, minimum değerler, standart sapma ve ortalama değer bilgileri otomatik olarak hesaplatılır.

Şekil 5 – Parametre datası giriş sayfası



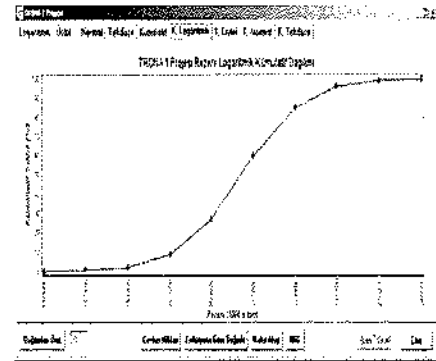
Şekil 6 – Ana işlem modülü

Herhangi bir değişkenin kümülatif dağılım fonksiyonu grafiğini çizdirebilmek için işlem modülünde

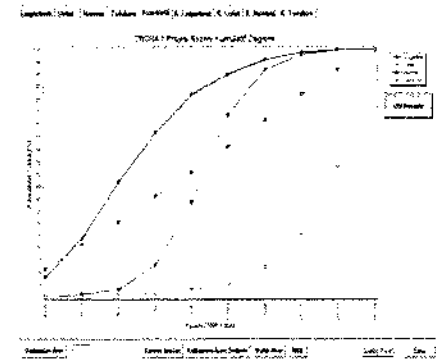
yer alan kritik değişkenlerden istenen seçilir. Daha sonra hangi dağılım tipi isteniyorsa, normal, logaritmik, üstel vb. o'nun seçimi yapılır. Grafik otomatik olarak çizdirilir(Şekil 7).

Aynı ekrandaki “kümülatif” butonu tıklanarak kritik değişkenlerin toplu dağılım fonksiyon grafiği çizdirilir (Şekil 8).

Enflasyona göre gelir ve giderlerin yeniden değerlendirilerek nakit akış tablosunu oluşturmak için ana işlem modülündeki “enflasyona göre değerler” butonu tıklanarak işlem yapılır. Dört farklı dağılım tipi için ayrı ayrı otomatik olarak gelir ve giderler hesaplatılır (Şekil 9).



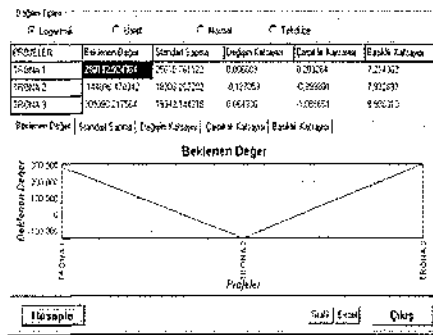
Şekil 7 – Seçilen kritik değişkene ait kümülatif dağılım fonksiyonu



Şekil 8 – Seçilen kritik değişkenin toplu dağılım fonksiyonu grafiği

TRONA 3 Projesi Risk Ölçüm Sonuç Ekranı				
TRONA 3	Logaritmik	Üstel	Normal	Tekilde
Beklenen Değer	308390,217564	339321,504171	271572,133789	304425,671861
Standart Sapma	13842,144318	26291,905377	29062,012694	40238,082652
Değişim Katsayısı	0,064930	0,083308	0,107790	0,161833
Çarpıklık Katsayısı	-1,020351	-1,510357	0,329311	-0,552172
Basıklık Katsayısı	0,398310	11,396115	3,916389	5,372957

Şekil 13- Risk ölçüm sonuç ekranı



Şekil 14- Risk ölçüm toplu sonuç ekranı

ANRISK ile yapılan tüm işlem sonuçları işlem modülünde bulunan "Excel" butonu kullanılarak Excel formatında raporlanabilir, "Grafik" butonu kullanılarak hesaplamalara ilişkin grafiklerin çıktısı alınabilir. Aynı zamanda istenilmesi halinde "kaydet" butonu ile en son yapılan tüm işlemler kayıt altına alınabilir.

Yazılım kaydedilen en son işlemi veri havuzunda saklamaktadır.

Programın ana sayfasındaki "projeler" butonu kullanılarak daha önce kaydedilen proje bilgilerine ulaşılabilmektedir.

Tüm işlem modüllerinden "çıkış" butonu ile çıkılmaktadır.

4 SONUÇ

Madencilik yatırım projelerinin başarıyla uygulanabilmesinin önemli şartlarından birisi, projelendirme aşamasında yapılan öngörülerin hassasiyeti ile çok yakından ilgilidir.

Geliştirilen yazılım ile proje üzerinde etkili olan parametrelerin dağılımları simülasyon yöntemi ile belirlenebilmektedir.

Kritik değişkenlerin hangi aralıklarda yoğunlaştığı, gerçekleşme olasılıklarının ne olduğu tespit edilebilmektedir. Böylelikle yatırımcı, ileride oluşabilecek risk sınırları ve olasılık miktarları hakkında bilgi sahibi olabilmektedir.

Sonuç olarak, hem maden kaynakları daha rasyonel projeler ile yatırıma konu olmakta hem de mevcut mali imkânlar daha akılcı yatırımlara yönlendirilebilmektedir.

Geliştirilen bu program, Trona sahası için hazırlanan üç farklı projeye uygulanmıştır. Her üç projenin risk düzeyleri, kârlılıkları, yatırımın geri dönüş süresi belirlenmiş, kendi içinde sıralanarak öncelikli projenin belirlenmesine yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Dowd, P.A., and Xu., C, 1995. Financial Evaluation of Mining Projects. APCOM, Brisbane (247 p).
- Gulley, D., and H. Simon, 1988. Microcomputing in International Investment Negotiations, APCOM, Balkame, Rotterdam (83 p).
- Hançerlioğlu, A, 2006. Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi, Kastamonu, (11 s.).
- Kavaklı, N, 2007. Madencilik Yatırım Projelerinin Yeni Bir Yazılım İle

- Değerlendirilmesi ve Trona örnek uygulaması. Doktora Tezi, Ankara, (157 s.).
- Lumby, S, 1998. Investment Appraisal and Financial Decision, (667 s.).
- Michell, B., and Park, Y.H., 1988. Computer Aided Mine Investment Analysis, APCOM, Balkame, Rotterdam (102 p).
- Şahbazoğlu, Z, 1991. Proje Değerlendirmede Şebeke Analizi ve Bir Bilgisayar Uygulaması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (81 s).
- Wang,L., and Liu,Z,2001. The Application of Computer Simulated Technology in Coal Price Forecasting, APCOM, (102 p).
- Yılmaz, A, 1995. Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesinde Bilgisayar Kullanımı, İ.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (109 s).

Yüzey Dalgaları / Temel Kaya Etkileşiminden Kaynaklanan Zemin Büyütmesinin 3-B Modellenmesi

3-D Modelling of Site Amplification Induced by Surface Waves / Base Rock Interaction

A.Z. Can, B. Ecevitoglu, G.G.U. Aldaş

Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Yüzey jeolojisinin, zemin tabakalarının jeoteknik özelliklerinin ve yüzey topografyasının sismik yer sarsıntısı üzerinde önemli etkisi vardır. Yer sarsıntısında meydana gelen büyütme kaynak, sismik ışının izlediği yol, topografya, soğrulma ve dispersiyon etkileriyle kontrol edilir. Genelde; zemin, zeminin geometrik özellikleri, yüzey topografyası, soğrulma ve dispersiyon yüzünden yüzey dalgalarının karakteristik özellikleri (genlik, frekans,süre) değişebilir. Bu çalışmada temel topografyasının, soğrulma ve dispersiyonun yüzey dalgası üzerindeki etkileri modellenmektedir ve sonuçlar gerçek patlatma verisiyle değerlendirilmektedir.

ABSTRACT Surface geology, geotechnical characteristic of soil deposits and surface topography have a paramount effects on seismic ground motion. Seismic amplification of ground motion is controlled by source, path, topographic effects, dispersion and attenuation. In general characteristics (amplitude, frequency content and duration) of the coming surface wave field may change due to specific characteristic, geometrical features of soil deposits, surface topography, dispersion and attenuation. In this study effect of site, base topography, dispersion and attenuation on surface waves are modeled and the results are compared with the real explosion data.

1 GİRİŞ

Yüzey jeolojisinin ve zemin tabakalarının jeoteknik özelliklerinin sismik yer sarsıntısında çok büyük önemi vardır. Bu yüzden yer sarsıntısında meydana

gelen sismik büyütme, (1) kaynak, (2) sismik ışının izlediği yol ve (3) zemin etkisiyle kontrol edilir. Yıkıcı depremlere bakıldığında, dış bükey ve karmaşık jeolojik yapıların olduğu yerlerde büyük hasarların olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, bu hasarlar topografya etkisi;

topografik rölyef (tepelere, sırtlar, kanyon, uçurumlar ve eğimler) ve yeraltında bulunan üç boyutlu yapılarla ilişkilidir (Assimaki 2004).

Bu çalışmada, temel topografyasının, soğrulma ve dispersiyonun yüzey dalgası üzerindeki etkileri, 3B ışın izleme yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Modelin amacı kaynaktan (Q noktası) çıkan sismik ışının temel topografyaya (A noktası) çarpıp yansıyarak yer yüzüne (C) çıkan ışının QAC (Şekil 1) yolunu izleyerek kat ettikleri mesafeyi ve seyahat zamanı bulmaktır ve bu hesaplamalar ise aşağıdaki formüllerle yapılmaktadır. Şekil 1’de gösterilen yeşil düzlem temel topografyayı göstermektedir. Kahverengi düzlem ise yeryüzünü temsil etmektedir. Mavi düzlem ise ışının içinde ilerlediği BH kalınlığındaki ortamı göstermektedir. β açısı topografyanın doğrultusunu α açısı ise topografyanın eğimini göstermektedir. Işın izleme yöntemiyle sismik ışının izlediği yol ve seyahat zamanı Şekil 1 yardımıyla aşağıdaki bağıntılar sayesinde hesaplanmıştır (Can, 2008).

$$AB = \frac{BH}{\sin \alpha} \quad 1$$

$$\frac{AC}{\sin \theta} = \frac{AC}{\sin 2\theta} \quad 2$$

$$AC = \frac{BH}{2 \sin \alpha \cos \theta} \quad 3$$

$$AR = OP \tan \beta + BH \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} \quad 4$$

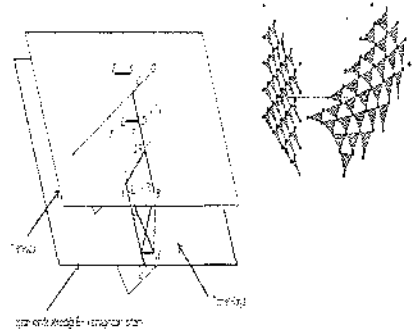
$$CD = AC \cos 2\theta = BH \frac{\cos 2\theta}{2 \sin \alpha \cos \theta} \quad 5$$

$$DE = \frac{BH}{\tan \delta} = BH \cos \beta \tan \alpha$$

$$AQ = QR - AR \quad 6$$

$$t = \frac{(AQ - AC)}{V} \quad 7$$

Modelleme üç aşamada gerçekleştirilmiştir. (1) temel topografyasının oluşturulması. (2) Model bağıntılarının kurulması (3) Modele soğrulma ve dispersiyon terimlerinin (Ünüçök, 2007) eklenmesi



Şekil 1 Model bağıntıları için kurulan trigonometri

2 MODELİN GERÇEK PATLATMA VERİSİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Ankara Üniversitesi ve TKİ Genel Müdürlüğü arasında imzalanarak gerçekleştirilen 2005–2006 projesi kapsamında TKİ GELİ Eskişehir maden ocağının yanında bulunan Yeşilbağcılar beldesinden elde edilen veriler bu çalışmada kullanılmıştır.

2.1 Veri Toplama Yöntemi

Patlatma kaynaklı titreşimler 2 adet İSTANTEL MINIMATE Plus (MM Plus) Marka titreşim ölçer ile kayıt edilmiştir. Klasik veri toplama yönteminden farklı olarak bu iki titreşim ölçer, Radyo-komünikasyon cihazlarından oluşan bir sistem ile beraber kullanılmıştır.

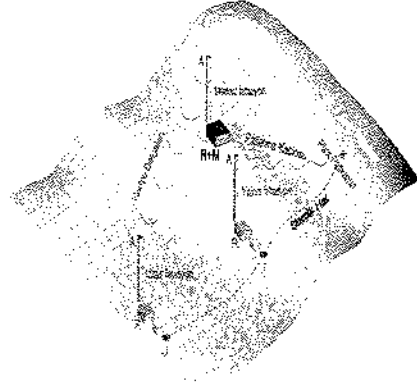
Kullanılan sistem bir manyeto ve üç adet radyo-iletişim cihazından oluşmaktadır (Şekil 2). Şekil 2’de gösterildiği gibi Merkez istasyonda bulunan manyetonun bir çıkışı ateşlemeyi

sağlarken, diğer çıkışı ateşleme anını kendisine bağlı R olarak adlandırılan birinci radyo-komünikasyon cihazına bildirir. Birinci radyo-komünikasyon cihazı ise ateşleme anını yakın ve uzak istasyonlarda bulunan Şekil 2'de R olarak gösterilmiş olan ikinci ve üçüncü radyo-komünikasyon cihazlarına iletir. İkinci radyo-komünikasyon cihazı ateşleme anını kendisine bağlı birinci InstanTEL MM Plus (K olarak gösterilmiştir) cihazının dış ateşlemesine (External Trigger) iletir ve kaydı başlatır. Üçüncü radyo-komünikasyon cihazı ise ateşleme anını kendisine bağlı ikinci InstanTEL MM Plus (K olarak gösterilmiştir) cihazının dış ateşlemesine (External Trigger) iletir ve kaydı başlatır (Aldaş vd, 2005). Amaç ateşleme yapıldığı anda her iki InstanTEL MM Plus cihazının aynı anda kayda geçmesini sağlamaktır. Birinci radyo-komünikasyon cihazının kendisine bağlı manyetodan aldığı ateşleme anını diğer radyo-komünikasyon cihazlarına iletmesi ve diğer radyo-komünikasyon cihazlarının ise kendilerine bağlı InstanTEL MM Plus cihazlarını tetiklemeleri sırasında oluşacak zaman gecikmeleri 500 ms'yi aşmamaktadır. Ayrıca ikinci ve üçüncü radyo-komünikasyon cihazlarının kendilerine bağlı InstanTEL MM Plus cihazlarını tetiklemeleri sırasında oluşacak zaman gecikmelerindeki saçılma miktarı 50 ms'yi aşmaz. Buradaki amaç sismik hız hesaplamalarındaki ölçüm hatalarının azaltılmaya çalışılmasıdır (Aldaş and Ecevitoglu 2008).

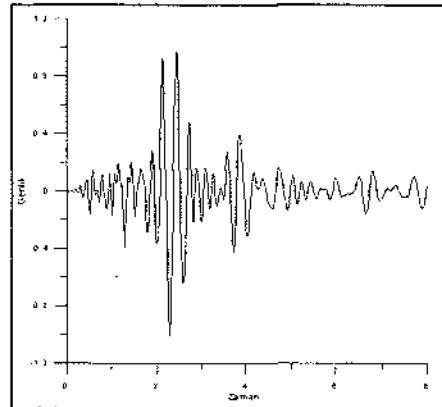
3 MODEL UYGULAMASI

Sismik sinyaller 3-bileşende (Transversal-Enine, Vertical-Düşey, Longitudinal-Boyuna) kaydedilmiştir. Modellemede

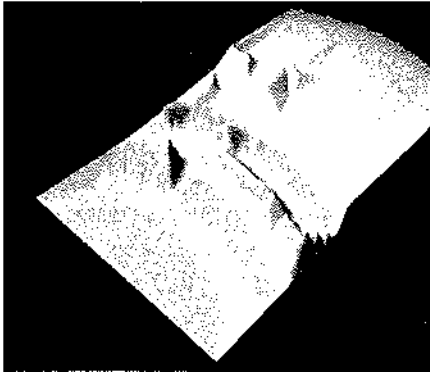
enine bileşen kullanılmıştır. Dispersif faktör 100, sıfır frekansdaki hız 600, sonsuz frekanstaki hız 400 ve sismik kalite faktörü 10 seçilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda FORTRAN'da yazılan interaktif programla oluşturulan topografyaya Şekil 3'deki patlatma sinyali kullanılmaktadır ve Şekil 4'de gösterilen topografyaya gönderilmektedir. Işınlarmın temel topografyasına çarptığı noktalar ise Şekil 5'te gösterilmektedir. Topografyaya çarpan ışınların yüzeyde vurduğu yerleri ise Şekil 6'da gösterilmektedir.



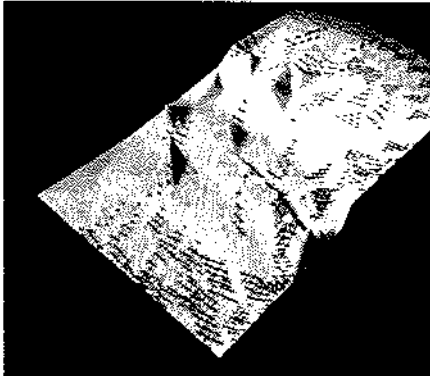
Şekil 2 Radyo-iletişim sistemi (Aldaş vd, 2005)



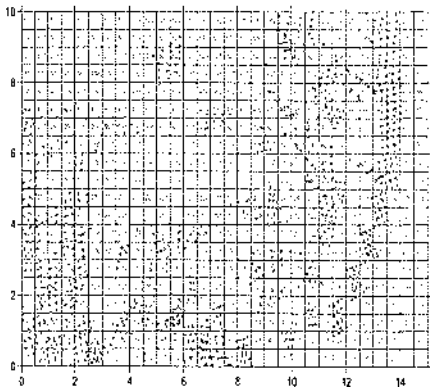
Şekil 3 Patlatma sinyali



Şekil 4 Birinci modelde kullanılan topografya

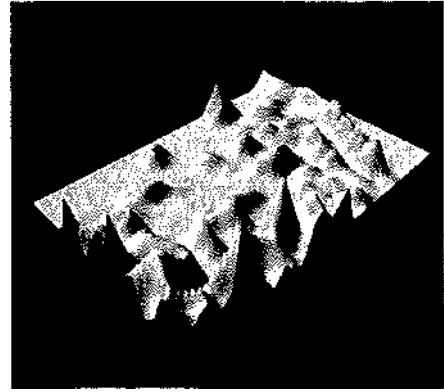


Şekil 5 Işınlamın topografyaya vurduğu noktalar



Şekil 6 Işınlamın yüzeye çarptığı noktalar

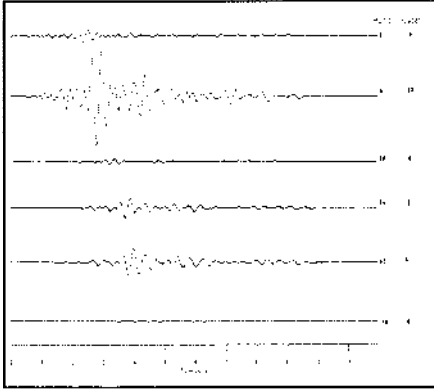
Temel topografyasına çarpıp yüzeye vuran ışınlar, temel topografyasındaki yapılardan dolayı yüzeyde saçılarak çoğunlukla yüzeyin sol alt tarafında yığılmaktadır, Şekil 7'de ise yığılmaların olduğu yerdeki parçacık hızlarının yüksek olduğu rahatlıkla görülmektedir.



Şekil 7 Yeraltındaki topografyaya çarpıp yüzeyde yoğunlaşan ışınların parçacık Hızı

Yüzeyi vuran ışınlar incelenirse (Şekil 6) en çok yansımamın isabet ettiği hücrelerden biri 6 numaralı hücredir ve 14 adet yansımaya isabet etmiştir. Şekil 7'ye bakılırsa 6 numaralı hücreden geçen dalganın diğer hücrelerden geçen dalgalara oranla genliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. 11 ve 24 numaralı hücreye isabet eden bir yansımaya yoktur. Ancak mesafe arttıkça 24 numaralı hücredeki dalganın soğrulma ve dispersiyon sonucunda dalga biçimi değişmiş ve bununla birlikte dispersiyondan dolayı sinyal 11 numaralı hücredeki sinyale göre zamanda yayılmış ve sinyalin düşük frekanslı bileşenleri daha erken gelmeye başlamıştır (Şekil 8). 16 ve 17 numaralı hücrelerde ise sırasıyla 5, 8 adet yansımaya isabet

etmiştir. 17 numaralı hücredeki dalganın genliği yansımaların yapıcı girişim yapmasından dolayı 16 numaradaki dalganın genliğinden büyüktür. Mesafe arttıkça 17 numaralı hücredeki dalganın genliği azalması gerekirken yansımaların yapıcı girişiminden dolayı dalganın genliği patlatma noktasına yakın olan 1 numaralı hücredeki dalganın genliğinden yüksektir.



Şekil 8 Seçilen hücrelerdeki dalga biçimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, deprem veya patlatmalar ile oluşan yüzey dalgalarının davranışını modellemektir. Yüzey dalgalarının Absorptif ve Dispersif özelliklerinin iyi kavranması, temel topografyasının ve zemin özelliklerinin iyi bilinmesi ve bu üç özelliğin birlikte çalışmasıyla dalga biçiminde değişimler meydana gelir. Meydana gelecek değişimlerin önceden bilinmesi, bunların yerleşim birimleri üzerinde yaratacağı etkileri önceden kestirilmesinde ve gerekli önlemlerin alınmasında önem taşımaktadır.

Zemin büyütmesini yüzey dalgalarıyla belirlerken, soğrulmanın ve dispersiyonun dalga yapısı üzerindeki

etkileri ve temel topografyasının gelen dalgalarla etkileşimi (saçılmalar, yansımalar, tekrarlı yansımalar, vb) mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapılan uygulama ve verilen örnekler göstermiştir ki, basit şekilli bir topografya bile bazen çok karışık bir büyütme paterni gösterebilmektedir. Sismik dalgaların yansımından dolayı bu dalgalar yüzeyde bir noktada odaklanmaktadır. Zemin büyütmesi incelenirken mutlaka dispersiyon-soğrulma, temel topografyasının şekli ve gelen dalganın topografya ile etkileşimi göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aldaş G.U., Ecevitoglu B. 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibration. Journal of Applied Geophysics. Vol. 66, p25-30
- Aldaş, G.U., Ecevitoglu, B., Ünüçok, B., Can, A.Z. ve Sağol, Ö., 2006. TKİ GELİ Müessesesi Sahalarında (Eskihisar-İkizköy-Sekköy) Yapılan Patlatmaların Çevre Yerleşim Yerlerine Olan Sarsıntı Etkilerinin En Aza İndirilmesine Yönelik Ek Araştırma Final Raporu. s9-12, Ankara.
- Aldaş, G.U., Ecevitoglu, B., Ünüçok, B.ve Can, A.Z. 2005. TKİ GELİ Müessesesi, Muğla İli Yatağan İlçesi Eskihisar Linyit Ocağındaki Patlatmaların Çevre Yerleşim Yerlerine Olan Sarsıntı Etkilerinin Belirlenmesi ve Ez Aza İndirilmesi için Gerekli Çalışmaların Yapılmasına Yönelik Araştırma Ara Raporu . p. 1-19, Ankara.
- Assimaki, D., 2004 Topography Effects in The 1999 Athens

Earthquake:Engineering Issues in Seismology. Massachusetts Institute of Technology(Ph.D Thesis)

Can.,A.Z., 2008, Yüzey Dalgaları / Temel Kaya Etkilşimi Ve 3-B Sismik Işın İzleme Yöntemiyle Zemin Büyütmesi HaritalarınınOluşturu

lması.,Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi, 126 s., Ankara.

Ünüçok, B., 2007, Soğrulma ve Dispersiyonun Yüzey Dalgalarına Etkisi. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi, 80 s., Ankara.

İstanbul'da Mekanize Tünel Kazısına Bir Bakış ve Bunların Maden Mühendisliği ile Olan İlişkileri

Mechanized Tunnel Boring in Istanbul and its Relation with Mining Engineering Profession

N. Bilgin, H. Çopur, C. Balcı

Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul-Türkiye

ÖZET Türkiye'de ve Dünya'da gerek ulaşım gerekse de altyapılar için tünel açma işleri son senelerde önemli ölçülerde artmıştır. Avrupa'da gelecek on yılda 100 milyar Avro'luk bir yatırımın bu işlere ayrılacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmalara tipik bir örnek 2 Milyar Avro'luk Marmaray Projesi'dir. İstanbul'da inşaat sektöründe tünel açma projeleri inanılmayacak hızda gelişme göstermektedir. 2009 yılında İstanbul'da 23 adet TBM (Tam Cepheli Tünel Açma Makinesi) kullanılmış veya kullanımda olacaktır. Bu projelerde maden mühendislerinin yapacağı birçok şey vardır ve ekipmanların çoğu inşaat sektörü ile müşterek kullanıma açıktır. İşte bu çerçevede İstanbul'daki mekanize tünel projelerinden bazı örnekler verilecek, maden ve inşaat mühendisliği dalında bir ortak uygulama ile ilgili sayısal bir uygulama açıklanacaktır.

ABSTRACT Mechanized tunnel boring for underground constructions has being considerably increased in Turkey and in the World. It is estimated that more than 100 billion Euros will be spent in Europe for Underground Construction in the next 10 years. A typical example to mega projects is Marmaray Project with 2 Billion Euros of cost. Tunnelling projects in Istanbul are also increasing incredibly. 23 TBM (Full Face Tunnel Boring Machines) will be working in Istanbul in 2009. Mining and civil engineers have several topics in common to be executed and several equipment are in common use. Some examples from recent projects are presented with a numerical example showing how mining engineering fields have common applications with civil engineering.

1 GİRİŞ

Artan nüfus ve insanların artan refah ihtiyacı her türlü hammadde ve

altyapının da daha hızlı ve daha fazla miktarda üretimini gerektirmektedir. Özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra

1950'li yıllarda hammadde ve enerji (özellikle kömür) üretimini arttırmak amacıyla mekanize kazı sistemlerinin gelişimi hız kazanmıştır. Öncelikle kömür sabanları, sürekli kazıcılar ve kollu galeri açma makineleri, daha sonra da kesici-yükleyici makineler gelişim göstermiştir.

Bu makinelerin verimlerinin artırılması amacıyla, ilk önce İngiltere'de National Coal Board Mining Research Establishment bünyesinde araştırma-geliştirme çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmalar Kazı Mekanikliği Bilim Dalı'nın temellerinin atılmasını sağlamıştır. Bu çalışmaları, yine İngiltere'deki üniversitelerin Maden Mühendisliği Bölümleri'nde yapılan araştırmalar izlemiştir (Binns, Potts, 1955). İngiltere'de 1990'lı yıllara kadar süren bu çalışmalar öncelikle kayaç-keski ilişkisini ve etkileşimini anlamaya ve daha sonraları makinelerin kesici kafa-tambur tasarımlarının kazı mekanikliği prensiplerine uyarlanmasına yönelik temel çalışmalardır. 1980'li yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan US Bureau of Mines, kazı mekanikliği alanında çalışmalar yaparak, kazı mekanikliği bilim dalındaki bilgi birikimini arttırmıştır.

Bu makinelerin başarılı uygulamaları sonucunda özellikle tünelcilik sektöründe kullanılan, ama madencilik sektöründe de uygulama alanı bulan, Tam Cephe Tünel Açma Makinesi (TBM) de geliştirilmiştir. Modern anlamdaki ilk TBM ve sert kaya kesme yeteneği olan modern ilk disk keskiçiler 1950'li yılların başında Amerikalı bir maden mühendisi olan James S. Robbins tarafından imal edilmiş ve başarılı uygulamalar ile kendini kanıtlamıştır (Maidl vd, 2008). Bu keşiften sonra, o güne kadar sadece yumuşak ve stabil

kayaçların kazısında kullanılabilen kazı makinelerinin sert kayaçların kazısında da kullanılabileceği görülmüş ve TBM kullanımını gittikçe artmıştır. Bu artışa paralel olarak TBM'lerin yapısında da önemli gelişmeler olmuştur.

Özellikle yeraltında işletilebilecek olan madenlere daha hızlı ulaşabilmek için çözüm arayışları TBM'lerin madencilik sektöründe de kullanımına yol açmıştır. TBM'lerin madencilik sektöründe ilk kullanımı Robbins marka bir TBM'in 1957'de Amerika Birleşik Devletleri'nde Steep Rock Demir Madeni'nde ve daha sonra Kanada'daki Thetford Mines'da olmuştur. Son yıllarda gerçekleştirilen Arizona'daki San Manuel Bakır Madeni ve Montana'daki Stillwater Platin ve Paladyum Madeni'nde yapılan uygulamalar bu başarının daha yüksek olabileceğini göstermişlerdir (Cigla vd, 2001). Ayrıca, İngiltere'deki kömür madenlerinde de birçok başarılı TBM uygulamaları olmuştur (Tunncliffe, 1982).

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde, kazı mekanikliği alanındaki çalışmalar 1980'li yılların ikinci yarısında "Küçük Ölçekli Kazı Deney Seti"nin kurulması ile başlamıştır. Bu deney seti ile kollu galeri açma makinesi ile kazı yapılan birçok maden ve tünel uygulamalarına önemli katkılar sağlanmıştır (Bilgin vd, 1988, 1990). Ancak, 1990'da İstanbul Baltalimanı Atık Su Projesi kapsamında Türkiye'de ilk kez TBM kullanılması ve bu projede makinenin başarısız bir performans sergilemesi ile "Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Deney Seti"ne ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bunun üzerine, 1990'lı yılların ikinci yarısında "Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Deney Seti"nin kurulması ile Türkiye'de tünelcilik endüstrisinde TBM ile kazı yapılan birçok

projenin başarılı sonuçlara ulaşmasında ve kazı mekaniği alanında yeni bilgiler üretilmesine katkılar sağlanmıştır ve bu katkılar günümüze kadar devam ederek sürmektedir (Eskikaya vd, 2000; Bilgin vd, 2007).

2 İSTANBUL'DA MEKANİZE TUNEL AÇMA İLE İLGİLİ SON UYGULAMALAR

İstanbul'un sürekli artan nüfusu ve altyapı ihtiyacı, Baltalimanı Atık Su Projesi'nde 1990'da ilk kez kullanılan TBM'lerin uygulamasını günümüzde oldukça arttırmıştır. İstanbul'da şu anda uygulama aşamasında olan TBM ile kazı yapılan tünel projelerinin bir listesi Tablo 1'de verilmektedir. 2009 yılında İstanbul'da 23 adet TBM kullanılmış veya kullanımda olacaktır. Projeler ağırlıklı olarak metro tünelleri ve atık su tünellerini kapsamaktadır. Kullanılan TBM'lerin çoğu EPB (pasa basınçlı) tiptedirler.

EPB-TBM'ler ile zemin kazılarında yeryüzü oturmalarının önüne geçebilmek için kazı aynasına basınç vermek için köpük ve polimer püskürtülerek

kazılan pasa ile karışması sağlanır. Bu karışımın kazı haznesinden vidalı konveyör ile alınma hızı ve kazı hızı arasındaki denge kontrol edilerek, arazi ve su basınçlarını karşılamak - dengede tutabilmek ve dolayısı ile stabil bir kazı aynası temin etmek için kazı aynasına basınç verilir. Sert kaya formasyonlarda ise, bu makineler açık modda, diğer bir deyişle kazı aynasına herhangi bir basınç vermeden kullanılabilirler; bu durumda pasa nakli için vidalı konveyör yerine kuyruk bandı kullanılmaktadır.

3 İSTANBUL'DAKİ MEKANİZE TUNEL AÇMA UYGULAMALARI VE İTÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜNÜN KATKILARI

Disk keskinlerinin ve kama uçlu keskinlerin test edilebildiği İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde bulunan tam boyutlu doğrusal kazı seti Şekil 1'de verilmiştir. Deney setinde 0,7 x 0,7 x 1 m boyutlarına kadar kaya blokları test edilebilmektedir. Birim deformasyon ölçerlerle donatılmış, özel yapım bir alüminyum dinamometre yardımı ile 50 ton'a kadar keski kuvvetleri ölçülebilmektedir. Veri alma

Tablo 1. İstanbul'da Şu Anda TBM Kullanılan Tünel Projeleri

Tünel Açma Nedeni	Rot	İşveren / Yüklenici	Tünel Uzunluğu (km)	Çap (m)	Kullanılan Makine ve Adedi	Not
Raylı sistem metro	Otogar - Bağcılar	İBB - İETT Doğuş - Golemak	12	6	1 Herrenknecht EPB-TBM 1 Lovat EPB-TBM	Kazı devam ediyor
Raylı sistem metro	Bağcılar - İstiklal Olimpiyat Köyü	İBB - İETT Doğuş - Golemak	15	6	2 Lovat EPB-TBM	Makineler kuruldu Kazı başlıyor
Raylı sistem metro	Kağıthane - Yenikapı Sütlüce-Usküdar Aynalık Çeşme	DLH Taisei - Gama Narol	2x13,5 km	7,6	3 Hitachi Slurry-TBM 1 Lovat EPB-TBM 1 Herrenknecht EPB-TBM	18,7 km TBM ile açılacak diğer kısmı batıma tünel yaklaşım tünelleri NATM kazı devam ediyor
Raylı sistem metro	Kadıköy - Kozyatağı	İBB - İETT Anadoluray	1x9	6,57	2 Herrenknecht EPB-TBM (Yaklaşım tünellerinde) 2 WAV 175 Roadheader	Kazı devam ediyor, yaklaşım ve istasyon tünelleri NATM ile açılıyor
Raylı sistem metro	Kozyatağı - Kartal	İBB - İETT Aguasva Onaklın	2x12,5	6,57	2 Herrenknecht EPB-TBM	Makine uşa halinde
Melen Su İletim	İstanbul Boğazı Geçişi	DSİ - STFA	1,5	6,15	1 Herrenknecht EPB-TBM	Kazı devam ediyor
Atık su	Beykoz-Karacak	İSKİ - NTF	7	3	1 Robbins EPB-TBM	Kazı devam ediyor
Atık su	Kümburgaz-Silivri	İSKİ Ozka-Kalyonca	10,5	3	1 Herrenknecht EPB-TBM	Makine uşa halinde
Atık su	Beylerbeyi-Kurumsa	İSKİ - BE-BA-SE	??	??	1 Lovat EPB-TBM	Kazı devam ediyor

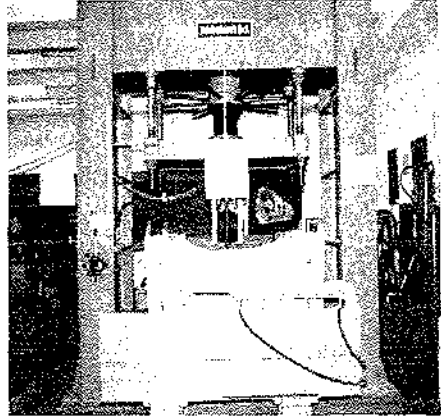
sistemi ile her bir saniyede 2000 veri alınabilmekte böylelikle kayacın kopma / kırılma mekanizması çok yakından incelenebilmektedir. Hidrolik silindirler vasıtasıyla kaya bloğunu yatay ve keski-keski tutucu dikey olarak hareket ettirilebilmekte, böylelikle keskiiler arası mesafe ve kesme derinliği istenilen değere ayarlanabilmektedir (Bilgin vd, 1999).

3.1 İstanbul Tuzla-Dragos Atık Su Tüneli TBM Uygulaması

İstanbul Asya yakası (Tuzla-Dragos) atık su tünellerinde Robbins marka TBM yaklaşık 1650 m'lik kısmın kazısında kullanılmıştır. Kullanılan makine özellikleri şu şekilde sıralanabilir: makine çapı 5 m, disk sayısı 36, kafa dönüş hızı 6 dev/dak, maksimum baskı 784 ton, kesici kafa gücü 600 Hp. Tünel güzergahından elde edilen blok kaya numuneleri üzerinde tam boyutlu kesme deneyleri ve performans tahmini yapılmıştır, operatörün uygulaması gereken optimum baskı kuvvetleri belirlenmiştir. Tünel kazısı esnasında da makine performansı yerinde incelenerek kaydedilmiş, gerçekleşen ve tahmin edilen performans değerleri karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen ile tünel açımı sırasında kaydedilen net kazı hızlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür (Bilgin vd., 1999). Bu tünelin kazısında ortalama aylık ilerleme 135 m, en iyi aylık ilerleme 253 m, ortalama günlük ilerleme 6,2 m, en iyi günlük ilerleme 15,2 m ve disk sarfiyatı 4\$/m³ olmuştur (Bilgin vd, 1999).

3.2 Kadıköy - Kozyatağı Metro Tüneli TBM Uygulaması

İstanbul'daki Kadıköy-Kozyatağı Metro Tünel hattında (6 m çap ve 2x22=44 km



Şekil 1. Tam boyutlu kazı deney seti

uzunluk) geçilecek olan formasyonlardan alınan kaya blokları üzerinde 330 mm çapında bir sabit kesit alanlı (CCS) disk keski kullanılarak tam boyutlu kesme deneyleri yapılmıştır (Bilgin vd, 2006a). Deney sonuçları, makine güç-tork-baskı gereksinimlerini belirlemeye ve net kazı hızlarının tahminine yönelik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar TBM'leri üretecek olan firmaya (Herrenknecht) gönderilmiştir. Proje için sahaya gönderilen TBM'lerin makine güç-tork-baskı kapasitelerinin ve gerçekleşen kazı hızlarının, tam boyutlu kazı deneyleri ile belirlenen değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür (Bilgin vd, 2008a).

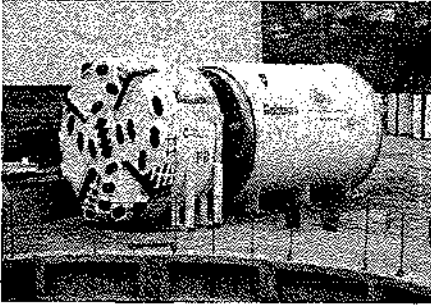
3.3 Otogar - Esenler Metro Tünelleri TBM Uygulaması

Uzunluğu 27 km olan metro tünelleri 4 adet EPB-TBM ile açılmaktadır. Güzergahın büyük bir bölümünü kapsayan fosilli kireçtaşı blok numunesi üzerinde disk keski kullanılarak deneyler ve kazı hızı tahmini yapılmıştır (Bilgin vd, 2008b). Deney sonuçları ile karşılaştırmak üzere, arazide gerçekleşen kazı hızları ve makine performans verileri toplanmaktadır.

4 KAMA UÇLU KESKİLERİN TBM'LERDE KULLANILMASI

Kama uçlu keski ler maden mekanizasyonunda, kesici yükleyici, saban ve kollu galeri açma makinelerinde çokça kullanılır ve bu konuda geliştirilen teoriler kazı mekaniğinin temelini oluşturmaktadır (Bilgin vd, 2006b). Aşağıdaki örnek ise inşaat sektöründe mekanize tünel açmanın vazgeçilmez bir parçası olan TBM'lerde, kesici kafada tasarım değişikliği yapılırken kazı mekaniğinden nasıl yararlandığına tipik bir örnek olarak verilmektedir.

Disk keski ler TBM'lerde en çok kullanılan keski türleridir. Şekil 2'de Beykoz -Kavacık Atık Su Tünelinde kullanılan, disk keski lerle donatılmış Robbins marka TBM görülmektedir. Makinenin bazı teknik özellikleri Tablo 2'deki gibidir.

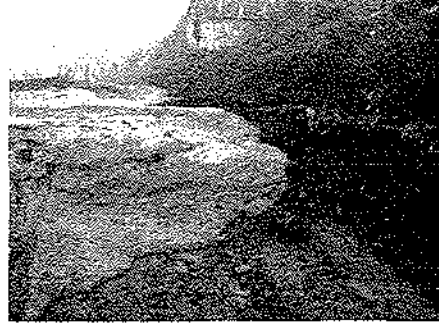


Şekil 2. Beykoz-Kavacık Atık Su Tünelinde kullanılan TBM

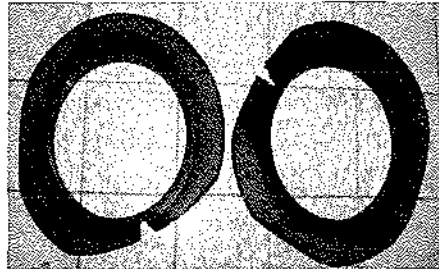
Tablo 2. Beykoz- Kavacık Atık Su Tünelinde Kullanılan Robbins Marka TBM'in Bazı Teknik Özellikleri

Çap	3,17 m
Disk Sayısı	23, CCS (Sabit Kesit Alanlı)
Toplam Makine Gücü	400 kW
Kesme Gücü	250 kW yumuşak ve akıcı formasyonlarda
Tork	4,3 rpm - 527 kN.m 8,5 rpm - 254 kN.m
TBM'in İtme Kuvveti Kapasitesi	995 ton
Hidrolik Motorların Maks. Çalışma Basıncı	340 bar

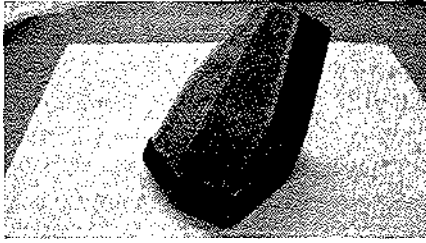
Atık su tünellerinin açıldığı Beykoz-Kavacık arasındaki Jeoloji son derece karmaşık bir yapıya sahiptir. Bölgede, çamurtaşı, kilitaşı, kalker, kumtaşı ve kuvarsit gibi kayaç formasyonlarına rastlanmaktadır (Güclücan vd, 2008; Güclücan vd, 2007). Disk keski ler sert formasyonlarda beklenildiği performanslara ulaşmışlarsa da, özellikle yumuşak ve çamurlu formasyonlarda diskler dönmekte ve yerel olarak aşınmaktadır (Şekil 3, 4). Bu nedenle disklerin Şekil 5'de verilen özellikteki kama uçlu keski lerle değiştirilmesine karar verilmiştir. TBM de disk keski lerin kama uçlu keski lerle değiştirilmesi Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu bölümde kesici kafada yapılan değişikliğin kazı mekaniği bakımından irdelenmesi yapılacaktır.



Şekil 3. Disklerin aşırı aşınmasına neden olan çamurlu formasyon

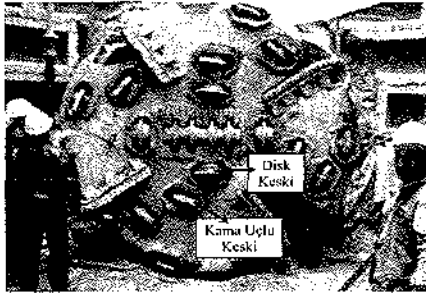


Şekil 4.Çamurlu formasyonda aşınan diskler



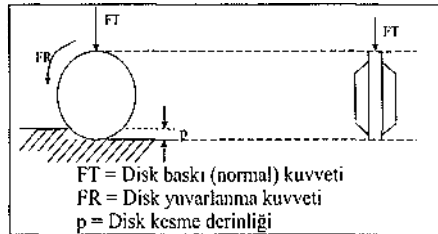
Şekil 5. Disk keskilerle değiştirilen kama uçlu keski

Kesici kafadaki toplam disk keski sayısı 23 olduğundan ve kama uçlu keski de disklerin yuvalarına yerleştirildiğinden dolayı, kama uçlu keski sayısı da 23'dür. Disk keski kullanıldığında keski arası mesafe ortalama (yarıçap / keski sayısı = 158,5 / 23 = 7 cm) olmaktadır. Ancak, genişliği 5 cm olan kama uçlu keski kullanıldığında ortalama keski arası mesafe (7 cm - 5 cm = 2 cm) olmaktadır.



Şekil 6. Disklerin kama uçlu keskiyle değiştirilmesi

Disk keskiyle ilgili temel kavramlar, Şekil 7'de açıklanmıştır.



Şekil 7. Disk keskiyle ilgili temel kavramlar

TBM'in toplam arına itme (baskı) kuvveti =

$$\sum_{i=1}^n FT_i$$

TBM'in toplam torku =

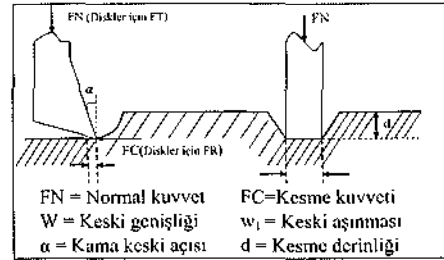
$$\sum_{i=1}^n FR_i \cdot r_i$$

n = disk sayısı

r_i = Her bir diskin TBM kesici kafasının merkezine olan mesafesi.

Disk keski için ortalama $FT/FR = 5 \sim 7$ arasında değiştiği birçok araştırmacı tarafından deneysel çalışmalarla ortaya konulmuştur (Bilgin, 1977).

Kama uçlu keski için temel kavramları, Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Kama keski için temel kavramları

TBM'in arına itme kuvveti =

$$\sum_{i=1}^n FN_i$$

TBM'in torku =

$$\sum_{i=1}^n FC_i \cdot r_i$$

Körelmemiş kama uçlu keski için $[FN/FC = 0,5 (w_1=0 \text{ için})]$ olduğu bilinmektedir.

Kama uçlu keski çabuk körelmek için Şekil 5'den de görüldüğü gibi belirli bir körelme yüzeyiyle imal edilirler. Örnekte körelme yüzeyi 3 mm'dir.

Örnekte $[FN/FC = 2 (w_1 \geq 3 \text{ mm için})]$ olmaktadır (Bilgin, 1977).

Kama uçlu keskiiler kullanıldığında operatörün uygulayabileceği, emniyet sınırı içersindeki maksimum itme kuvveti aşağıdaki gibi bulunur:

Kesici kafa dönüş hızı $N = 4,3$ dev/dak olduğunda TBM'in uygulayabileceği maksimum tork değerinin 527 kN.m olacağı Tablo 2'de verilmektedir. Buna göre kesici kafaya uygulanabilecek maksimum kesme kuvveti FC aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sum_{i=1}^{23} FC \times \frac{D}{4} = 527 \text{ kN} \cdot m$$

Disklerin çıkarıldığı yerlere kama uçlar (keskiiler) konulmuştur, dolayısı ile kama sayısı da 23'dür. D ise TBM'in çapıdır. Buna göre,

$$\sum_{i=1}^{23} FC = \frac{527 \text{ kNxm} \times 4}{3.17 \text{ m}}$$

$$\sum_{i=1}^{23} FC = 665 \text{ kN}$$

Kama uçlu keskiiler için $[FN/FC = 2$ ($w_1 \geq 3$ mm için)] olduğundan,

$$2 \times \sum_{i=1}^{23} FC = \sum_{i=1}^{23} FN$$

olmaktadır. TBM'in kama uçlu keski kullanıldığında arına uygulayabileceği maksimum baskı (itme) kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\sum_{i=1}^{23} FN = 665 \text{ kN} \times 2 = 1330$$

Kama uçlu keskiiler kullanıldığında, operatörün arına uygulayacağı itme kuvvetinin 1330 kN'u aşmaması gerektiği hesaplanmıştır. Aksi takdirde TBM'in kullanım sorunları çıkacaktır. Bu hususa uygulama sırasında uyulmuş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

5 SONUÇLAR

Türkiye'de ve Dünya'da gerek ulaşım gerekse de altyapılar için tünel açma

işleri son senelerde önemli ölçülerde artmıştır. Bu projelerde maden mühendisinin yapacağı birçok şey vardır ve ekipmanların çoğu inşaat sektörü ile müşterek kullanıma açıktır. Tünel açma, kazı, havalandırma, emniyet ve pasa nakli yönünden madencilik faaliyetleri ile bire bir örtüşmesine rağmen, tünel projelerinde maden mühendisi istihdam etme zorunluluğu halen zorunlu hale getirilmemiştir. Bu husus gerçekleştiği takdirde sektörün önünün açılacağı görüşündeyiz.

Bu bildiriye İTÜ Maden mühendisliği bölümünde bulunan tam boyutlu kazı setinin uygulamaya katkıları özetlenmiş, kazı mekaniği temel prensiplerinin bir TBM'in kesici kafasında yapılması düşünülen değişikliğe nasıl uygulanacağı nümerik olarak verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına tünel kazısı sırasında uyulmuş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

TEŞEKKÜRLER

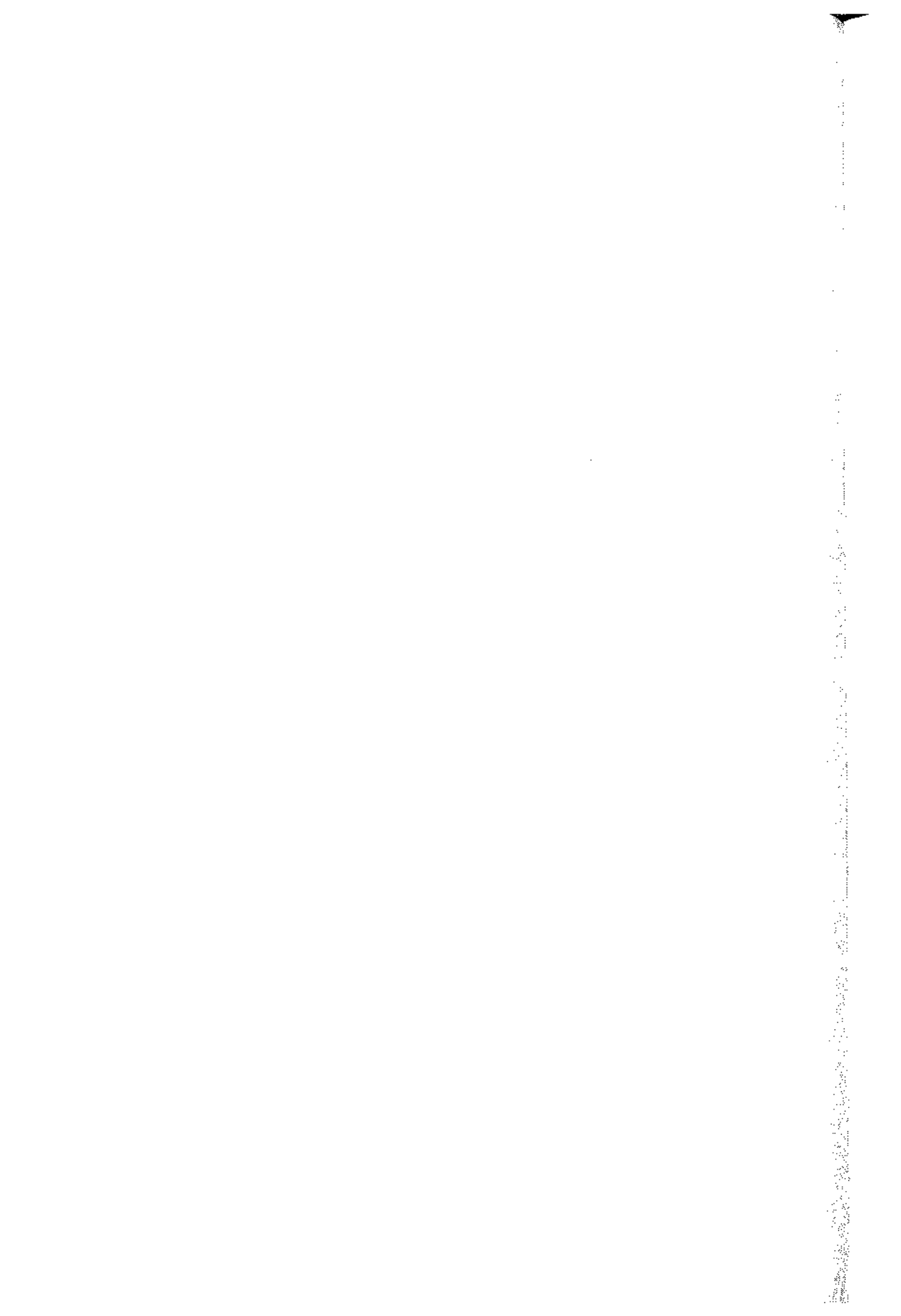
Bu çalışmada sunulan veriler, NTF İnşaat Tic. Ltd. Şti.'nin açtığı Beykoz-Kavacık'taki atıksu tünelinden alınmıştır. Çalışmanın yapılmasını sağlayan şirket yetkililerine teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

- Bilgin, N., 1977. "Investigation into the mechanical cutting characteristics of some medium and high strength rocks." Ph.D. Thesis, University of Newcastle Upon Tyne. 332 p.
- Bilgin, N., Seyrek, T. and Shahriar, K. 1988. Roadheader performance in Istanbul, Golden Horn clean-up contributes valuable data. Tunnels and Tunnelling, June, 41-44

- Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinc, E., Shahriar, K. 1990. Roadheaders glean valuable tips for İstanbul Metro. Tunnels and Tunnelling, Oct. 29-32
- Bilgin, N., Balci, C., Acaroglu, O., Tuncdemir, H., Eskikaya, S., Akgul, M., Algan, M., 1999. "The performance prediction of a TBM in Tuzla-Dragos Sewerage Tunnel." World Tunnel Congress, Challenges for the 21st Century, Balkema, Rotterdam, pp. 817-827.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balci, C., Feridunoğlu, C., Tumaç, D., 2006a. "TBM performans tahmini için Kadıköy-Kartal metro tünel hattındaki formasyonların kazılabilirlik özellikleri." İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Anadolu ray için hazırlanmış yayınlanmamış rapor, İstanbul.
- Bilgin, N., Demircin, M.A., Copur, H., Balci, C., Tuncdemir, H., Aycin, N., 2006b. "Dominant rock properties affecting the performance of conical cutters and the comparison of some experimental and theoretical results." Int J Rock Mech & Min.Sci., Vol. 43, pp.139-156.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balci, C., Tumaç, D., Düzyol, İ., 2007. "İstanbul'da yeraltı kazılarının dünü, bugünü ve İTÜ Kazı Mekanizasyonu Laboratuvarlarının gelişme öyküsü." I. Maden Makineleri Sempozyumu, Kütahya, ss. 115-124.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tumaç, D., Akgul, M., Yuksel, A., 2008a. "The selection of a TBM using full scale laboratory tests and comparison of measured and predicted performance values in İstanbul Kozyatagi-Kadıköy Metro Tunnels." Proc. 34th ITA-AITES World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and Safety, Sept. 22-24, Agra, India, Editors: Kanjlia, V.K., Ramamurthy, T., Wahi, P.P., Gupta, A.C., pp. 1509-1517.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balci, C., Tumaç, D., 2008b. "TBM Performans Tahmini İçin İstanbul Otogar Bağcılar Raylı Toplu Taşıma Sistemi Tünel Hattındaki Fosilli Kireçtaşı (Kırklareli Formasyonu) Kazılabilirlik Özellikleri." Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı'na Sunulan Rapor (yayınlanmamış)
- Binns, P.D., Potts, E.L.J., 1955. "The ploughability of coal seams." King's College Mining Society Journal, Vol.2, 69-88.
- Cigla, M., Yagiz, S., Ozdemir, L., 2001. "Application of Tunnel Boring Machines in Underground Mine Development." International Mining Congress. IMCET 2001, Ankara, Turkey.
- Eskikaya, S., Bilgin, N., Ozdemir, L., et al., 2000. "Development of Rapid Excavation Technologies for the Turkish Mining and Tunneling Industries." NATO TU-Excavation SfS Programme Project Report. İstanbul Technical University, Mining Eng. Dept., Preparation of Report by N. Bilgin and C. Balci, Sept., 172 p.
- Güçlücan, Z., Meriç, S., Gürsoy, C., Algan, M., Bilgin, N., Balci, C., Tumaç, D., 2007. "Zor zemin

- şartlarında Beykoz – Kavacık Atıksu Tünellerinde TBM uygulaması.” Ulaşımında Yeraltı Kazıları 2. Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Yayın No: 138. İTÜ Ayazağa Kampüsü, SDKM, İstanbul, Editörler: N. Bilgin, H. Çopur, C. Balcı, A.E. Yüce. ISBN 978-9944-89-400-5. 15-17 Kasım, ss. 83-91.
- Güçlücan, Z., Meriç, S., Palakçı, Y., Bilgin, N., Balcı, C., Tumaç, D., Algan, M., Namlı, M., Bilgin, A.R., 2008. “The use of a TBM in difficult ground conditions in İstanbul (Beykoz – Kavacık) Sewerage Tunnel.” Proc. 34th ITA-AITES World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and Safety, Sept. 22-24, Agra, India, Editors: Kanjlia, V.K., Ramamurthy, T., Wahi, P.P., Gupta, A.C., pp. 1630-1638.
- Maidl, B., Schmid, L., Ritz, W., Herrenknecht, M., 2008. “Hardrock Tunnel Boring Machines.” Ernst & Sohn, 343 pp.
- Tunncliffe, J.F., 1982. “Full-face tunnelling at Selby.” The Mining Engineer, Nov., pp. 247-257.



Tünellerde Kazı Öncesi ve Sonrası Belirlenen Kaya Kütle Sınıflarının Karşılaştırılması: Konakönü Tüneli Örneği, Trabzon

Comparison of the Rock Mass Classes, Determined Before and After Excavation in Tunnels: An Example of Konakönü Tunnel, Trabzon

A. Kaya

Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

F. Bulut

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Bu çalışmada, Karadeniz Sahil Yolu Projesi kapsamında çift tüp olarak volkanik kayaların içinde açılan Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli'nin sol tüp giriş portalı, pilot bölge seçilerek kazı öncesi ve sonrası belirlenen kaya kütle sınıfları karşılaştırılmıştır. Kazı hattında yer alan kayaların litolojisi ve kalitesi kısa aralıklarla sürekli değişiklik göstermektedir. Kazıdan önce sol tüp giriş portalında 1 adet sondaj yapılmış ve aglomera kesilmiştir. Kazı sırasında ise sırayla ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler, aglomera ve bazalt kesilmiştir. Yapılan detay çalışmalar sonucunda kazı öncesi karotlu sondajlara göre belirlenen kaya kütle sınıfının kazı aşamasında belirlenen kaya kütle sınıfıyla aynı olmadığı belirlenmiştir. Analitik yöntemlerle belirlenen destek elemanları, Phase² sonlu elemanlar programı ile denenerek yerdeğiştirmeleri ne kadar azalttığı araştırılmıştır. Projede giriş portalları için önerilen tahkimat tasarımı kazı aşamasında yeniden revize edilerek oluşacak stabilite ve deformasyon sorunları önlenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT In this study, rock mass classes were compared for the situation of before and after excavation on left tube's entrance portal of the Konakönü (Araklı-Trabzon) Tunnel was chosen as a pilot area, excavated in volcanic rocks for Blacksea Coast Highway Project Along the excavation line, the quality and lithology of rocks are change in short distances. Before excavation, 1 drilling was done and agglomerate was cut. During excavation, respectively weathered basaltic-andesitic tuffs, agglomerate and basalt were cut. It was shown that the rock mass classes determined before excavation according to drilling data and during excavation, weren't same by means

of detailed studies in tunnel. Support elements determined by analytical methods were tested by using Phase² finite element program to search how much they reduce the displacements. Thus, the support design, suggested for portals in the project, was revised again during excavation stage, and was tried to prevent the stability and deformation problems.

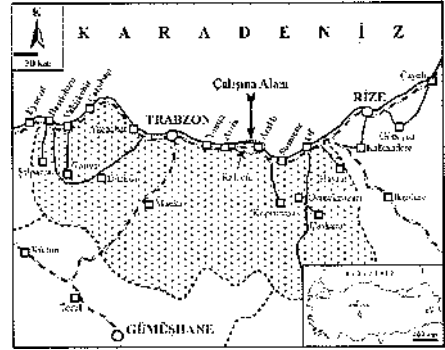
1 GİRİŞ

Tünelcilikte kazı öncesi hazırlanan projelerin kazı aşamasına geçildiğinde uygulanabilir olması hem maliyet hem de güvenlik açısından oldukça önemlidir. Proje aşamasında yapılacak jeoteknik çalışmalarla problemi çözecek kadar yeterli miktarda verinin toplanarak doğru şekilde mühendislik yorumunun yapılması yaşanacak mühendislik sorunlarının önüne geçecektir

Genellikle projelendirme aşamasında tünel güzergâhı boyunca yapılan karotlu sondajlardan elde edilen veriler kullanılarak kaya kütle kalitesi hakkında bilgiye ulaşılmaktadır. Ancak karışık jeolojik yapıya sahip örtülü sahalarda sadece geniş aralıklarla yapılan karotlu sondajlara göre değerlendirme yapmak kazı aşamasında beklenmedik sorunlarla karşılaşmaya neden olmaktadır. Böyle sahalarda tünel güzergâhı boyunca yapılması planlanan sondajların aralıkları kısa tutulmalı ve jeofizik çalışmalarla da desteklenmelidir. Başlangıçta masraflı görülen bu çalışmalar sayesinde kazı öncesi ve sonrası ortaya koyulan sonuçlar arasındaki tutarsızlıklar en aza indirgenecektir. Ayrıca kazı aşamasına geçildiğinde kazı ve tahkimat maliyetindeki değişikliklerin önüne geçilecektir.

Çalışma kapsamında, kazı öncesi ve sonrası belirlenen kaya kütle sınıflarını karşılaştırmak amacıyla Trabzon İli Araklı İlçesi'nde çift tüp olarak açılan Konakönü Tüneli'nin sol tüp giriş portalında detay çalışmalar yapılarak

farklılıkların olup olmadığı araştırılmıştır (Şekil 1).



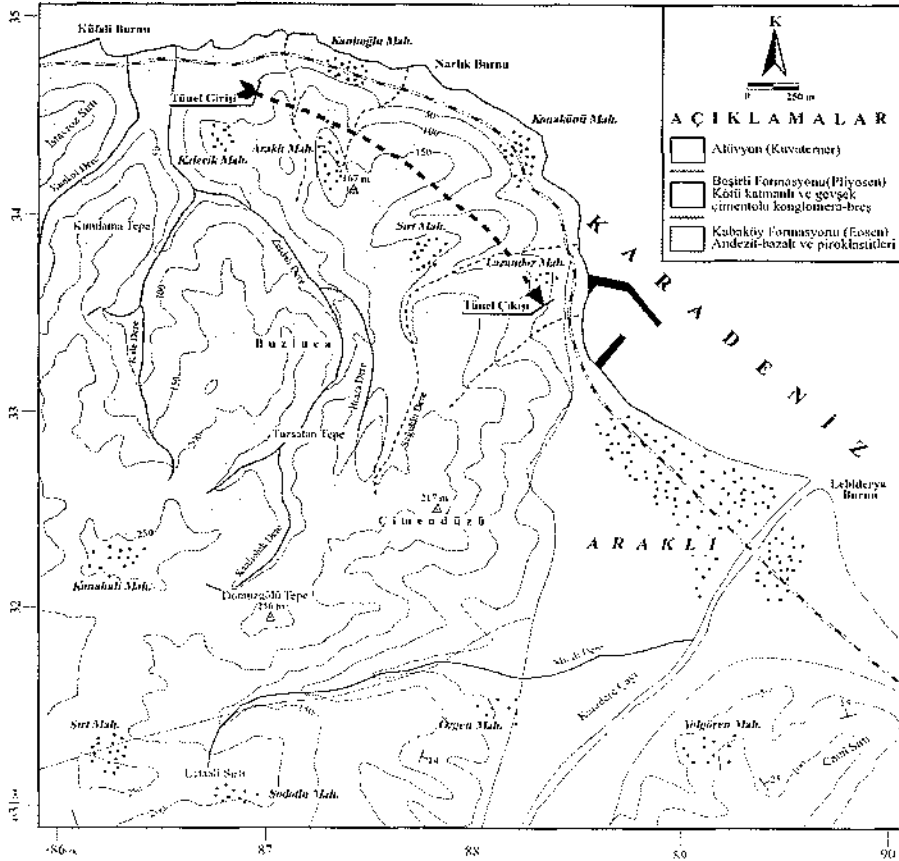
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Sınıflama yapılırken Q (Rock Mass Quality - Barton vd. 1974), RMR (Rock Mass Rating - Bieniawski 1989), GSI (Geological Strength Index - Hock vd. 2002) ve NATM (New Austrian Tunneling Method - ÖNORM B2203 1994) gibi ampirik yöntemlerden yararlanılmıştır. Analitik yöntem yardımıyla ampirik yöntemlerle belirlenen destek elemanlarının deplasmanları azaltıp azaltmadığı araştırılmıştır. Analitik analiz için "Phase²" (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar paket programından yararlanılmıştır. Bu program 2 boyutlu analiz yapmakta olup düzlemsel bozunum esasına dayanmaktadır. Kazıdan önce ve sonra belirlenen kaya kütleleri simüle edilerek gerilme-deformasyon analizleri yapılmıştır.

2 GENEL JEOLJİ

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Dağları (Pontid) tektonik birliğinin kuzey kesiminde yer almaktadır. Tünel güzergâhı boyunca geniş yayılımlar gösteren andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ilk olarak Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Formasyona ait tünel güzergâhındaki bazaltik kayalar oldukça sağlam bir yapıya sahip olup bazalt çakıllarından oluşan aglomeralar ise gevşek çimentoludur. Tüflerde ise genellikle hematitleşmeden dolayı oluşmuş killeşmeler yoğun şekilde gözlenmektedir.

Daha çok Araklı İlçesi'nde yüzeyleme veren Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu, Güven (1993) tarafından tanımlanmış ve tipik olarak Trabzon ili merkezindeki Beşirli Beldesi'nde en iyi görüldüğü için bu isimle adlandırılmıştır. Formasyon genellikle kötü katmanlı, gevşek çimentolu, polijenik heterojen konglomera ve breşten oluşmaktadır. Birim, yer yer iri taneli kumtaşları ile kalın ve kötü katmanlı kumlu kireçtaşı ve bazaltik aglomeradan oluşmaktadır. Beşirli Formasyonu, çalışma alanı içerisinde alttan Kabaköy Formasyonu ile, üstten ise alüvyonlar tarafından sınırlandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Konakönü Tüneli çevresine ait jeoloji haritası (Kaya 2008)

Çalışma alanındaki en genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ise Karadere Çayı vadisinde en yoğun şekilde gözlenmektedir. Birim, kumlu, siltli, çakıllı ve bloklu malzemelerden oluşmaktadır.

3 KAYA KÜTLE SINIFLARI

Bir tünel güzergâhının jeoteknik amaçlı incelenmesi düşünüldüğünde en çok sorulan sorulardan biri de kaç adet sondaj kuyusunun açılması gerektiğidir. Tünel güzergâhı boyunca en az 5 adet sondaj kuyusu açılmalıdır (Bulutlar 1983). Bunlardan ikisi tünelin giriş-çıkış portalında, diğer üçü de tünel eksenini boyunca açılır. Mostraların bol olduğu bir sahada yüzey çalışmalarıyla tünel ekseninde tek tip kayaç litolojisi belirlenmişse ilk aşamada tünel uzunluğuna bağlı kalmaksızın 5 adet sondaj açılır. Sondajlarla kesilen kaya kütleleri arasında jeolojik ve jeoteknik farklılıkların olup olmadığı araştırılır. Eğer jeoloji ve kaya kalitesi değişkenlik gösteriyorsa bu 5 sondajın haricinde gerekli görülen yerlere ek sondajlar yapılır. Diğer taraftan kaya mostralarının çok az olduğu örtülü arazilerde ve jeolojik yapının karmaşık olduğu hallerde çok sayıda sondajın açılması gerekebilecektir. Sondajlara ek olarak iki kuyu arasında yer alan jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerini ortaya koymak için sismik ve rezistivite gibi jeofizik yöntemlerden de yararlanılmalıdır. Bu sayede tünel kotundaki kayanın kalitesi hakkında daha detaylı bilgiler elde edilmiş olunacak ve büyük fay zonları ile diğer jeolojik tehlikelerin önceden tespitine yardımcı olacaktır. Tüm bu veriler yardımıyla kazıdan önce yapılacak doğru sınıflamalar sayesinde projenin maliyeti, emniyeti ve zamanlaması açısından olumlu

kazanımlar edinilecektir. Ayrıca kazı sırasında yapılan sınıflamalar arasındaki uyumsuzlukların önüne geçilecektir.

3.1 Kazı Öncesi Belirlenen Kaya Kütle Sınıfları

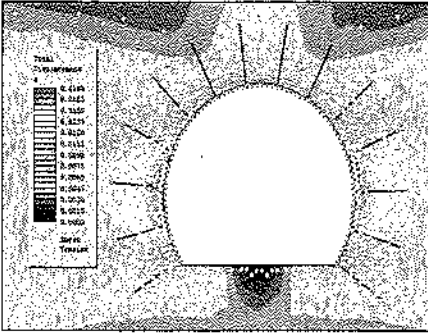
Karayolları Genel Müdürlüğü, 10. Bölge Müdürlüğü'nün denetiminde yürütülen proje kapsamında JFZ (2002) tarafından yaklaşık 1890 m. uzunluğundaki Konakönü Tüneli güzergâhı boyunca sondajlar yapılmış ve Haytek (2004) tarafından proje çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin kuzey zonu oldukça karmaşık bir jeolojik oluşuma sahiptir. Bu bölgede açılan Konakönü Tüneli'nde volkanik aktivite sonucu oluşmuş ve çok kısa aralıklarla sürekli değişiklik gösteren kayaçlar oldukça yaygındır. Proje aşamasında yapılan arazi çalışmaları ile kaya mostraları belirlenmiştir. Farklı tip volkanik kayaçlardan oluşan mostraların azlığı ve arazinin örtülü olması daha fazla sondajın yapılmasını zorunlu kılmıştır. Planlanan tünelin geçkisi boyunca yer alan birimlere ait jeolojik ve jeoteknik özelliklerin belirlenebilmesi için giriş ve çıkış portallarında 7, çift tüplü tünelin sol ekseninde 4, sağ ekseninde 3 adet olmak üzere toplam 14 adet temel sondaj kuyusu JFZ (2002) tarafından açılmıştır.

Mühendislik jeolojisi çalışmaları ile yapılan kaya kalite sınıflamalarına dayanarak tünel güzergâhı Haytek (2004) tarafından kesimlere ayrılmış ve bu kesimler için kaya destekleme sınıfları NATM'a göre belirlenmiştir. Kazı sırasında ve sonrasında kayaçların davranışlarını açıklayarak gerekli destekleme elemanlarını önermiştir. Bu çalışmaların sonucunda NATM'a göre

girişlerde B3/B2, orta kısımlarda ise B2 destek sınıfını önermiştir.

Sol tüp giriş portalında yapılan KTS-1 sondajı ile aglomera türü volkanik kayalar kesilmiştir. Sadece bir sondajdan elde edilen verilere göre sol tüp giriş portalı için kaya kütle sınıflaması yapılmıştır. Q değeri 2.2 olup "zayıf kaliteli" kaya sınıfına, RMR değeri 44 olup "orta kaliteli" kaya sınıfına ve GSI puanı 50 olup "bloklu" kaya sınıfına girmektedir. Bu değerlere göre kazı öncesi önerilen kaya kalite ve destekleme sınıflamaları Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. KTS-1 sondaj verilerine göre aglomera içinde açılan tünel etrafında kazı sonrası gelişecek toplam yer değiştirme değeri

Çizelge 1. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalı için kazı öncesi belirlenen kaya kalite özellikleri ve destek sınıflamaları (Haytek 2004)

Aglomera	
Q değeri	2.2
Kaya sınıfı (Barton vd. 1974)	Zayıf kaya
RMR puanı	44
Kaya sınıfı (Bieniawski 1989)	Orta kaya
NATM	B2
Kaya sınıfı (ÖNORM B2203 1994)	Çok kırılğan kaya
GSI puanı	50
Kaya sınıfı (Hoek vd. 2002)	Bloklu kaya
Sol tüp giriş portalı için ampirik yöntemlere göre önerilen destek elemanları	1.7-2.1 m aralıklı L=3.35 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 5-9 cm kalnlığında püskürtme beton (Sfr+B)
Veri kaynağı	KTS-1 Sondajı

Aglomera için belirlenen tahkimat tasarımı Phase² sonlu elemanlar programı ile denenerak gerilme-deformasyon analizleri yapılmıştır. Şekil 3'de koyu renkli olan toplam yerdeğiştirme konturlarının yan duvarlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Maksimum toplam yerdeğiştirmenin destekleme yapıldıktan sonra yan duvarlarda 1.89 mm.'den 1.67 mm.'ye düştüğü belirlenmiştir. Yer değıştirmeleri sifıra doğru yaklaştırmak için öncirilen destek elemanlarına ek olarak lokal bulonlama yapılması önerilmiştir.

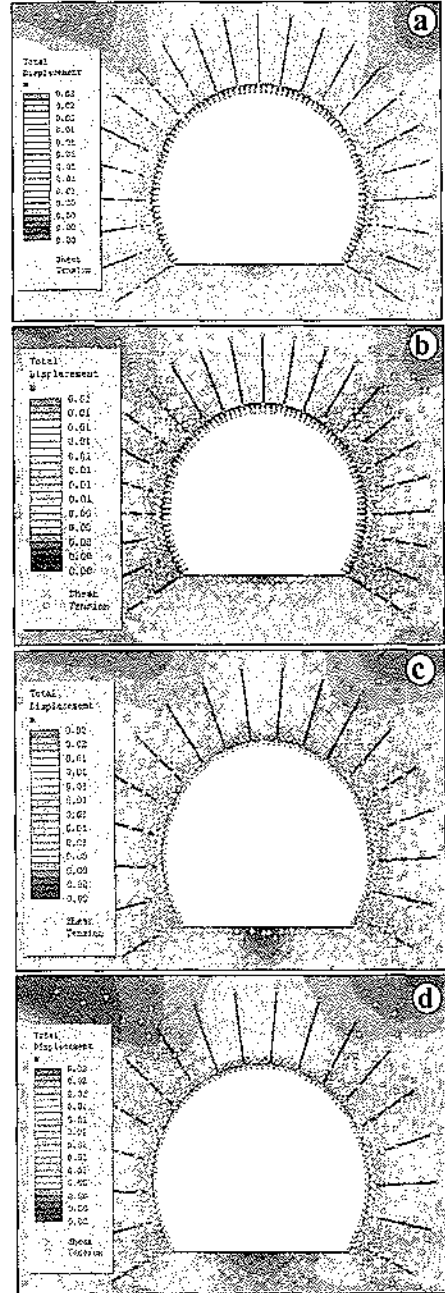
Kazı Sonrası Belirlenen Kaya Kütle Sınıfları

Konakönü tüneli sol tüp giriş portalında kazı öncesinde yapılan KTS-1 sondajında sadece aglomera kesilmiş ve bütün jeoteknik yorumlamalar bu kayaca göre yapılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin topoğrafik ve jeomorfolojik yapısı göz önüne alındığında tünel güzergâhı tamamen yamaç molozu ve ağaçlarla örtülü olduğundan kaya mostralarına da nadiren rastlanılmaktadır. Bu nedenle projelendirme aşaması jeofizik verilerle de tam olarak desteklenmediği için sol tüp giriş portalı için tek bir kaya türü üzerinden tasarımlar yapılmıştır.

Kazı aşamasına geçildiğinde ise sol tüp giriş portalında aglomera haricince 3 farklı kaya grubuna daha rastlanılmıştır. İlk önce ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler sonrada sırayla aglomera ve bazalt türü volkanik kayalar kesilmiştir. Yapılan tünel içi hat etüdü çalışmaları ile kaya kütleleri hakkında detay veriler toplanmıştır. Bu veriler yardımıyla sol tüp giriş portalındaki tüm kaya kütleleri Q, RMR, NATM ve GSI gibi ampirik yöntemlerle sınıflandırılmıştır. Kazı sırasında belirlenen kaya kalite sınıfları ve önerilen destek elemanları Çizelge 2'de verilmiştir.

Phase² sonlu elemanlar programı yardımıyla kaya kütlelerinin analitik analizleri yapılmıştır (Şekil 4). Yapılan analiz sonucunda analitik yöntemlerle belirlenen destekleme elemanlarının tünel duvarlarındaki yerdeğiştirmeleri tam olarak azaltmadığı belirlenmiştir. Kazı sonrası ve destekleme sonrası oluşacak maksimum toplam yerdeğiştirmeler Çizelge 3'de verilmiştir. Toplam yer değiştirmeyi minimum seviyede azaltmak için önerilen destek elemanlarına ek olarak püskürtme beton kalınlığı ve kaya bulonunun uzunluğu artırıldığında toplam yer değiştirmenin büyük ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Lokal olarak yapılacak destekleme sırasında bulon aralığı 1.2 m., bulon uzunluğu 4 m. ve püskürtme beton kalınlığı da 30 cm olacak şekilde seçildiğinde toplam yerdeğiştirmenin miktarı sıfıra doğru yaklaşarak azalmıştır. Ancak yenilmeleri tamamen ortadan kaldırmak imkansızdır.

Proje aşamasında sol tüp giriş portalı için tek bir kaya türü varsayımından yola çıkılarak belirlenen destekleme elemanları kazı aşamasına geçildiğinde değiştirilmiştir. Kazıya başladıktan sonra farklı kalite ve litolojide kayalara



Şekil 4. a) ayrılmış bazaltik tüf, b) ayrılmış andezitik tüf, c) aglomera ve d) bazalt içinde açılan tünel etrafında kazı sonrası gelişen toplam yer değiştirme değeri

rastlanılmıştır. Önerilen destek elemanları bu kayaçların stabilitesini sağlamada yeterli olmadığından daha fazla destek elemanı içeren sınıfa geçilmiştir. Bu kayaçların kazılması sırasında farklı

yöntemlerin kullanılması ve destek sınıfının değişmesi kazı maliyetinin artmasına ve günlük ilerleme hızının azalmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 2. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalı için kazı sonrası belirlenen kaya kalite özellikleri ve destek sınıflamaları (Kaya, 2008)

	Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Q (tavan)	0.070	0.074	0.139	0.211
Q _w (duvar)	0.070	0.074	0.348	0.528
Kaya sınıfı (Barton vd. 1974)	Çok fazla zayıf kaya	Çok fazla zayıf kaya	Çok zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Değiştirilmiş RMR puanı	23.03	24.29	34.91	37.55
Kaya sınıfı (Bieniawski 1989)	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya
NATM	C1	C1	B3	B3
Kaya sınıfı (ÖNORM B2203 1994)	Kaya patlamalı	Kaya patlamalı	Döküntülü	Döküntülü
GSI puanı	41	46	54	60
Kaya sınıfı (Hoek vd. 2002)	Bloklu kaya	Bloklu kaya	Bloklu kaya	Bloklu kaya
Sol tüp giriş portalı için ampirik yöntemlere göre önerilen destek elemanları:	(Ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler için)			
	1.2-1.5 m aralıklı L _{tavan} =3.8 m L _{duvar} =3.35 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik iksal, çelik kafes takviyeli, 15-25 cm kalınlığında püskürtme beton (Sf+RRS+B)			
Veri kaynağı:	(Aglomera ve bazalt için)			
	1.5-1.7 m aralıklı L _{duvar} =3.35 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 9-12 cm kalınlığında püskürtme beton (Sf+B)			
Veri kaynağı:	Hat etüdü			

Çizelge 3. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki kaya kütlelerine ait kazı sonrası ve destekleme sonrası maksimum toplam yer değiştirme değerleri

	Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Kazı sonrası	2.39 mm	1.78 mm	1.86 mm	1.71 mm
Destekleme sonrası	1.69 mm	1.35 mm	1.60 mm	1.68 mm

Çizelge 4. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalı için kazı öncesi ve sonrası yapılan karşılaştırmalar

	Kazı öncesi	Kazı sonrası
Kaya türü	Aglomera	Ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler, aglomera ve bazalt
Kaya sınıfı (NATM)	B2	*C1 (Ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler için) *B3 (Aglomera ve bazalt için)
Günlük ilerleme hızı	3 m.	*Ayrılmış bazaltik-andezitik tüflerde 1.2 m. *Aglomera ve bazaltda 3 m.
Kazı türü	Delme-patlama	*Ayrılmış bazaltik-andezitik tüflerde kirici ile mekanik kazı *Aglomera ve bazaltda delme-patlama

4 SONUÇLAR

Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalında kazı öncesi ve sonrası belirlenen kaya kütleleri, Q, RMR, NATM ve

GSI ampirik yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Kazı öncesi yapılan KTS-1 sondajında aglomera kesilmiş ve NATM'a göre kaya sınıfı B2 olarak belirlenmiştir. Tüm portalın destek

tasarımı bu sınıfa göre yapılmıştır. Kazı aşamasına geçildiğinde ise aglomeranın haricinde sırayla ayrılmış bazaltik-andezitik tüfler, aglomera ve bazalt kesilmiştir. Ayrılmış bazaltik-andezitik tüflerin NATM'a göre C1 sınıfına, aglomera ve bazaltın B3 sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Ampirik analizlerle belirlenen destek elemanları Phase² sonlu elemanlar programı ile denenerak yerdeğıştirmeleri ne ölçüde azalttığı araştırılmıştır. Önerilen destek elemanları tünel duvarlarındaki toplam yerdeğıştirmeleri tam olarak azaltmadığı belirlenmiştir. Ek olarak lokal desteklemeler yapıldığında yerdeğıştirmelerin sifıra doğru yaklaşıarak azalmaktadığı gözlenmiştir.

Tünel güzergâhının yer aldığı jeolojik yapı kısa aralıklarla sürekli değışiklik göstermektedir. Sol tüp giriş portalında yapılan 1 adet sondaj kaya kütesini tam anlamıyla temsil etmemektedir. Eksik verilere göre hazırlanan proje, kazı aşamasına geçildiğinde uygulanamamıştır. Karmaşık jeolojik yapıya sahip sahaların içinde açılacak tünellerde böyle olumsuzlukların önüne geçmek için daha fazla sondaj yapmalı ve buradan elde edilen veriler jeofizik yöntemlerle desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974. *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel*

Support, Rock Mech, 6, s.189-239.

Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*, Wiley, , 238s., New York.

Bulutlar, E., 1983. *Tünel Güzergah Seçimi ve Tünel İnşasına Kadar Yapılan Araştırmalar; Tünelcilik Semineri*, EİE, s.20-43, Ankara.

Güven, İ. H., 1993. *Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli kompilasyonu*, MTA, Ankara.

Haytek Uluslararası Mühendislik Müşavirlik, 2004. *Konakönü Tüneli Kesin Proje Jeoteknik Raporu*, İstanbul.

Hoek, E., Carranza-Torres, C. ve Corkum, B., 2002. *Hoek-Brown Failure Criterion*, 2002 Edition. Proc. 5th North American Rock Mechanics Symposium, p.267-273, Toronto.

JFZ İnşaat Taahhüt Tic. Ltd. Şti., 2002. *Konakönü Tüneli Sondaj Raporu*, Trabzon.

Kaya, A., 2008. *Konakönü (Araklı-Trabzon) tüneli sol tüp giriş portalının jeoteknik açıdan incelenmesi*, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.1-113, Trabzon.

ÖNORM B2203, 1994. *Untertagebauarbeiten Werkvertragsnorm*, Österreichischer Normen, Österreich.

Bir İçme Suyu Tünel Kazısında Titreşim Ölçümüne Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı

A pre-Blasting Design for the Excavation of a Drinking Water Tunnel Based on Vibration Measurements

Ü. Özer, M.Aksoy, D. Adıgüzel, A. Karadoğan

İstanbul Üniversitesi, Müh. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

A. Kahrıman

Okan Üniv., Meslek Yüksek Okulu ve İnşaat Müh. Bölümü, Kadıköy-Hasanpaşa, İstanbul

ÖZET Bu araştırmada, Büyük İstanbul İçme Suyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi S.P.#6 Ayazağa ve İstinye –Derbent Mevkii Tünel İnşaatı kapsamında, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde ve titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla ön patlatma tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Titreşim açısından risk yaratabilecek bölgelerde minimum tünel derinliğinin yaklaşık olarak 50 m civarında olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sahasına yönelik olarak yapılan analizlerde, toplam 32 olay baz alınarak patlatmalı kazı ön tasarımı yapılmıştır. Bu değerler kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda, elde edilen ilişkinin % 95 tahmin hattına göre geliştirilen formülü, ulusal ve uluslararası standartların hasar limitleri göz önünde tutularak kullanılmıştır. Bu hasar limitlerine göre, tünel güzergâhının yeryüzüne olan farklı mesafelerinde gecikme başına kullanılacak en yüksek patlayıcı madde miktarları tahmin edilmiştir. Bu veriler ışığında deneme atımlarıyla gerekli revizyonların yapılmasına izin veren bir ön patlatma tasarımı yapılmıştır.

ABSTRACT In this study, a pre-blasting design was developed for the excavation of Ayazağa and İstinye-Derbent water tunnel that is a part of Melen water system. The depth of the tunnel in the region that is considered as critical because of the vibrations induced by blasting was determined 50 m. A total of 32 events were used in the regression analysis to determine the site specific attenuation formulae. 95 % upper prediction line of this attenuation formulae was used for the prediction of maximum charge per delay for various distances according to taking threshold damage values of various standarts into consideration. In the light of this data, a pre blasting design that can be modified according to the results of test shots was proposed

1 GİRİŞ

Patlatmadan kaynaklanan titreşim bileşenlerinin tahmin edilmesi, çevresel şikâyetleri önlemede büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, patlatmalı kazılardan sorumlu teknik elemanların karşılaştıkları sorunlardan biri de yersarsıntısı ve hava şokları ve kaya fırlaması nedeniyle, çevrede yaşayan kişi ya da kuruluşların hakkı veya haksız şikâyetleridir (Kahrıman ve diğerleri 2000, Kahrıman ve diğerleri 2002, Singh 1993).

Nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak bu tür gerçek ya da psikolojik rahatsızlıklar giderek de yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla ekonomik ve emniyetli bir patlatma, aynı zamanda bu tür sorunları da elimine etmek durumundadır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin, patlatma sonucunda oluşacak yersarsıntısı, fırlayan kaya ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi bakımından, patlatma tasarımında yanıt

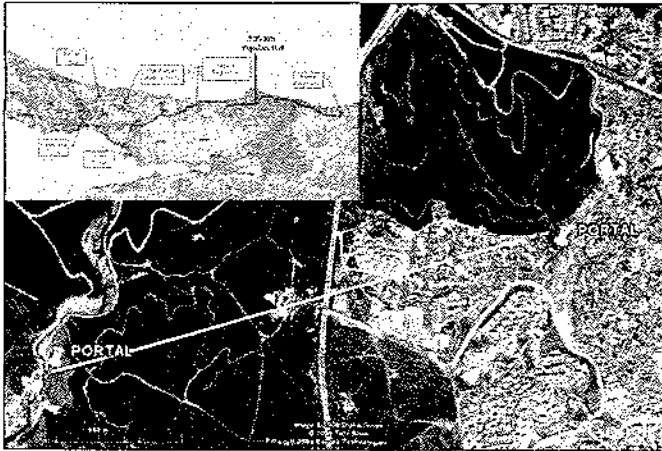
aranacak bir diğer konu da; herhangi bir gecikme aralığında kullanılacak en fazla patlayıcı madde miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir (Dick 1983, Felice 1993, Johnston ve Durucan 1994, Kahrıman ve diğerleri, 2006a).

Bu araştırma, ALKE-ATAÇ ortak girişim grubunun, yüklenicisi bulunduğu "Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi S.P.#6 Ayazağa ve İstinye -Derbent Mevkii Tünel İnşaatı" kapsamında kazı faaliyetleri sürdürülen sahada gerçekleştirilmiştir (Kahrıman ve diğerleri, 2008).

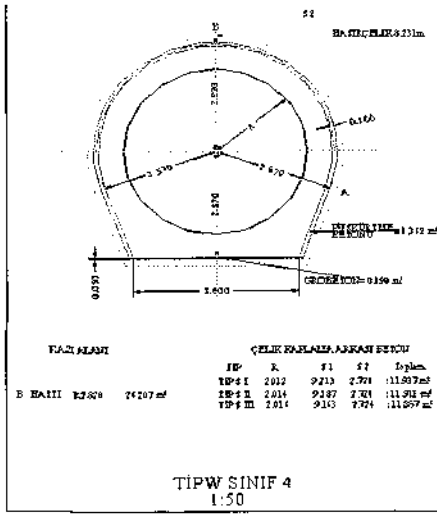
Bu çalışmanın amacı; söz konusu tünel inşaatında, patlatmalı kazı sırasında arzu edilen teknik sonuçların ekonomik ve emniyetli limitlerde, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin en aza indirilmesine izin veren bir yaklaşımla patlatma ön tasarımı yapılmasıdır.

2 ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİ

Çalışma sahası olan, Ayazağa ve İstinye -Derbent Mevkii Tünel İnşaatı, İstanbul



Şekil 1 Tünel güzergahının konumu



Şekil 2 Tünel tip kesiti (Melen Projesi 2000)

ili Avrupa Yakası Şişli ve Sarıyer ilçeleri sınırları içerisindedir. Söz konusu tünel güzergahının konumu Şekil 1'de, tünel tip kesiti ise Şekil 2'de verilmiştir. Titreşim açısından risk yaratabilecek bölgelerde minimum tünel derinliğinin yaklaşık olarak 50 m civarında olduğu tesbit edilmiştir.

Patlatmalı kazıya ihtiyaç duyulan bölgelerin Kartal Formasyonu içerisinde yer aldığı, bu formasyonun da iç içe yataklanmış kireçtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı tabakalarından oluştuğu ve andezit ve diyabaz sokulumlarının da bu formasyonu düzensiz şekilde kestiği belirlenmiştir (Melen Projesi 2000).

Bu araştırma kapsamında; çalışma alanında egemen olan kaya biriminin kazı zorluğu derecesini belirlemek amacıyla sahadan alınan silttaşı numuneleri üzerinde İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen nokta yükleme dayanım İndeksi (Is(50)), tek eksenli basma dayanımı (TEBD) ve tek Eksenli çekme dayanımı (TEÇD) sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi test sonuçları (Kahriman 2008)

Formasyon		Is(50) MPa	TEBD MPa	TEÇD MPa
Kartal Form.	Ort.	9,79	215	12,23
	Std			
	Sapma	1,72	37,92	2,15

Bu test sonuçlarına göre, bu kayacın, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tek eksenli basınç dayanımına göre kaya sınıflamasında yüksek dayanımlı kayaç grubuna girdiği belirlenmiştir. Bu gözlem ve değerlendirmeler ışığında proje hedeflerini gerçekleştirebilmek için patlatmalı kazının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır.

3 ÖLÇÜM VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu araştırma kapsamında, çalışılan tünel inşaatındaki patlatmalı kazı nedeniyle mevcut meskenlerde oluşabilecek hasarlara yönelik analizler de yapılmıştır.

Ayazağa ve İstinye –Derbent Mevkii Tünel İnşaatı'nda yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanacak olan titreşimlerin, tünel güzergâhı boyunca yerüstü yapılarına etkisini en aza indirmek için, söz konusu tünel kazısında, gecikme başına kullanılan en yüksek patlayıcı madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir.

Ön tasarım yapılabilmesine veri sağlamak amacıyla SP#6 projesi kapsamında önceden yapılan ve kayıtları tutulan atımlara ilaveten verilerin güncellenmesi amacıyla 11 adet kalibrasyonu yapılmış titreşim ölçerler ile sahaya gidilmiş ve kayıtlar alınmıştır. Atım noktasının ve titreşim ölçer cihazlarının yerleştirildiği istasyon noktalarının koordinatları Çizelge 2 a-b'de, araştırma ekibince izlenen atım ve kaydedilen olaylar ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2-a. Atım Yeri ve Koordinatları

Atım No	Koordinat Değerleri		
	Y	X	Z
1	417731	4555251	27,109

Çizelge 2-b. İstasyon Noktalarının Koordinatları

İstasyon No	Koordinat Değerleri		
	Y	X	Z
1	417704	4555241	24,89
2	417642	4555222	24,80
3	417564	4555205	24,73
4	417526	4555188	24,66
5	417736	4555203	73,68
6	417707	4555241	68,35
7	417681	4555266	66,37
8	417751	4555196	77,18
9	417735	4555249	75,00
10	417721	4555275	73,00
11	417748	4555253	79,50

Çizelge 3. Kaydedilen 11 Olaya Ait Veriler

İst. No	(PPV) (mm/s)	f (Hz)	(W) (kg)	R (m)	SD
1	26,4	100	6,1	28,89	11,70
2	5,08	85,3	6,1	94,13	38,11
3	2,79	73,1	6,1	173,65	70,31
4	3,43	100	6,1	215,04	87,07
5	8	56,9	6,1	67,12	27,18
6	15,5	64	6,1	49,03	19,85
7	11	64	6,1	65,72	26,61
8	11,3	73,1	6,1	76,35	30,91
9	22,5	73,1	6,1	48,07	19,46
10	21,1	85,3	6,1	52,85	21,40
11	26,9	85,3	6,1	54,96	22,25

PPV= Max. Parçacık Hızı

f= Frekans

W= Gecikme Başına Toplam Şarj

R= İstasyonun Atım Noktasına Olan Mesafesi

SD= Ölçekli Mesafe (R.(W)^{0,2})

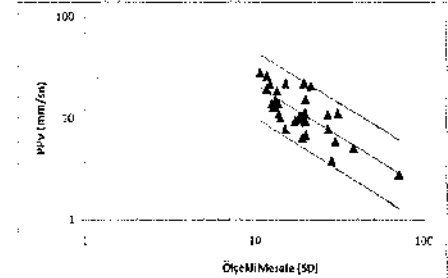
Kahrıman ve arkadaşlarının, İstanbul Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi Boğaziçi Tüneli İkmal İnşaatı Derbent mevkiinde önceden kayıt edilmiş 21 olay (Kahrıman ve diğerleri, 2006b) ve Ayazağa köyü mevkiinde araştırma ekibince takip edilen ve ayrıntıları Çizelge 3'te verilen bir atıma ait 11 olay, bu iki bölgeninde aynı formasyonda (Kartal Formasyonu) olmasından dolayı birleştirilerek toplam 32 olay birlikte değerlendirilmiştir.

Ölçülen maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda bulunan, bu sahaya ait özgün titreşim yayılım ve %95 üst tahmin hattı formülleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$PPV = 235,6 \times SD^{-1,03}; (r = 0,76) \quad (1)$$

$$PPV = 490 \times (SD)^{-1,03} \quad (2)$$

İyi bir korelasyon katsayısı ile sonuçlanmış olan bu regresyon ifadeleri, işletmede titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda; herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşimin hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede rahatlıkla (kabul edilebilir limitlerdeki bir sapma ile) kullanılabilir. Literatüre uygun olarak iyi korelasyon katsayısıyla elde edilen bu fonksiyon ve %95 tahmin limitlerinde belirlenen en yüksek parçacık hızına karşılık gelen ölçekli mesafe ilişkisinin logaritmik grafiksel görünümü de Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. PPV-SD ilişkisi ve %95 tahmin limitleri

Bu değerler kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen ilişkinin, % 95 üst tahmin hattına göre geliştirilen formülü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi

Yönetmeliği, Birleşik Devletler Madencilik Bürosu (USBM), Alman DIN4150 ve İsveç Standartlarının hasar limitleri göz önünde tutularak kullanılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler, patlatma ön tasarımında kullanılacağı için, yapılan tahminlerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla %95 üst tahmin hattı denklemi kullanılmıştır. Bu hasar limitlerine göre, tünel güzergahının yeryüzüne olan farklı mesafelerinde gecikme başına kullanılacak en yüksek patlayıcı madde miktarları tahmin edilmiştir (Çizelge 4). Çizelge 4. Gecikme başına kullanılacak patlayıcı madde miktarının tahmini

4 PATLATMA ÖN TASARIM MODELİ

Çalışma kapsamında sert formasyon için titreşim risk bölgeleri baz alınarak ön tasarım geliştirilmiş ve aşağıda detayları verilmiştir.

Atımlar sırasında oluşabilecek rahatsızlık ve çevresel sorunların minimize etmek amacıyla, gecikme başına şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmiştir.

Ayazağa ve İstinye –Derbent Mevkii Tünel İnşaatı ön tasarımı yapılırken, tünel boyutları, delik çapı, uzunluğu ve çalışma sahasındaki kaya birimlerinin mekanik özellikleri de dikkate alınarak Sert olarak kategorize edilen kaya birimlerine uygulanmak üzere düzgün patlatma ön tasarımı geliştirilmiştir.

Tasarımda orta çekme (V-Kesme) delik dizaynı kullanılmıştır. Dizaynda kullanılan tüm delikler 43 mm çapındadır. Çevre deliklerinin şarjının, diğer deliklerden farklı olarak yapılması öngörülmüştür.

Sert formasyonlarda uygulanması düşünülen düzgün patlatma tasarımında 55 adet delik planlanmıştır. Bu tasarımda, delik paterni, gecikme sıralaması, delik paterni perspektif ve üstten görünüşünü de içerecek şekilde oluşturulan tünel kesitleri Şekil 4 a, b ve c'de gösterilmiştir. Şekil üzerinde verilen numaralar deliklerin patlama sırasını ifade etmektedir. Ateşlemede ise elektriksiz gecikmeli kapsüllerin kullanılması ön görülmüştür.

26 m² kesit alanına sahip tünelin sert formasyon paterninde kullanılacak patlayıcı madde miktarı Çizelge 5'te

Çizelge 4. Gecikme başına kullanılacak patlayıcı madde miktarının tahmini

Mesafe (m)	Kullanılan Yaklaşım	Gecikme Başına Kullanılan En Yüksek Patlayıcı Madde			
		Miktarı (W) (kg)			
		Çevresel G.Y. (19 mm/s)	USBM (13mm/s)	DIN4150 (8 mm/s)	İsveç (11 mm/s)
30		1,64	0,78	0,30	0,57
40		2,91	1,39	0,54	1,01
50		4,54	2,17	0,85	1,57
75	PPV = 490 x (R / W ^{0,5}) ^{-1,03}	10,22	4,89	1,91	3,54
100		18,17	8,70	3,39	6,29
125		28,39	13,59	5,29	9,82
150		40,88	19,57	7,62	14,15

verilmiştir. Aynı zamanda metreküp başına kullanılacak patlayıcı madde miktarı (özellik şarj) da hesaplanmıştır.

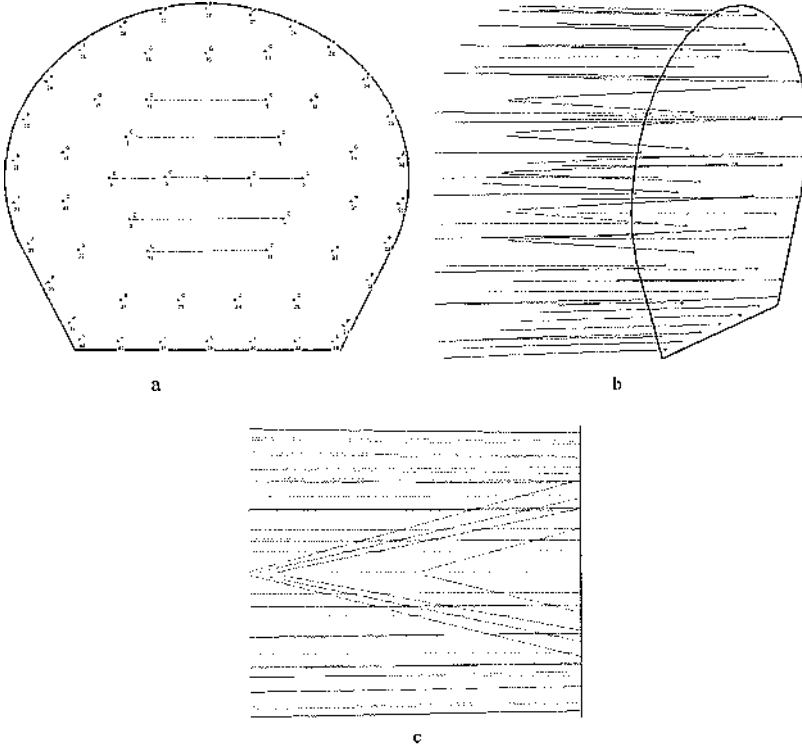
Yapılan analiz (Bölüm 3) sonuçları dikkate alınarak, bir seferde patlayacak patlayıcı madde miktarının az tutulması, çevresel hasar açısından önemli olduğu için USBM, Çevresel G.Y. ve işveç standartlarına göre, tarama, kesme ve taban deliklerinden en fazla 1 deliğin, çevre deliklerinden ise en fazla 2 deliğin tek gecikmeli olarak patlaması öngörülmüştür.

Deneme atımlarından elde edilecek sonuçlarla gerekirse şarj konsantrasyonunda bir miktar azaltma da yapılabilecektir.

5 SONUÇLAR

ALKE-ATAÇ ortak girişim grubunun, yüklenicisi bulunduğu "Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi S.P.#6 Ayazağa ve İstinye -Derbent Mevkii Tünel İnşaatı" kapsamında kazı faaliyetleri sürdürülecek saha için, elde edilen veriler ışığında, titreşim ölçümlerine dayalı analizler yapılmış ve bu analizlerin sonuçlarını dikkate alarak bir patlatma ön tasarım modeli geliştirilmiştir.

Yapılan analizlerde, sahada alınan 11 adet olay kaydı ve aynı bölgede ve aynı formasyonda daha önceden Kahrıman ve diğerleri (Kahrıman ve diğerleri, 2006b) tarafından kaydedilen 21 olay birleştirilerek bu sahaya ait özgün titreşim yayılım eşitliği bulunmuştur.



Şekil 4 a, b, c. Orta sert formasyonda delik patemi, gecikme sırası, perspektif ve üstten görünüşü. (G:Tarama deliği, C:Kesme deliği, P:Çevre deliği, L:Taban deliği) (Kahrıman ve diğerleri, 2008)

Çizelge 5. Sert formasyon için I atımdaki patlayıcı madde tüketimi

Delik Tipi	Delik Sayısı	Delik Boyu (m)	Patlayıcı Madde	Delik Başına Şarj Miktarı (kg)
Tarama D.	15	2,0	Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Tipi Patlayıcı	1,544
İç Kesme D.	2	1,2	Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Tipi Patlayıcı	0,965
Kesme D.	10	1,9-2,15	Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Tipi Patlayıcı	1,544
Taban D.	7	2,0	Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Tipi Patlayıcı	1,544
Çevre D.	21	2,0	Ön Kesme Uygulamaları için Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Tipi Patlayıcı	0,772
Boş D.	0		Toplam Şarj	67,55
Özgül Şarj (kg/m ³)				1,44

Elde edilen bu ilişkinin % 95 üst tahmin hattına göre geliştirilen formülü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Birleşik Devletler Madencilik Bürosu (USBM), Alman DIN4150 ve İsveç Standartlarının eşik hasar limitleri göz önünde tutularak kullanılmıştır. Bu hasar limitlerine göre, tünel güzergâhının yeryüzüne olan farklı mesafelerinde gecikme başına kullanılacak en yüksek patlayıcı madde miktarları tahmin edilmiştir.

Yapılan ön tasarımda, orta çekme delik dizaynı kullanılmıştır. Bu tasarımda, 15 adet tarama, 12 adet kesme, 7 adet taban ve 21 adet çevre deliği olmak üzere toplamda 55 adet 43 mm çapında delik planlanmıştır.

Analiz sonuçları dikkate alınarak, bir seferde patlayacak patlayıcı madde miktarının az tutulması, çevresel hasar açısından önemli olduğu için USBM, Çevresel G.Y. ve İsveç standartlarına göre, tarama, kesme ve taban deliklerinden en fazla 1 deliğin, çevre deliklerinden ise

en fazla 2 deliğin tek gecikmeli olarak patlaması öngörülmüştür.

Ancak geliştirilen bu tasarım birkaç deneme atımı ile ortaya çıkabilecek kaya davranışı ve çevresel etkiler dikkate alınmak suretiyle uygulama sırasında modifiye edilmesi ve sürekli titreşim kayıtlarıyla desteklenmesi önerilmiştir.

Yapılan ön tasarım ve buna bağlı olarak yapılan öneriler uygulayıcı firma tarafından dikkate alınmış ve uygulamada, gecikme başına düşen şarj miktarına bağlı kalmamak, karşılaşılan kaya yapısına bağlı olarak farklı tasarımlar uygulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi, S.P.#6 Genel Bilgiler Cilt 5 2000
- Dick, R.A., et. al., 1983, "Explosives and Blasting Procedures Manual", Bureau of Mines, U.S.A.
- Felice, J.J., 1993, "Applications of Modelling to Reduce Vibration and Airblast Levels", 4. International Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, 5-8 July, Vienna, Austria
- Johnston, G.J., Durucan, Ş., 1994, "The Numerical Prediction, Analysis and Modeling of Ground Vibration Induced by Blasting", Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 18-20 October, İstanbul
- Kahriman, A., Özer, Ü., Karadoğan, A., Aksoy, M., Adiguzel, D., Akkaya, U.G., 2008, Büyük İstanbul İçmesuyu II. Merhale Projesi-Melen Sistemi S.P.#6 Ayazağa ve İstinye -Derbent Mevkii Tünel İnşaatı Patlatmalı Kazi Ön Tasarımı Raporu, İstanbul

- Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şubat 2008.
- Kahrıman A, Özer U, Aksoy M, Karadoğan A, Tuncer G 2006a, Environmental impacts of bench blasting at Hisarcık Boron open pit mine in Turkey. *International Journal of Geosciences Environmental Geology*, Springer Press, DOI 10.1007/s00254-006-0274-5, pp.1015-1023.
- Kahrıman, Özer, U., Karadoğan, A., Özdemir, K., Adıgüzel, D., 2006b, "İstanbul Kadıköy – Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İnsaati Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Ölçümleri", Döner Sermaye Projesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kahrıman, A., 2002, "Predictability of the Ground Vibration Parameters Induced by Blasting During The Tunneling", *Mineral Resources Engineering*, Vol. 11, No. 3, 279-291.
- Kahrıman. A., Tuncer, G., Görgün, S., Karadoğan, K... Estimation Particle Velocity On the Basis of Blast Event Measurement, *Proceedings of The Twenty-Fifth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, ISEE, Anaheim, California U.S.A., VI, 107-115, 2000.
- Singh, S.P., 1993, "Prediction and Determination of Explosive Induced Damage", 4. *International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, 5-8 July, Vienna, Austria.

Kaya Saplamalarının Bilgisayar Destekli Tasarımı

Computer Aided Design of Rock Bolts

Ö. Uysal, K. Erarslan, Ş. Yuvka, S. Beyhan, H. Akçakoca, T. Aktaş
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada, kaya saplama olarak sıklıkla kullanılan mekanik, swellex, dyna-rok ve reçine dolgululu kaya saplamalarının boyutlandırılması amacıyla geliştirilen bilgisayar destekli bir sistem tanıtılmıştır. Görsel C++ ortamında geliştirilen sistem, mevcut ampirik eşitliklerden yararlanarak tahkimat ortam bilgilerinin değerlendirilmesinde ve tasarım parametrelerini hesaplamaktadır. Buna göre programa girdi olarak, kaya saplama uygulanacak galeri ile ilgili geometrik veriler, galerinin açılacağı ortamın fiziksel ve mekanik özellikleri, saplama çeliğinin fiziksel özellikleri gibi değerler girilmektedir. Sistem, girilen bilgiler ışığında kaya yükü yüksekliğini, saplama çapı ve çelik kalitesine göre, saplama uzunluğu, ankraj yenilme yükü, saplama çeliği yenilme yükü, saplama yük kapasitesi ve saplama aralığı hesaplamalarını yapmaktadır. Ayrıca saplama düzeni için de öneri sunmaktadır. Yazılım gerek eğitim amaçlı, gerekse gerçek veri değerlendirmelerinde kullanılabilir.

ABSTRACT In this study, a computer aided system has been developed to be employed in design of mechanical, swellex, dyna-rok and resin-grouted type rock bolt application. Visual C++ based system makes assessments on wall supporting and calculates design parameters regarding current empirical formulations. Geometrical parameters, physical and mechanical properties of opening are the input to the system. Regarding given data, the system calculates load on opening, bolt length, fail load on anchor, bolt steel failure load, bolt load capacity and bolt spacing according to bolt diameter and steel quality. Additionally, bolt pattern is suggested. The software can be utilized for educational purposes as well as real case applications.

1 GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerine yönelik galeri tasarımında en yaygın kullanılan tahkimat türleri ağaç bağlar, demir bağlar ve kaya saplamalarıdır. Son yıllarda,

kaya mekaniği dalındaki gelişmelere ve artan tahkimat gereksinimlerine paralel olarak yeraltı açıklıklarının duraylılığının sağlanmasında alışlagelmiş tahkimat türleri yerine giderek artan miktarlarda kaya saplamaları kullanılmaktadır.

Ayrıca, kaya saplaması kavramının gelişmesi, şimdiye kadar kazanılan deneyimler, piyasaya sürülen değişik saplama türleri, zor yeraltı koşulları için geliştirilen kaya saplamalı sistemler, kaya saplamaları ilke ve uygulamalarındaki kuramsal gelişmeler ve bilgisayarlı tasarım yöntemleri bu tahkimat türünün yaygın olarak kullanılmaya başlamasına neden olmuştur. Bu son gelişmeleri içeren ve uygun bir tasarım sonucu kaya saplamaları ile yapılan tahkimat, ekonomik açıdan kayda değer bir maliyet azalmasının yanı sıra açıklıkların emniyetini de artırmakta ve sonuçta çalışma koşullarını önemli ölçüde iyileştirmektedir. Günümüzde yeraltı boşluklarının tahkimatı için dünyada kullanılan kaya saplaması sayısı 500 milyon adet/yıl'ın üzerindedir. Bu sayı sadece kaya saplamalarının mühendislik uygulamaları açısından potansiyelini belirtmeyip, aynı zamanda teknolojik, ekonomik ve emniyet açısından kaya saplamaları ile tahkimat uygulamalarının etkinliğinin de bir göstergesi olmaktadır (Uysal, 1990). Türkiye'de kaya saplaması uygulamaları henüz gereken seviyeye ulaşmasa da, kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

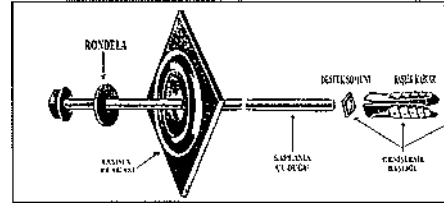
Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan mekanik, swellex, dyna-rok ve reçine dolgulı kaya saplamalarının boyutlandırılması amacıyla bilgisayar destekli bir sistem geliştirilmiştir. Görsel C++ ortamında geliştirilen yazılım, mevcut amprikişitliklerden yararlanarak tahkimat ortam bilgilerini değerlendirmekte ve tasarım parametrelerini hesaplamaktadır.

TASARIMDA KULLANILAN KAYA SAPLAMASI TÜRLERİ

2.1 Mekanik Ankrajlı Kaya Saplamaları

Bu tip saplamalar genel olarak saplama plaka ve somunu, saplama çubuğu ve genişleme başlığı olmak üzere üç

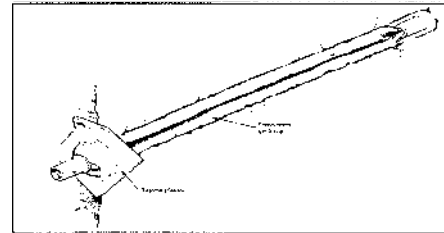
parçadan oluşur (Şekil 1). Genişleme başlığının iki elemanı genişleyen kabuk ve bunun içine giren içi dışlı tepesi kesik konik kamadır. Genişleme başlıklarının çok değişik türleri vardır. Bu farklılıklar çoğu kez genişleme başlığının boyu, kabuk yaprakları üzerindeki tırtıkların şekli, konik kamanın açısı ve kabuğu oluşturan yaprakların sayısından kaynaklanmaktadır. Genişleme başlıkları standart ve halkalı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Standart tip, ortadan iki veya dörde ayrılmış kısa bir tüpü andırır. Halkalı tip ise ortadan ikiye ayrılmasına rağmen, bu parçalar çember şeklinde bir halka ile tutturulmuştur.



Şekil 1. Mekanik ankrajlı kaya saplaması (Ünal ve Ergür, 1990)

2.2 Swellex Kaya Saplamaları

Swellex saplamalar yüksek dayanımlı bir çelik tüp ve bir taşıma plakasından oluşmaktadır (Şekil 2). Yapımları sırasında çapı 41 mm, et kalınlığı 2 mm olan silindir şeklindeki soğuk çekilmiş boru Şekil 2'de görüldüğü gibi şekillendirilmekte ve Swellex'e dış çapı 25.5 mm olan son şekli verilmektedir (Ünal ve Ergür, 1990).



Şekil 2. Swellex kaya saplaması (Stillborg, 1994)

Swellex saplama, her iki ucuna kaynaklanmış olan çelik kovanlarla kuvvetlendirilmiştir. Delik ağzında bulunan kovanın üst tarafı, taşıma plakasını tutması için halka şeklinde genişletilmiştir. Saplamanın delik yuvasına yerleştirilmesi sırasında tüp içerisine belli basınçla su enjekte edilir ve saplamanın şişmesi sağlanır. Saplama içine uygulanan bu basınç saplamanın delik boyunca kaya ile etkileşimini sağlar. Bu saplamalar yerleştirildikleri andan itibaren kaya kütesine destek sağladıkları için, erken etkileşimli saplamalar grubuna girer.

2.3 Dyna-Rok Kaya Saplama

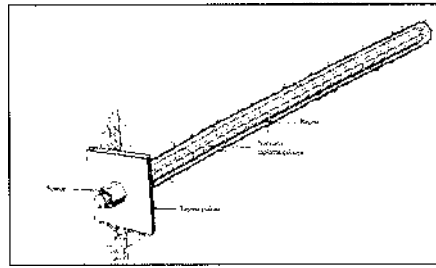
Mekanik ankrajlı ve reçine dolgulu saplamaların en üstün özelliklerini alan ve çeşitli kaya kütesi koşullarına göre ayarlanabilir nitelikte olan bu saplamalar kömür ve cevher üretilen ocaklar ve tünellerde kullanılabilir. Bu saplamalar yerleştirildikleri andan itibaren ankraj sağladıkları için erken etkileşimli saplamalar grubuna girer. Dyna-Rok saplama taşıma plakası, yüksek dayanımlı saplama çubuğu ve plastik tüpten oluşur. Genel anlamda dübel prensibine göre çalışır. Spiral saplama çubuğu silindirik şeklinde ve içi boş plastik içinde döndürülerek ilerler ve bu tüpün kaya ile saplama arasında deforme olarak sıkışmasını sağlar. Bu anda saplama ile kaya arasında plastik tüp boyunca sıkı bir kavrama sağlanmıştır. Ayrıca, saplama çubuğu gerdirilmiş ve taşıma plakası da tavana sıkıştırılmıştır (Ünal ve Ergür, 1990).

2.4 Reçine Dolgulu Kaya Saplama

Reçineli saplamalar, Avrupa'da ve Amerika'da 1960'lı yılların ortalarında kullanılmaya başlanmıştır (Peng

ve Tang, 1984). Mekanik ankrajlı saplamaların etkin olmadığı zayıf kayalarda duraylılığın sağlanması için tutucu ve bağlayıcı özelliği yüksek bir malzeme olan polyester reçinenin kullanılmaya başlanması ile bu tür saplamalar uygulama alanı bulmuştur. Reçineli saplamalarda ankraj; saplama çubuğu, reçine ve delik duvarı arasında reçine tarafından sağlanan bağlayıcı etki (yapıştırma) ile elde edilir (Şekil 3).

1970'li yıllarda hızlı donabilen yüksek dayanımlı polyester reçine türünün geliştirilmesi ile birlikte tahkimat hızı artmış dolayısıyla madencilik faaliyetlerinin hızı artmıştır. Bunun yanında farklı donma sürelerine sahip reçineler geliştirilerek bir delik içinde farklı donma hızına sahip reçine kartuşları kullanılmıştır. Bu sayede, hem saplamaya gerdirme uygulanabilir hemde tam kolon saplamasının avantajlarından faydalanılır hale getirilmiş olur. Bu tür uygulamalarda genellikle deliğin üst tarafına çabuk donan, alt tarafına ise daha geç donan reçine konmakta ve böylece saplamaya ön gerdirme uygulanabilmektedir.



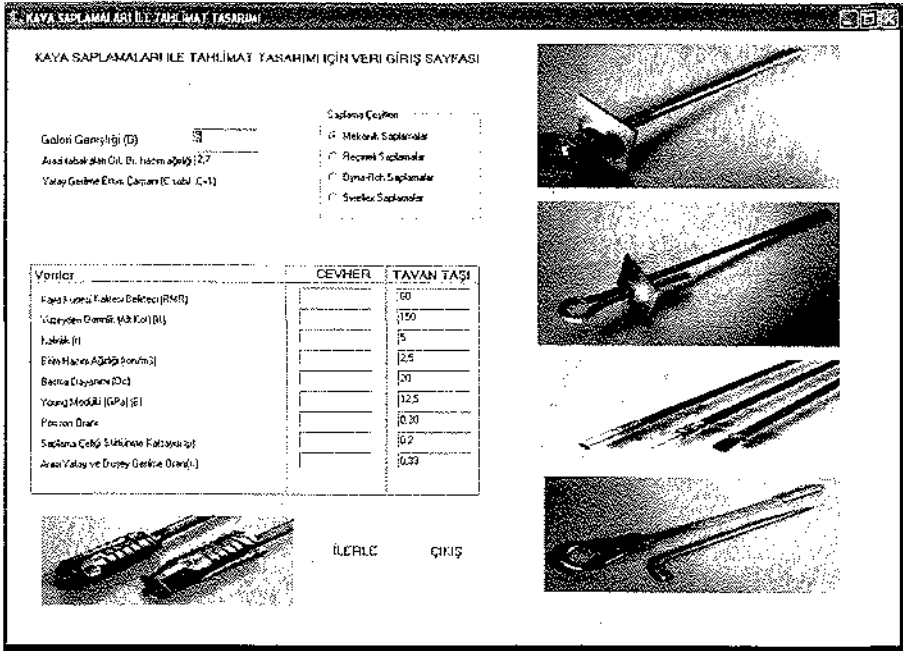
Şekil 3. Tam kolon ankrajlı reçineli saplama (Stillborg, 1994)

3 BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM

Kaya saplamalarının bilgisayar destekli tasarımı için C++ kullanılmıştır. Şekil 4'de programın giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 4. Bilgisayar destekli kaya saplama tasarımı programı giriş ekranı



Şekil 5. Veri giriş ekranı.

6. MEKANİK KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESABI

MEKANİK KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESABI

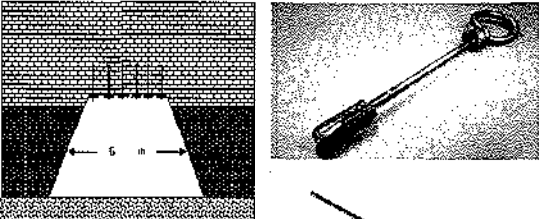
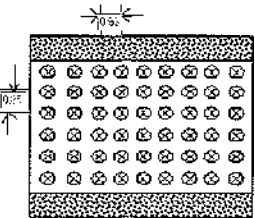
Saplama Çapı	Çelik Kalitesi	L _y	ton
13 mm	G 40	8,01	ton
19 mm	G 60	12,02	ton
25 mm	G 40	14,25	ton
25 mm	G 60	21,37	ton
32 mm	G 40	22,26	ton
32 mm	G 60	33,39	ton

Kaya Yüklü Yüksekliği (H) 2,4 metre
 Saplama Uzunluğu (L_b) 3,56 metre
 Ankraj Yarıdağı Yüklü (L_f) 8,2 ton
 Saplama Çel. Yarıdağı Yüklü (L_f) 8,01 ton
 Saplama Yük Kapasitesi (Cb) 8,01 ton

Saplama Aralığı (Sb) 0,0349860334105 metre

SİZE TAYİNE EDİLEN 19 mm ÇAPLI, G40 ÇELİĞİNDİR

Saplama Düzeni 0,852142857142857X 0,3315 metre Olarak Seçilebilir.

HESAPLA GERİ

Şekil 6. Mekanik ankrajlı kaya saptaması için tasarım ekranı.

7. REÇİNELİ KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESABI

REÇİNELİ KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESABI

KAYANIN BASMA DAYANIMI

- 3,5 - 7,0 MPa (Kumtaşı - Siltli Taş)
- 10 - 20 MPa (Kömür - Yumuşak Şeyl)
- 25 - 70 MPa (Kumtaşı - Kırtaşı - Sert Şeyl)

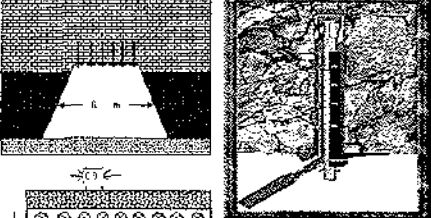
Kaya Yüklü Yüksekliği (H) 2,4 metre
 Düşey Basma (Q_v) 405 ton/m²
 Etkin Reçine Bopu (L_{reç}) 0,8589331495009 metre
 Saplama Uzunluğu (L_b) 1,3483997245264 metre

SİZE TAYİNE EDİLEN 25 mm ÇAPLI, G40 ÇELİĞİNDİR

Çelik Kalitesi	Çapı	L _{reç} (m)	Q _v (ton/m ²)	L _f (m)	L _y (ton)
G 40	19 mm	0,89993	5,25	17,12253	12,02
G 40	25 mm	0,89993	4,19	21,45426	14,25
G 60	32 mm	0,89993	3,49	25,75739	33,39
G 40	19 mm	0,89993	5,25	17,12253	8,01
G 60	25 mm	0,89993	4,19	21,45426	21,37
G 40	32 mm	0,89993	3,49	25,75739	22,26

Saplama Yük Kapasitesi (Cb) 8,01 ton
 Saplama Aralığı (Sb) 0,0349860334105 metre

Saplama Düzeni 0,852142857142857X 0,3315 metre Olarak Seçilebilir



HESAPLA GERİ

Şekil 7. Reçineli kaya saptaması için tasarım ekranı.

DYNA-ROK KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

GRÖNİT İBİDİ YAKA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

KAYANIN BASMA DAYANIMI

ht 2,4 metro

Lb 1,56 metre

3,5 - 7,0 MPa (Çamtaşı - Siltli)

10 - 20 MPa (Kömür - Yumuşak Şeyl)

25 - 70 MPa (Kumtaşı - Kıeçtaşı - Sert Şeyl)

Çelid. Kalitesi	Çapı	Lf(m)	Sf(kg/ton)	Lf(ton)	Sf(ton)
SAPLAMA KAPASİTESİ					
<input type="radio"/> G 95	16mm	0,41	3,50	10,2957	7,65
<input type="radio"/> G 95	18mm	0,41	2,80	12,8571	11,02
<input type="radio"/> G 95	22mm	0,41	2,34	15,3841	15,00
<input type="radio"/> G 75	16mm	0,41	3,50	10,2957	10,43
<input type="radio"/> G 75	18mm	0,41	2,80	12,8571	15,03
<input type="radio"/> G 75	22mm	0,41	2,34	15,3841	20,45

SİZE TAVSİYE EDİLEN 22 mm ÇAPLI, G55 ÇELİDİDİR.

Cb 15,00 ton

Sb 1,2247440713915 metro

Saplama Düzeni 1,2 X 1,5

Olarak Seçilebilir.

HESAPLA GERİ

Şekil 8. Dyna-rok kaya saplaması için tasarım ekranı.

STANDART SWELLEX KAYA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

GRÖNİT İBİDİ YAKA SAPLAMALARI İÇİN TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

ht 2,4 metro

Qv 405 ton/m²

Lar 0,0909331499509 metro

3,5 - 7,0 MPa (Çamtaşı - Siltli)

10 - 20 MPa (Kömür - Yumuşak Şeyl)

25 - 70 MPa (Kumtaşı - Kıeçtaşı - Sert Şeyl)

Qw 25 MPa

q 875 ton/m²

Cb 12 ton

Lmax 0,6239438450539 metro

Lb 1,5228769969048 metro

Sb 1,0954451150103 metro

Saplama Düzeni 1,2 X 1,5

Olarak Seçilebilir.

HESAPLA GERİ

Şekil 9. Swellex kaya saplaması için tasarım ekranı.

Sonraki aşama, Şekil 5'de görülen veri giriş ekranıdır. Burada kaya saplamalarının uygulanacağı galerinin boyutları ve galerinin içinde bulunduğu formasyon ile ilgili fiziksel ve mekanik özellikler programa girilmektedir. Bu ekranda sisteme girilen veriler; galeri genişliği, kayaç yoğunluğu, tavan taşı kaya kalitesi belirteci (RMR) değeri, galerinin yüzeyden derinliği, tek eksenli basınç dayanımı, Young modülü, Poisson oranı, saplama çeliği sürtünme katsayısı, arazi yatay ve düşey gerilme oranı gibi değerlerdir. Ayrıca bu ekranda tasarımı gerçekleştirilecek kaya saplaması türünün seçimi yapılmaktadır. Veriler girildikten ve kaya saplaması türü seçildikten sonraki aşamada tasarım gerçekleştirilmektedir. Şekil 6'da görülen ekranda mekanik kaya saplaması için elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu ekranda kaya yükü yüksekliği, kaya saplaması uzunluğu ve saplama düzeni gibi sonuç değerler elde edilmektedir. Ayrıca saplama düzenini gösteren bir şekil görülebilmektedir. Yine bu ekranda önerilen çap ve çelik kalitesinin dışında bir saplama kullanılmak istenirse, buna ait hesaplamalar da bu ekranda yapılabilmektedir. Şekil 7, 8 ve 9'da sırasıyla reçineli, dyna-rok ve swellex kaya saplamaları için gerçekleştirilen tasarımlar görülmektedir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, mekanik, swellex, dyna-rok ve reçine dolgulu kaya saplamalarının boyutlandırılmasına yönelik bilgisayar destekli bir sistem tanıtılmıştır. Sistem boyutlandırmada kullanılan geometrik, fiziksel ve mekanik özelliklere göre ve mevcut amprik formülleri dikkate alarak kaya saplaması ile ilgili boyutlandırma bilgilerini hesaplamaktadır. Değişik alternatiflerin hızlı bir şekilde denenebildiği sistem, gerek eğitim amaçlı, gerekse gerçek saha uygulamalarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Peng, S., Tang, D.H.Y., 1984. *Roof Bolting in Underground Mining: A State of the Art Review*, International Journal of Mining Engineering, V:2.
- Stillborg, B, 1994. *Professional Users Handbook for Rock Bolting*, Trans Tech Publications, 164 s.
- Ünal, E., Ergür, K.M., 1990. *Kaya Saplamaları ve Tasarımı Çalışma Grubu Toplantısı*, T.K.İ., Çayırhan, Ankara, 178s.
- Uysal, Ö., 1999. *Kaya Saplamaları Kullanımının Önemi ve Bu Kullanımda Halat Tipi Kaya Saplamasının Yeri*, Doktora Semineri, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 50 s.

Çan Açık Ocağı Kocabaş Çayı Civarı Şev Duraylılığı Analizleri

Slope Stability Analyses Around Kocabaş River in Çan Open Cast Mine

C. Karpuz, L. Tutluoğlu, A. Koçal

(Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara)

A. Koçyiğit

(Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara)

ÖZET Çan Linyit havzasını güneyden sınırlayan ve Kocabaş Fay Zonu olarak adlandırılan bölgede yer alan havzaya doğru eğimli tektonik faylar mevcuttur. Bu faylar civarında, temel kayaların derince ayrılmış olan üst kesimleri kuzeye (havzaya doğru) gelişen kama tipi bir heyelanla kaymıştır. Bu bildiriye, oluşan bu heyelanın, Kocabaşçay bölgesinden kuzeye, ocağa doğru başlatılacak olan örtü kaldırma çalışmaları sırasında ve sonucunda oluşacak ocak şevlerinin duraylılığına etkisi araştırılmıştır. Önce iki ve üç boyutlu sayısal modellemelerle geriye dönük analizler yapılarak girdi kesme parametreleri elde edilmiş ve sonrasında hem kayan şevlerin hemde ocak güney şevlerinin duraylılıkları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kocabaş fay zonu, sayısal modeller, şev duraylılığı

ABSTRACT Kocabaş fault zone is composed of tectonic faults, steeply dipping towards Çan lignite basin and surrounds the basin from south. Around the fault zone, at the top of the weathered part of the base rock, a wedge type of slope failure occurred towards the open pit. This paper presents the results of the investigations carried out on the effect of this failure to the stability of the overall slopes both during and after the stripping works. First of all, a back analysis was carried out to determine the input shear parameters by using both 2D and 3D numerical models and then the determined parameters were utilized to investigate the stability of the slopes.

Key words: Kocabaş fault zone, numerical models, slope stability

1 GİRİŞ

Çan İşletmesi Müdürlüğü Açık ocakları B panolarında 2005 yılında, yapılan proje sonucunda, B panolarında halen

uygulanmakta olan kuzeyden güneye doğru ilerleme çalışmasına ek olarak, panonun güney yönünden ocak açılarak üretimin bu yönden sürdürülmesi ve

daha sonra kuzeyden gúneye ilerlemenin durdurulması kararı verilmiştir. Ancak, gúneyden başlayacak bir çalışma için öncelikle Kocabaş ayının islah edilmesinin gerektiği de önerilmiştir. Batı panolarıyla ilgili çalışmanın yúrúrlúđe girmesinden sonra, Kocabaş ayının gúney-gúneybatı kısımlarında ve TKİ istimlak sahasının dışında bir heyelan meydana gelmiştir.

Çalışma kapsamında, an Linyit sahasında TKİ Genel Múdürlúđu adına, Elektrik İşleri Etút İdaresi (EİEİ) Genel Múdürlúđu tarafından hem jeoteknik hem de rezerv tesbitine dönük sondajlar ve TKİ Jeofizik ekibince (Ergúder ve arkadaşları, 2004) jeofizik çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen verilerden de yararlanılarak önce Kmúr havzasının (B ve Batı panoları ile Kocabaş ayının civarında) yapısal birimle çıkartılmış, sonra da duraylı şev açıları belirlenmiştir.

Bu bildiride, Kocabaş ayı civarında meydana gelen heyelandan yararlanarak, diğer bir deyişle, kaya mekaniğinde yaygın olarak kullanılan geriye analiz (back analysis) yöntemini kullanarak sahada mevcut kaya birimlerinin kesme parametreleri belirlenmiş ve heyelanın ocağı tehdit etmemesi için Kocabaş ayı civarında duraylı şev açıları hesaplanmıştır.

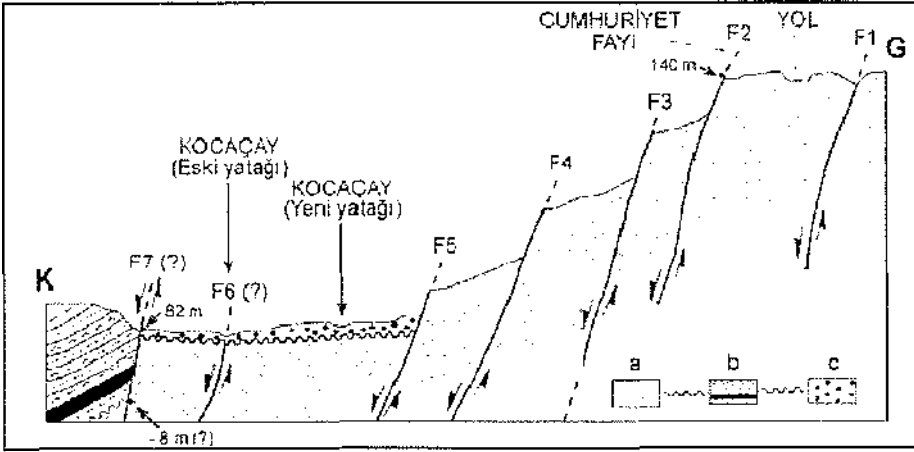
1.1 Kocabaş ayı Fay Zonu

an Kmúr havzasının gúney kenarını ve havzanın oluşumunu denetlemiş olan bu yapı 18 km uzunluğunda, 0.7-1.2 km genişliğinde ve K60°D gidifli önemli miktarda sağ yanal doğrultu atım bileşeni olan verev atımlı normal bir fay zonu olup, uzak mesafeden, kuzeye havzaya doğru bakan dikçe eğimli ve yoğun bitki rtúsi ile kaplı fay sarplığı ve çizgisel gidifli ile hemen dikkati çeker. Kuzeybatıda Eteli ilçesi ile kuzeydoğuda an ilçesi doğu çıkışı

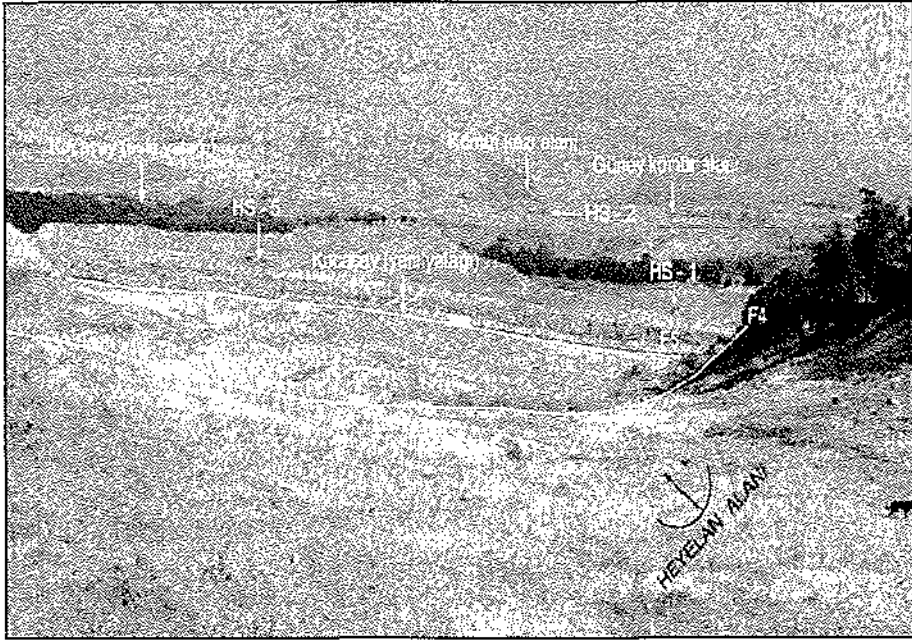
arasında uzanan koabaş ayı fay zonu, değişik uzunlukta (0.5-8 km), sık aralıklı (50-700 m), birbirine paralel-yarı paralel uzanımlı çok sayıda fay segmentinden oluşur. Uzanımı boyunca Kocabaş ayı ve yan kollarını denetlemekte olan fay zonu, aynı zamanda gúnmúzde de aktif bir yapı olup, Sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu fay sisteminin Biga yarımadasındaki temsilcilerinden birisidir (Kocyiđit, 2005).

Kocabaş ayı fay zonu, an kmúr havzasının gúney kenarında, kuzeye havza içine doğru bakan, birbirine paralel uzanımlı ve sık aralıklı, kuzeye doğru dikçe eğimli (67°- 83°) ve basamak t¼r¼ y¼zey biçimi sunan yedi adet fay segmentinden oluşmaktadır (şekil 1). Bu yedi adet fay segmentinden beş adedi (şekil 1 de F1, F2, F3, F4 ve F5 nolu faylar), havzanın gúney kenarında (Kocabaş ayı vadisinin sağ yamacında) gözlenip kinematik özellikleri analiz edilmiştir. F2, F3, ve F4 fayları, burada gelişen heyelan sonrası, kaymış olan k¼tlelerin altından y¼zeye çıkmış fay aynaları sunmaktadır. Fay aynaları úzerinde l¼len kayma verilerinin (slip-data) yapısal analizi, bu fayların, km¼r¼n oluşumu sırasında, çok az doğrultu atım bileşeni olan verev atımlı normal bir faylanmayı temsil ettiği, fay boyunca etkin genişlemenin K-G yönde olduğunu, göstermiştir

F1, F2, F3, F4 ve F5 fayları y¼zeyde gözlenmiş olmasına karşın, F6 ve F7 fayları, gerek Kocabaş ayı nehir yatağını oluşturan g¼ncel al¼vyonlar gerekse km¼r kazısından çıkan toprak yığını nedeniyle y¼zeyde gözlenmemiştir. Buna karşın, bu faylar daha önce yapılan sondaj çalışmaları baz alınarak çizilmiş olan jeoloji enine kesitlerinde, ayrıca Ergúder ve diğer. (2004) tarafından, an km¼r ocağı gúney-gúneydođu şevlerinde yapılan jeofizik çalışmasında da, yaklaşık DKD- gidifli, kuzeye doğru dikçe eğimli (82°-83°) ú adet fay daha saptanmıştır.



Şekil 1. Kocabaş çayı fay zonunun basamaklı yapısını ve Çan kömür havzası ile ilişkisini gösteren ölçeksiz jeolojik enine kesiti. a: Geç Eosen – Oligosen yaşlı andezitik volkanitler (temel); b: Erken – Orta Miyosen yaşlı Çan kömür havzası dolgu istifi; c: Güncel alüvyonlar; (140, 82, -8 m : okla belirtilen noktaların deniz seviyesine göre olan yükseklikleri)



Şekil 2. Çan kömür havzası güneydoğu kesiminin, Kocabaş çayı nehrinin eski ve yeni yatağının bu yörede yapılmış sondajların (HS -1, HS -2, HS -5) ve heyelan alanının genel görünümü (kuzeye doğru)

2 KOCABAŞ ÇAYI CİVARI ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ

2.1 Giriş

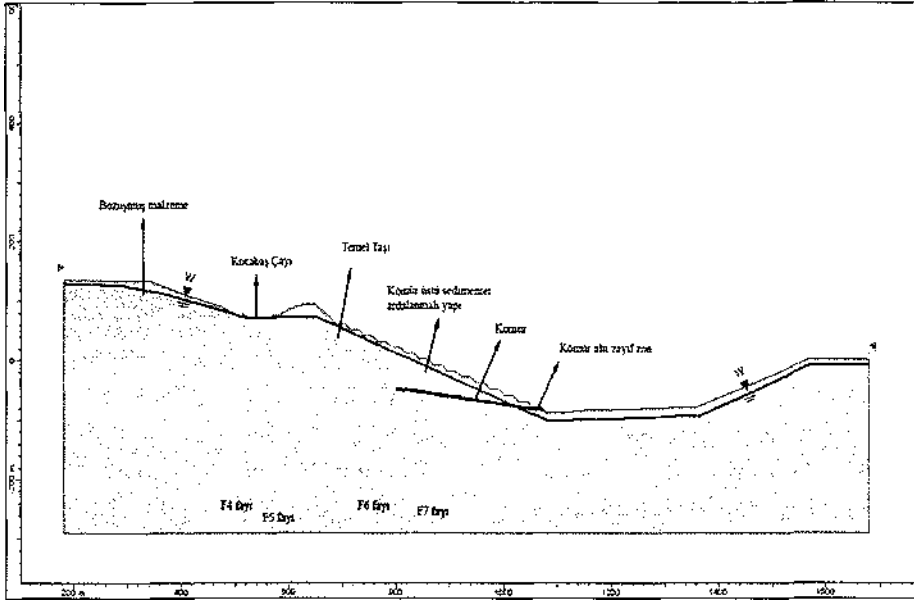
Faylarla ilgili kısımda değinildiği gibi, kömür havzasını güneyden sınırlayan ve Kocabaş Fay Zonu olarak adlandırılan bölgede yer alan havzaya doğru eğimli tektonik faylar civarında, temel kayaların (andezitik lav ve tüflerin) derince bozuşmuş olan üst kesimleri kuzeye (havzaya doğru) gelişen heyelanla kaymıştır. Heyelan kama tipi bir özelliğe sahip olup, arkaya uzanımı heyelan eksenini boyunca en dar kısımda 310 m, en geniş ağız olan ön yüzde ise 550 m dir Şekil 2). Ortalama derinliği 15 m civarında olup yaklaşık 1 300 000 m³ bir kütle yer değiştirmesiyle heyelan sonuçlanmıştır. Kayan kütle, arka ve yanlarda yaklaşık 10 m ve üzeri düşey hareketlerle oluşan çatlaklardan ayrılmış ve şev önünde çaya doğru 15-20 m lik yataya yakın hareketlerle ilerlemiştir. Böylece üstteki bozuşmuş moloz halindeki malzeme nispeten sert taban taşının üzerinde akarak, çay islah çalışmaları sırasında öndeki topuğun kaldırılmasını takiben yaratılan boşluğa doğru hareket etmiştir.

Önce iki ve üç boyutlu sayısal modellemeler ile yukarıda oluşumu açıklanmaya çalışılan heyelanın öncesi ve sonrası Kocabaş Çayı civarındaki topoğrafya canlandırılmış ve bu topoğrafyalarda oluşan şevlerin kayma durumları ve şimdiki duraylı halleri analiz edilmiştir. Böylece bu geriye dönük analizlerle bölgedeki zemin malzemesinin efektif kohezyonu (c') ve içsel sürtünme açısı (Φ') hakkında yorumlamalar yapılabilmiş ve sonuçlar ilerideki ocak faaliyetleri sonucunda oluşacak değişik şev geometrisi senaryoları ve bunların duraylılığına yönelik çalışmalarda kullanılmıştır.

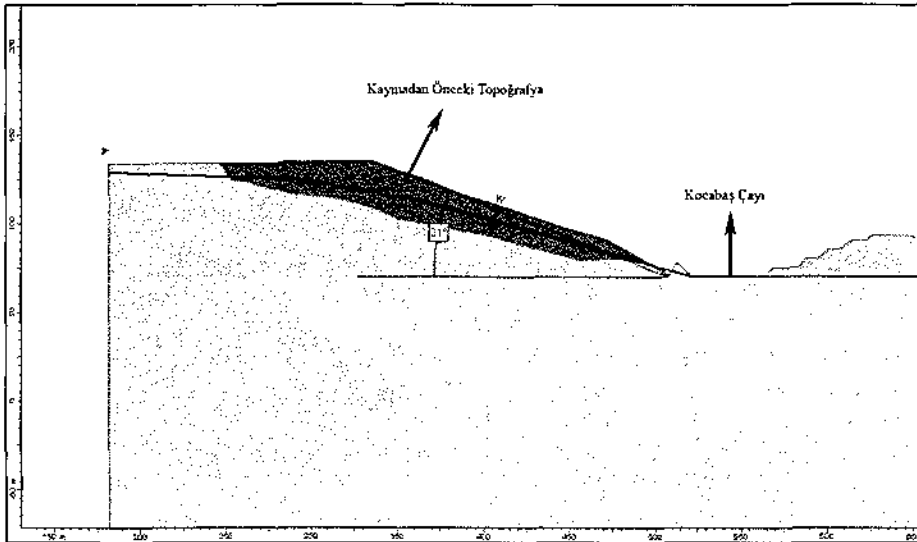
2.1.1 Sayısal modellemelerde kullanılan programlar

Başlangıçta iki boyutlu dilimleme metodu ve limit denge durumlarını kullanan SLIDE programı kritik kesitlerde basit ön analizler yapılmıştır. SLIDE programı kolay kullanımlı olup daha çok dairesel kayma dairelerinin analizleri ile basit şev tasarımına yöneliktir. Program kendi içinde en kritik kayma yüzeyine ait emniyet faktörünü verebildiği gibi kullanıcı tarafından üretilen yüzeylere ait emniyet faktörlerini de hesaplayabilmektedir. Program değişik dilimleme metodlarıyla analiz yapabilmektedir, buradaki dairesel kayma analizlerinin tümünde tutarlı olabilmek için, "Bishop Simplified Method" yöntemi tabaka ve dairesel kompozit yüzeylerde kaymalar için Janbu Simplified metodları kullanılmıştır.

Kaymadan önceki ve sonrasında oluşan topoğrafyanın daha gerçekçi olarak canlandırılabilmesi, arazide heyelan sonucu gözlenen büyük şev hareketlerinin ve deplasmanların modellere dahil edilebilmesi ve analizlere üçüncü boyutun etkisinin katılabilmesi amacıyla FLAC3D 3.00 sonlu farklılıklar programı kullanılarak analizler detaylandırılmıştır. Bu program kütleli zaman içinde kaydırmaya devam ederek kaymanın tam bir simülasyonunu yapabildiği için tercih edilmiştir. Simülasyonlarda şev üstünde ve önünde seçilebilen çeşitli noktalarda kaymanın oluşumu ve gelişimi sırasında oluşan deplasmanlar ve kayma hızları izlenebilmekte ve böylece olası heyelan bölgelerinde kaymanın az bir yer değiştirme ile durması veya büyük hareketlerle duraysızlığın artarak devam etmesi gibi sonuçlar değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3 Analizlerde kullanılan malzemeler ve



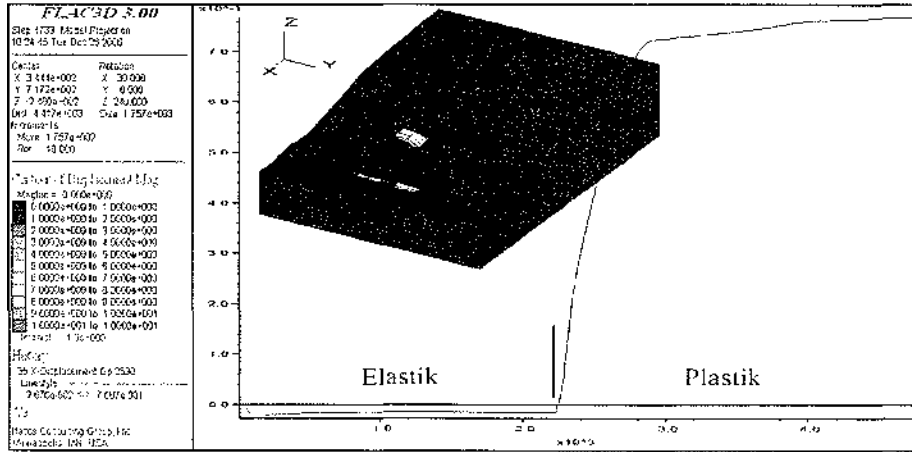
Şekil 4 Heyelan bölgesinin kaymadan önceki halinin canlandırılması (A-A' kesiti) kesit geometrisi (A-A' kesiti)

2.2.2 Üç Boyutlu Modellemeler

FLAC programı zaman dilimleri veya adımları ile problemi çözmektedir. Adımlarda daha önceden belirlenen ağ noktalarında deplasmanlar, kütlelerin kayma hızları, gerilmeler gibi parametreler izlenip depolanmaktadır. İstenilen adımda program durdurularak kayma hareketinin durumu, hızı ve deplasmanları incelenebilmektedir. Modeldeki x-yönü haritada güneydoğu-kuzeybatı (GD-KB) doğrultusuna denk gelmektedir. Bölgede bulunan fayların konumları da Şekil 6 'daki gibidir. Çözümler sırasında modelin rijid kütle halinde hareketini önlemek için modelin tabanı z-yönünde, KD-GB doğrultusunda en dışta kalan yüzeyler y, GD-KB doğrultusunda en dışta kalan yüzeyler x-yönünde sabitlenmiştir. Tüm model

çerçevesinin boyutları 1200 m * 850 m kesit ve 320 m derinlik şeklindedir, (Şekil 6).

Heyelandan sonra arazideki kayma hareketleri durmuş olup kaymadan sonra oluşan şu andaki doğal açının yaklaşık 13 derece olduğu tespit edilmiştir. 3-Boyutlu geriye dönük analizlerin modellenmesinde bu değer bozuşmuş malzemenin içsel sürtünme açısı olarak kullanılmıştır. Duraylılığı esas etkileyecek olan asıl parametrenin şev içinde derinliğe bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilecek kohezyon değeri olması sebebiyle bozuşmuş malzemenin kohezyonu 20 ile 60 kPa arasında değiştirilerek ve gözlemlerdeki deplasmanları karşılayan duraylılık analizleri yapılmıştır. Malzeme özellikleri Çizelge 1 'de görülmektedir.



Şekil 7.35 no lu noktada x-yönündeki deplasman değişimi (Kohezyon = 40 kPa)

İlk önce bozuşmuş malzeme için kohezyon değeri 20 kPa alınmış ve modelde geniş çapta 60 metrenin üzerinde heyelan hareketleri gözlemlenmiştir. Sonra kohezyon değeri 60 kPa olarak denenip modelde hareketlerin 30 cm civarında küçük değerlere düştüğü ve bu yüksek kohezyon değeriyle kayma olmayacağı tespit edilmiştir. Ancak

limit duruma yaklaşılan, kaymanın olmayacağı en düşük kohezyon değerinin tespiti için kohezyon değerleri 60 kPa'dan aşağı düşürülmüştür. 20 kPa ve 60 kPa arasındaki değerler denenmiş ve 40 kPa'da modelin kaymadığı kararlaştırılmıştır. Çünkü, Şekil 6 'da görüldüğü üzere, kayma bölgesinde en hareketli olması beklenen konumdaki

Çizelge 1 Modellemelerde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastik Modül (MPa)	Poisson Oranı	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)
Temel Taşı	2500	0,3	500	30
Sedimenter Ardalanmalı Yapı	100	0,3	16	20
Bozuşmuş Malzeme	400	0,3	20,0-60,0*	13
Fay	--	--	5	20
Kömür **	--	--	500	35
Kömür altı zayıf malzeme **	--	--	9,87	8

: Bozuşmuş malzemenin kohezyonunun tesbiti için yapılan çalışmalara ait değer aralığı

*: Sadece SLIDE analizlerinde kullanılan malzemeler

35 no lu noktada bile, takip edilen x-yönündeki deplasmanlar 65 cm gibi düşük değerlerdedir. Deplasmanların küçük olması modelin duyarlı olduğunu göstermektedir.

Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 1 'de verilmiştir. Bozuşmuş malzemenin dayanım özelliklerinin tesbiti için iki ve üç boyutlu geriye dönük analizler yapılmıştır. Bölgede daha önce Çan 5 panoları için Karpuz ve diğerlerinin (2005) yaptığı çalışmada altere aglomera olarak belirlenen kömür üstü sedimenter formasyonun kohezyon değeri 16 kPa içsel sürtünme açısı değeri 20 derece olarak belirlenmiştir.

Temel kaya için kullanılan Çizelge 1 'deki kohezyon ve sürtünme açısı değerlerine ve Mohr- Coulomb kriterine göre bu birim için basma dayanımı yaklaşık 1,7 MPa olacaktır. Bölgedeki fay zonları için gerçek malzeme özellikleri bilinmediğinden tüm faylar için killi dolgu ve bantların mevcut olabileceği göz önüne alınarak $c'=5$ kPa ve $\Phi'=20^\circ$ gibi düşük dayanım değerleri girilmiştir. Faylar dik veya dike yakın olduğundan fay sürtünme açısındaki oynamalar analizlerin sonuçlarını büyük ölçüde etkilemeyecektir.

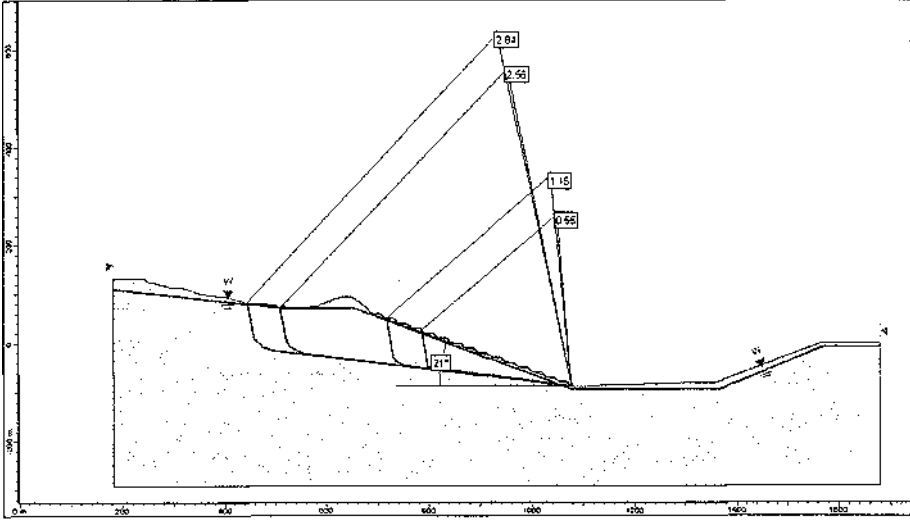
2.3 Ocak Güney Şevleri Analizi

Daha sonra yukarıda bulunan girdi parametrelerle,havzanın güneyinden açılması planlanan ocağın Kocabaş çayı kuzeyinde kalan şevlerin stabilitesi ve Kocabaş fay zonunun bu stabilizeye etkilerini araştırmak için yine öncelikle 2 boyutlu modellerle analiz yapılmıştır.

Müessesenin hazırladığı dekapaj projesine göre ocağın güney şev açısı 21 derece olarak planlanmıştır. Bu nedenle analizlere

21 derecelik şev açısı ile başlanmıştır. Çizelge 1'deki parametrelere göre planlanan 21 derecelik genel şev açısı ve yaklaşık oluşacak 140-150 metrelik şev yüksekliği ile şevler dairesel kayımlara karşı kritik olacaktır.Emniyet katsayısı 1.07 bulunmuştur. Şev yüksekliği fazla olduğundan oluşacak dairesel kaymanın boyutları büyük olup üretimi aksatabilme riski vardır.

Öte yandan şev geometrisi bu şekilde oluşturulduğunda senkinal havza yapısı nedeniyle kömür damarı ve alt ve üstündeki zayıf tabakaların eğimide ocak içine doğru olacağından bölgede daha önceki çalışmalarda bulunan zayıf tabakayı takiben oluşan kompozit bir yüzeyde kayma olasılığı mevcuttur, (Şekil 8).



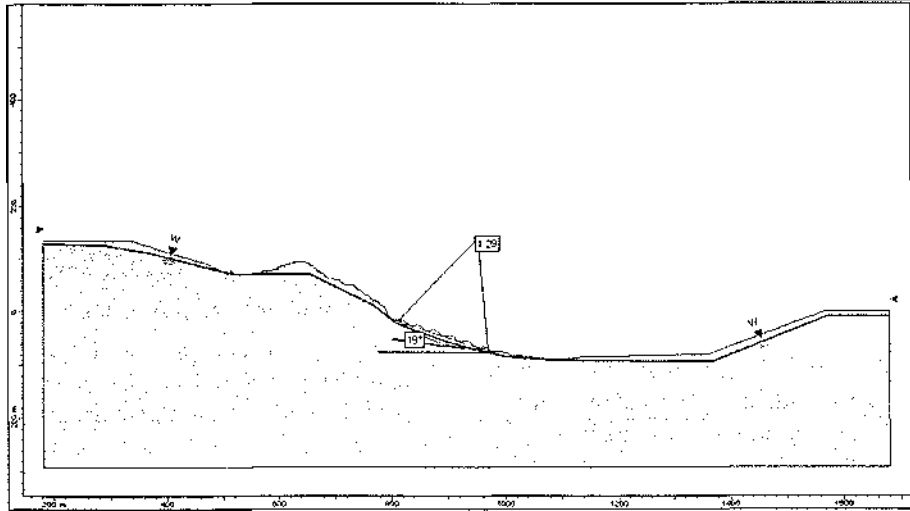
Şekil 8. 21 derece şev açısı ile tabaka kayma analizi (A-A' kesiti)

Bu nedenlerle bu bölgede, yapılacak kazı ve örtü kaldırma çalışmaları için uygulanabilecek şev oluşturma alternatifleri incelenmiştir.

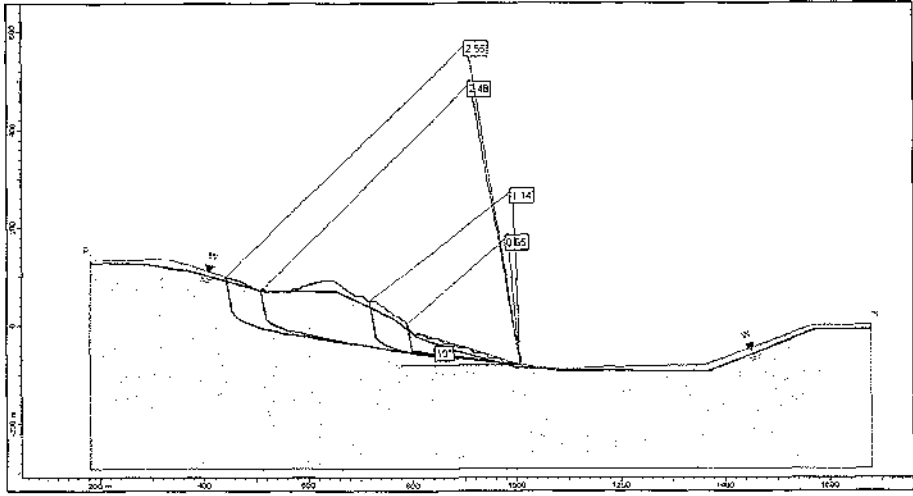
2.4 Duraylı Şev Oluşturma Çalışmaları

Jeofizik çalışmalardan elde edilen

bilgiler ışığında havza sınırını oluşturan F7 fayının güneyindeki kaya birimi temel kaya formasyonu olup dayanım değerleri yüksektir. Oluşturulan proje sınırına göre şev tepesinden itibaren 30-40 metrelik ilk yüksekliğin temel formasyonu olarak bilinen sağlam kayada olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 9 F7 fayı önünde örtü tabakası inceltmesi durumunda dairesel yüzeyde kayma analizi



Şekil 10. F7 fayı önünde örtü tabakası inceltilmesi durumunda faylarla oluşturulan kompozit yüzeylerde kayma analizleri

Bu sebepten ötürü tepeden itibaren 30-40 metrelik şev yüksekliğini daha dik açı ile (35 derece) inmek mümkün olabilecektir. F7 fayına gelindiği zaman faydan mümkün olduğunca fazla traşlanarak kömüre 19 derecelik bir açı ile inmek uygun olacaktır. Böylelikle şev alt sınırı planlanandan daha güneyde kalabilecektir. Bu durumda dairesel kaymalara karşı oldukça emniyetli tarafa geçilmektedir, (Şekil 9). Bu geometri ile kömür altı zayıf tabaka ile oluşan kompozit yüzeylerden kaymalar küçük çapta olup üretimi aksatmayacaktır (Şekil 10).

Daha duraylı bir şev geometrisi oluşturacak diğer bir alternatif ise, daha önce verilen rapordaki, "güneyden ocak açılması önerisi"ne de uygun olarak, ocak sınırı genel şevini tamamen temel kaya biriminde oluşturmaktır. Temel taşınun sağlam olmasından dolayı, Kocabaş çayından 60 metrelik bir mesafe bıraktıktan sonra temel taşı olan tuf kaya birimi içerisinde oluşturulan şevin genel şev açısını yüksek (39 derece) tutma imkanı vardır.

3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İki ve üç boyutlu modellemeler ile Kocabaş Çayı güneyinde çay ıslah çalışmaları sırasında meydana gelen heyelan canlandırılmış ve buradaki bozmuş malzemeye ait makaslama parametreleri tesbit edilmiştir. Ayrıca bu heyelanın ocağın güneyindeki kazı çalışmalarına etkisi de araştırılmıştır. a) Yapılan şev duraylılığı analizlerinin yüksek güvenlik katsayısı vermeleri, b) Fayların kazı yönüne göre olumlu konumları, c) Fayların havza sınırı ve taban taşlarının sağlam birimler olmaları nedenleriyle Kocabaş çayı ıslah çalışmaları sırasında oluşmuş olan heyelanın, ocağın güneyinde yapılacak kazı çalışmalarına olumsuz etkisi olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Belirlenen parametrelerle, Kocabaş çayının kuzeyindeki (ocagın güneyindeki) kazı şevlerinde duraylılık analizlerinde taban kayacından başlanırsa, tepeden itibaren 30-40 metrelik şev yüksekliğini daha dik açı ile (35 derece), F7 fayına gelindiğinde faydan mümkün olduğunca fazla traşlanarak kömüre 19 derecelik

bir açı ile inilmesi duraylı olacaktır. Bir diğer seçenekte ise, Kocabaş çayından 60 metrelik bir mesafe bıraktıktan sonra temel taşı olan tüf kaya birimi içerisinde oluşturulan şevin genel şev açısını yüksek (39 derece) tutma imkanı vardır.

KAYNAKLAR

Ergüder, İ., Sucu, A., Özdemir, Ö., 2004. *ÇLI Müdürlüğü Çan Ocağı Güney Şevi Jeofizik Rezistivite (Özdirenç) Etüdü*, TKİ Kurumu Genel Müdürlüğü Etüd Proje ve Tesis Daire Başkanlığı. Rapor, 9 s. (ayrıca ekleri var).

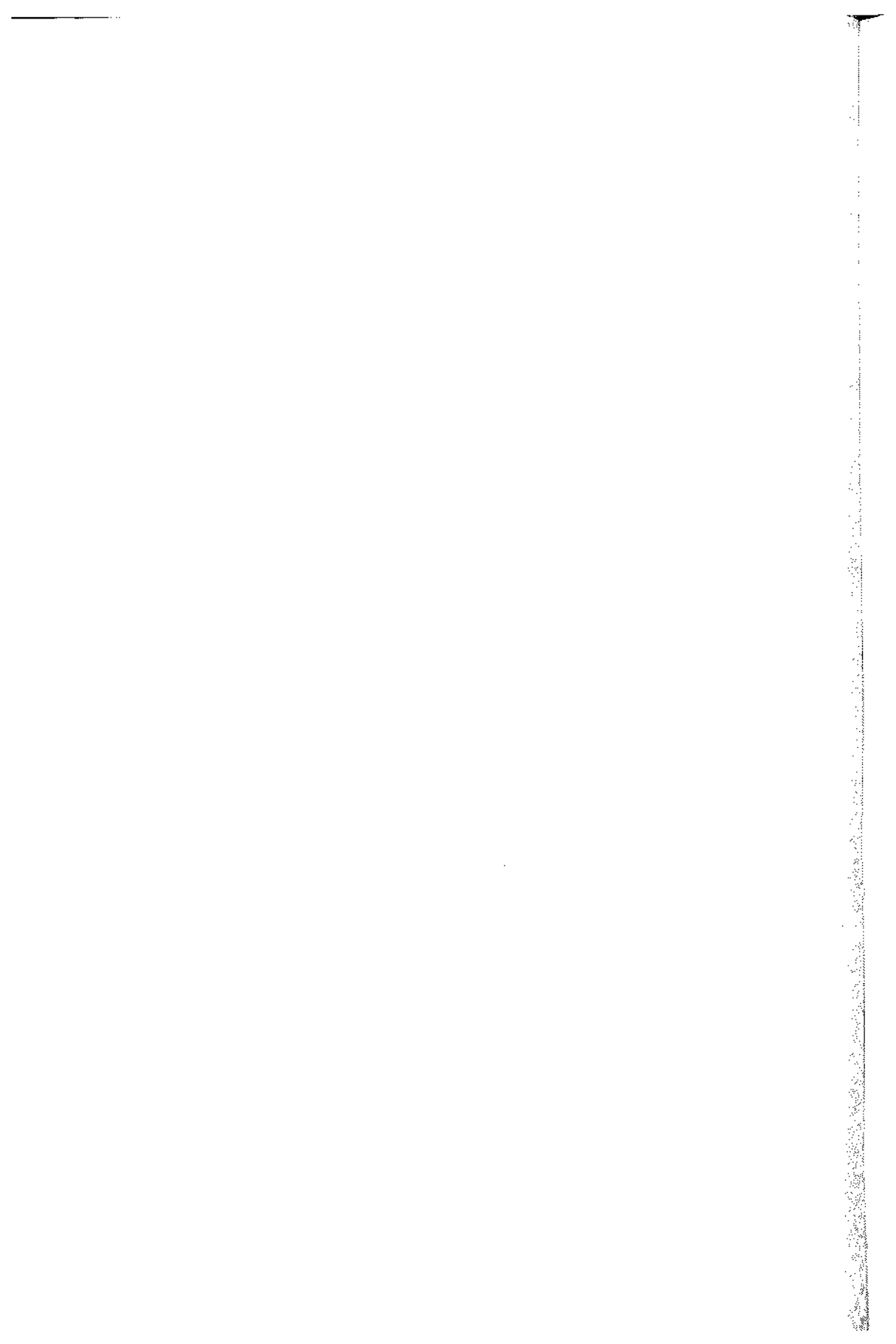
FLAC 3D Kullanım Kılavuzu, 2003. Itasca Consulting.

Karpuz, C., Koçyiğit, A., Tutluoğlu,

L., Koçal, A., Erdem, E., Alkılıçgil, Ç., 2005. *Orhaneli İşletmesi Açık Ocakları A1, A5, ve Gümüşpınar Panolarında Şev Tasarımı ve Dragline Çalışma Sisteminin Belirlenmesi*, ODTÜ, Proje Kod No. 05-03-05-2-00-13, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu TKİ, 20 s.

Koçyiğit, A., 2005. Denizli Graben-Horst System and eastern limit of the West Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18/ 3-4, s. 167-208

SLIDE 5.0 Kullanım Kılavuzu, 2005. Rocscience Inc.



Arhavi-Hopa (Artvin) Karayolu Şevlerinin Duraylılığı

Stability of the Slopes on Arhavi-Hopa (Artvin) Highway

M. B. Karslı, Ş. Ceryan

Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Bu çalışmada Arhavi-Hopa (Artvin) Karayolunda bulunan karayolu şevlerinin duraylılığı kaya kütle sınıflamaları (SMR, slope mass rating) ve kinematik analizler kullanılarak araştırılmıştır. Kinematik analizler sonucu duraysız oldukları belirlenen kaya şevlerinde SMR sınıflama sistemleri kullanılarak detaylı duraylılık analizleri yapılmıştır.

Kinematik analizlerle SMR sisteminin birlikte değerlendirilmesi sonucunda tüm şevlerde özellikle 330/50 duruşlu süreksizlik boyunca düzlemsel kayma ve 330/50 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca kama tipi yenilmelerin gelişebileceği belirlenmiştir.

Bu yenilmelerin önlenmesi amacıyla şevlerin yeniden düzenlenmesi (basamaklandırma vb.), iyi projelendirilmiş drenaj sistemlerinin geliştirilmesi ve dayanma yapılarının inşa edilmesi gerekmektedir.

ABSTRACT In this study, stability analyses of slopes on Arhavi-Hopa (Artvin) highway were carried out by using rock mass classification systems (SMR, slope mass rating) and kinematic analysis. The detailed stability analyses were performed by using SMR on the unstable rock slopes considering the results of kinematic analysis.

According to the results of the kinematic analyses and SMR system, planar failure on 330/50 directed discontinuities and wedge failure on intersect of 330/50 and 240/80 directed discontinuities are determined on the all rock slopes.

As a result of study, for prevention of planar failure on 330/50 directed discontinuities and wedge failure on intersect of 330/50 and 240/80 directed discontinuities, all slopes should be rearranged, and detailed drainage system should be developed.

1 GİRİŞ

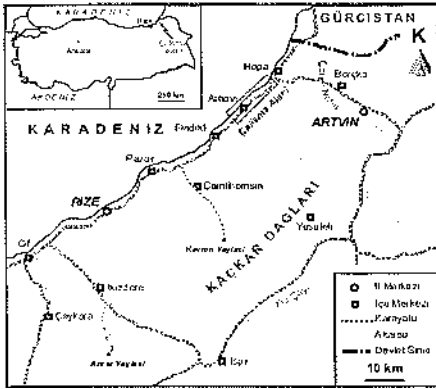
Doğu Karadeniz Bölümü kıyı illeri, yılda 1500 mm'nin üstünde yağış almaktadır. Bununla birlikte topografik koşulların ve bitki örtüsünün elverişli şartlar sağlaması ve çarpık kentleşme birçok doğal

felaketi de beraberinde getirmektedir. Özellikle taşkınlar ve buna bağlı olarak gelişen heyelanlar bölgenin en önemli çevre felaketlerinin başında gelmektedir. Bölgede yüksek eğim, litoloji, suya doygunluk ve tektonik yapı gibi faktörler

kütle hareketlerinin oluşmasında önemli rol oynasa da, heyelanlar yağışlı veya zeminin ıslak olduğu mevsimlerde çok daha fazla meydana gelmektedir (Ersoy ve Bulut, 2008).

Eğimin yüksek olduğu ve yağışlardan etkilenen yamaçlarda kütle hareketlerinin etkili olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum neticesinde karayollarında çoğu zaman can ve mal kaybına neden olabilecek kaya düşmesi, devrilme gibi kütle hareketleri meydana gelmektedir. Gerek karayolu hattı boyunca açılan yüksek eğimli şevler, gerekse karayolu dolgusuna malzeme elde etmek için açılan taş ocakları detaylı jeolojik ve jeoteknik çalışmaların yapılmaması nedeniyle büyük tehlike oluşturmaktadır.

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölümü'nde Artvin iline bağlı Arhavi ilçesi, Ortacalar beldesi sınırları içerisinde yer almakta olup 1/25000 ölçekli Artvin F46-b4 paftasının sınırları içerisinde yaklaşık 30 km²lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

2 GENEL JEOLJİ

Doğu Karadeniz Bölümü kıyı şeridi jeolojik evrime bağlı olarak, volkanik

kayaçların egemen olduğu bir jeolojiye sahiptir. Sedimanter kökenli kayaçlar çok az ve genellikle arakatlı şekilde gelişmiştir.

İnceleme alanı Rodop-Pontid Parçası'nın kuzey doğusunda yer alır (Şengör ve diğ., 2003). Bununla birlikte Rodop-Pontid Parçası'nın kuzey zonu tipik özelliklerini yansıtır.

Yapılan çalışmalara göre, arazinin tamamına yakın bölümünü volkanik (tüf, aglomera) kökenli kayaçların oluşturduğu görülmüştür. Çalışma alanının çok az bir bölümünde bu volkanitlerle yer yer uyumlu tortul kayaçlar yüzeylenir.

Yörede, Üst Kretase yaşlı Kızılkaya formasyonu ile bununla uyumlu olarak yine Üst Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu bulunur. Bunların yanı sıra Kuvaterner yaşlı alüvyonlar da çalışma alanında yer almaktadır.

3 MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Bu çalışmada, Arhavi-Hopa Karayolu şevlerinin duraylılığı incelenmiş, bu kapsamda kaya kütle sınıflamaları (SMR, slope mass rating) ve kinematik analizler kullanılarak kaya kütlelerinin stabilitesi araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında kaya kütlelerindeki süreksizliklerin özelliklerini ortaya koymak amacıyla hat çizimleri yapılmış, elde edilen arazi ve laboratuvar deney sonuçlarından yararlanılarak kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılmıştır (Karlı, 2009).

3.1 Kaya Şevlerinin Tanımlanması

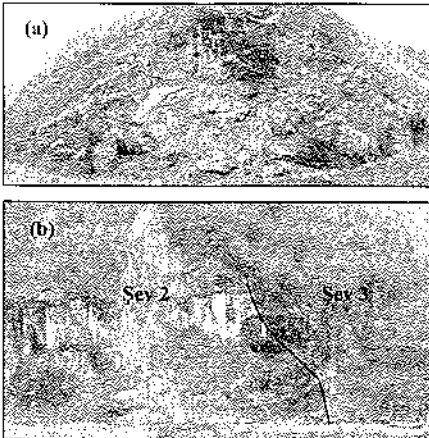
Çalışma konusunu oluşturan şevler Çağlayan Formasyonu'na ait bazalt, andezit ve piroklastitlerden oluşmaktadır. Şevlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Şev 1

37689297D/4578993K koordinatlarda ve Kıyıcık (Arhavi) tüneli doğusunda ve Arhavi ilçesinin batısında bulunmakta olan şevin stabilitesine yönelik her ne kadar basamaklandırma ve drenaj çalışmaları gerçekleştirilse de şevde kütle hareketleri gözlenmiştir. Yüksekliği 45, uzunluğu 65 m olan şev K30D/75KB duruşludur. Şevde genel olarak andezit, bazalt ve piroklastitler egemendir. Yastık debili bazaltlar ve yer yer andezit daykaları da yüzeylenme vermektedir (Şekil 2a).

Şev 2

37696198D/4582905K koordinatlarında ve Arhavi ilçesinin doğusunda bulunan karayolu şevi, eski bir taş ocağıdır. Şevde düzlemsel kayma ve kaya düşmesi şeklinde kütle hareketleri gözlenmiştir. Yüksekliği 35, uzunluğu 45 m olan şev K20D/80KB duruşludur. Şevde genel olarak andezit, bazalt ve piroklastitler egemendir. Bunun yanında şevin tabanında marn ve kireçtaşlarından oluşan tortul birimler üst kotlara doğru yerini andezitik ve bazaltik proklastitlere bırakmıştır (Şekil 2b)



Şekil 2. Çalışma konusu karayolu şevleri

Şev 3

37696232D/4582932K koordinatlarda ve Şev 4'ün doğu kesiminde bulunan karayolu şevinin yüksekliği 25, uzunluğu 55 m dir. K60D/80KB duruşlu şevde genel olarak andezit ve bazaltlar egemendir. Bunun yanında şevin orta kesiminde şevi boyu boyunca kat eden andezit daykaları bulunmaktadır (Şekil 2b).

3.2 Süreksizlik Özelliklerinin Tayini

Süreksizliklerin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem, hat etüdü yöntemidir. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau (1970) tarafından revize edilmiş, Attewell ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1976) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiştir. Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bu yöntemin ilk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler genellikle tek hat üzerinde yapılmış ve en az 150 adet süreksizliğin ölçülebilmesi koşulu dikkate alınmıştır. Bazı durumlarda mostraların yer yer döküntüyle kapanmış olması nedeniyle daha kısa mesafeler boyunca çalışma zorunluluğu duyulmuştur.

Çalışmada her bir süreksizlik takımı için ayrı ölçümler yapılmış, farklı süreksizlik takımları için, o süreksizlik takımının doğrultusuna dik ölçüm hatları belirlenmiş ve bu hatlar boyunca süreksizliklerin özellikleri tespit edilmiştir.

Çalışma konusunu oluşturan ve Çağlayan Formasyonu'na ait bazalt, andezit ve piroklastitlerden oluşan kaya kütlelerinin davranışını kontrol eden üç ayrı süreksizlik takımının olduğu belirlenmiştir. Bunlar 330/50, 160/85 ve

Çizelge 1. Çalışma konusu şevler için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri

Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Şevler		
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	Tanımlama	Şev 1	Şev 2	Şev 3
		Süreksizlik ara uzaklığı frekans değerleri (adet)		
< 0.02	Çok dar ara uzaklığı	20	47	47
0.02-0.06	Dar ara uzaklığı	45	49	49
0.06-0.2	Yakın ara uzaklığı	40	40	40
0.2-0.6	Orta derecede ara uzaklığı	35	28	28
0.6-2	Geniş ara uzaklığı	15	9	9
2-6	Çok geniş ara uzaklığı	-	-	-
> 6	İleri derecede geniş ara uzaklığı	-	-	-
Ortalama süreksizlik ara uzaklığı (m)		0.21	0.24	0.17

Çizelge 2. Çalışma konusu şevler için ortalama süreksizlik devamlılığı değerleri

Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Şevler		
Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama	Şev 1	Şev 2	Şev 3
		Süreksizlik devamlılığı frekans değerleri (adet)		
< 1	Çok düşük devamlı			
1-3	Düşük derecede devamlı		1	1
3-10	Orta derecede devamlı	4	5	7
10-20	Yüksek devamlı	32	45	21
> 20	Çok yüksek devamlı	54	55	43
Ortalama süreksizlik devamlılığı (m)		21	19	19

Çizelge 3. Çalışma konusu şevlerin farklı süreksizlik yüzeylerine ait JRC değerleri

Şevler	Süreksizlik eğim yönü açısı ve eğimi	Ortalama JRC değeri
Şev 1	330/50	4-6
	160/85	4-6
	240/80	6-8
Şev 2 ve 3	330/50	14-16
	160/85	12-14
	240/80	14-16

240/80 duruşlu süreksizlik setleridir.

Kaya kütlelerinde görülen blokların boyutu ve meydana gelebilecek yenilmelerin türü, birbirine komşu süreksizlikler arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanan süreksizlik ara uzaklığı ile kontrol edilir. Bu nedenle, bu çalışmada her karayolu şevi için süreksizlik ara uzaklıkları ölçülmüş ve tanımlamada ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır.

Devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçümler ile her süreksizlik takımı için belirlenmiştir. Devamlılık parametresi ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılarak nicelleştirilmiştir.

Pürüzlülük profillerinin çıkarılmasının amacı, kesme dayanımının ve hacimsel genişlemenin hesaplanması veya tahmin

edilmesidir. Bu çalışmada pürüzlülük tayininde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler uygulanmıştır.

Tüm sonuçlar Çizelge 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

Açıklık, hava, su veya ayrılmış materyalle dolu olan açık bir süreksizliğin bitişik yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanabilir (Wyllie and Mah, 2004). Çalışmada süreksizlik açıklığı değerleri mikrometre ile ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çalışmada bozunma derecesi ve

dayanım parametrelerinin tayini için Schmith çekici geri tepme sayısından yararlanılmıştır. Schmith sertlik değerleri bulunurken Chauvenet ölçütünden yararlanılmış, ölçüm yapılırken düzeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düzey tutuş açısına göre düzeltilmiştir. Arazi çalışmalarında farklı süreksizlik yüzeylerinin bozunma indeksi değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Hat etütleri sırasında ölçülen %

Çizelge 4. Çalışma konusu şevlere ait ortalama süreksizlik açıklığı değerleri

Süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		Şev 1		
Süreksizlik açıklığı (mm)	Tanımlama	Şev 1	Şev 2	Şev 3
		Süreksizlik açıklığı frekans değerleri (adet)		
< 0.1	Çok sıkı	33	29	29
0.1-0.25	Sıkı	12	13	13
0.25-0.5	Kısmen açık	4	4	4
0.5-2.5	Açık	3	1	1
2.5-10	Orta derecede geniş	-	-	-
> 10	Geniş	-	-	-
Ortalama süreksizlik açıklığı (mm)		0.31	0.28	0.28

Çizelge 5. Çalışma konusu şevlerin süreksizlik yüzeylerine ait bozunma katsayısı değerleri

Şevler	Süreksizlik eğim yönü açısı ve eğimi	Ortalama R_f değeri	Ortalama R_w değeri	W_c (R_f/R_w)	Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997'ye göre)
Şev 1	En düşük	55	49	1.12	Az bozuşmuş
	En yüksek	56	47	1.19	Az bozuşmuş
	Ortalama	58	51	1.14	Az bozuşmuş
Şev 2 ve 3	En düşük	52	43	1.19	Az bozuşmuş
	En yüksek	56	46	1.22	Az bozuşmuş
	Ortalama	50	42	1.21	Az bozuşmuş

Çizelge 6. Çalışma konusu şevlere ait RQD değerleri ve bu değerlerin Deere (1964) sınıflama ölçütlerine göre tanımlanması

Veri kaynağı	Şevler	Süreksizlikler	RQD (%)	Sınıflama (Deere, 1964'e göre)
Hat etütleri	Şev 1	Ortalama	92	Çok iyi
		En yüksek	93	Çok iyi
		En düşük	91	Çok iyi
	Şev 2 ve 3	Ortalama	86	İyi
		En yüksek	89	İyi
		En düşük	84	İyi

RQD değerlerinin kullanılması gerçeğe yakın bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlayacağı için, bu çalışmada arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak % RQD değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 6).

3.3 Duraylılık Analizleri

Kaya şevlerinin duraylılık analizleri, kinematik analizler, sayısal analizler, etkileşim matrisi yöntemleri ve kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizler kullanılarak yapılabilir.

Kaya şevlerinin duraylılığı, genel olarak şevin kazıldığı kaya kütleindeki tabaka düzlemleri, eklemler ve faylar gibi doğal süreksizliklerle kontrol edilir. Bu çalışmada ise kaya şev duraylılığı süreksizliklerin yapısal özellikleri dikkate alınarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

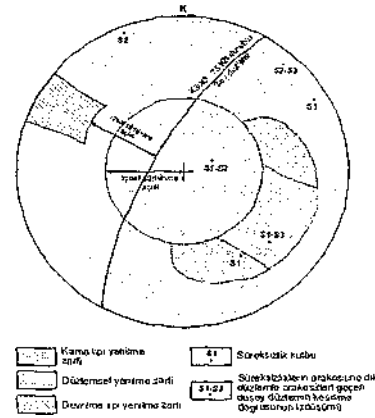
İlk aşamada süreksizliklerin özellikleri hat ettüdü çalışmalarıyla belirlenmiştir, ikinci aşamada süreksizliklerin duraylılık üzerine etkileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra bu çalışmada kinematik analizler sonucunda elde edilen sonuçlar kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizlerle karşılaştırılmıştır.

3.3.1 Kinematik analizler

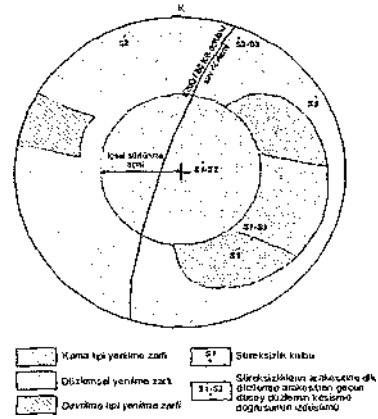
Kinematik analizler kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda, ayrıntılı analizlere başlamadan önce şevlerin duraylı veya duraysız olarak tanımlanması amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir.

Jeoteknik çalışmalarda, genel tasarım prosedürü potansiyel olarak duraysız blokların tespiti için kinematik analizin kullanılmasının ardından ayrıntılı sayısal analizlere geçilmesi esasına dayandırılmaktadır.

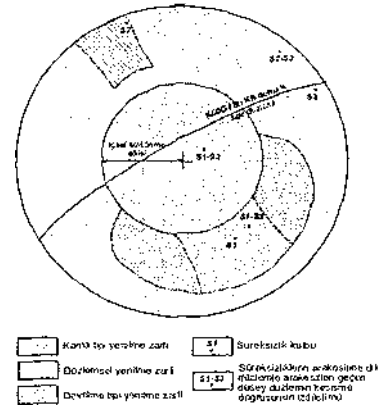
Düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme türü yenilmelerin analiz edildiği bu yöntemde veri olarak



Şekil 3. Şev 1'e ait kinematik analizler sonucunda belirlenen yenilme türleri



Şekil 4. Şev 2'ye ait kinematik analizler sonucunda belirlenen yenilme türleri



Şekil 5. Şev 3'e ait kinematik analizler sonucunda belirlenen yenilme türleri

süreksizliklerin yönelimi, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma direnci parametreleri kullanılmaktadır.

Arhavi-Hopa Karayolu'ndaki çalışma konusu 3 adet şeve ait konum, yükseklik, koordinat vb. gibi özellikler ile farklı konumlu şevler için kinematik analizler sonucunda hazırlanan ve yenilme zarfları kullanılarak belirlenen kaya şevlerindeki olası yenilmeler Şekil 3-5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde tüm şevlerde özellikle 330/50 duruşlu süreksizlik boyunca düzlemsel kayma ve 330/50 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca kama tipi yenilmelerin gelişebileceği görülmektedir.

3.2.2 SMR kaya kütle sınıflama sistemi

Bu puanlama sistemi kaya şevlerinin duraylılığını tesbit etmek amacıyla ilk olarak Romana (1985, 1993, 1995) ve Romana vd. (2003) tarafından önerilmiştir. SMR, RMR sistemi kullanılarak türetilmiş bir sınıflandırma sistemidir. Temel RMR puanına eklenen düzeltme faktörleri SMR puanını vermektedir.

SMR puanı, şevlerin duraylılık açısından sınıflandırılmasında kullanıldığı gibi duraysız şevlerde duraylılığı sağlamak ve/veya oluşabilecek zararları engellemek için alınacak önlemlerin belirlenmesinde de kullanılan bir sınıflama sistemidir.

SMR sisteminde olduğu gibi bir çok kaya mühendisliği uygulamasında kullanılan RMR (Jeomekanik sınıflama sistemi) Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş ve son halini 1989 yılında yapılan değişikliklerle almıştır (Bieniawski, 1989).

RMR sınıflama sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında kayacın nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalitesi göstergesi (%RQD), süreksizlik ara

uzaklığı, süreksizliklerin durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük ve bozunma) ve yeraltı suyu durumu gibi parametreler kullanılmaktadır.

Bu parametreler laboratuvar ve arazi ölçümleri ile tayin edildikten sonra puanlama yapılır. Bu işlemden sonra elde edilen puan Temel RMR puanıdır.

Temel RMR puanları aşağıda ki gibidir:

Şev 1'de hesaplanan Temel RMR puanı 58,

Şev 2'de hesaplanan Temel RMR puanı 55,

Şev 3'de hesaplanan Temel RMR puanı 61 olarak bulunmuştur.

SMR puanı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$SMR = RMR_{temel} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (1)$$

F_1 faktörü şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi doğrultuları arasındaki paralellik ilişkisi olarak tanımlanır ve düzlemler arasındaki açı 30° 'den fazla ise 0.15, düzlemler kendi aralarında paralel ise 1 değerini alır. F_1 faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$F_1 = (1 - \sin \delta)^2 \quad (2)$$

Burada, δ : şev ve süreksizlik yüzeylerinin doğrultuları arasındaki açıdır.

F_2 faktörü, düzlemsel kayma türü yenilmede süreksizlik yüzeyinin eğim açısına bağlıdır. Bu faktör, süreksizlik yüzeyinin kesme direncinin de bir ifadesi olarak ele alınmaktadır. Süreksizlik eğim açısı 45° 'den fazla ise 1, 20° 'den düşük ise 0.15 değerini alır. Faktör devrilme türü yenilme için 1 kabul edilir. Düzlemsel kayma analizi için aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmektedir.

$$F_2 = \tan^2 \beta_j \quad (3)$$

Burada β_j : süreksizlik yüzeyinin eğim açısıdır.

F₃ faktörü, şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğim açısı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu faktör, düzlemsel kayma tipi yenilmede süreksizliğin şev düzlemini kesip kesmediğinin bir göstergesidir.

F₄ faktörü ise şevin kazı yöntemine bağlı olarak şevin örselenme durumunu gösteren parametredir.

Buna göre belirlenen SMR puanları aşağıdaki gibidir:

Şev 1'de hesaplanan SMR puanı
Düzlemsel Kayma için 36,7,

Şev 2'de hesaplanan SMR puanı
Düzlemsel Kayma için 47,38,

Şev 3'de hesaplanan SMR puanı
Düzlemsel Kayma için 20,2,

Şev 1'de hesaplanan SMR puanı
Devrilme için 43,

Şev 2'de hesaplanan SMR puanı
Devrilme için 55,

Şev 3'de hesaplanan SMR puanı
Devrilme için 61 olarak belirlenmiştir.

Şev 1'de Kama tipi yenilme için hesaplanan SMR değerleri 38,86, 45,32 ve 23,99 olarak belirlenmiştir.

Şev 2'de Kama tipi yenilme için hesaplanan SMR değerleri 39,5, 54 ve 31,96 olarak belirlenmiştir.

Şev 3'de Kama tipi yenilme için hesaplanan SMR değerleri 0, 46,67 ve 25,09 olarak belirlenmiştir.

SMR sınıflama sistemine göre, 300/75 duruşlu şev incelendiğinde (şev 1); 330/50 duruşlu süreksizlikler için yüksek olasılıkta düzlemsel kayma ve devrilme, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerde ise düşük olasılıkta devrilme türü yenilmeler beklenmektedir. Bununla birlikte bu 3 süreksizliğin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme gelişebilir.

240/80 duruşlu şev incelendiğinde (şev 2); 330/50 duruşlu süreksizlikler için

yüksek olasılıkta düzlemsel kayma, 330/50, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme beklenmektedir. Bu 3 süreksizlik boyunca çok düşük olasılıkta devrilme tipi yenilme gelişebilir.

290/80 duruşlu şev incelendiğinde (şev 3); 330/50 duruşlu süreksizlikler için yüksek olasılıkta düzlemsel kayma, 330/50, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme beklenmektedir.

4 SONUÇLAR

Kaya şevlerinin duraylılık analizi yapılırken, ilk aşamada süreksizliklerin özellikleri hat ettüdü çalışmalarıyla belirlenmiştir, ikinci aşamada süreksizliklerin duraylılık üzerine etkileri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra bu çalışmada kinematik analizler sonucunda elde edilen veriler, kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizlerle desteklenmiştir.

Kinematik analizler sonucunda tüm şevlerde özellikle 330/50 duruşlu süreksizlik boyunca düzlemsel kayma ve 330/50 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca kama tipi yenilmelerin gelişebileceği belirlenmiştir.

SMR sınıflama sistemine göre, 300/75 duruşlu şev incelendiğinde; 330/50 duruşlu süreksizlikler için yüksek olasılıkta düzlemsel kayma ve devrilme, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerde ise düşük olasılıkta devrilme türü yenilmeler beklenmektedir. Bununla birlikte bu 3 süreksizliğin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme gelişebilir. 240/80 duruşlu şev incelendiğinde; 330/50 duruşlu süreksizlikler için

yüksek olasılıkta düzlemsel kayma, 330/50, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme beklenmektedir. Bu 3 süreksizlik boyunca çok düşük olasılıkta devrilme tipi yenilme gelişebilir. 290/80 duruşlu şev incelendiğinde; 330/50 duruşlu süreksizlikler için yüksek olasılıkta düzlemsel kayma, 330/50, 160/85 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca yüksek olasılıkta kama tipi yenilme beklenmektedir.

SMR sınıflama sisteminin şevler için güvenli tarafta olması ve kinematik analizlerle SMR sisteminin birlikte değerlendirilmesi, 330/50 duruşlu süreksizlikler boyunca çok yüksek olasılıkta düzlemsel yenilme ve 330/50 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca kama tipi yenilmelerin gelişebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak 330/50 duruşlu süreksizlikler boyunca gelişebilecek düzlemsel yenilmenin ve 330/50 ve 240/80 duruşlu süreksizliklerin ara kesit doğrusu boyunca gelişebilecek kama tipi yenilmelerin önlenmesi amacıyla şevlerin yeniden düzenlenmesi (basamaklandırma vb.), iyi projelendirilmiş drenaj sistemlerinin geliştirilmesi ve dayanma yapılarının inşa edilmesi gerekmektedir.

AÇIKLAMALAR

Yazarlar, çalışma sırasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a ve Prof. Dr. Fikri BULUT'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Attewell, P.B., Farmer, I.W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Barton, N. ve Choubcy, V., 1977. The

Shear Strength of Rock and Rock Joints. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstract, 13, 255-279.

Deere, D.U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, Rock Mech. Rock Eng. 1, 17-22.

Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Ersoy, H., Bulut, F., 2008, Kütle Hareketlerinin Oluşumunda Yağışın Rolü, Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, Trabzon, 161-171.

ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-68.

ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.

Jenning, J.E., 1970. A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, 87-112

Karsli, O., Chen, B., Aydin, F., Şen, C.,

2007. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting. *Lithos* 98, 67-96.
- Karlı, 2009, Arhavi-Hopa (Artvin) Karayolu Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 90 s.
- Piteau, D.R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines, S.A. Inst. Min. and Metall., Johannesburg, 33-53.
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 13, 135-148.
- Romana, M., 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. *International Symposium on The Role of Rock Mechanics, Zacatecas, ISRM*. 49-53.
- Romana, M., 1993. A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. (in *Comprehensive Rock Engineering*. Ed. / Hudson). Pergamon. Vol 3. 575-600.
- Romana, M., 1995. The Geomechanical Classification SMR for Slope Correction. Proc. 8th Int. Congress Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, 3, 1085-1092.
- Romana, M., Serön, J.B. ve Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation ISRM 2003-Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 4 pp.
- Şengör A.M.C., Özeren S., Zor E., Genç T., 2003. Doğu Anadolu Litosfer Mekanizmasına Yeni Bir Yaklaşım, *Kuvaterner Çalıştayı 4, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Çalıştayı*. 101-110.
- Wyllie, D.C. ve Mah, C.W., 2004. *Rock Slope Engineering*, Spon Press, New York, 437 pp.

Piritli Atıklardan Üretilen Çimentolu Macun Dolgunun Dayanım ve Deformasyon Özellikleri

Strength and Deformation Behaviour of Cemented Paste Backfill Produced from Pyritic Tailings

B. Erçıkıdı, F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci, İ. Aıp

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Macun dolgu, maden atıkları, su ve çimento karışımından oluşan yüksek yoğunluklu, akışkan ve pompalanabilir bir malzemedir. Macun dolguyu oluşturan bileşenlerin (atık, bağlayıcı ve karışım suyu) her birinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliği dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının macun dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım ve deformasyon özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sülfür içeriği yüksek, piritli maden atıkları kullanılarak hazırlanan macun dolgu karışımında bağlayıcı olarak normal Portland çimento (PÇ 42.5), Portland kompoze çimento (PKÇ 42.5) ve sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32.5) kullanılmıştır. 3 farklı su:çimento oranı (5.81, 5.97 ve 6,14) ve bağlayıcı oranında (%5, %6 ve %7) hazırlanan macun dolgu karışımlarında bağlayıcı olarak sadece PKÇ 42.5 kullanılmıştır. Macun dolgu numuneleri 28-360 gün kür süresi sonunda tek eksenli basınç ve deformasyon testine tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarından, 360 günlük kür süresi sonunda PÇ 42.5 ve PKÇ 42.5 kullanılarak %5 çimento oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinde dayanım kaybı olduğu gözlenmiştir. Sülfata dayanıklı bağlayıcı (SDÇ 32.5 ve eşit oranda SDÇ 32.5 ve PÇ 42.5 karışımı) kullanılarak %5 çimento oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin ise, uzun dönemde yüksek dayanım kazanımı sağladıkları ve duraylılıklarını korudukları görülmüştür. PKÇ 42.5 kullanılarak %7 çimento oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin %5 çimento oranında hazırlanan numunelere göre, bütün kür sürelerinde 1.5-2.5 kat daha yüksek dayanım değeri elde ettiği görülmüştür. Ayrıca, 28 günlük kür süresi sonundaki macun dolgu numunelerinin tamamının elastik-plastik davranış gösterdiği ve Young modüllerinin, bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte arttığı, su:çimento oranının artmasıyla birlikte azaldığı görülmüştür.

ABSTRACT Paste backfill (CPB) is a pumpable, high density material made up of the mine tailings, water and cement and displays non-Newtonian behaviour. Physical,

chemical and mineralogical characteristics of the components (the tailings, binder and mix water) of CPB play a significant role on its short- and long-term strength and deformation behaviour. In this study, the effect of binder type, proportion and water-to-cement ratio on the short and long term strength and deformation behavior of CPB were investigated. Ordinary Portland cement (PC 42.5), Portland composite cement (PKC 42.5) and sulphate resistant cement (SDC 32.5) were used as the binders to prepare CPB samples from sulphide-rich pyritic tailings. Only PKC 42.5 was used as a binder in the tests where the effects of water-to-cement ratio (5.81, 5.97 and 6.14) and binder dosages (5%, 6% and 7%) were examined. Unconfined compressive and deformation tests (UCS) on CPB samples were performed following a curing period of 28-360 days. After 360 days of curing periods, the strength losses were observed to occur for CPB samples prepared at 5 wt.% binder dosage using PC 42.5 and PKC 42.5, respectively. However, the CPB samples prepared from sulphate resistant binders (SDC 32.5 and a mix of SDC 32.5 and PC 42.5) at 5% binder dosage produced good long-term strengths and maintained their durability. CPB samples at 7 wt.% binder dosage produced 1.5 to 2.5 fold higher UCS values than those at 5 wt.% binder dosage on all curing days. In deformation tests, all CPB samples showed elastic-plastic behaviour at 28 days curing period and the Young's modulus of the CPB samples were observed to increase with increasing binder dosage and decreasing water-to-cement ratio.

1 GİRİŞ

Macun dolgu; tesis atıkları (ağırlıkça %78-85 katı oranı), su ve bağlayıcı (ağırlıkça %3-9) karışımından oluşan bir dolgu tipidir (Brackebusch, 1994). Macun dolgu teknolojisi ile tesis atıklarının yeraltında depolanması; i) yerüstü atık depolama maliyetlerinin ve olumsuz çevresel etkilerin (çevre kirliliği, asidik maden suyu oluşumu vb.) azalmasını sağlamakta, ii) daha ekonomik bir dolgu uygulamasını mümkün kılmakta ve iii) dolgu malzemesi olarak kullanılacak diğer doğal kaynakların (kaya, agrega, çakıl vb.) tüketimini azaltmaktadır.

Macun dolguyu oluşturan bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri dolgunun dayanımı, duraylılığı, deformasyon ve mikroyapı özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Benzaazoua vd., 2002; Yılmaz vd., 2003). Sülfür içeriği yüksek tesis atıklarından hazırlanan

macun dolgunun, zamanla duraylılığını kaybettiği belirtilmektedir (Kesimal vd., 2004; Erçikdi vd., 2009). Bunun nedenleri halen araştırma konusu olmakla birlikte, sülfürlü minerallerin (pirit vb.) oksidasyonu sonucu açığa çıkan asit (H^+) ve sülfatın (SO_4^{2-}), dolgunun uzun dönem duraylılığını kaybetmesinde etkili olduğu belirtilmiştir (Ouellet vd., 1998; Hassani vd., 2001). Piritin oksidasyonu sonucu açığa çıkan sülfat (SO_4^{2-}), ortamdaki kalsiyum hidroksit (CH) ve kalsiyum alüminat (C_3A) ile reaksiyona girerek genleşme özelliğine sahip ikincil jips ve etrenjit minerali oluşumuna; asit ise, hidrasyon ürünlerinin (C-S-H jeli ve CH) bağlayıcılık özelliklerini ($pH \leq 9$) ve sonuçta dolgunun zamanla yapısal bütünlüğünü kaybetmesine yol açmaktadır (Benzaazoua vd., 1999, 2002; Kesimal vd., 2004, 2005; Tariq ve Nehdi, 2007). Ayrıca bağlayıcı maliyetleri, macun dolgu işletme giderlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle

hem macun dolgu işleme maliyetlerini azaltmak ve hem de sülfürlü atıklardan hazırlanan macun dolguda asit ve sülfat etkisi nedeniyle uzun dönemde oluşan dayanım kaybını engellemek için, en uygun bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının belirlenmesi önem arz etmektedir.

2 BAĞLAYICI TİPİ VE ORANININ ÖNEMİ

Bağlayıcının sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellik, sülfürlü atıklardan hazırlanan macun dolgunun asit ve sülfat etkisine karşı performansında önemli bir etkidir. Kalsiyumca zengin Portland çimentosunun asit ve sülfat etkisine karşı düşük performans göstermesine rağmen (Neville, 2000), Portland kompoze çimento veya sülfata dayanıklı çimento kullanımının asit ve sülfat etkisine karşı etkili bir çözüm olduğu belirtilmektedir (Irassar vd., 2000; Benzaazoua vd., 2002; Dulaijan vd., 2003; Fall ve Benzaazoua 2005; Tariq ve Nehdi, 2007; Erçikdi vd., 2009). Portland çimentosunun C_3A içeriği (%8-12), Portland kompoze (<%8) ve sülfata dayanıklı çimentoya (<%5) göre daha yüksektir. Ayrıca bağlayıcıların ana bileşeni olan C_3S 'in (alit) C_2S 'e (belit) göre 2.2 kat daha fazla CH üretmesi nedeniyle, C_3S/C_2S oranının da bağlayıcıların asit ve sülfat etkisine karşı performansında önemli bir etken olduğu belirtilmektedir (Irassar vd., 2000). Ortamda CH miktarının artması, genleşme özelliğine sahip ikincil alçıtaşı oluşumu potansiyelini artırabilir (Benzaazoua vd., 1999; Hassani vd., 2001). Ancak, Portland kompoze çimento içerisinde bulunan puzolanik özelliğe sahip mineral katkı maddeleri (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.), ortamdaki CH ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe

sahip ilave C-S-H jeli oluşturmakta ve sülfat etkisini (genleşme özelliğine sahip ikincil mineral oluşumunu) azaltmaktadır (Neville, 2000).

Tariq ve Nehdi (2007) sülfür içeriği yüksek atıklardan (%21 S) hazırlanan macun dolguda, bağlayıcı olarak Portland çimentosu (PÇ) yerine sülfata dayanıklı çimento (SDÇ) kullanımının dayanım kaybını azalttığını ortaya koymuştur. Benzaazoua vd. (2002) ve Fall ve Benzaazoua (2005) ise, sülfür içeriği yüksek atıklardan (%32 ve %26 S) hazırlanan macun dolguda uzun dönemde oluşabilecek asit ve sülfat etkisine karşı, bağlayıcı olarak eşit oranda PÇ ve SDÇ karışımı kullanımının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ancak araştırmacılar (Benzaazoua vd., 1999, 2002, Kesimal vd., 2004, Fall ve Benzaazoua, 2005; Klein ve Simon, 2006; Tariq ve Nehdi, 2007) deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların, tüm macun dolgu işletmeleri için genelleştirilemeyeceğini; atık, bağlayıcı ve karışım suyunun fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin elde edilen sonuçlar üzerinde etkili olduğunu, bir macun dolgu uygulamasında yüksek dayanım kazanımı sağlayan bağlayıcının diğer bir uygulamada düşük dayanım verebileceğini, bu nedenle, her bir dolgu uygulaması için optimum dayanım ve duraylılığı sağlayacak bağlayıcı tipinin belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bağlayıcı oranı arttıkça macun dolgu dayanımını artmakta, ancak ekonomik yönden verimsiz olmaktadır. Bağlayıcı tipi veya atık mineralojisindeki farklılıklara rağmen, dayanım ve bağlayıcı oranı arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır. Benzaazoua vd. (1999) ve Fall ve Benzaazoua (2005) bağlayıcı oranı arttıkça macun dolgunun asit ve sülfat etkisine karşı direncinin

arttığını belirtmişlerdir. Son yıllarda macun dolgu dayanım ve duraylılığını etkilemeyecek şekilde bağlayıcı oranının azaltılmasına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmektedir (Petrolito vd., 2005; Nehdi ve Tariq, 2007).

Bu çalışmada bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının sülfürce zengin tesis atıklarından hazırlanan macun dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım, duraylılık ve deformasyon özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan macun dolgu numuneleri, 28-360 günlük kür süreleri sonunda dayanım ve deformasyon testlerine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Atık Malzeme

Bu çalışmada, Çayeli Bakır İşletmelerinden temin edilen tesis atıkları kullanılmıştır. Atık örneği üzerinde yapılan fiziksel, kimyasal ve mineralojik analiz sonuçlarından; atığın 20 µm altı malzeme içeriğinin ağırlıkça %40, sülfür içeriğinin yüksek (%26.2 S) ve pirit mineralinin baskın olduğu saptanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan atık malzemenin detaylı fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalarda yer almaktadır (Erçikdi vd., 2008a,b; Erçikdi vd., 2009).

3.2 Bağlayıcı Malzeme

Macun dolgu karışımlarının hazırlanmasında bağlayıcı olarak Portland çimento (PÇ 42.5), Portland kompoze çimento (PKÇ 42.5) ve sülfata dayanıklı çimento (sadece SDC 32.5 ve eşit oranda SDC 32.5 ve PÇ 42.5 karışımı) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bağlayıcılara ait fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

3.3 Macun Dolgu Numunelerinin Hazırlanması

Homojen olarak karışımı sağlanan (atık malzeme, bağlayıcı ve karışımı suyu) macun dolgu karışımı, çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm olan ve tabanı delikli (drenajlı) silindirik kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan macun dolgu örnekleri, %80 nemli ortamda ve 20°C'de kür amacıyla 28, 56, 90, 180 ve 360 güne kadar bekletilerek tek eksenli basınç ve deformasyon testine tabi tutulmuştur.

3.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Deformasyon Testleri

Macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyon testleri, önceden belirlenen kür süreleri sonunda yük kapasitesi 50 kN ve 0.5 mm/dk'lık

Çizelge 1. Kullanılan bağlayıcıların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri.

Kimyasal Bileşim	PÇ	PKÇ	SDÇ	Fiziksel Özellikler	PÇ	PKÇ	SDÇ
	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)
SiO ₂	20.31	24.51	21.31	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.01	2.94	3.20
Al ₂ O ₃	5.93	7.15	4.71	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4345	4280	3140
Fe ₂ O ₃	2.82	3.42	4.31	90 µm Elekte Kalıntı (%)	2.16	2.09	8.03
CaO	61.02	54.36	62.13	45 µm Elekte Kalıntı (%)	15.84	15.43	32.96
Serbest CaO	1.14	-	0.85	Mineralojik Bileşim			
MgO	1.15	1.24	1.26	C ₃ S (%)	37.10	-	41.43
SO ₃	2.95	2.92	2.88	C ₂ S (%)	30.30	-	29.90
Na ₂ O	0.32	0.53	0.24	C ₃ A (%)	10.95	-	5.20
K ₂ O	1.14	1.38	0.75	C ₄ AF (%)	8.57	-	13.1
Kızdırma Kaybı	3.78	3.75	1.54				
Toplam Katkı	-	20.73	-				

bir yükleme hızına sahip bilgisayar kontrollü basınç ve deformasyon ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Silindirik macun dolgu numunelerinin boy/çap oranı 2 olup, numunelerin alt ve üst yüzeyleri deney öncesi düzeltilmiştir. Her bir kür süresi için 3 adet numune deney edilmiş olup, sonuçlar bu üç numuneden elde edilen değerlerin ortalaması olarak alınmıştır. Yeraltına yerleştirilen macun dolgunun kendi stabilitesini sağlayabilmesi için 28 günlük kür süresi sonunda en az 0.7 MPa dayanım kazanması ve uzun dönemde dayanım kaybı istenmediğinden, çalışmada dayanım sınır değeri olarak 0.7 MPa esas alınmıştır.

4 DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

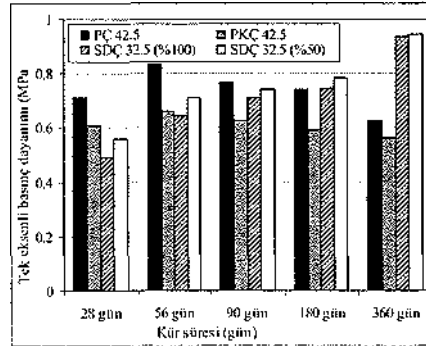
4.1 Dayanım Sonuçları

4.1.1. Bağlayıcı tipinin etkisi

Portland çimento (PÇ 42.5), Portland kompoze çimento (PKÇ 42.5) ve sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32.5 ve eşit oranda SDÇ 32.5 ve PÇ 42.5) kullanılarak %5 çimento oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin 28-360 günlük kür süresi sonundaki tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. 28 günlük kür süresi sonunda, sadece PÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numuneler sınır dayanım değerinin üstünde (0.713 MPa) bir dayanım üretmiştir. Dolgu dayanımının 56 günlük kür süresi sonunda en yüksek değere (0.833 MPa) ulaştığı, ancak 56-360 günlük kür süresi aralığında sürekli bir dayanım kaybının olduğu (~%25 oranında) görülmektedir. PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinde de benzer olarak 56 günlük kür süresinden sonra dayanım kaybı gözlemlenmiş, ancak, PÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelere

göre dayanım kaybı daha düşük (%15) seviyededir. PÇ 42.5 ve PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelerde görülen dayanım kaybı, bağlayıcıların C_3A içeriklerinin yüksek (Çizelge 1) olması (sülfat etkisine karşı direncinin nispeten düşük olması) ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32.5 ve eşit oranda SDÇ 32.5 ve PÇ 42.5) kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin ise, 28 günlük dayanımlarının düşük olmasına rağmen (sırasıyla 0.49 ve 0.558 MPa), uzun dönemde dayanımlarını korudukları ve hatta, 56. günden sonra dayanımlarında sırasıyla %45 ve %33 oranında bir artış olduğu görülmüştür.



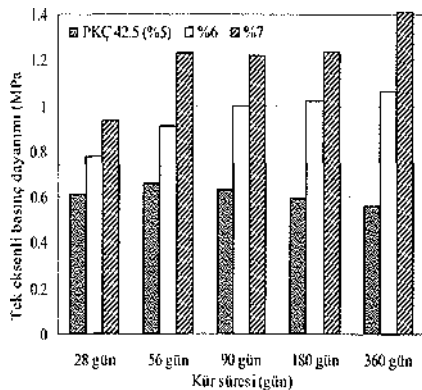
Şekil 1. Bağlayıcı tipinin macun dolgu dayanımına etkisi.

Sülfata dayanıklı çimento içeren macun dolgu örneklerinin uzun dönemde duraylılıklarının yüksek olması, bu çimentonun düşük oranda C_3A (%5,2) içermesi ve dolayısıyla, asit ve sülfat etkisine karşı direncinin yüksek olması ile ilişkilendirilebilir (Irassar vd., 2000; Hossain ve Lachemi, 2006; Tariq ve Nehdi, 2007). Ancak elde edilen dayanım sonuçlarından, sülfür içeriği yüksek atıklardan hazırlanan macun dolguda bağlayıcı olarak PÇ 42.5, PKÇ 42.5 ve

SDÇ 32.5 kullanımının %5 çimento oranında uygun olmadığı görülmüştür.

4.1.2. Bağlayıcı oranının etkisi

Şekil 2, %5, %6 ve %7 çimento oranında PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelerin 28-360 günlük kür süresi aralığındaki tek eksenli basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir. %6 ve %7 çimento oranında hazırlanan numunelerin, 28 günlük kür süresi sonunda gerekli dayanım kazanımını (>0,7 MPa) gerçekleştirdikleri görülmektedir. Çimento oranı %5'ten %7'ye yükseltildiğinde macun dolgu örneklerinin dayanımı, bütün kür sürelerinde 1.5-2.5 kat artmıştır. Çimento oranının %5'den %6-7'ye çıkartılması, macun dolgu numunelerinin uzun dönem performansında da gözle görülür bir iyileşme sağlamıştır (Şekil 2). Yüksek çimento oranlarında (%6-7) hazırlanan numunelerde, %5 çimento oranında görülen dayanım kaybının aksine, uzun dönemde (56-360 günlük kür süresi aralığında) ortalama %15-17 oranında bir dayanım artışı görülmüştür.



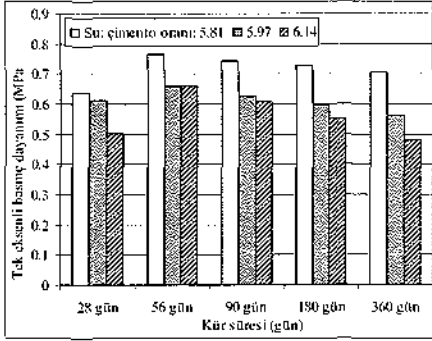
Şekil 2. Bağlayıcı oranının macun dolgu dayanımına etkisi.

Fall ve Benzaazoua (2005), çimento dozajının artışı ile birlikte asit ve sülfat etkisinin azaldığını ve uzun dönemde dayanım kaybının oluşmadığını belirtmiştir. Çimento miktarının artması sonucu kısa ve özellikle uzun dönemde macun dolgu performansındaki iyileşmenin, ortamdaki C-S-H miktarının artmasına ve dolgunun gözeneklilik ve porozitesinin azalması ve bunların sonucu olarak, asit ve sülfat etkisine karşı dolgu direncinin artması ile ilişkili olduğu öngörülmektedir. Düşük porozite nem ve havanın difüzyonunu azaltmak suretiyle piritin oksidasyonunu ve buna bağlı asit ve sülfat etkisini azaltmaktadır (Klein ve Simon, 2006; Erçakdı vd., 2008a,b). Ayrıca PKÇ 42.5 içerisinde yer alan %20.7 oranındaki mineral katkı maddesi (Çizelge 1), ortamdaki kalsiyum hidroksit (CH) ile reaksiyona girerek ilave C-S-H bağlayıcı jeli üretimi sağlamakta ve ikincil jips minerali oluşumunu sınırlandırmaktadır. Ancak, çimento miktarının artması dolgunun dayanımını artıracak ancak ekonomik yönden işletmeyi verimsiz kılacaktır.

4.1.3. Su:çimento oranının etkisi

%5 çimento oranında ve farklı su:çimento oranlarında (5.81, 5.97, 6.14) PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin dayanım sonuçları incelendiğinde (Şekil 3), su:çimento oranının artması ile birlikte numunelerin dayanım kazanımının azaldığı ve uzun dönemde duraylılıklarını koruyamadıkları görülmektedir.

Sadece en düşük su:çimento oranında (5.81) hazırlanan numuneler sınır değer üzerinde dayanım üretmişlerdir. Su:çimento oranının artması ile birlikte gözlemlenen dayanım kaybındaki artış, dolgunun mikroyapısının daha gözenekli



Şekil 3. Su:çimento oranının macun dolgu dayanımına etkisi.

ve boşluklu hale gelmesi ile açıklanabilir. Gözenek ve boşluk miktarının artması dolgu/beton numunesi içerisine girebilecek su ve oksijen miktarında artışa neden olmaktadır. Bu da uzun dönemde daha fazla dayanım kaybının oluşmasına yol açmaktadır (Benzaazoua vd., 2004; Şahmaran vd., 2007; Erçikdi vd., 2009). Ancak su:çimento oranının azalması, dolgunun yeraltına boru hattı ile taşınmasında birtakım problemlere (aşınma, tıkanma, vb.) ve daha fazla enerji tüketimi nedeniyle maliyetlerin artmasına yol açabilir.

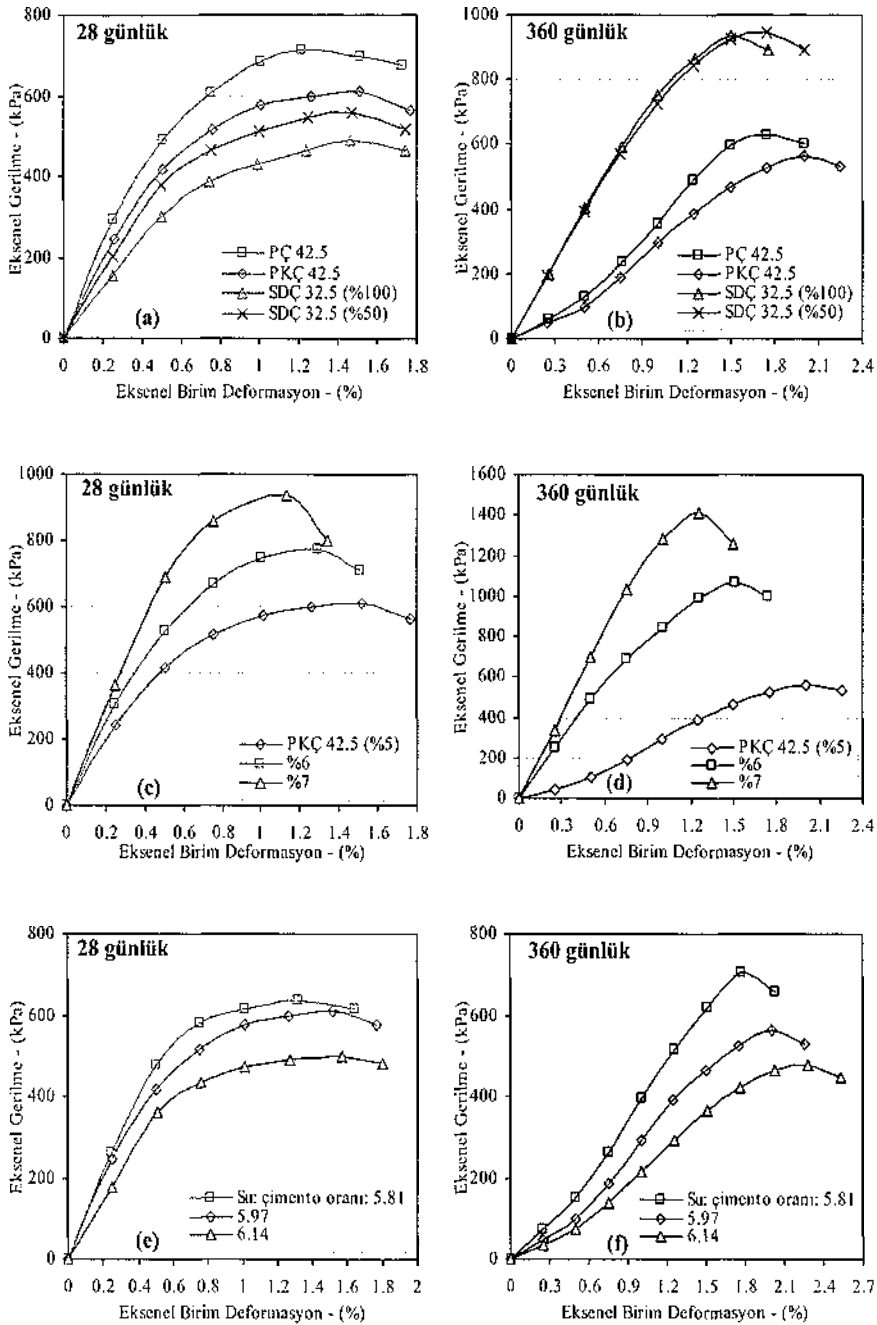
4.2 Deformasyon Davranışları

Macun dolgu numunelerinin deformasyon davranışları, numunelerin dayanımını ölçerken sabit bir yükleme hızı altında numunede meydana gelen aksel gerilme (σ) ve aksel gerilme altındaki aksel birim deformasyon (ϵ) verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekil 4'de, 28 ve 360 günlük kür süresi sonunda tek aksenli basınç-deformasyon testine tabi tutulan macun dolgu numunelerinin aksel gerilme-birim deformasyon eğrileri verilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde, bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının,

macun dolgu numunelerinin aksel gerilme-birim deformasyon özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak 28 ve 360 günlük kür süresi sonunda kırılan macun dolgu numunelerinin tamamı elastik-plastik davranış göstermiştir (Şekil 4). Ancak 360 günlük kür süresi sonunda kırılan bazı macun dolgu numunelerinin, karışım özelliklerine bağlı olarak başlangıçta bir miktar deformasyona uğradığı (boşlukların kapanması) görülmektedir (Şekil 4b,d,f). Kür süresindeki artış ile birlikte aksel gerilme-birim deformasyon davranışında açığa çıkan farklılık, numunelerin 28 ve 360 günlük kür süreleri sonundaki fiziksel bütünlüğü ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 5). 28 günlük kür süresi sonunda macun dolgu numunelerinde herhangi bir çatlak oluşumu vb. gözlemlenmemiştir (Şekil 5a). Ayrıca hidrasyon sürecinin devam etmesi ve gözeneklerde bir miktar nem bulunması nedeniyle, 28 günlük kür süresi sonundaki macun dolgu numunelerinin boşluk ve gözenekliliğinin, 360 günlük kür süresi sonundaki numunelere kıyasla daha düşük olduğu düşünülmektedir. 360 günlük kür süresi sonunda kırılan numunelere bakıldığında (Şekil 5b,c,d) ise, bazı numunelerde çatlama ve kırılma (Şekil 5b) oluştuğu ve kür süresinin artmasıyla nem miktarının azaldığı görülmektedir.

Sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32.5 ve eşit miktarda SDÇ 32.5 ve PÇ 42.5) kullanılarak %5 çimento oranında hazırlanan numuneler başlangıçta herhangi bir deformasyona (boşlukların kapanması) uğramazken, PÇ 42.5 ve PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelerde ise bir miktar deformasyon (%0.5) oluşmuştur. Buradaki farklılık, bağlayıcıların kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilişkilendirilebilir. PÇ 42.5 ve PKÇ 42.5 kullanılarak %5 çimento



Şekil 4. Bağlayıcı tipi (a,b), oranı (c,d) ve su:çimento oranının (e,f) macun dolgu numunelerinin 28 ve 360 günlük kür süreleri sonundaki eksenel gerilme-birim deformasyon davranışına etkisi.

oranında hazırlanan numunelerde asit ve sülfat etkisi nedeniyle oluşan çatlaklar (Şekil 5b), gözeneklerdeki boşluk suyunun uzaklaşması ve oluşan dayanım kaybı (Şekil 1) sebebiyle, başlangıçta numune içerisindeki boşlukların kapanması nedeniyle bir miktar deformasyon oluşmuştur. SDC 32.5 kullanılarak hazırlanan numunelerin ise, atık içerisindeki pirit mineralinin oksidasyonu sonucu açığa çıkan asit ve sülfat etkisine karşı duraylılıklarını ve fiziksel bütünlüklerini (çatlak vb. oluşmadığı) korudukları (Şekil 5c) ve başlangıçta herhangi bir deformasyona uğramadığı görülmektedir.

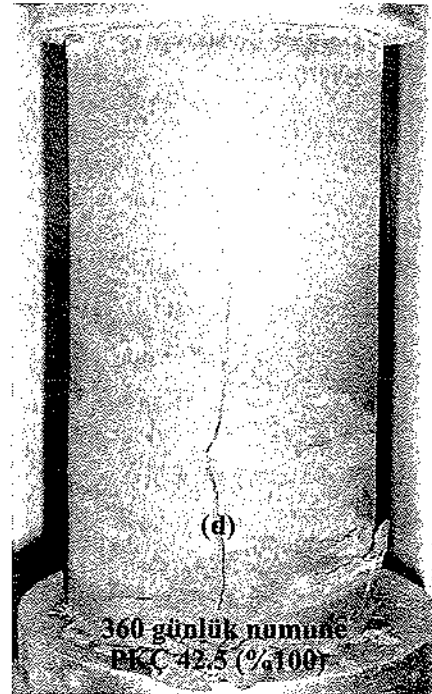
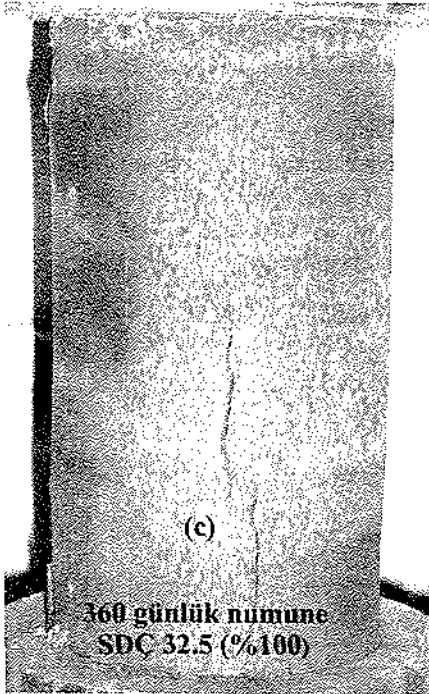
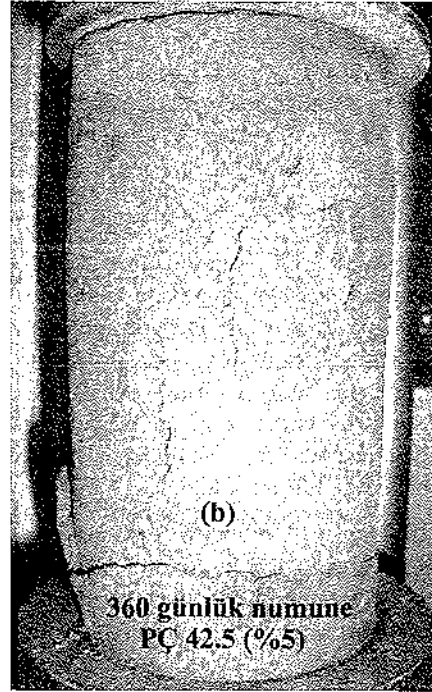
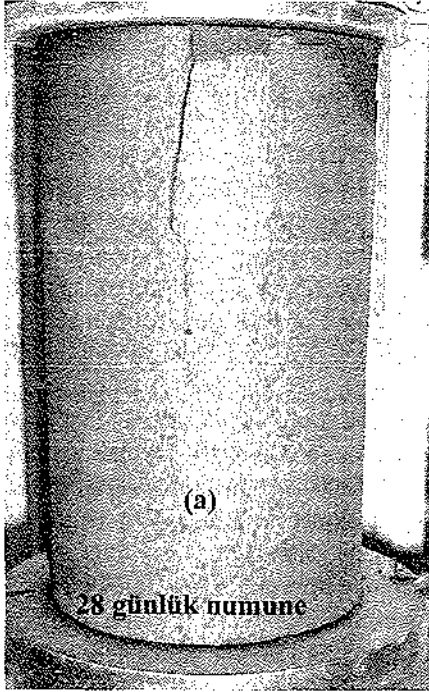
Bağlayıcı oranının artmasıyla (>%5) macun dolgu numunelerinin uzun dönemde başlangıçta herhangi bir deformasyona uğramadıkları ve elastik-plastik davranış gösterdikleri görülmektedir. Bağlayıcı oranının artması; i) ortamdaki C-S-H ve CH miktarını arttırmış, ii) asit ve sülfat etkisine karşı uzun dönemde dolgunun duraylılığını ve fiziksel bütünlüğünü korumasını sağlamış ve, iii) dolgu mikroyapısını (porozite ve gözeneklilik) iyileştirmiştir (Şekil 5d). Bu nedenle %6-7 bağlayıcı oranında hazırlanan numuneler, 28 ve 360 günlük kür

süresi sonunda elastik-plastik davranış sergilemiştir.

Farklı su:çimento oranlarında PKÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelerinin tamamı elastik-plastik davranış göstermiştir (Şekil 4). Fall vd. (2007) su:çimento oranının azalması ile birlikte porozite ve gözenekliliğin azaldığı ve, bu çalışmada da olduğu gibi (Çizelge 2), macun dolgu numunelerinin dayanım ve elastisite modüllerinin arttığını belirtmiştir. Numunelerin teğetsel Young modülleri (E_t), bağlayıcı oranının artması ile birlikte artmış, su:çimento oranının artmasıyla birlikte ise azalmıştır (Çizelge 2). Diğer bir ifade ile numunelerin yenildiği andaki birim deformasyonları (ϵ), bağlayıcı oranının artması ile birlikte azalmış, su:çimento oranının artması ile birlikte artmıştır. Ayrıca kür süresinin artması ile birlikte numunelerin yenildiği andaki aksenal birim deformasyonu (ϵ) artmıştır. 28 ve 360 günlük kür süresi sonunda gerçekleştirilen deformasyon testlerinden elde edilen en yüksek aksenal birim deformasyon değerleri (su:çimento oranı 6.14 olan numuneler için) sırasıyla %1.58 ve %2.28 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Macun dolgu numuneleri için hesaplanan teğetsel Young modülleri (E_t).

Karışım tipi	28 günlük		360 günlük	
	Maksimum Dayanım (kPa)	Teğetsel Young Modülü E_t (MPa)	Maksimum Dayanım (kPa)	Teğetsel Young Modülü E_t (MPa)
PC 42.5	713	95	628	53
PKÇ 42.5	612	83	562	40
SDC 32.5 (%100)	490	71	935	71
SDC 32.5 (%50)	558	63	944	67
PKÇ 42.5 (%5)	612	83	562	40
%6	776	100	1063	83
%7	936	167	1414	143
Su:çimento oranı 5.81	636	91	704	49
5.97	612	83	562	40
6.14	501	71	479	30



Şekil 5. Numunelerin 28 ve 360 günlük kür süresi sonundaki kırılma şekilleri.

5 SONUÇLAR

Bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının macun dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım, duraylılık ve deformasyon özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla, 28-360 günlük kür süresi aralığında yapılan tek eksenli basınç-deformasyon deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

➤ Sülfürce zengin atıklardan hazırlanan macun dolguda, bağlayıcı olarak PÇ 42.5, PKÇ 42.5 ve SDÇ 32.5 kullanımının %5 çimento oranında uygun olmadığı anlaşılmıştır. PÇ 42.5 kullanılarak hazırlanan numuneler 28 günlük kür süresi sonunda istenen dayanım değerini (0.7 MPa) üretmesine rağmen, 56-360 günlük kür süresi aralığında %24.6 dayanım kaybına uğramışlardır. SDÇ 32.5 kullanılarak hazırlanan numuneler ise kısa dönemde düşük, uzun dönemde yüksek dayanım üretmiştir. Elde edilen sonuçların, atık malzeme ve bağlayıcıların sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

➤ Bağlayıcı oranının artırılması (>%5) veya su:çimento oranının azaltılması, kısa dönemde yeterli dayanım kazanımını sağlamış, uzun dönemde de dayanım kaybını azaltmış veya engellemiştir. Ancak bağlayıcı tüketiminin artması ve su:çimento oranındaki azalma nedeniyle dolgunun yeraltına boru hattı ile nakliyesinde gerekli enerji miktarındaki artış, ekonomik açıdan maliyet analizlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır.

➤ Bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranının, macun dolgunun eksenel gerilme-birim deformasyon davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. 28 ve 360

günlük kür süresi sonundaki macun dolgu numunelerinin tamamı elastik-plastik davranış göstermiştir. Ayrıca uzun dönemde numune içerisindeki boşlukların kapanması nedeniyle bazı macun dolgu numunelerinde bir miktar deformasyon oluşumu gözlenmiştir.

Sonuç olarak sülfür içeriği yüksek atıklardan hazırlanan macun dolguda, uzun dönemde asit ve sülfat etkisi nedeniyle görülen dayanım ve duraylılık kaybı, yeraltında üretimin durmasına ve dolgu işletme maliyetlerinin artmasına neden olabilmektedir. Bu çalışma, sülfürce zengin atıkların kullanıldığı macun dolgu uygulamalarında oluşan bu tür problemlerin uygun bir bağlayıcı tipi, oranı ve su:çimento oranı seçimi ile azaltılabileceğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Benzaazoua, M, Ouellet, J, Servant, S, Newman, P, Verburg, R, 1999. Cementitious backfill with high sulfur content: physical, chemical, and mineralogical characterization, *Cement and Concrete Research*, 29, 5, s. 719-725.
- Benzaazoua, M, Belem, T, Bussiere, B, 2002. Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill, *Cement and Concrete Research*, 32, 7, s. 1133-1144.
- Benzaazoua, M, Fall, M, 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, 10, s. 1175-1178.
- Dulaijan, S.U.A, Maslehuddin, M, Zahrani, M.M.A, Sharif, A.M, Shameem, M, Ibrahim, M, 2003.

- Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulphate, *Cement Concrete Composites*, 25, 4, s. 429-437.
- Erçikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, 2008a. Doğal puzolan özelliklerinin macun dolgunun dayanım ve duraylılığına etkisi, *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 29, 1, s. 25-35.
- Erçikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, 2008b. Drenaj koşullarının macun dolgu dayanımına etkisi, *Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, 47, 2, s. 15-24.
- Erçikdi, B, Kesimal, A, Cihangir, F, Deveci, H, Alp, İ, 2009. Cemented paste backfill of sulphide-rich railings: importance of binder type and dosage, *Cement Concrete Composites*, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.01.008 (in press).
- Fall, M, Benzaazoua, M, 2005. Modelling the effect of sulphate on strength development of paste backfill and binder mixture optimization, *Cement and Concrete Research*, 35, 2, s. 301-314.
- Fall, M, Belem, T, Samb, S, Benzaazoua, M, 2007. Experimental characterization of the stress-strain behavior of cemented paste backfill in compression, *Journal of Material Science*, 42, s. 3914-3922.
- Hassani, F.P, Ouellet, J, Hossein, M, 2001. Strength development in underground high sulphate paste backfill operation, *CIM Bulletin*, 94, 1050, s. 57-62.
- Hossain, K.M.A, Lachemi, A, 2006. Performance of volcanic ash and pumice based blended cement concrete in mixed sulfate environment, *Cement and Concrete Research*, 36, s. 1123-1133.
- Irassar, E.F, Gonzales, M, Rahhal, V, 2000. Sulphate resistance of type V cements with limestone filler and natural pozzolana, *Cement and Concrete Research*, 22, s. 361-368.
- Kesimal, A, Yılmaz, E, Erçikdi, 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, Yılmaz, E, Erçikdi, B, Deveci, H, Alp, İ, 2005. Effect of properties of tailings and binder on the short- and long-term strength and stability of cemented paste backfill, *Materials Letters*, 59, 28, s. 3703-3709.
- Klein, K, Simon, D, 2006. Effect of specimen composition on the strength development in cemented paste backfill, *Canadian Geotechnical Journal*, 43, s. 310-324.
- Nehdi, M, Tariq, A, 2007. Stabilization of sulphidic mine tailings for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials: a review, *Journal of Environmental Engineering*, 6, s. 423-436.
- Neville, A.M, 2000. *Properties of concrete*. Prentice Hall, London, 866 s.
- Ouellet, J, Benzaazoua, M, Servant, S, 1998. Mechanical, mineralogical and chemical characterization of a paste backfill, *Proceedings of the 4th International Conference on Tailings and Mine Waste*, A.A. Balkema, s. 139-146, Vail, Colorado, USA.
- Petrolito, J, Anderson, R.M, Pigdon, S.P, 2005. A review of binder materials used in stabilized backfills, *CIM*

- Bulletin*, 98, 1085, s. 1-7.
- Şahmaran, M, Kasap, O, Duru, K, Yaman, I.O, 2007. Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements, *Cement Concrete Composites*, 29, s. 159-167.
- Tariq, A, Nehdi, M, 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, s. 155-166.
- Yılmaz, E, Kesimal, A, Erçikdi, B, 2003. Macun dolgu dayanımını ve duraylılığını etkileyen faktörler, *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 28, s. 155-169.

Harşit (Giresun) Granitinden Elde Edilen Kırılmış Malzemenin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of the Potential Use of the Crushed Material from Harşit (Giresun) as Concrete Aggregate

A. Muslu, A.O. Yılmaz, M. Çapık

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Agregası; çimento ve su ile birlikte betonu üretiminde kullanılan temel malzemelerden birisidir ve betonun %60-80'ini oluşturan mineral kökenli taneli malzeme olup, inşaat sektörünün en önemli yapı elemanları arasında yer alır. Bu çalışmada Harşit (Giresun) granitinden elde edilen malzemenin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Granit agregalar laboratuardaki kırıcıdan 0 – 4.75 mm, 4.75 – 9.5 mm ve 9.5 – 19 mm boyutlarında elenerek üç ayrı dane boyutuna ayrılmıştır. Dane boyutlarına ayrılan agregaların ASTM standardına uygun elek serisi ile elek analizleri yapılmıştır. Elek analizi yapılan malzemelerin özgül ağırlık ve su emme değerleri, birim hacim ağırlık (sıkışık ve gevşek), ince madde oranı, hafif madde oranı, yassılık indeksi, dona dayanıklılık, Los Angeles aşınma dayanımı ve nokta yük indeksi değerleri TS 706 EN 12620 Standartlarına göre belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, agregalar için mevcut bulunan standart verilerle karşılaştırılmış ve beton agregası olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

ABSTRACT Aggregate is one of the main materials used in the concrete production with cement and water and is a mineral origin grainy material which forming %60-80 of concrete and is among the most important structural elements of construction sector. In this study, the potential uses of the materials obtained from Harşit (Giresun) granites as concrete aggregate have been investigated. Granite aggregates have been separated to three different grain sizes by being sieved in size range (0 – 4.75 mm, 4.75 – 9.5 mm and 9.5 – 19 mm) in the laboratory crusher. The sieve analyses of the aggregates separated to grain sizes with sieve series suitable to ASTM standard have been carried out. The specific gravity, water absorption capacity, bulk density (tight and loose), proportion of fine material, proportion of lightweight particles, flatness index, freezing resistance, point load index values of the materials whose sieving analysis

were carried out have been determined according to TS706 EN 12620 Standards. The data obtained from these studies have been compared with exiting standard data and it is determined that Harşit granites may be used as concrete aggregates.

1 GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus, gelişen teknolojiye paralel olarak yapılarda da önemli değişimler meydana gelmektedir. Yapıları oluşturan ve yapıların sağlamlığını belirleyen en büyük etmen, kullanılan malzeme ve bu malzemelerin kalitesidir. Yapılarda kullanılan beton bileşiminde yer alan iki önemli malzeme çimento ve kırmataş (agrega)'dır (Uz, 1999). Agregası; çimento ve su ile birlikte betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönlerden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Betonda agrega kullanılması, sertleşme ve betonun hacim değişikliğini önlemekle veya azaltmakta, ayrıca çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmaktadır (Öztürk, vd., 2003).

Çizelge 1. Agregaların sınıflandırılması (Yılmaz vd., 2003).

Kaynağına göre	Tane şekline göre	Özgül ağırlığına göre
Doğal Yapay	Yuvarlak Köşeli Yassı Uzun	Normal Hafif Ağır
Yüzey dokusuna göre	Tane büyüklüğüne göre	Jeolojik kökene göre
Düzgün Granüler Pürüzlü Kristalli Petekli	İri İnce	Volkanik Tortul Metamorfik
Mineralojik yapısına göre	Reaktif özelliklerine göre	Üretime göre
Silis mineralli Karbonat mineralli Mikah vb.	Reaktif Reaktif olmayan	Doğal (kum, çakıl vb.) Yan ürün (curuf. perlit vb.)

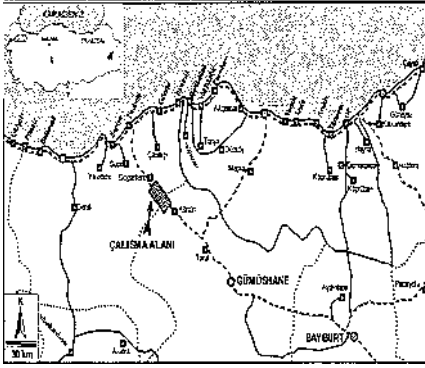
Agregalar genel olarak; kaynağına, tane şekline, özgül ağırlığına ve tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadırlar. Ama bunların dışında çok değişik özellikleri ile de sınıflandırılabilirler (Çiz. 1).

Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları kullanılacakları alana göre daha doğru bir şekilde kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Agregalar günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Agregalar beton malzemesi dışında, dolgu malzemesi, ıslah malzemesi, asfalt ve demiryolu balastı olarak da kullanılmaktadır (Yılmaz, vd., 2003).

Beton agregaları için en küçük boyut 0.06 mm'dir. 60 µm ile 2µm arasındaki taneli malzeme "silt", 2 µm'dan küçük ince malzeme "kil" olarak tanımlanır. Beton literatüründe kabaca 4.75 mm'den küçük ince taneli malzemeye "ince agrega" veya "kum" denilir. "iri agrega" ise 4.75 mm ile en büyük boyut $d_{max}=40$ mm (betonarme betonu) arasındaki taneli malzemeyi tanımlar. Agregalar doğadan (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çöl) doğrudan doğruya temin edilebildikleri gibi taş ocağı işletmecisiyle üretilen taneli malzemeye "kırmataş" denilir (Arıoğlu, vd., 2006).

1.1 Çalışma Alanı

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nün Giresun iline bağlı Doğankent merkezinin 4 km kuzeyinde 10 km güneyine kadar Harşit vadisi boyunca uzanmaktadır (Şek. 1). Doğankent ilçe merkezine Karadeniz sahilinde Trabzon-Giresun karayolu üzerinde yer alan Tirebolu (Giresun)'dan 33 km uzunluğundaki asfalt yolla sağlanmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

1.2 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada Harşit granitinden elde edilen kırılmış malzemenin beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, laboratuvar ortamında çeneli kırıcı ile kırılarak daha ince boyutlu malzeme haline getirilmiştir. Kırılan malzemeler sınıflandırılarak deneysel çalışmalarda agrega ürünü olarak hazırlanmıştır. Beton yapımında kullanılan bu agregaların yanında bağlayıcı olarak da, Aşkale (Trabzon) Çimento Fabrikasının üretimi olan CEM IV PÇ 32.5 tipi çimento kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Kaya Mekaniği ve Yapı

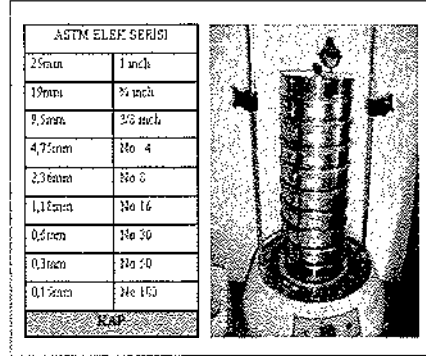
Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. (İstanbul) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

1.3 Beton Agregalarına Uygulanan Deneyler

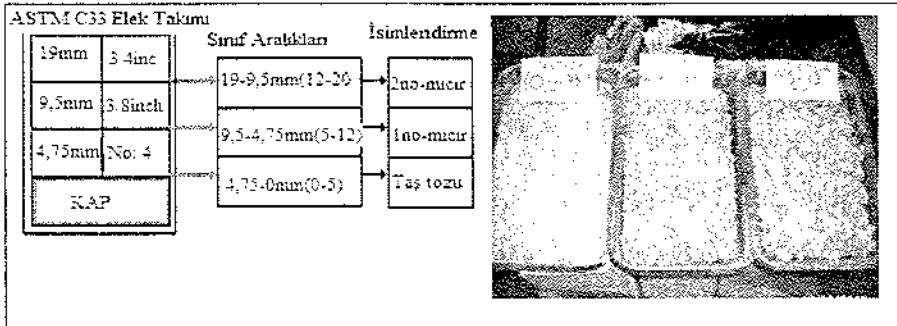
Agreganın beton yapımına uygunluğunun araştırılmasında yapılması gereken işlemlerden, agreganın fiziksel - mekanik özellikleri ile agreganın zararlı madde oranını belirlenmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar birbiriyle ve standartlarda verilen limit değerleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Fiziksel deneyler

- Özgül ağırlık (iri ve ince agrega)
- Su emme oranı
- Birim ağırlık (sıkı ve gevşek)
- İnce ve hafif madde oranı
- Organik madde tayini



Şekil 2. ASTM C33 'e göre elek seresi ve boyutları



Şekil 3. Agregata tane boyutuna göre sınıflanan malzeme

Beton üretiminde kullanılan ince ve iri agregaların tane büyüklüğü dağılımını tespit etmek amacıyla ASTM C33'ün belirlediği elek serisi kullanılmıştır (Şek. 2).

ASTM C33'e göre deneylerde kullanılmak üzere alınan malzemelerin ASTM standartlarına uygun şekilde elek analizi yapılarak 3 sınıfa ayrılmıştır (Şek. 3).

ASTM C33'e göre verilen elek serisi kullanılarak, kümülatif % geçen miktarlarına ve sınıflarına göre ayılarak

Çizelge 2. Granit agregaların granülometrik bileşimi

Elek açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)		
	0-4.75	4.75-9.5	9.5-19
25	100	100	100
19	100	99	94
9.5	100	61	3
4.75	99	5	0
2.36	74	2	0
1.18	55	1	0
0.6	44	0	0
0.3	26	0	0
0.15	8	0	0

Çizelge 2'de verilmiştir.

Elek analizinde göz açıklığı en küçük olan elek en alta olacak şekilde küçükte büyüğe doğru dizilmiş olan kare delikli Standard elekler üzerinde kalan agreganın yığışımli yüzdelere toplamın 100'e bölünmesi ile elde edilen sayıya "incelik modülü" denilmektedir (Erdoğan, 1995).

İncelik modülü = \sum Elek üzerinde kalan agreganın yığışımli yüzdesi / 100

İnce agregalar için uygun limit 2-3.5mm arası, iri agregalar için 5.5-8mm arası, karışık veya bütün agregalar için 4-7mm arasıdır (Taylor, 1977). İnce agrega olarak 0-4.75mm elek analizi sonucunda incelik modülü 2.97, iri agrega olarak 4.95-9.5 mm elek analizi sonucunda incelik modülü 6.32 ve 9.5-19mm elek analizi sonucu incelik modülü 7.02 olarak bulunmuştur. İncelik modülü için verilen sonuçlar Taylor'a göre sınır değerler arasındadır.

TS standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen deneylerin fiziksel özellikleri ve standart limit değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'de verilen değerler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

Çizelge 3. Granit agregasının fiziksel deney sonuçları

Fiziksel özellikler	Granit tozu			Standartlar	
	0-4.75 mm	I-No mıcır 4.75-9.5 mm	II-No mıcır 9.5-19 mm	ASTM	TS
Gör. özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.65	2.70	2.71	≥2.6	
Su emme oranı (%)	1.18	0.75	0.63	≤2	
Gevşek birim ağırlığı (gt/cm ³)	1.59	1.37	1.35	1.25	
Sıkı birim ağırlığı (gr/cm ³)	1.91	1.56	1.52		
İnce madde oranı (%)	3.75	0	0	≤4	
Organik madde miktarı	0	0	0		

- Deney sonuçlarına bakıldığında iri agregaların ve ince agregaların özgül ağırlıkların verilmiş olan standartlar içerisinde olduğu görülmektedir. ASTM C-127-88 (2001) ve ASTM C-128 (2001)'a göre görünür özgül ağırlık değerinin minimum 2.6 gr/cm³ olması gerekir, deney sonuçları gösterilen standart limitlerin içindedir.
- Agreganın su emme kapasitesi, malzemenin karışımı için yapılan hesaplamalarda doğrudan kullanılacağı için agregalar için önemli yer tutar. Ayrıca, agreganın su emme kapasitesi, betonun ve betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı içinde büyük önem taşımaktadır. Su emme kapasitesi yüksek olan gözenekli agregaların içerisine su kolayca girebilmekte ve soğuk havalarda buz haline dönüşerek genleşmeye, çatlamaya yol açmaktadır (Erdoğan 2003). TS EN 1097-6'ya göre su emme oranı iri ve ince agregalarda max %2 olmalıdır. Kırmataş agregaların su emme oranları TS standartların belirlediği limitlerin altıdadır.
- TS 3529'e göre agregalarda gevşek birim ağırlık minimum 1.25g/cm³ olmalıdır. TS kırmataş agregada alt ve üst limit değerler; ıslak veya kuru gevşek birim ağırlığı 1.460-1.590 g/cm³ arasında iken sıkışık birim ağırlıkları 1.520-1.670 g/cm³ arasında istenen değerlerdir.
- İnce madde oranı; agregada içinde betona zarar verebilecek maddelerin

belirlenmesi için yapılan deneylerden olup çökeltme ve yıkama yöntemiyle yapılır. Kırmataş agregasından çıkan ince madde miktarı TS 3527'de 0-4 mm agregata tane sınıfı için ince madde oranı maksimum % 4 kabul edilebilir düzeydedir. Buna göre granit agregasında ince madde oranı bu değer altındadır. Beton tasarımında sorun çıkarmayacaktır.

- 0-4.75mm granit tozunda ince madde miktarı % 3.75 olarak bulunmuştur. ASTM standartlarına göre beton agregası olarak kullanılabilir. Deneyde kullanılan iri agregaların ise ince madde miktarları çıkmamıştır Bunun nedeni kırmataş agregası olarak laboratuarda üretilmesidir. İşletme koşullarında kırılarak oluşturulacak agregaların yüzeyinde ince madde bulunacaktır.
- TS EN 1744-1'e göre yapılan beton agregalarında organik madde miktarı tespiti deneyi sonucunda, kullanılan malzemenin içinde her hangi bir organik maddenin olmadığı ve TS standartlarına göre agregalar beton üretiminde kullanılabilir.

Mekanik Deneyler

- Los Angeles aşınma kaybı
- Yassılık indeksi
- Nokta yük dayanımı
- Dona dayanım (Na₂SO₄)

Granit agregası üzerine yapılan mekanik deneyler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Granit agregasının mekanik deney sonuçları

Mekanik Özellikler	TS sınır değeri	Kaya sınıfı
	TS 706	
Los Angeles aşınma (d ₅₀₀) (%)	17.54	< 30
Yassılık indeksi (%)	3.96	< % 50
Nokta yük dayanımı (MPa)	7.8	Yüksek dayanımlı
Donma-çözülme (%)	1.37	< % 18

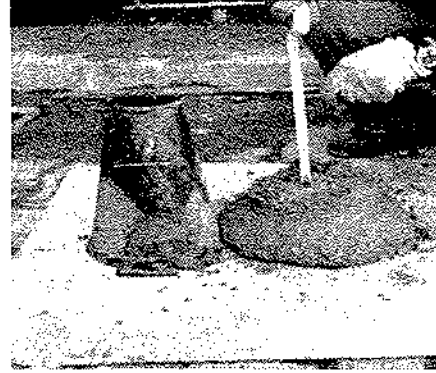
Çizelge 4 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- Los Angeles aşınma deneyi agregaların aşınma mukavemetini tespiti yönünde oldukça önemli bir deneydir. TS EN 1097-2'e göre sınır limit değeri $< \%30$ olmalıdır. Yapılan aşınma deneyi neticesinde 500 devir sonucunda Los Angeles aşınma değeri $\% 17.54$ olup verilen standart değerlere göre agregası olarak kullanılabilir.
- Yassılık indeksi agreganın direncini kontrol eden önemli parametrelerdendir. İri agreganın yassılık indeksi $\% 3.96$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu sonuç TS limit değerlerinin oldukça altında olduğu için beton agregası olarak kullanımı uygundur.
- Tekeksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütleli sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılan nokta yükü dayanım indeksi 7.8 MPa olarak bulunmuştur. Bu değer Bieniawski ve Deere' e göre yüksek dayanımlı kayaç grubundan olduğu belirlenmiştir.
- Agregaların don dayanımı deneyi uzun zaman hava tesirleri altında kalan agregaların don ve çözülme karşı mukavemetlerinin ölçülmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Aynı zamanda elde edilen deney sonuçları, agreganın, atmosferik etkiler nedeniyle bozunum biçimine karşı gösterdiği direnci de belirler. Agreganın donma çözülme kaybı $\% 1.37$ olarak bulunmuştur. Bu değer TS 706'a göre verilen değer olan $\%18$ 'in altındadır. Don dayanıklılık deneyinde agregaların gerekli standartları sağladığı görülmüştür.

1.4 Beton Deneyleri

Beton karışım tasarımının temel amacı, dayanımın işlenebilirlik ve dayanıklılık koşullarını sağlayan karışım bileşenlerinin (çimento- su - iri agregası - ince agregası) miktarlarının ekonomik şekilde belirlenmesidir (Arnoğlu, vd., 1999).

Harşit granitlerinden elde edilen agregaların beton agregası olarak kullanılabilirliğini test etmek amacıyla bir dizi beton agregası yapılmıştır.



Şekil 4 Hunin çekilmesiyle ölçülen çökme deneyi

Taze betonun kıvamı, çökme (slump) hunisi metodu ile TS EN 12350-2'ye göre tayin edilmiştir. Yapılan beton karışımında çökme $17-18 \text{ cm}$ olarak okunmuştur. Bu deneyin standardında bulunan limitler arasında kalıp, beton kıvamı akıcı ve K4 kıvam sınıfından olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneylerin su/çimento oranı, TS 802'e göre çeşitli yapı tipleri ve dış etkilere göre müsaade edilen su/çimento oranı, (s/c ağırlık esasına göre) belirlenmiştir. Oluşturulacak yapının Karadeniz Bölgesi iklim koşulları göz önünde bulundurularak, su-çimento oranı beton işlenebilirliğine göre $0.53 - 0.57$ arasında alınmıştır.

Çizelge 6. Agreganın miktarının hesaplanması

Tane Sınıfı(mm)	Karışım Oranı	Agrega Hacmi (dm ³)	Agrega Kütle(kg)
0-4.75	0.53	0.53x664.37=352.11	352.11x2.65=988.09
4.75-9.5	0.23	0.23x664.37=152.80	152.80x2.7=412.56
9.5-19	0.24	0.24x664.37=159.45	159.45x2.71=432.11

Çalışmalarda kullanılan agrega miktarı, ASTM standartlarına uygun 3 tane sınıfa ayrılan malzemelerde her tanenin belli karışım oranlarına göre agrega hacmi ve düzeltilmiş agrega miktarları Çizelge 6'da verilmiştir.

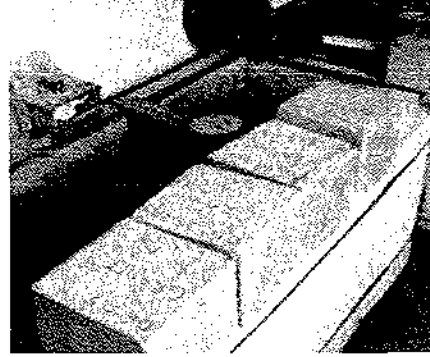
1.5 Beton Karışım Deneyi

Harşit granitinin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması kapsamında beton içindeki dayanımının öğrenilmesi amacıyla TS 802'den faydalanılarak mutlak hacim hesabı yöntemiyle beton karışım dizaynı yapılmıştır. Agregaların hacimce karışım oranları tecrübelerle dayanarak 0-4.75 mm malzeme için %53, 4.75-9.5 mm malzeme için %23 ve 9.5-19 mm malzeme için ise %24 olarak belirlenmiştir. 380 kg/m³ PÇ 32.5 R çimento miktarında, 0.57 su/çimento oranında 15.5 dm³'lük tek karışım hazırlanarak beton küp numuneler oluşturularak 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmiştir (Şek. 5).

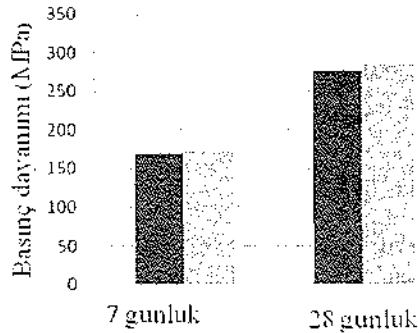
Dört adet deney küpünün 2'si 7, 2'si 28 günlük basınç dayanımlarını tespit etmek amacıyla kür koşullarında bekletilmişlerdir. Kür sonunda basınç dayanımları, 7 günlük basınç dayanımları ortalama 172.5 kgf/cm² olarak bulunmuş 28 günlük basınç dayanımının ortalama 282 kgf/cm² olarak bulunmuştur (Şek. 6).

2 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TS 706 EN 12620'de belirtilen beton agregalarına yönelik fiziksel ve mekanik



Şekil 5. Küp numunelerin kür tanklarına yerleştirilmesi



Şekil 6. Tasarlanan betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

özellikleri belirlemek için yapılan tüm deneyler malzeme üzerine uygulanmıştır. Uygulanan bu deneysel çalışmalar sonucunda Harşit granitlerinin beton agregası olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Dört adet deney küpünün 2'si 7 günlük diğer ikisi ise 28 günlük basınç dayanımlarını tespit etmek amacıyla

kür koşullarında bekletilmişlerdir. Kür sonunda basınç dayanımları ölçülmüştür. 7 günlük basınç dayanımları ortalama 173 kgf/cm² olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer 28 günlük basınç dayanımı üzerinde değerlendirildiğinde hedeflenen C30 sınıfı beton sınıfı için düşük dayanımda çıkmıştır. 7 günlük dayanımlar, 28 günlük basınç dayanımları ortalama 284 kgf/cm² olarak bulunmuştur. 7 günlük basınç dayanımları şu an için C20 sınıfı beton için uygundur. 28 günlük basınç dayanımları üzerinden değerlendirmede ise tasarlanan beton C30 sınıfı beton koşullarını yaklaşık olarak sağlamış ve C30 beton sınıfı için agregaların betonda kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonrasında malzemenin standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel yapımı için olanak sağlayan Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. yetkililerine ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Arıoğlu, E. Acar, E. Manzak, O., Dondurmacı, A. Girgin, C., 1999. Kırmataş Mühendislik Büyüklüklerinin Beton Karışım Tasarımına etkileri, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul. s. 230.

Arıoğlu, E. Arıoğlu, N. Yılmaz A.O., 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemler- Bilgi Föyleri, İstanbul.

ASTM C127-88, 2001. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C128, 2001. Standard Test Method for Density, Relative Density

(Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate

ASTM C 33, 1978. Specimens for Concrete Aggregates. American Society for Testing and Materials.

Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, Birinci Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayın, Ankara, 741 s.

Erdoğan, Y.T., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler, Agregalar, Ankara.

Öztürk, C. A., Nasuf, E., Fişne, A., Erkan, M., 2003. "Türkiye ve Dünyada Agregasyonları ve İşlevleri, 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, İstanbul

Taylor, W. H., 1977. Concrete Technology and Practice, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company Australia Pty Limited, Sydney, 846 s.

T.S.E., 2003. Beton Agregaları, TS-706 EN 12620, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

T.S.E., 1985. Beton Karışım Hesap Esasları, TS-802, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

T.S.E., 2002. Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle), TS EN 12350-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

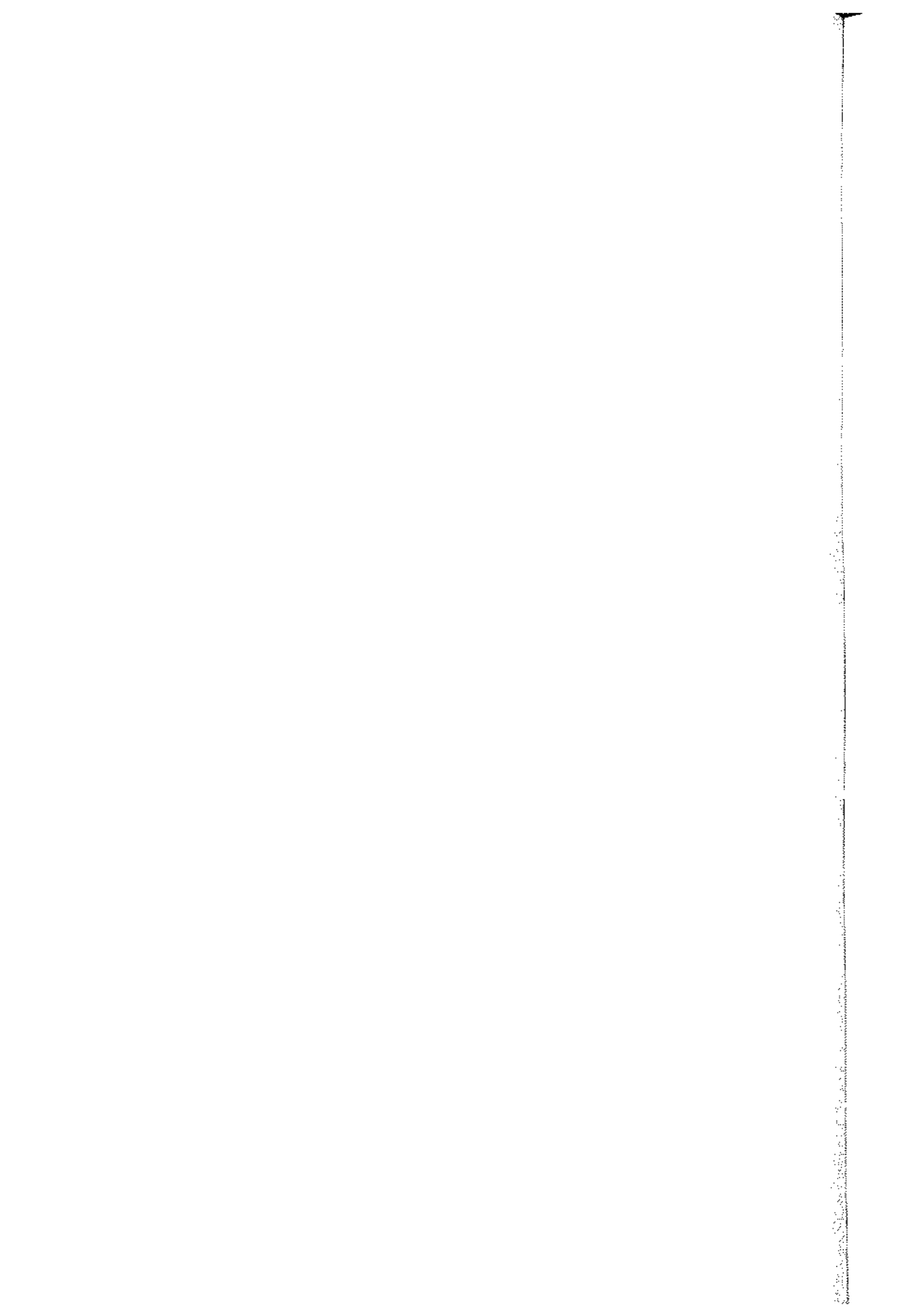
T.S.E., 2000. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini, TS EN 1097-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

T.S.E., 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TS EN 1097-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

T.S.E., 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler, TS EN 1744-1 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

T.S.E., 1980. Beton Agregalarının Birim

- Ağırlıklarının Tayini, TS-3529, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3527 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Uz, B, 1999. "Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi, Trakya-Tekirdağ Bölgesi Bazaltları Örneği",2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul.*
- Yılmaz, A.O, Alp, İ, Kaya, R, Çavuşoğlu, İ, 2003. Trabzon ilindeki taşocaklarının incelenmesi ve agrega potansiyelinin belirlenmesi, *3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, s. 133.*



Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinde Kesme Hızının Kesme Performansına Etkisinin Araştırılması

Investigation of Traverse Speed Effect on Cutting Performance in Abrasive Waterjet Cutting Systems

İ. Karakurt, G.Aydın, K.Aydiner

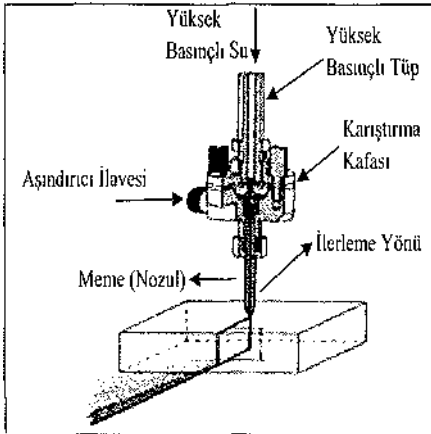
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET: Su jeti ile kesme yöntemi, birçok sert ve dayanıklı malzemenin kesilmesi ve işlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Son yıllarda, madencilik alanında da doğal taşların kesilmesi ve işlenmesinde yaygınlıkla kullanılmaya başlanan yöntem, kesme anında malzeme yüzeyinde ısınma problemi oluşturmaması, düşük kesme kuvveti gerektirmesi, esnek ve çok yönlü kesme olanağı sağlaması nedeniyle geleneksel kesme yöntemlerine göre önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada, farklı kökenden doğal taşların aşındırıcı su jeti ile kesilebilirlik performansı araştırılmıştır. Kesme hızı değişiminin incelendiği çalışmada, kayac örneklerinin kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinlikleri ölçülmüştür. Deney sonuçları, düşük kesme hızlarında yüksek kesme performansının elde edilebileceğini göstermiştir. Kesme hızının artışı ile birlikte, beklenildiği gibi kesme derinlikleri düşmüş, kesme genişliklerinde artış olmuştur. Bunun yanı sıra, örnek kesme yüzey kalitelerinin artan kesme hızı ile birlikte kötüleştiği görülmüştür

ABSTRACT: The cutting method with abrasive waterjet is a widely used in machining of hard and strong materials. In recent years, the method which has been started to use in cutting and processing of natural stones in mining as well, presents significant advantages comparing to conventional cutting systems due to no thermal effect on workpiece when cutting, low cutting force, the possibility of flexible and multi-directional cutting. In this study, the cutting performance of natural stones from different genesis with abrasive waterjet has been investigated. In the research, the changing of traverse speed was investigated. The cutting depth, kerf widths and depth of cutting wear zones of samples were measured. The results of the experiments have showed that high cutting performance can be obtained for low traverse speed. Increase of the traverse speed resulted in decreasing the cutting depth and increase of kerf widths as expected. In addition, it has been observed that surface qualities of samples have been deteriorated as a result of increase of the traverse speed.

1 GİRİŞ

Darbe ya da basınç etkisinden faydalanarak suyun malzemelerin kesilmesinde kullanımı 1930'lu yıllara kadar dayanır. Ancak, yöntem 1980'lerden sonra daha çok ilgi çekmiş ve endüstride çok farklı alanlarda yaygın kullanım olanağı bulmuştur. Düşük basınçlarda çalışma olanağı sunan ve aşındırıcı malzeme eklenerek uygulanan aşındırıcı su jeti yöntemi özellikle sert malzemelerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşındırıcı su jeti kesme sistemleri madencilik alanında daha çok doğal taş üretiminde, ocakta blok üretimi ya da fabrikada son ürün üretimi süreçlerinde kullanım olanağı bulmuştur. Geleneksel kesme sistemleri ile kıyaslandıklarında su jeti kesme sistemlerinin düşük çalışma basıncı gereksinimi, esnek ve çok-yönlü kesme yetenekleri gibi önemli avantajlara sahip olduğu söylenebilir. Yöntem, ayrıca, geleneksel sistemlerinde olduğu gibi kesilen yüzeylerde ısı artışına sebep olmaz (Karakurt, 2007).



Şekil 1. Aşındırıcı İlavesi Olan Su Jeti Kesme Kafası (Momber ve Kovaçeviç, 1997).

Su jeti ile kesme işleminde, küçük hacimdeki su, özel bir pompa ile yüksek bir basınca çıkarılıp 0,4-1,2 mm çapındaki bir borudan geçirilerek malzemeye yöneltilir. Bu işlem memeden çıkan suyun hızını 900 m/s'nin üzerine çıkarır. Bu yüksek hızlı su jeti, kesilecek malzemeye belirli bir mesafeden gönderildiği zaman kesme işlemi gerçekleşir (Ogan, 2001).

Su jeti kesme sistemlerinin kullanılabilirliklerine yönelik, kesme sırasında kullanılan elemanlarından pompaların çalışma şartlarına, madencilik endüstrisinden gıda endüstrisine, işlenmesi zor metallerden cam gibi kırılğan malzemelerin kesilmesi ve işlenmesine kadar geniş bir yelpazede çalışmalar bulunmaktadır. Kayaçların kesilmesinde kullanılabilirliğine yönelik az sayıda çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür.

Bortolussi vd. (1988), su jeti sistemlerinin granitlerin kesilmesindeki performansını araştıran ilk araştırmacılar arasında yer almaktadır. Araştırmacılar, ilk aşamada, saf su jeti sistemlerinin kesme performansını etkileyen parametreleri belirlemişlerdir. Daha sonra bu parametreler ile su jeti sistemlerinin kesme performansı araştırılmıştır. Sonraki aşamada aşındırıcı ilavesinin oluşturduğu performans değişimi gözlenmiştir. Bir başka çalışma Hagan (1992)'nin gerçekleştirdiği çalışmadır. Araştırmacı, kesme performansı üzerinde en etkin parametrenin jet basıncı olduğunu belirlemiştir. Su basıncından sonra önemli parametrelerin ise kesme (ilerleme) hızı ve meme çapı olduğunu kaydetmiştir.

Kalkerli kayaçlarla yaptıkları çalışmalarda Miranda ve Quintino (2005), kayaç sertliğinin ve boşluk oranının kesme performansı üzerinde önemli

bir etkiye sahip olduğu belirtmişler ancak çalışmada kesme/aşınma mekanizmaları için önemli bir ilişki belirleyememişlerdir. Granit örnekleri kullanarak pompa basıncı, kesme hızı, aşındırıcı miktarı ve jet çapının kesme performansına olan etkisini araştıran Liu ve Chen (2002), çalışmalarında akustik yayılım (AE) ölçümleri ile farklı sinyal özelliklerini analiz etmişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonucunda yüzey kalitesi ve verimli kesme amaçları için bir klavuz önermişlerdir.

Bir başka çalışmada Huang vd. (2006) granit örnekler kullanarak aşındırıcı su jeti sistemlerinin çalışma parametrelerinin kesme kalitesi ve kesme verimliliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla jet basıncının artırılmasının sadece kesme genişliğini arttırdığını belirten araştırmacılar kesme sonucu oluşan yarıkağzındaki kavisliliğin azalan basınçla arttığını belirlemişlerdir. Yüzey kalitesi, kesme derinliği ve yarık ağzı kavisliliğinin kabul edilebilir değerlerde olmasını sağlamak üzere etkin parametrelerin bazılarının birlikte değiştirilmesini öneren araştırmacılar kesme yüzeylerindeki pürüzlülüğün kesme hızı ve basınç parametrelerinin kontrolünde değiştiğini belirlemişlerdir.

Momber (2003), kayaç ve kayaç gibi sert bazı çimento bileşimli malzemelerde malzeme yüzeyinde oluşan aşınma ve erozyon mekanizmasını araştırdığı çalışmada triboloji prensiplerinin kesme anında oluşan erozyon ve aşınma mekanizmasını açıklamak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Ek olarak, aşınma ve erozyon mekanizmasının seçimli bir yolla meydana geldiği bunda da etken olan parametrenin kayacın yapısında var olan kırık, çatlak gibi yapısal kusurların olduğu ve bu

parametrelerin aşınma ve erozyon mekanizmasına olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir.

Ma ve Deam (2006), diğer parametreler sabit tutularak kesme hızı değişimi ile yarık geometrisi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kesme hızının 1-2 mm/sn aralıklarla artışı ile yarık geometrisinin iraksaklıktan yakınsaklığa doğru bir değişim gösterdiği ve yüzey dalgalılığının da yüksek hızlarda belirginleştiği görülmüştür.

Madencilikte kullanımı ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş kısıtlı sayıda araştırmaya karşılık su jeti sistemlerin farklı alanlarda kullanım olanaklarının araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Ayrıca su jeti sistemlerinin kesme performansının geliştirilmesi amacıyla yönelik önemli sayıda araştırmaya rastlamak mümkündür. Hu vd. (2002), Momber ve Kovaçevič (1997) ve Momber (2004) beton, Abdel-Rahman ve El-Domiaty (1998), seramik, Akkurt vd. (2004) alaşımlı saf alüminyum ve paslanmaz çelik, Chen vd. (2002) yumuşak çelik levha, Chen ve Siores (2003) alüminyum katkılı seramik, akrilik cam (perspex), yumuşak çelik ve alüminyum gibi farklı özelliklere sahip malzemelerle, özellikle, aşındırıcı su jeti ile kesmenin mekanizması ve kesme performansını araştıran önemli çalışmalar ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Chen vd. (2002), Chen vd (1998), Chen and Siores (2003) ve Lemma vd., (2005)' de su jetli kesme sistemlerinde memeye titreşim verilmesinin kesme yüzeylerinin düzgünlüğü ve kesme performansının geliştirilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu kategoriden çalışmalar meme titreşiminin kesme yüzey pürüzlülüğünün azaltılması yönünde önemli bir katkı sağladığını ortaya koymuşlardır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Malzeme ve Yöntem

Deney çalışmalarında, İspir (Erzurum)'den alınan diyorit ve Yaylapınar (Bayburt)'dan alınan oniks doğal taş örnekleri kullanılmıştır. Örnek boyutları 3*10*20 cm olup uzunlukları boyunca 5 dilim halinde kesilmiştir. Kesim sonrasında, her bir örneğe ait kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinlikleri ölçülmüştür. Bu ölçüm değerlerinden her bir hız değişimi için ortalama kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinlikleri elde edilmiştir. Deney çalışma basıncı 400 MPa, meme-örnek mesafesi 5 mm ve aşındırıcı besleme miktarı 250 gr/dak olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada kullanılan aşındırıcı malzeme cinsi garnet/granat olup sertliği 7,5-8 Mohs sertliği arasındadır. Kimyasal olarak, % 36 FeO, % 33 SiO₂, % 20 Al₂O₃, % 4 MgO, % 3 TiO₂, % 2 CaO ve % MnO₂'den oluşmaktadır. Tane boyutu 100 µm'dir.

2.2 Örnek Özellikleri

Deneylerde kullanılan örnekler Doğu Karadeniz Bölgesi'nden temin edilmiştir. Örnekler için temel fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. İspir (Erzurum) diyoriti temel fiziksel ve mekanik özellikleri (Kolaylı, vd., 2002)

Çizelge 2. Yaylapınar (Bayburt) oniks temel fiziksel ve mekanik özellikleri (Kolaylı, vd., 2002)

Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa)	14,75
Basınç Dayanımı (MPa)	153,50
Eğilme Dayanımı (MPa)	27,00
Yüzey Aşındırma Direnci(%)	6,91
Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³)	65,00
Doluluk Oranı (%)	96,90
Ultrasonik Hız (m/sn)	6730,07

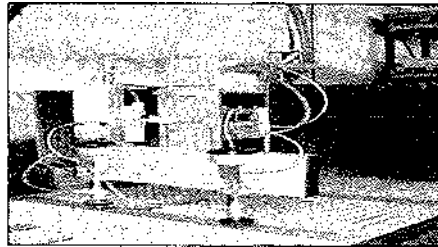
Çizelge 2. Yaylapınar (Bayburt) oniks temel fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	Değer
Çekme Dayanımı (MPa)	7,30
Basınç Dayanımı (MPa)	73,12
Eğilme Dayanımı (MPa)	5,95
Yüzey Aşındırma Direnci(%)	16,39
Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³)	2,50
Doluluk Oranı (%)	98,82
Ultrasonik Hız (m/s)	6380,42

İçerisinde üç boyutlu ya da elipsoidal şeklinde papatyta görünümlü nodüllerin bulunduğu Diyoritler, pembe-beyaz renkli ve monzonitik dokulu ana kaya, oligoklas (%30), ortoklas (%35), kuvars (% 25), biyotit, mikroklin, pertit, ikincil olarak serisit, epidot, klorit ve tali zirkon içerirler (Kolaylı vd., 2002). Oniksler beyaz, soluk krem, soluk gri renklerde. Oniks örneklerinin mikroskopik incelemelerinde, kalsit, aragonit ve çok az miktarda kuvars ve kil içerdikleri görülmüştür. Onikslerin yapılan petrografik incelemelerinde ise yüksek sıcaklık karakteristiğine sahip olduğu görülmektedir (Alp vd., 2006).

2.3 Deney Düzenegi

Deneyler İstanbul'da İmes Sanayi Sitesi'nde faaliyeti sürdüren CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. isimli firmada gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Deneyel Çalışmalarda Kullanılan Su Jeti Makinası Kesme Kafaları (CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. izniyle, 2006)

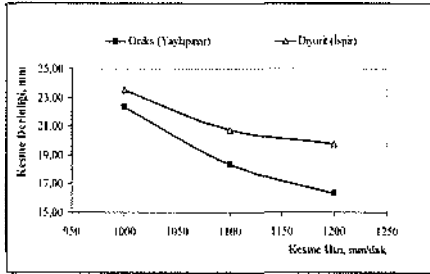
Çalışmalarda kullanılan su jeti kesme makinası, bilgisayar kontrollü olup üç ekseninde hareket kabiliyeti vardır. Yapılacak işler kontrol odasında bilgisayarda planlanarak tezgâha gönderilir.

3 BULGULAR VE İRDELEME

3.1 Kesme Hızı Değişimi

Kesme hızı değişiminin kesme performansına olan etkisini izlemek amacıyla 1000, 1100 ve 1200 mm/dak hızlarında kesme deneyleri yapılmıştır. Şekil 3'te örnek kesme derinliklerinin kesme hızına bağlı değişimi gösterilmiştir.

Şekil 3'te de görüleceği üzere kesme hızındaki artış her iki örnekte de kesme derinliklerinin düşmesine yol açmıştır. Oniks örneğindeki kesme derinlikleri diyorit örneğindeki kadar altında kalmıştır. Her iki örneğin kesme derinliklerindeki düşüş, 1000-1100 mm/dak aralığında hemen hemen aynı oranda olurken, diyorit örneğinin kesme derinliklerindeki düşüş 1100 mm/dak'dan sonra yavaşlamıştır.

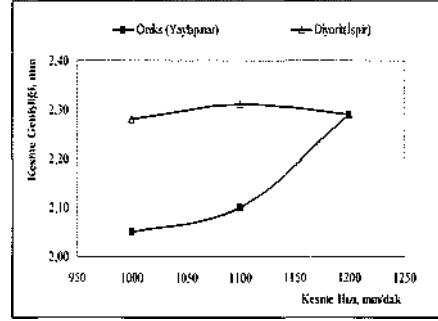


Şekil 3. Örnek kesme derinliklerinin kesme hızına bağlı değişimi.

Kesme hızı artışı örneklerin kesme genişliklerini artırma yönünde olmuştur. Ancak her iki örnekteki değişim farklılık arz etmektedir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi Diyorit örneğinin kesme genişliğinde

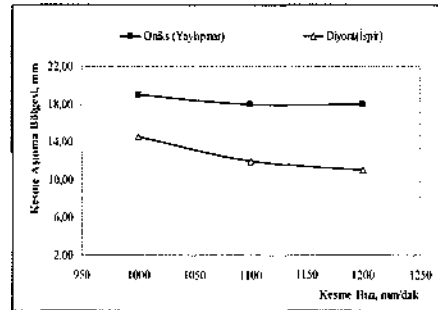
1000–1100 mm/dak aralığında hafif artış olmuş ve izleyen hızlarda azalma meydana gelmiştir. Onikte ise kesme genişliğinin artışı, 1100 mm/dak'dan sonra daha belirgin olmuştur.

Kesme sonrası örnek kesme yüzey kalitelerinin artan hızla birlikte düştüğü gözlenmiştir.

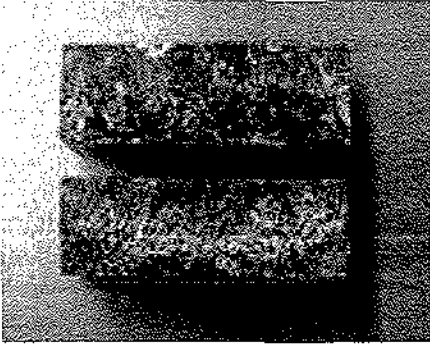


Şekil 4. Örnek kesme genişliklerinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 5 incelendiğinde, yüzey kalitesini belirleyen bir parametre olan örnek kesme aşınma bölgesi derinliklerinin düştüğü görülmektedir. Bu düşüş, oniks örneği için çok az oranda hatta 1100–1200 mm/dak aralığında hemen hemen sabit kalırken diyorit örneğinde daha belirgindir.



Şekil 5. Kesme aşınma bölgesi derinliklerinin kesme hızına bağlı değişimi



Şekil 6. Örnek Kesme Yüzeyi (Diyorit)

Şekil 6'da diyorit örneğine ait kesme yüzeyinde de görüldüğü gibi kesme hızının artışı yüzey kalitelerini düşmesine yol açmıştır.

Deneysel çalışmalar, kesme hızının artmasıyla örnek kesme derinliklerinin düştüğünü, kesme genişliklerinin arttığını ve yüzey kalitelerinin kötüleştiğini bir başka deyişle örnek kesme aşınma bölgesi derinliklerinin düştüğünü göstermiştir. Kesme hızı ile kesme performansı arasındaki ilişki en temel haliyle malzemenin su jetinin aşındırma/kesme etkisine maruz kalma süresi ile ifade edilebilir. Kesme hızının azalması malzeme üzerindeki bir noktanın daha uzun süre su jeti etkisinde kalması anlamına gelir. Bu durumda örnek tüm kalınlığına yakın değerlerde kesilebilecektir. Kesme hızının artması bu durumun tam tersinin oluşmasına yol açacaktır. Literatürde gerek kayalar gerekse de başka malzemelerle yapılan çalışmalarda kesme hızının artışı ile kesme derinliğinin düştüğü belirlenmiştir. Granitlerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında Bortolussi vd. (1988) ve Huang vd. (2006), kamtaşı ile Hagan (1992) ve değişik su-çimento oranlarında hazırlanmış beton örnekleri kullandıkları çalışmalarında Momber

(2003) ve Momber ve Kovacevic (1997) artan kesme hızı ile kesme derinliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Lemma vd. (2005) ise hem yumuşak çelik, hem de alüminyum malzeme ile aynı davranışı belirlemiştir.

Artan kesme hızı ile her iki kayacın kesme genişlikleri artmıştır. Bu artış her iki örnek için artış yönünde eğilim gösterse de diyorit örneğinde daha az olmuş ve 1100 mm/dak'dan sonraki aralıkta düşme eğilimi şeklinde gerçekleşmiştir. Bu durum, kısmen aşındırıcı su jeti yönteminin kesme aşındırma mekanizması kısmen de kayaların malzeme özellikleri ile açıklanabilir. Kesme genişliği değişiminin bu davranışı literatürle uyumluluk arz etmektedir (Huang, 2006; Ma ve Deam 2006).

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti kesme yöntemlerinde kesme hızı değişiminin iki farklı kayadaki kesme performansına etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle, her iki örneğin kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinliğinin ölçülmesi ile elde edilen değerler performans göstergesi olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kesme hızının artması her iki kayada kesme derinliklerinin düşmesine, kesme genişliklerinin artmasına yol açmıştır.

2. Kesme yüzey kalitesini belirleyen kesme aşınma bölgesi derinliklerinin, artan hızla beraber kötüleştiği görülmüştür. Oniks örneklerinin yüzeyleri diyorit örnek yüzeylerine nazaran daha düzgündür.

3. Kayalarda aşındırıcı su jeti ile kesme uygulamalarında yüksek

performans için kayaca göre kesme hızının düşük seçilmesi gereklidir.

Aşındırıcı su jeti yöntemi için önerilen kesme mekanizmaları değerlendirildiğinde, birden çok faktörün kontrolünde gelişen bir aşınma mekanizması için tek bir parametreye bağlı performans tanımlamanın güçlüğü açıktır. Bununla birlikte, gerek incelenen kayaç türlerinin gerekse de aynı türden seçilen örnek sayısının artırılması, mineralojik özellikleri nedeniyle homojenlik arz etmeyen kayaçların kesme performansına etki eden faktörlerin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, aynı çalışma parametresi için fazla sayıda değer alınarak deneylerin gerçekleştirilmesi ile bu parametrenin kesme performansı üzerindeki etkisinin iyi anlaşılması sağlanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen **2005.112.008.2** referans numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için **K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonuna** teşekkür ederiz.

Ayrıca, deneylerde kullanılan örneklerin temini ve hazırlanması konusunda yardım ve katkılarından dolayı **KAFMER Dış Tic. Ltd. Şti.**'ne teşekkür ederiz.

5 KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A. A. ve El-Domiaty, A. A., 1998, Maximum Depth of Cut Ceramics Using Abrasive Waterjet Technique, Wear, 218, 216-222.

Akkurt, A., Kulekci, K. M., Seker, U. ve Ercan F., 2004, Effect of Feed Rate

on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting Applications, Journal of Materials Processing Technology, 147, 389 -396.

Alp, İ., Yılmaz, A. O., Çavuşoğlu, İ., Arslan, M., Kolaylı, H. ve Er, M., 2006, Bayburt Yaylapınar Oniksinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Ed., Ersoy, M. ve Ergün, E., Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 2 – 3 Mart 2006, Afyonkarahisar.

Arola, D. ve Ramulu M., 1997, Material Removal in Abrasive Waterjet Machining of Materials A Residual Stress Analysis, Wear, 211, 302-310.

Bortolussi, A., Yazici, S. ve Summers, D.A., 1988, The Use of Waterjets in Cutting Granite, 9th International Symposium on Jet Cutting Technology, 4 – 6 October, Sendai – Japan.

Chen, L. F., Siores, E., Patel, K. ve Momber, W. A., 2002, Minimising Particle Contamination at Abrasive Waterjet Machined Surfaces by a Nozzle Oscillation Technique, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 1385 – 1390.

Chen, L. F. ve Siores, E., 2003, The Effect of Cutting Jet Variation on Surface Striation Formation in Abrasive Water jet Cutting, Journal of Materials Processing Technology, 135, 1-5.

Chen, L. F., Wang, J., Lemma, E. ve Siores E., 2003, Striation Formation Mechanisms on The Jet Cutting Surface, Journal of Materials Processing Technology, 141, 213-218.

Chen, L. F., Siores, E. ve Patel, K., 2002, Improving The Cut Surface Qualities Using Different Controlled Nozzle

- Oscillation Techniques, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 717-722.
- Chen, L. F., Siores, E. ve Wong, W.C.K., 1998, Optimising Abrasive Waterjet Cutting of Ceramic Materials, Journal of Materials Processing Technology, 74, 251-254.
- Hagan, P.C., 1992, The Cuttability of Rock Using a High Pressure Water Jet, The University of New South Wales (UNSW), Sydney, Australia.
- Hu, G. X., Momber, W. A. ve Yin, G. Y., 2002, Hydro-Abrasive Erosion of Steel-Fibre Reinforced Hydraulic Concrete, Wear, 253, 848-854.
- Huang, Z. C., Hou, G. R., Wang, J. ve Feng, X. Y., 2006, The Effect of High Pressure Abrasive Water Jet Cutting Parameters on Cutting Performance of Granite, Key Engineering Materials, 304-305, 560-564.
- Karakurt, İ., 2007, Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinin Kayaç Kesme Performanslarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kolaylı H., Arslan M., Yalçınalp B., Çavga H., 2002, Mafik Anklavda "Papatya" görünümlü dokunun metazomatik gelişimi: Doğu Pontidlerde Feslik Mafik Magma arasındaki etkileşime bir örnek. İspir (Erzurum) Türkiye, 55. TJK Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı Ankara 2006.
- Lemma, E., Deam, R. ve Chen, L., 2005, Maximum Depth of Cut and Mechanics of Erosion in AWJ Oscillation Cutting of Ductile Materials, Journal of Materials Processing Technology, 160, 188-197.
- Liu, Y. ve Chen, X., 2002, A Study on The Abrasive Water Jet Cutting for Granite, Key Engineering Materials, 257-258, 527-532.
- Ma, C. ve Deam, R. T., 2006, A Correlation for Predicting The Kerf Profile from Abrasive Water Jet Cutting, Experimental Thermal and Fluid Science, 30, 337-343.
- Miranda, M. R. ve Quintino, L., 2005, Microstructural Study of Material Removal Mechanisms Observed in Abrasive Waterjet Cutting of Calcareous Stones, Materials Characterization, 54, 370 – 377.
- Momber, W. A. ve Kovacevic, R., 1997, Test Parameter Analysis in Abrasive Water Jet Cutting of Rocklike Materials, International Journal of Rock Mechanic and Minerals Science, 34, 17-25.
- Momber, W. A., 2003, Wear of Rocks by Water Flow, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41, 51 – 68.
- Ogan, D. A., 2001, Su Jeti ile Kesme Yönteminde Kesmeye Etki Eden Faktörlerin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, E. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Hafriyat Malzemelerinin Dolgu Amaçlı Olarak Kullanılmasında Malzeme Özelliklerinin Etkisi

The Effect of Material Properties on the Use of Excavating Materials for Filling Purposes

A. Kaya, S. Alemdağ

Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

F. Bulut, H. Ersoy

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Bu çalışmada, Konakönü Tüneli'nden (Araklı-Trabzon) çıkan hafriyat malzemelerinin dolgu amaçlı olarak kullanılmasında fiziko-mekanik ve elastik özelliklerin etkisi incelenmiştir. Kazıdan çıkan hafriyat malzemeleri Kalecik Mahallesi Mevkii'ndeki Karadeniz Sahil Yolu ile önceden yapılmış deniz tahkimatı gerisindeki boşlukları doldurmada kullanılmıştır. Hafriyat malzemesi ayrılmış andezitik-bazaltik tüf, aglomera ve bazalt türü volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bu kayalar üzerinde yapılan deneyler sonucunda ayrılmış tüflerin en kötü özelliklere sahip kayalar olduğu belirlenmiştir. Dolgu alanının en altına ayrılmış tüfler, en üstüne de sağlam bazaltlar serilmiştir. Sonuç olarak dolgu alanında yapılan bu istiflemenin ters olduğu ve ilerleyen aşamalarda yapısal bozuklukların meydana gelebileceği fiziko-mekanik ve elastik deneyler yapılarak belirlenmiştir.

ABSTRACT In this study, the effect of physico-mechanical and elastical properties on the use of excavating materials for filling purpose from Konakönü (Araklı-Trabzon) Tunnel, was investigated. Excavation materials were used for filling the space between Blacksea Coast Highway and sea fortification in the Kalecik area. Excavation materials are consist of weathered andesitic-basaltic tuffs, agglomerate and basalt. Considering to the result of laboratory tests, it was determined that weathered tuffs are the poorest rocks. Weathered tuffs were spreaded out at the bottom and good quality basalt at the top of the filling area. As a result of this, it was determined that structural breakdowns can be ocured progressively at the filling area because of the reverse stacking according to the result of laboratory tests.

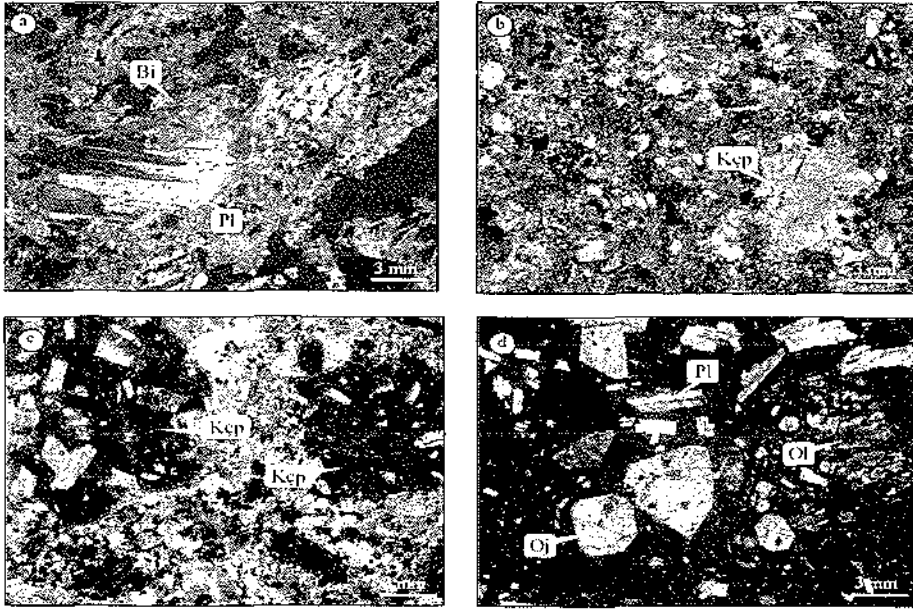
açık yeşil renkli olan tüflerin litik kristal bazaltik tüf, açık gri renkli tüflerin ise litik kristal andezitik tüf olduğu belirlenmiştir. Hamur içerisinde ayrışma ürünü olarak epidotlaşma, killeşme ve kloritleşme yoğun bir biçimde gözlenmektedir (Şekil 2a - b).

Aglomeraları oluşturan çakılların mikroskobik incelemelerinde, bu kayaçların daha çok hyalo-mikrolitik porfirik dokuya sahip olivin ojit bazalt oldukları, çakılları bir arada tutan bağlayıcının ise bazaltik bileşimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 2c).

Koyu gri renkli bazaltların ise mikroskobik incelemelerinde hyalo-mikrolitik porfirik dokuda olan olivin ojit bazalt olduğu belirlenmiştir (Şekil 2d).

3 FİZİKO - MEKANİK ÖZELLİKLER

Tünel kazılarında çıkan hafriyat malzemeleri özelliklerine göre çeşitli amaçlar için kullanılmak üzere geri kazanılmakta, değerlendirilmekte veya uygun depo alanında düzgün şekilde depolanmaktadır. Bu malzemelerin hangi alanda kullanılabileceğini belirlemek için kazıdan önce ve kazı sırasında tünel güzergâhında yer alan kaya gruplarından numuneler alarak basit laboratuvar deneyleri yapılmalıdır. Bu özellikler hafriyat malzemelerinin nerede kullanılacağı konusunda bir fikir sahibi olmaya yardımcı olmakla birlikte verilecek yanlış kararların önüne geçmektedir. Hafriyat malzemeleri kaliteli ve uygun nitelikli ise genellikle tünelin inşaat işlerinde kullanılmaktadır. Kırcıda kırılarak üretilen küçük boyutlu



Şekil 2. Tünel kazısından çıkan Kabaköy Formasyonu'nuna ait kayaçların mikroskobik görünüşleri; a) ayrışmış bazaltik tüf (TN), b) ayrışmış andezitik tüf (TN), c) aglomera çakıl ve bağlayıcısı (TN), d) bazalt (ÇN) (Bi: biyotit, Kçp: kayaç parçası, Oj: ojit, Ol: olivin, Pl: plajiyoklas)

malzemeler; püskürtme ve kalıp beton için agregası, enjeksiyon harcı için ham madde, yol yapımı için taban dolgu malzemesi ve asfalt için mıcır olarak kullanılmaktadır. İri bloklar ise tünel giriş ve çıkışlarının çevre düzenlemelerinde duvar taşı olarak değerlendirilmektedir (Kaya vd. 2008).

Hafriyat malzemesi eğer kötü kaliteli kaya gruplarından oluşuyorsa en uygun alana belirli bir istif sırasına göre boşaltılmalıdır. İlerleyen aşamalarda dolgu alanında meydana gelecek yapısal bozukların önüne geçmek için istifleme yapılmadan hangi kaya grubunun dolgu alanına ilk önce serileceği belirlenmelidir. Eğer çok yüksek - çok düşük kaliteli kayaların arasında değişen bir hafriyat malzemesi mevcutsa ilk önce dolgu alanının tabanına sağlam kaliteli kaya, en üstüne de düşük kaliteli kaya grubundan oluşan malzeme serilmelidir.

Konakönü Tüneli'nden alınan kaya bloklarından Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda silindirik ve küp şekilli örnekler hazırlanmıştır. Aglomera ve bazaltlardan boyu çapının 2.5 katı olacak şekilde silindirik örnekler hazırlanmıştır (Karot çapı/NX=54.7 mm). Andezitik ve bazaltik tüfler ayrılmış olduğundan karot alınamamıştır. Yerine 5x5x5 cm³'lük kübik örnekler hazırlanmıştır. Deneyler için 10 adet ayrılmış bazaltik tüf, 11 adet ayrılmış andezitik tüf, 10 adet aglomera ve 13 adet bazalt örneği kullanılmıştır. Nokta yükleme deneyinde ise düzensiz şekilli örnekler kullanılmıştır. Bu örnekler üzerinde çalışmanın amacına yönelik olarak deneyler yapılmıştır. Kaya malzemelerine ait fiziksel özellikleri belirlemek için yapılan deneylerde TS UDK 699 (1987) şartnamesi ve ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Tek eksenli basınç

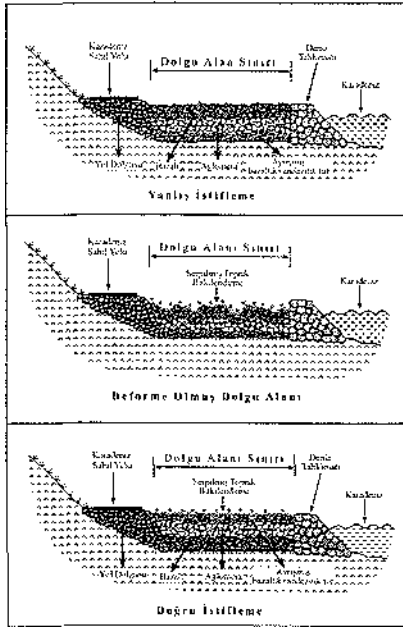
dayanımını belirlemek için TS EN 1926 (2000) şartnamesine göre; nokta yük dayanım indeksini belirlemek için de ISRM (1985) tarafından önerilen standartlara göre deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerle dolguda kullanılan kaya malzemelerine ait özgül ağırlık, su muhtevası, porozite, boşluk oranı, ağırlıkça su emme, doğal birim hacim ağırlık, elastik dalga hızı boyuna-enine yayılma hızı, sertlik, suda dağılmaya karşı duraylılık, nokta yük dayanım indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziko-mekanik özellikler belirlenmiştir (Çizelge 1 - 2). Deneyler sonucunda hafriyat malzemesi içinde ayrılmış andezitik ve bazaltik tüflerin en kötü, bazaltların ise en iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kayalar olduğu belirlenmiştir. Ayrılmış tüflerin, aglomera ve bazaltlara göre oldukça yüksek porozite ve boşluk oranı değerlerine sahip olmaları su emme özelliklerinin yüksek olabileceği, düşük nokta yük dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımına sahip olmaları kolayca kırılabileceği, düşük elastik dalga hızlarına sahip olmaları ayrılmış olabileceği ve düşük suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlerine sahip olmaları ise suyla temasta kolaylıkla ufalanabileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle dolgunun en altında sağlam bazaltları, ortasında gevşek çimentolu aglomeraları ve en üstünde ayrılmış tüfleri kullanmanın doğru olacağı sonucuna varılmıştır. Ancak dolgu sırasında kimi yerlerde bu sıra takip edilmeden ters istifleme yapılmıştır. Hafriyat malzemesi dolgu alanına yanlış istifleme yapılarak yerleştirildiğinden deniz ve yağmur suyunun etkisiyle dolgu tabanında kullanılan ayrılmış tüflerin ve aglomera bağlayıcı maddesinin gevşeyip dağılması söz konusudur. Zamanla oturmalara bağlı olarak dolgu alanının yüzeyinde çukurlukların oluşma olasılığı yüksektir (Şekil 3).

Çizelge 1. Hafriyat malzemelerine ait mekanik özellikler (Kaya 2008)

MEKANİK ÖZELLİKLER	Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Ortalama Nokta Yük Dayanım İndeksi (I_{550} - MPa)	0.80	1.80	3.03	6.09
Standart Sapma	±0.06	±0.18	±0.82	±1.09
Deney sayısı	15	17	14	17
Tanımlama: (Bieniawski 1975)	Çok düşük dirençli kaya	Düşük dirençli kaya	Orta dirençli kaya	Yüksek dirençli kaya
Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ_c - MPa)	18.58	29.42	38.92	143.62
Standart Sapma	±0.88	±3.51	±5.55	±8.75
Deney sayısı	10	11	10	13
Tanımlama: (Deere ve Miller 1966)	Çok düşük dirençli kaya	Düşük dirençli kaya	Düşük dirençli kaya	Yüksek dirençli kaya

Çizelge 2. Hafriyat malzemelerine ait fiziksel özellikler (Kaya 2008)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera		Bazalt
				Çakıl	Çimento	
Özgül ağırlık	Ortalama	2.648	2.647	2.699	2.667	2.771
	Standart Sapma	±0.002	±0.003	±0.006	±0.018	±0.009
	Deney sayısı	5	5	5	5	5
Su muhtevası(%)	Ortalama (w)	4.498	3.995	0.925	0.295	0.295
	Standart Sapma	±0.473	±1.191	±0.391	±0.169	±0.169
	Deney sayısı	10	11	10	13	13
Porozite (%)	Ortalama (n)	10.78	9.91	5.10	0.58	0.58
	Standart Sapma	±1.85	±1.69	±0.61	±0.08	±0.08
	Deney sayısı	10	11	10	13	13
Tanımlama: (Moos ve Quervain 1948)	Çok boşluklu kaya	Çok boşluklu kaya	Oldukça boşluklu kaya	Çok kompakt kaya	Çok kompakt kaya	
Boşluk oranı (%)	Ortalama (e)	12.26	11.17	5.10	1.47	1.47
	Standart Sapma	±2.01	±1.23	±0.68	±0.57	±0.57
	Deney sayısı	10	11	10	13	13
Ağırlıkça su erime (%)	Ortalama (W_w)	11.32	10.39	4.37	0.51	0.51
	Standart Sapma	±2.79	±1.84	±0.55	±0.07	±0.07
	Deney sayısı	10	11	10	13	13
Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Ortalama (γ_n)	20.11	19.22	23.64	26.87	26.87
	Standart Sapma	±2.62	±1.54	±0.30	±0.04	±0.04
	Deney sayısı	10	11	10	13	13
Elastik dalganın ortalama boyuna yayılma hızı (m/sn)	Kuru (V_p)	2380	2500	3125	4347	4347
	Tanımlama: (Illiev 1967)	Oldukça ayrılmış kaya	Oldukça ayrılmış kaya	Orta derecede ayrılmış kaya	Az ayrılmış kaya	Az ayrılmış kaya
	Doğgun (V_p)	2500	2777	3448	4761	4761
Elastik dalganın ortalama enine yayılma hızı (m/sn)	Tanımlama: (Illiev 1967)	Oldukça ayrılmış kaya	Oldukça ayrılmış kaya	Orta derecede ayrılmış kaya	Az ayrılmış kaya	Az ayrılmış kaya
	Kuru (V_s)	1213	1275	1593	2216	2216
	Doğgun (V_s)	1275	1416	1753	2428	2428
Ortalama schmidt sertlik çekici geri tepme sayısı (R^*)	Taze yüzey	23	25	Çakıl 32	Çimento 25	38
	Tanımlama: (De Beer 1967)	Çok yumuşak kaya	Çok yumuşak kaya	Sert kaya	Çok yumuşak kaya	Sert kaya
	Ayrılmış yüzey	14	15	24	18	26
Tanımlama: (De Beer 1967)	Fevkalede yumuşak kaya	Fevkalede yumuşak kaya	Çok yumuşak kaya	Fevkalede yumuşak kaya	Çok yumuşak kaya	
Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (%)	I_d	86	81	97	99	99
	Tanımlama: (Gamble 1971)	Orta derecede duraylılık	Orta derecede duraylılık	Yüksek duraylılık	Çok yüksek duraylılık	Çok yüksek duraylılık



Şekil 3. Dolgu işlemi sırasında takip edilmesi gereken istif sırası

4 ELASTİK ÖZELLİKLER

Kayaçlar içinde ilerleyen P (boyuna) ve S (enine) dalgalarının hızlarından yararlanarak kayaçların elastik özellikleri ve izotropileri araştırılmakta ve kayaçlar ultrasonik ses dalgası iletkenliğine ve elastik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

Konakönü Tünel kazısından çıkan bazalt, aglomera ve ayrılmış tüflere ait elastik özellikler ultrasonik ses dalgası iletkenliğinden yararlanarak belirlenmiştir. Elastik dalganın kaya malzemeleri içerisinde boyuna yayılma hızını (V_p) belirlemek için yapılan deneylerde silindir ve küp şekilli örnekler kullanılmıştır. DIGI-EG-C2 ultrasonik deney aleti kullanılarak ultrasonik ses dalgasının kuru ve doymuş örnekleri geçme zamanları mikrosaniye olarak ölçülmüştür. Daha sonra örnek uzunlukları göz önüne alınarak boyuna

dalganın örnekler içerisindeki yayılma hızı hesaplanmıştır. Elastik dalganın kaya malzemeleri içerisinde enine yayılma hızı (V_s) bulunurken Attewell ve Farmer (1976) tarafından önerilen eşitlikten yararlanılmıştır.

Dinamik elastisite modülünü bulmak için boyuna elastik dalganın örnekleri katetine zamanından yararlanılmıştır. Kuru ve doymuş kaya örneklerine ait dinamik elastisite modülü, Youash (1970) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesap edilmiştir. Kuru ve doymuş kaya malzemelerine ait dinamik poisson oranının belirlenmesinde elastik dalganın boyuna ve enine yayılma hızlarından yararlanılmış ve ASTM (1980) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesap edilmiştir. Dolguda kullanılan kaya malzemelerine ait dinamik elastisite modülü ve dinamik poisson oranı değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre ayrılmış bazaltik ve andezitik tüfler ile aglomeranın, bazalttan daha düşük dinamik elastisite modülü değerlerine sahip olması bu kaya gruplarının çok düşük yük altında bile kolayca deformasyona uğrayacağı anlamına gelmektedir. Dolgu tabanında kullanılmış olmaları nedeniyle üzerlerindeki kayaların oluşturacağı basınçla zamanla gevşeyip dağılmaları söz konusudur. Tabandaki bu zayıf kayaçların dağılmasıyla dayanma yüzeyleri arasındaki boşluk en aza inecektir. Üstteki aglomera ve bazaltlar sıkışmayla birlikte aşağıya doğru hareket edecektir. Bu olay dolgu alanı yüzeyinde oluşmuş çukurluklar şeklinde kendini gösterecektir.

5 SONUÇLAR

Konakönü Tüneli kazısından çıkan hafriyat malzemeleri Kalecik-Araklı kesiminde önceden yapılmış deniz

Çizelge 3. Hafriyat malzemelerine ait elastik özellikler

ELASTİK ÖZELLİKLER	Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Dinamik elastisite modülü - $E_d \times 10^5$ (kg/cm ²) (Kuru örnekler)	1.12	1.08	2.36	5.72
Tanımlama (Deere ve Miller 1966)	Yüksek modül oranlı kaya	Orta modül oranlı kaya	Yüksek modül oranlı kaya	Orta modül oranlı kaya
Dinamik elastisite modülü - $E_d \times 10^5$ (kg/cm ²) (Doygun örnekler)	1.38	1.62	3.00	6.31
Tanımlama (Deere ve Miller 1966)	Yüksek modül oranlı kaya	Yüksek modül oranlı kaya	Yüksek modül oranlı kaya	Orta modül oranlı kaya
Dinamik poisson oranı (ν) (Kuru örnekler)	0.325	0.324	0.324	0.324
Tanımlama (Gerçek 2004)	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya
Dinamik poisson oranı (ν) (Doygun örnekler)	0.324	0.324	0.326	0.324
Tanımlama (Gerçek 2004)	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya	Yüksek poisson oranlı kaya

tahkimatı ile Karadeniz Devlet Sahil Yolu arasında kalan boşluğu doldurmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada, dolgu alanına belirli bir istif sırası takip edilmeden boşaltılan kayaçların malzeme özelliklerinden yola çıkılarak meydana gelecek yapısal bozuklukların neler olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Kazı sırasında alınan örneklerin mineralojik incelemeleri sonucu kayaçların ayrılmış andezitik-bazaltik tüf, aglomera ve bazalt olduğu belirlenmiştir. Bu kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için ASTM (1980), ISRM (1981), ISRM (1985), TS UDK 699 (1987) ve TS EN 1926 (2000) tarafından önerilen standartlara göre deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda dolgu alanının tabanına serilen ayrılmış-bazaltik-andezitik tüflerin en kötü, en üste serilen bazaltların ise en iyi özelliklere sahip kayaçlar olduğu belirlenmiştir. Sızıntı suyunun ayrıştırıcı etkisi ve üsteki kayaçların ağırlığı tabandaki tüflerin ve aglomera bağlayıcısının kolayca dağılmasına yol açacaktır. Tabandaki oturmalara bağlı olarak dolgu

alanı yüzeyinde çukurluklar oluşacaktır. Peyzaj işlemi tamamlanmış bu alanda bu tür yapısal bozuklukların gelişmesi görüntü kirliliğine neden olacaktır.

Farklı kaya gruplarından oluşmuş hafriyat malzemeleri dolgu amaçlı olarak değerlendirilecekse hangi kaya grubunun nereye serileceği basit fiziko-mekanik ve elastik deneyler yaparak belirlenmelidir. Doğru yapılımsı bir istifleme dolgunun mühendislik ömrünün uzun olmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1980. *Annual book of ASTM standards*, Natural building Stones; soil and rock, Part 19. ASTM Publ., s.1-634.
- Attewell, P. B. ve Farmer, I. W., 1976. *Principles of Engineering Geology*, Chapman and Hall, 1045 s., London.
- Bieniawski Z. T., 1975. *The Point Load Test in Geotechnical Practice*, Engineering Geology, Sept, 11s.
- De Beer, J. H., 1967. *Subjective*

- classification of the hardness of rocks and the associated shear strength*, Proc. 4th Reg., Cong. Af., Soil Mech. Found. Eng., s.396-398, Capctawn.
- Decre D. U. ve Miller R. P., 1966. *Engineering classification and index properties for intact rock*, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, AFWL-TR, Kirtland Base, s.65-116, New Mexico.
- Gamble, J. C., 1971. *Durabilty-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks*, PhD Thesis, University of Illinois (unpublished).
- Gerçek, H., 2004. *Kayaçların poisson oranlarına göre sınıflandırılması*, 7. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas.
- Güven, İ. H., 1993. *Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli kompilyasyonu*, MTA, Ankara.
- Illiev, I. G., 1967. *An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physical-mechanical properties*, Proc. 1st. Cong. Int. Soc. Rock Mec., s.109-114, Lisbon.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *ISRM Suggested Methods; Rock Characterization, Testing and Monitoring*, Pergamon Press, s.1-211, London.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. *Suggested Method for Determining Point Load Strength*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, s.53-60.
- Kaya, A., 2008. *Konakönü (Araklı-Trabzon) tüneli sol tüp giriş portalının jeoteknik açıdan incelenmesi*, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.1-113, Trabzon.
- Kaya, A., Bulut, F. ve Ersoy, H., 2008, *Tünel Kazılarında Çıkan Hafriyat Malzemelerinin Değerlendirilmesi: Konakönü Tüneli Örneği (Araklı-Trabzon)*, Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu'08, 389s., İstanbul.
- Moos, A. V. ve Quervain, F. De., 1948. *Technische Gesteinkunde*, Verlag Birkhauser, Basel.
- TSE, 1987. TS UDK 699, *Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları*, Türk Standartları Enstitüsü, 75s., Ankara.
- TSE, 2000. TS EN 1926, *Doğal taş deney metotları-tek eksenli basınç dayanımı tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, 10s., Ankara.
- Youash, Y. Y., 1970. *Dynamic Physical Properties of Rock*, Proc. 2nd Cong. ISRM, Part -1, Theory and Proucudure, 171 -183 s., Belgrade.

Hekimhan-Deveci Siderit Yatağının Rezerv ve Kalitesinin İncelenmesi ve Türkiye Demir-Çelik Endüstrisi İçin Önemi

Reserve and Quality Estimation of Hekimhan-Deveci Siderite Ore Deposit and Its Importance for Turkish Iron-Steel Industry

Ü. Özer

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul
M. Erol

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden İşleri genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET Türkiye Demir-Çelik endüstrisinde, yüksek fırına beslenecek demir cevheri harmanı içerisinde % 1-1,5 oranında Mn olması, bununla birlikte Mn'lı demir cevherlerinde, %Fe+%Mn içeriğinin %40 ve yukarisında olması istenmektedir. Mn yönünden bilinen rezervlere göre yeterli rezerve sahip olmayan Türkiye, Deveci siderit yatağı nı değerlendirmek durumundadır. 2005 yılı itibarı ile herhangi bir üretim faaliyetinin olmadığı yatağın atıl vaziyette bekletilmesi Türkiye için gerek istihdam gerekse ekonomik açıdan kayıplar doğurmaktadır. Bu çalışmanın amacı Deveci siderit yatağı nın Türkiye demir-çelik sektörü için önemini vurgulamak ve yatağın kalite ve rezerv dağılımını ortaya koymaktır. Bu amaçla temel istatistiki bir incelemeden sonra jeostatistiksel yöntemlerden Blok Kriging yöntemi ile Deveci yatağı incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda ortalama örtü kalınlığı 71.8 m, ortalama %Fe tenörü 38,6 ve ortalama %Mn tenörü 3,86 olarak bulunmuştur. Farklı blok boyutları için yapılan modellemeler ve hesaplamalara göre toplam 87 892 712 ton tüvenan cevher rezervi olduğu belirlenmiştir. Bu rezerv içerisinde metal içeriği olarak 34 049 863 ton Fe, 3 577 870 ton Mn olduğu belirlenmiştir. Mevcut duruma göre, Deveci sideritlerinin Mn içeriği dikkate alındığında, Türkiye demir-çelik fabrikalarının düşük tenörlü demir cevheri ihtiyacını yaklaşık 25-30 yıl süre ile karşılayabileceği tahmin edilmiştir.

ABSTRACT In the Turkish Iron-Steel industry, it is desired to have 1-1,5% Mn content in iron ore blend. Moreover, the total of Fe and Mn contents in iron ore with Mn is sought to be at least 40 %. Having insufficient Mn reserves relative to other known reserves, Turkey has to use Deveci Siderite ore deposit. since 2005, there

has not been any production at this mine. This situation causes Turkish economy to lose employment opportunities, production and other economical opportunities. The objective of this study is to emphasize the importance of Deveci Siderite reserves for the Turkish iron and steel industry, and also to show the quality and reserve dispersion of the reserve. In this regard, Deveci reserve has been examined by Block Kriging method, one of the geostatistical methods, after using a basic statistical analysis. At the end of this study, average stripping thickness and average percentages of Fe and Mn contents have been found to be 71.8 m, 38.6% and 3.86%, respectively. Based on the modeling and calculation studies on different block dimensions, it has been determined that the ore deposit has a raw reserve of 87 892 712 ton. In regard to metal content, the reserve has been found to have 34 049 863 tons of Fe and 3 577 870 tons of Mn. Considering its Mn content, Deveci reserve is estimated to have enough capacity to meet the low-content-iron-ore need of Turkish iron and steel industry for approximately 25-30 years.

1 GİRİŞ

Oksitli demir cevherleri, yüksek fırına doğrudan şarj edilebildiği gibi peletlenerek ve sinterlenerek de şarj edilirler. $FeCO_3$ kompozisyonundaki siderit mineralleri fırın sıcaklığında FeO ve CO_2 şeklinde parçalandığı için bir oksit cevheri olarak kullanılabilirler. Demir cevherinde mevcut olup yararlı olduğu için prim, zararlı olduğu için ceza ödenen bileşenler vardır. Mn, %3 ün üzerinde ise prim ödenir. Mn çeliğe sertlik kazandırma özelliğinden dolayı demir-çelik üretiminin gerçekleştirildiği yüksek fırınlarda aranan bir elementtir. Türkiye Mn rezervi ise 3.2 Milyon ton civarındadır (DPT, 2006). Entegre demir-çelik fabrikalarında yapılacak demir cevheri harmanı içindeki cevherin cinsine göre % 1-1,5 mangan oranı istenmekle birlikte pratik olarak demir-çelik fabrikalarına beslenecek Mn'lı demir cevherlerinin % Fe + % Mn içeriğinin toplamının % 40 ve yukarısında olması istenmektedir. Deveci sideritlerinde ise ortalama değerler incelendiğinde, bu toplamın % 42,555 olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, Mn rezervi kısıtlı olan Türkiye için, Deveci Siderit cevheri önem arz

etmektedir. Türkiye'de Denizli Tavas Ulukent manganez cevherinden başka önemli oranda manganez cevheri üretimi bulunmamaktadır. Bu yataktan yılda 20 000 ton/yıl civarında üretimin yapıldığı ve bu üretimin Erdemir başta olmak üzere İsdemir ve Kardemir tarafından tüketildiği bilinmektedir. Ancak, 1995'ten itibaren üretimin tamamının Erdemir tarafından kullanıldığı görülmektedir (DPT, 2001). 2005 - 2010 yılları arasında Türkiye demir-çelik sektörü manganez talep tahminleri ise Çizelge 1'de verilmiştir. Bu verilere göre, ilerleyen yıllarda Türkiye'de Mn cevheri sıkıntısı yaşanabileceği görülmektedir. Yani Türkiye demir-çelik sektörünün Mn ihtiyacı bakımından açığı vardır. Bu açığın bir kısmı ya Deveci sideritlerinden karşılanabilecek ya da ithal yoluna gidilecektir. Bu nedenle, Deveci siderit yatağı için jeoistatistiksel yöntem kullanarak, yatak kalitesi ve rezerv miktarının belirlenmesi, Türkiye demir-çelik sektörü için önemlidir. Bu amaçla; yatak için önce temel istatistiksel bir araştırma yapılmış ve ardından jeoistatistiksel yöntemlerden Blok Kriging kullanarak Deveci siderit yatağının kalite dağılımı ve rezervi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Deveci Siderit yatağı için daha öncede çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmaların hepsi klasik yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Siderit oluşumunu tespit etmek amacıyla MTA tarafından 1960-1980 yılları arasında 10.041 metre uzunlukta arama sondajı yapılmıştır. Yapılan sondajlar sonucunda % 36,51 Fe, % 3,7 Mangan tenörlü 59.000.000 ton görünür, 26.000.000 ton muhtemel olmak üzere 85 milyon ton rezerv olduğu vurgulanmıştır (Özer ve Kuşçu, 1982). MTA-OUTOKUMPO OY (1981)'e göre yatağın %37.42 Fe, %3.64 Mn tenörlü 66.010.472 ton Görünür+Muhtemel, %37.60 Fe, %3.65 Mn tenörlü 19.307.771 tonu'da mümkün olmak üzere, ortalama %37.46 Fe ve %3.65 Mn tenörlü 85.318.243 ton toplam siderit rezervine sahip olduğu ileri sürülmüştür. Kormalı ve diğ. (1989)'a göre de ortalama %38.97 Fe, %3.72 Mn tenörlü toplam 51.106.242 ton siderit cevheri rezervi olduğu savunulmuştur.

3 ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Hekimhan – Deveci demir yatağında, Siderit oluşumunun kalite ve rezervini tespit etmek amacıyla MTA. tarafından 1960 ve1980 yılları arasında toplam 10.041 metre uzunlukta 67 adet arama sondajları yapılmış olup bu sondajlara ait veriler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Şekil 1'de çalışma alanı yer bulduru ve sondaj lokasyon haritası gösterilmiştir.

4 İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Bir fizibilite çalışmasının ilk aşaması yerinde rezervin iyi belirlenmesidir. Jeostatistik, yataktaki kalite dağılımının ve rezerv miktarının belirlenmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle belirlenen rezerv, projelendirme aşaması için güvenilir veriler üretir (Armstrong and Carignan, 1998).

Jeostatistik, ilgili yatağa ait verileri kullanan ve tenör değerlerindeki

Çizelge 1. Türkiye Demir Çelik Sektörü Mangan Talep Projeksiyonu (Akdemir ve Dağbak, 2005; DPT 2006).

Ürün	Tüketim Yeri	Ton						Toplam
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Manganez cevheri	Kardemir	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	18000
	İsdemir	-	-	-	-	-	-	-
	Erdemir	30.000	30000	30000	30000	30000	30000	180000
	Toplam	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	33.000	198000
Demirli Manganez Cevheri	Kardemir	20000	20000	20000	20000	20000	20000	120000
	İsdemir	19500	19500	19500	19500	19500	19500	117000
	Erdemir	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam	39500	39500	39500	39500	39500	39500	237000
Ferro Mangan	Kardemir	7654	7654	7654	7654	7654	7654	45924
	İsdemir	640	609	16192	20194	24150	24150	85935
	Erdemir	18048	18048	18048	18048	18048	18048	108288
	Toplam	26342	26311	41894	45896	49852	49852	240147
Ferrosiliko Mangan	Kardemir	12000	13500	13500	18300	18300	18300	93900
	İsdemir	6128	5829	352	439	525	525	13798
	Erdemir	4782	4782	4782	4782	4782	4782	28692
	Toplam	22910	24111	18634	23521	23607	23607	136390
Genel Toplam	121752	122922	133028	141917	145959	145959	811537	

Not: Kardemir ve Isdemir degerleri kendi tuketimleri dikkate alınarak sarsılmıstır. Erdemir degerleri şirketin kendi projeksiyonudur.

değişimi uzaklığa bağlı olarak olarak inceler (Tercan ve Saraç, 1998). Bir cevher yatağının işletilmesine karar verildiğinde, blok blok tonaj ve ortalama tenör tahminlerine ihtiyaç duyulur. Burada bir blok bir vardiyadaki ya da aylık üretimi temsil edebilir. Madencilik bloklarının ortalama tenör ve cevher tonaj tahminlerine ek olarak jeostatistik, kalite değişkenlerinin tahminine olanak sağlar. Demir cevheri için, bunlar silkat ve fosfor yüzdesi bazen de mangan içeriği olabilir (Armstrong and Carignan, 1998).

Deveci yatağına ait 67 adet sondaj verisi üzerinde yapılan temel istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Verilerin dağılımlarını tanıyabilmek ve yatak hakkında genel bir bilgi edinebilmek amacıyla, cevhere giriş, cevherden çıkış, topoğrafya, damar kalınlığı, örtü kalınlığı, %Fe, %SiO₂, %CaO, %Mn ve %CO₂ verileri için histogramlar oluşturulmuştur. Ancak bu bildiri içerisinde sayfa adedi gözönünde tutulduğu için histogramları göstermek yerine temel istatistiksel inceleme sonuçları

Çizelge 2’de özet olarak verilmiştir. Örtü kalınlığı dışındaki diğer parametrelerin normal dağılıma, örtü kalınlığının ise üstel dağılıma uyduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Şekil 1’de sondaj lokasyonu incelendiğinde, sondajların düzensiz olarak yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle bilinmeyen ve sondaj olmayan bölgelerin de değerlendirilmesi için jeostatistiğe ihtiyaç vardır (Erol, 2003).

Bu çalışmada amaç, Deveci Siderit yatağını %Fe, %Mn ve rezerv yönünden incelemek olduğundan diğer parametreler için jeostatistiksel çalışma yapılmamıştır.

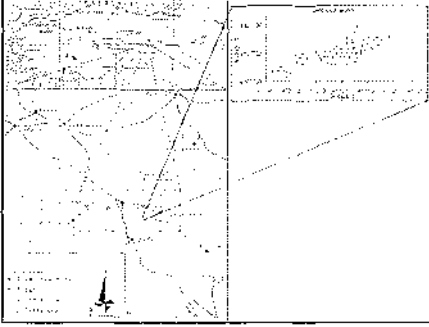
4.1 Variogramın Oluşturulması

Damar kalınlığı için yapılan variogram analizinde en uygun lag aralığının (adım aralığı) 65 metre olduğu belirlenmiştir. Cevher yatağı için en uygun yönsel deneysel variogram oluşturulmuştur (Şekil 2). Oluşturulan modelde tolerans açısına 90° ilavelerle anizotropi araştırılmıştır (Şekil 3).

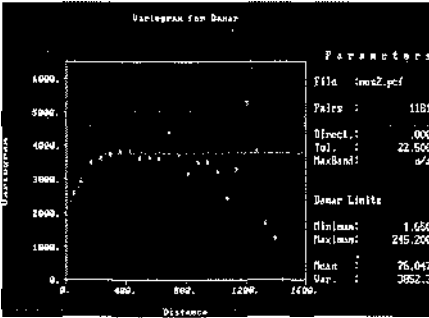
Çizelge 2. Sondaj Değerlerinin İstatistiksel Analiz Bulguları.

Değişken	Topğrafya (m)	Cevhere Giriş (m)	Cevher Çıkış (m)	Örtü Kalınlığı (m)	Damar Kalınlığı (m)	Fe (%)	Mn (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	CO ₂ (%)
	1521,57	1134,4	1116,95	6,00	1,65	34	3,41	1,72	0,35	1,89	33,17
Üst Limit	1662	1619,68	1614,53	474,25	245,20	40,86	5,61	4,39	5,89	4,67	37,83
Sondj.Sayı.	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Ortalama	1595,52	1499,99	1423,94	95,94	76,05	38,68	3,82	2,48	2,49	3,71	34,52
Varyans	978,96	5602,92	11911,73	6505,37	3916,48	1,02	0,12	0,34	0,74	0,16	1,02
Stan.Sapma	31,29	74,85	109,14	80,66	62,58	1,01	0,35	0,58	0,86	0,40	1,01
Değ.Katsyı.	1,96	4,99	7,66	84,07	82,29	2,61	9,18	23,60	34,66	10,90	2,92
Çarpıklık	0,11	-2,12	-0,88	1,98	0,93	-1,78	3,41	1,27	0,40	-1,45	1,16
Kurtosis	2,65	10,66	3,33	9,33	3,20	9,56	15,67	3,90	6,15	8,88	3,85
Median	1589,90	1519,73	1459,19	78,67	56,73	38,70	3,74	2,29	2,41	3,74	34,19

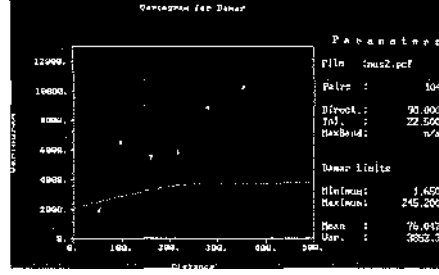
Yapılan araştırma sonucu $C_0=2075$, $C=1700$, etki mesafesi 300 ve açı 0° şartlarında zonal anizotropik yapıda model kullanılmıştır. Damar kalınlığı için kriging hesaplamalarında : $C_0=2075$, $C=1700$, etki mesafesi 300, açısı da 0° olan zonal anizotropik yapıda spherical model kullanılmıştır (Şekil 4). % Fe Tenörü için yapılan variogram analizinde lag 65 metre, yön 20° , tolerans açısı ise $\pm 38^\circ$ olarak alınmış ve modelleme yapılmıştır. Anizotropi araştırılmış ve zonal anizotropi olduğu görülmüştür (Şekil 5). % Mn tenörü için lag aralığı 75 metre olarak alınmış modelleme, ortalama deneysel variogram ile yapılmıştır. 0° yön ve $\pm 90^\circ$ tolerans açısı kullanılmıştır (Şekil 6).



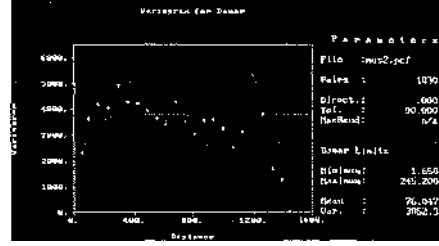
Şekil 1. Hekimhan-Devceci Demir Yatağı Yer Bulduru Haritası ve Sondaj Lokasyonu



Şekil 2. 0° Yönü ve $\pm 22.5^\circ$ Toleransla Çizilen Deneysel Variogram.

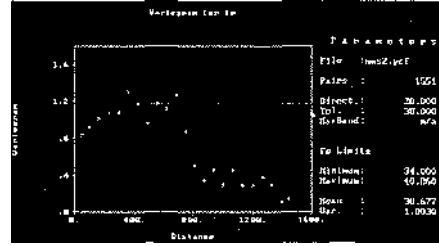


Şekil 3. 90° Yönü ve $\pm 22.5^\circ$ Toleransla Çizilen Deneysel Variogram.



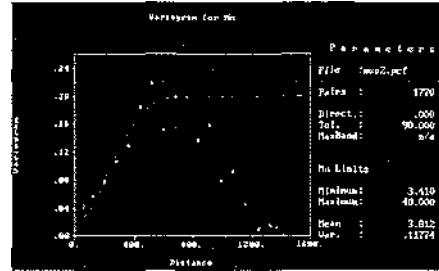
Nugget=2075, Sill=1700, Etki Mesafesi (a) = 300 m, Spherical Model

Şekil 4. Damar Kalınlığı İçin Ortalama Deneysel Variogram Modeli.



Nugget=0.75, Sill=0.425, Etki Mesafesi(a) = 300 m, Spherical Model

Şekil 5. % Fe Tenörü Variogram Modeli.



Nugget=0.2, Sill=0.18, Etki Mesafesi = 550 m, Gaussian Model

Şekil 6. % Mn Tenörü Variogram Modeli.

4.2 Matematiksel Modelin Belirlenmesi

Çalışmada damar kalınlığı, % Fe tenörü ve % Mn Tenörü için bulunan variogram modelleri sırası ile denklem 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

$$\gamma(h) = (2075 + 1700)Sp_{h_{300}}^{[h]} \quad (1)$$

$$\gamma(h) = (0.3 + 0.425)Sp_{h_{400}}^{[h]} \quad (2)$$

$$\gamma(h) = (0.9 + 0.8)Gauss_{550}^{[h]} \quad (3)$$

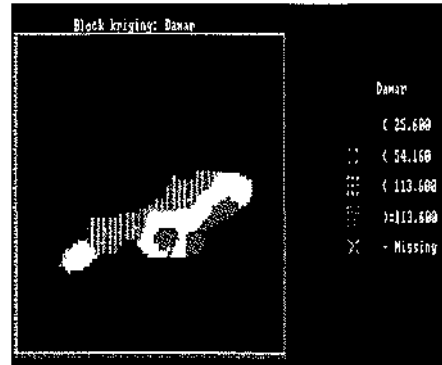
4.3 Kriging

Oluşturulan matematiksel modellerin cevher yatağına uygunluğu ve variogram parametrelerinin doğruluğu Cross-validation (çapraz doğrulama tekniği) ile kontrol edilmiştir. Tahmin edilen değer ile gerçek değeri arasındaki farkın sifıra yakın olduğu görülmüş ve bu tespit edilen modellerin araziye uygun olduğuna ve cevher yatağını bu sondaj verileri için bulunan modellerin temsil edebileceği kanaatine varılmıştır. Bu işlem sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın ortalaması 0.03 (0 yakın olmalıydı), farkın ortalama kriging standartı ise 1.035 (1'e yakın olmalıydı) olarak bulunmuştur.

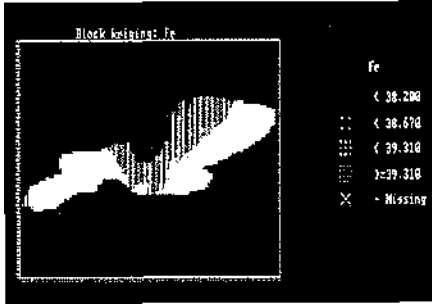
Sondaj etki mesafeleri için farklı kriging yarıçapları denenmiş ve en uygun sonucu veren kriging yarıçapları belirlenmiştir. Damar kalınlığı için 400 metre, % Fe tenörü için 400 metre ve %Mn tenörü için 500 metre olarak alınmıştır. Belirlenen model ve parametreler kullanılarak Blok Kriging uygulanmıştır. Değişen blok boyutlarının rezerv hesabındaki etkisini görmek için 15x10, 20x10, 30x20 ve 50x30 metre olan bloklar kullanılmıştır. Her bir bloğun orta noktasına kriging ile tahmin edilen değerler (Damar Kalınlığı, % Fe Tenörü, % Mn Tenörü) atanmıştır.

Bu tahmin işlemi sadece belirlenen saha sınırları içerisine yapılmıştır.

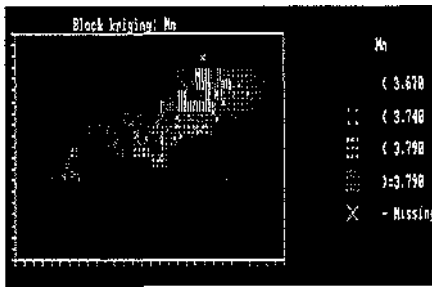
Kriging sonucu elde edilen bilgiler, her bir parametre için Şekil 7, 8, 9 da verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi damar kalınlığının yatağın KB'dan GD'suna gidildikçe arttığı, GD kesimlerinde 113 metre'den büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. Şekil 9'da ise % Fe tenörünün yatağın orta noktasından Batı ve Doğuya doğru gidildikçe arttığı görülmüştür (Erol, 2003). Kriging sonuçları yorumlandığında, Hekimhan-Deveci Siderit yatağının mangan tenörü bakımından zengin olan bölgeleri Şekil 9' de gösterilmektedir. Yatağın KB kısımları mangan bakımından zengin olmakla beraber ortalama 4,0-4,5 % Mn içermektedir ve bu bölge yatağın % 25-30 'luk kısmını teşkil etmektedir. KB 'dan D'ya gidildikçe Mangan oranın düştüğü, ortalama 3,5-4 % Mn içerdiği ve bu kısmında yatağın % 70-75 'ini temsil ettiği tespit edilmiştir. Bu tespit, mangan sıkıntısı çekmesi muhtemel Türkiye demir-çelik sektörü için, Deveci sideritinin mangan yönünden değerlendirilmesi amacıyla yapılacak işletme faaliyetleri açısından önemlidir.



Şekil 7. Damar Kalınlığı için blok kriging

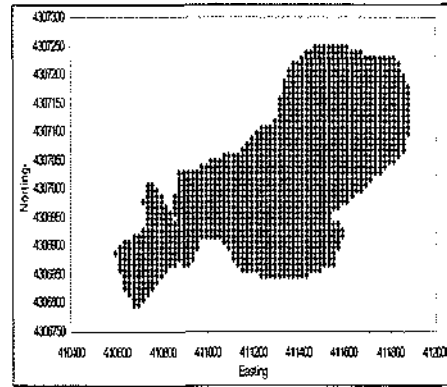


Şekil 8. % Fe Tenör İçin Blok Kriging



Şekil 9. % Mn Tenörü İçin Blok Kriging

engellemek için % 20 toleransla saha sınırlarını belirleyerek poligon oluşturulmuştur (Şekil 10). Seçilen saha dışında kalan bölge değerlendirme dışında tutulmuş ve rezerv hesabına dahil edilmemiştir. Kriging işlemi sırasında sahada bulunan faylar ve sahanın tektonizması dikkate alınmamıştır. Rezerv hesabı yapılırken farklı blok boyutları kullanılmıştır. Bu blok boyutlarına bağlı olarak 15x10 ile 2072 adet, 20x10 ile 1028



Şekil 10. Kriging sonucu rezerv hesabı için oluşturulan poligon bölgesi.

5 REZERV HESABI

Kriging yarıçapının etkisinden dolayı cevhersiz bölgeye de değer atamasını

Çizelge 3. Hekimhan-Deveci demir yatağı'nın farklı blok boyutları için tahmin edilmiş rezerv miktarları.

Blok Boyutları	15X10	20X10	30X20	50X30
Cevherli Blok Sayısı	2072	1028	519	211
Hesab Edilen Rezerv (ton)	87.491.128	87.193.108	87.892.712	88.947.547
Gör.Rezerv (ton)	69.992.902	69.754.486	70.314.169	71.158.037
Muht.Rezerv (ton)	17.498.225	17.438.621	17.578.542	17.789.509
Ort,Krig.Tah.Damar kal,	71,812	71,984	72,003	71,693
Ort.damar Kal,Krig.Std. Sp	30,978	30,963	30,829	30,225
Ort,Krig,Tahmini %Fe	38,691	38,690	38,694	38,698
Ort,% Fe Krig.Std. Sp	0,393	0,391	0,389	0,378
Ort.Krig. Tah.Mangan Ten.	-	-	3,861	3,857
Ort.%Mn Krigi, Stand.Sap.	-	-	0,086	0,076

adet, 30x20 ile 519 adet ve 50x30 ile 211 adet cevherli blok tespit edilmiştir. Blok boyutlarına göre yapılan hesaplamalara bağlı olarak, rezerv miktarları Çizelge 3'de sunulmuştur. Hesap edilen rezerv, kriging tahmini ortalaması, kriging standart sapması ortalaması değerlerindeki değişiminin küçük farklılıklar içerdiği gözlenmiştir.

Hesap edilen rezervin, blok boyutu ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Blok boyutunun artışıyla da ortalama kriging standart sapmasının düştüğü belirlenmiştir.

Her bir blok için tek tek (Hacim x Tenör x Yoğunluk) birim blok rezervi hesaplanmıştır. Bütün bu birim blok rezervlerinin toplamı da, toplam rezervi vermiştir. Hesaplamalarda % 38,692 Fe tenörüne karşılık gelen yoğunluk değeri olarak 3,923 t/m³ alınmıştır.

Hekimhan-Deveci siderit demir yatağında yapılan rezerv hesaplama çalışmaları sonucunda farklı blok boyutları için ortalama % 38,692 Fe tenörlü 87 892 712 ton tüvenan cevher rezervi olduğu tahmin edilmiştir. Bu rezerv içerisinde metal içeriği olarak ortalama 34 049 863,095 ton Fe ve 3 577 870,449 ton Mn belirlenmiştir. Ayrıca, hesap edilen demir cevherinin de % 3.857 Mn (Ortalama Kriging standart sapması 0.076) içerdiği tespit edilmiştir.

6 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İçinde bulunduğumuz şu dönemlerde ekonomik sıkıntı yaşayan Türkiye, yeraltı kaynaklarını en verimli şekilde değerlendirmek durumundadır. Bu nedenle maden yataklarının sahip oldukları özelliklerin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Deveci siderit yatağı,

sahip olduğu özelliklerin belirlenmesi amacıyla sahada yapılmış olan 67 adet sondaj verisi kullanılarak incelenmiştir. Damar kalınlığı, %Fe ve %Mn değerleri için variogram modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin sahaya ne kadar uyduğu "Cross Validation" la sınanmış ve blok kriging sonucuna bağlı olarak rezerv hesaplanmıştır.

Yapılan variogram analizinde elde edilen sonuçlar;

- Damar kalınlığı için matematiksel modelin (Nugget=2075, Sill=1700, Etki Mesafesi (a)=300 m, Spherical Model) formülü;
$$\gamma(h) = (2075 + 1700)Sph_{300}^{[6]}$$
- % Fe Tenörü için matematiksel modelin (Nugget=0,75, Sill=0,425, Etki Mesafesi(a)=400 m, Spherical Model) formülü;

$$\gamma(h) = (0.75 + 0.425)Sph_{300}^{[6]}$$

- % Mn Tenörü için matematiksel modeli (Nugget=0,02, Sill=0,18, Etki Mesafesi=550 m, Gaussian Model) formülü; $\gamma(h) = (0.02 + 0.18)Gauss_{550}^{[6]}$

olarak bulunmuştur.

Damar kalınlığının, yatağın KB'dan GD'suna gidildikçe arttığı, GD kesimlerinde 113 metre'den büyük değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. % Fe tenörünün de hemen hemen damar kalınlığı ile ters orantılı bir değişime sahip olduğu, yatak ortasından yatağın doğusuna ve batısına gidildikçe % Fe tenörünün azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda Hekimhan-Deveci demir yatağının mangan tenörü bakımından zengin olan bölgeleri; yatağın KB kısımları mangan bakımından zengin olmakla beraber ortalama 4,0-4,5 %Mn içermektedir ve bu bölge yatağın % 25-30 'luk kısmını teşkil etmektedir. KB dan D ya gidildikçe Mangan oranının

düştüğü ortalama 3,5-4 % Mn içerdiği ve bu kısmında yatağın % 70-75'ini temsil ettiği tespit edilmiştir. Bu tespit, manganın değerlendirilmesi amacıyla yapılacak işletme faaliyetleri açısından önemlidir. Hekimhan-Deveci (Siderit) demiryatağında yapılan rezerv hesaplama çalışmaları sonucunda ortalama 70 milyon ton görünür, 17 milyon tonda muhtemel olmak üzere toplam 87 milyon ton, ortalama % 38,692 Fe tenörlü demir cevheri rezervi hesaplanmıştır. Ayrıca bu hesap edilen demir cevherinin de ortalama % 3.857 Mn (Ortalama Kriging standart sapması 0.076) içerdiği tespit edilmiştir. Metal içeriği olarakta 3.577.870 ton Mn ve 34.049.863 ton Fe rezervi hesaplanmıştır. Mevcut verilerle, Mn sıkıntısı çekmesi muhtemel olan Türkiye'de, Deveci cevherlerinin değerlendirilmesi ile entegre demir-çelik fabrikalarının mangan ihtiyacını, Mn içeriği olarak yaklaşık 25-30 yıl süre ile karşılayabileceği tahmin edilmiştir. Bu nedenle gerek Mn'lı demir cevheri ihtiyacı gerekse Türkiyenin içinde bulunduğu ekonomik sıkıntı ve istihdam sorununun çözümüne katkı sağlaması bakımından, Deveci siderit yatağının işletmeye açılması önem arz etmektedir.

Önceki çalışmalarla karşılaştırması yapıldığında, rezerv açısından MTA-OUTOKUMPO OY (1981)'nin elde ettiği sonuçlara yakın sonuçlar vermekle birlikte, özellikle %Fe ve %Mn değerlerinin yatak içindeki dağılımının detayları ile ortaya konması ve metal içeriklerinin verilmesi yatağın, Türkiye demir-çelik sektörü için öneminin vurgulanmış olması bu çalışmayı diğerlerinden oldukça farklı kılmaktadır. Elde edilen bilgiler ışığında yatağın yeniden ele alınıp, yeni bir fizibilite çalışmasının yapılması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdemir I, Dagbak R.Y., 2005, "The usage of Manganese in Iron&Steel Works", The Geology, Mining and Existing Problems of Iron Ore Deposites of Turkey, Türkiye, 23-25 June-2005, Eds. Ozturk H, Kahrıman A, Hanilci N, pp 279-294.
- Armstrong, M.and Carignan, J., 1998, "Basic Linear Geostatistics", Springer, 149 p.
- DPT, 2001, "VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.
- DPT, 2006, "IX. Yedi Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.
- Erol, M., 2003, "Statistical Analysis of Hekimhan-Deveci Siderite Ore Deposit", Cukurova University-Institute of Basic and Applied Sciences, MsC Thesis, 78 p.
- Kormalı, R.M., Erkan, S.R., Akın, Z.H., 1989, "Evaluation Report of Siderite Ore Deposit of Malatya Hekimhan Deveci", Turkish Iron&Steel Works (TDCI), Volume 1.
- MTA-OUTOKUMPOOY,1981, "Deveci Iron Ore Deposit Feasibility Study", General Directorate of Mineral Research & Exploration, Turkey.
- Özer, T., Kuşçu, A.E., 1982, "Geology and Reserov Report of Malatya Hekimhan Deveci Iron Ore Deposit", General Directorate of Mineral Research & Exploration, Turkey, Report No:7332.
- Tercan, E., Saraç C., 1998, "Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 137 Sayfa.
- TDCI., 1989, "Hekimhan Mining Esablishment Directorate", Turkish Iron & Steel Works (TDCI), Brochure, 47 p.

Çevre

TTK Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi Yeraltı İşyerlerinde Gürültü Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Assessment of Noise Levels in Underground Workplaces of TTK Kozlu Hard Coal Enterprise

A. Fişne, G. Ökten

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Yaşamı kolaylaştırmaya yönelik ileri teknoloji uygulamaları, yapısında insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen öğeler de taşımaktadır. Bu tür olumsuzluklardan birisi de gürültü kirliliğidir. Madencilik sektöründe de maliyetleri düşürmek ve yüksek verim elde edebilmek için başvurulan mekanizasyon uygulamaları sonucu gürültülü bir çalışma ortamı meydana gelmiştir. Bu çalışmada, yeraltı madencilik faaliyetlerinin çeşitli yönleriyle sergilendiği bir işletmede gürültü düzeyinin incelenmesi öngörülmüştür. Amaca uygun olarak seçilen Türkiye Taşkömürü Kurumu'na (TTK) bağlı Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi yeraltı ocaklarında işçilerin yoğun olarak çalıştıkları işyerlerinin ortalama gürültü düzeyleri belirlenmiştir. Gürültü ölçümleri üretim panoları, hazırlık galerileri, motor garajları, tumba daireleri, tali vantilatörlerle havalandırılan galeriler, tumba istasyonları ve kuyu dibi tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı yeraltı işyerlerinde 186 adet gürültü ölçümü yapılmış olup, değerlerin istatistiksel analizi ortalama gürültü düzeylerinin 69,3 – 104,3 dBA arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Ölçümlerin yaklaşık % 88'inde 80 dBA, % 77'sinde ise 87 dBA'dan büyük değerler belirlenmiştir. Müessesedeki madencilik çalışmalarının oluşturduğu gürültü kirliliği bu sonuçlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Advanced technological applications to facilitate human life have also adverse health effects. One of them is noise pollution. Development of modern mechanized operations in mining industry has been considerably decreasing the physical burden of work. But the most undesired and unavoidable by-product of these operations is the generation of high levels of noise. The aim of this study is to evaluate noise levels in a mine exhibited in various aspects of underground mining activities. TTK Kozlu Hard Coal Enterprise is chosen for this purpose and average noise levels are determined in underground workplaces. Noise measurements are carried out in production faces, development stopings, locomotive garage, pumping stations, galleries ventilated with auxiliary fans etc. Statistical analysis of 186 noise measurements realized in different underground workplaces shows that average noise levels varied from 69.3 to 104.3 dBA. The 88 and 77 percent of noise measurements are greater than 80 dBA and 87 dBA respectively.

1 GİRİŞ

Endüstriyel gelişmenin bir gereği olan ileri teknoloji uygulamaları, çeşitli üstün yönleri yanında insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen bileşenler de içermektedir. Bu bileşenlerden birisi de gürültü kirliliğidir. Madencilik sektörü, özellikle de yeraltı madenciliği gürültü kaynaklı sorunların en fazla hissedildiği iş kollarının başında yer almaktadır.

Gürültü akustikte, istenmeyen herhangi bir ses veya insan ve toplum üzerinde olumsuz etki yapan sesler olarak tanımlanmaktadır. Belirgin bir yapısı olmayan, içerdiği öğelerle kişiyi bedensel veya psikolojik olarak etkileyebilen ses düzeni olarak da tanımlanmaktadır. Gürültü, insanların işitme fonksiyonlarının yanı sıra diğer vücut işlevlerinin de olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca sesli sinyallerin duyulmasını ve sözel iletişimi engellemektedir. Belirtilen nedenlerle, gürültünün sağlığı olumsuz etkileyen ses düzeyi olarak tanımlanması da mümkündür (Crocker, 2007).

Mesleki olarak yüksek düzeydeki gürültü etkisinde kalma tüm dünyada problem olmaya devam etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 30 milyon işçinin tehlikeli düzeyde gürültüye maruz kaldığı tahmin edilmektedir (NIOSH, 1998).

Almanya'da 4 - 5 milyon insanın (toplam iş gücünün % 12 - 15'i) Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınır değerinin üzerinde gürültü düzeyinde çalıştığı belirtilmektedir (WHO, 2001; Barrientos vd., 2004). Gürültü hemen hemen bütün meslekleri ilgilendiren bir sorun olmakla birlikte nakliyat, madencilik, inşaat, tarım ve askeri faaliyetler gürültüye bağlı işitme kaybı açısından en yüksek riske sahip işlerdir (Barrientos vd., 2004).

Madencilik çalışmalarında özellikle son otuz yıllık dönemde, mekanizasyon uygulamaları hızla artmış ve bunun doğal bir sonucu olarak gürültülü bir çalışma ortamı meydana gelmiştir. Konu, sektördeki iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili rehabilitasyon çalışmaları kapsamında değerlendirilmektedir. Sağlıklı ve verimli bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla gürültü kontrolüne yönelik devamlı ve etkin mücadele stratejileri uygulamaya koyulmaktadır. Söz konusu çalışmaların planlanması ve yönlendirilmesi aşamalarında başarıya ulaşabilmek için öncelikle gürültü kirliliğinin boyutu analiz edilmek durumundadır.

2 GÜRÜLTÜNÜN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Gürültü, insan sağlığını fiziksel, fizyolojik, psikolojik yönlerden olumsuz

Çizelge 1. Gürültü seviyeleri ve meydana getirdiği rahatsızlıklar

Derece	Gürültü Düzeyi, dBA	Meydana Getirdiği Rahatsızlıklar
1	30 - 65	Konforsuzluk, huzursuzluk, öfke, kızgınlık, uyku düzensizliği ve konsantrasyon bozukluğu
2	65 - 90	Fizyolojik reaksiyonlar, kan basıncı artışı, kalp atışlarının ve solunumun hızlanması, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3	90 - 120	Fizyolojik reaksiyonların artması, baş ağrıları
4	120	İç kulakta devamlı hasar, dengenin bozulması
5	140	Ciddi beyin tahribatı

olarak etkilemekte ve iş performansını azaltmaktadır. Meydana getirdiği olumsuz etkilere bağlı olarak, gürültü seviyeleri bazı araştırmacılar tarafından Çizelge 1'deki gibi derecelendirilmiştir (King and Davis, 2003; John, 2000; Daniell vd., 2002).

Gürültünün insan sağlığına en önemli etkisi, iç kulakta yarattığı değişiklikler sonucu kalıcı işitme kayıplarına neden olmasıdır (Morioka vd., 1997; McReynolds, 2005). Gürültüye maruz kalmanın süresi uzadıkça, iç kulaktaki harabiyetin işitme üzerindeki etkileri de iletişimi etkileyecek düzeye ulaşmaktadır. Bu tür işitme kayıplarının en önemli belirtisi, geri plan gürültüsü olan ortamlarda kişinin konuşmaları anlamakta yaşadığı güçlülüdür.

Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) sakatlık nedenleri arasında en önemlilerden biri olarak gördüğü işitme kaybının yaklaşık 364 milyon insanı etkilediğini ve bunların üçte ikisinin gelişmiş ülkelerde olduğunu belirtmektedir. Aynı kurum, 2005 yılında dünyada 210 milyon yetişkin insanda 40 dB'den büyük ve 15 yaşından küçük 68 milyon çocukta ise 30 dB'den büyük işitme kaybı olduğunu tahmin etmektedir (Nelson vd., 2005). Amerike Birleşik Devletleri'nde Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) gürültüye bağlı işitme kaybını gelecek yüzyılda ele alınması gereken 21 öncelikli alan arasında görmektedir. Aynı kurum ABD'de yaklaşık 30 milyon işçinin iş ortamında kritik seviyede gürültüye maruz kaldığını belirtmektedir (Bauer vd., 2006; Joy ve Middendorf, 2007). Japonya'da yapılan bir çalışmada işçilerin % 8.5'inde, Danimarka'da ise % 10'unda meslekî gürültüye bağlı işitme kaybının olduğu bildirilmiştir (Soydal, 2006).

NIOSH'ye göre Amerika'daki maden işçilerinin % 80'i 85 dBA ve % 25'i ise 90 dBA üzerinde gürültüye maruz kalmaktadır (McBride, 2004). NIOSH'nin 1976 yılında yapmış olduğu 1349 kömür madeni işçisini kapsayan araştırmanın sonuçlarına göre, emekli olan maden işçilerinin ortalama işitme eşik seviyeleri normal popülasyona göre 20 dB daha büyüktür. 60 yaşındaki maden işçilerinin % 70'inin 25 dB, % 25'inin ise 40 dB'den daha fazla işitme kaybına uğradıkları tespit edilmiştir (NIOSH, 1998). NIOSH 1996 yılında bu araştırmayı yaklaşık 20.000 kişiyi kapsayacak şekilde genişletmiştir. Bu araştırmanın sonuçları maden işçilerinin % 90'ında işitme kaybı bulunduğunu, 50 yaşındaki kömür madeni işçilerinin % 70'inde 25 dB veya üzeri işitme kaybı meydana geldiğini göstermiştir (NIOSH, 1998; Bauer vd., 2006).

3 TÜRKİYE'DE GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ YASAL DÜZENLEMELER

Meslekî gürültü etkilenimi ile ilgili yasal düzenlemeler ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Bu konudaki yasal düzenlemelerin isimlerinde bir birliklilik yoktur. Yasa, yönetmelik, standart, direktif, talimatname, tavsiye ve rehber gibi terimler kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde ulusal standartlar yasa olarak adlandırılmakta, bazılarında ise standart ve yönetmelik kavramları birlikte kullanılmaktadır (Suter, 2007; Barron, 2003). Amerika Birleşik Devletleri'nde yönetmelik terimi kullanılırken, Avrupa Birliği Ülkeleri'nde konu ile ilgili yasal düzenlemeler direktif adı altında toplanmaktadır. Birçok ülke ise yasa veya yönetmelik kadar yaptırım gücüne sahip olmayan talimatnameyi kullanmaktadır.

Türkiye'de gürültü kirliliği için gerçekleştirilen ilk yasal düzenleme, 11

Aralık 1986 tarihli "Gürültü Kontrol Yönetmeliği"dir. Bu yönetmelik ile demiryolu, karayolu, havayolu taşıma araçları, sanayi ve inşaat makinelerinden kaynaklanan gürültünün yanı sıra yerleşim alanları için önleyici hükümler getirilmiş, çalışanların işitme sağlığı açısından kabul edilebilir en yüksek gürültü seviyeleri için sınırlamalar da koyulmuştur (Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986).

Söz konusu yönetmelik 01 Temmuz 2005 tarihinde çıkarılan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" ile değiştirilmiştir. Avrupa Birliği 2002/49 direktifine uygun olarak yapılan düzenleme ile kabul edilebilir ses düzeyleri sınırı yeniden belirlenmiştir. Yerel yönetimlere gürültü haritaları hazırlama zorunluluğu getiren yönetmelikte, çevresel gürültü, "ulaşım araçları, kara, demir hava ve deniz yolu trafiği, açık alanda kullanılan teçhizat, şantiye alanları, sanayi tesisleri, atölye, imalathane, işyerleri ve benzeri ile rekreasyon ve eğlence yerlerinden çevreye (dışarıya) yayılan, istenmeyen veya zararlı açık hava seslerinin bütünü ile yapı içindeki mekanik sistemler ve diğer kaynaklardan doğan ve diğer bir mekan içinde bulunan insanları olumsuz etkileyen yapı içi gürültüleri" biçiminde tanımlanmaktadır. Bunun yanında,

- 743 sayılı Türk Medeni Kanunu, 1926, 661. Madde,
- 765 sayılı Türk Ceza Kanunu, 1926.

546. Madde,

- 1593 sayılı Umumi Hıfzısıhha Kanunu, 1930, 268, 269, 274. Maddeler,
- 2559 sayılı Polis Vazife ve Salahiyetleri Kanunu, 1934, 14. Madde,
- 1580 sayılı Belediye Kanunu, 1930 ve buna dayalı olarak çıkarılan Belediye Sağlık Zabıta Talimatnamesi 4. Bölüm 1.
- 1475 sayılı İş Kanunu, 1971 ve bu kanun uyarınca çıkarılan İşçi Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü, 1973; 22. 87 ve 525. Maddeler,
- 2872 sayılı Çevre Kanunu, 1983,
- ÇED Yönetmeliği.
- 6785 sayılı İmar Kanunu ve İmar Nizamnamesine dayalı olarak çıkarılan Organize Sanayi Bölgesi Talimatnamesi, 45. ve 60. Maddeler
- 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu, 1983; 30. Madde gibi düzenlemelerde de gürültü kirliliğini önleyici kurallar öngörülmektedir.

Avrupa Birliği Üyeliği sürecinde yapılan uyum çalışmalarına paralel olarak işçilerin gürültüye maruz kalmaları sonucu sağlık ve güvenlik yönünden oluşabilecek risklerden, özellikle işitme ile ilgili risklerden korunmaları için alınması gerekli önlemleri belirlemek amacıyla, 23 Aralık 2003 tarih ve 25325 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiş olan "Gürültü

Çizelge 2. Gürültü yönetmeliği etkilenim sınır değerleri

Etkilenim Değerleri	Günlük Gürültü Etkilenim Düzeyi ($L_{EX, 8 \text{ saat}}$) (dBA)	En Yüksek Ses Basıncı (Pa)
En düşük etkilenim değeri	80	200
En yüksek etkilenim değeri	85	200
Etkilenim sınır değeri	87	112

Yönetmeliği" çıkartmıştır. Söz konusu yönetmelik Avrupa Birliği'nin yine aynı yıl çıkardığı EU-2003/10/EC standartla aynı özelliklere sahiptir ve bu gün için ülkemizde geçerli olan gürültü sınır değerleri Çizelge 2'deki gibidir.

Yönetmeliğe göre, günlük gürültü etkilenim düzeyi 8 saatlik bir iş günü için, anlık darbeli gürültünün de dahil olduğu bütün gürültü etkilenim düzeylerinin zaman ağırlıklı ortalaması ($L_{EX, 8h}$) 85 dBA değerini aşmamalıdır. En düşük etkilenim değeri ($L_{EX, 8h} \geq 80$ dBA) aşıldığında işverenin işçiler için uygun kulak koruyucuları sağlaması, en yüksek etkilenim değerine ($L_{EX, 8h} = 85$ dBA) ulaşıldığında ise işçilerin zorunlu olarak kulak koruyucusu kullanmalarının sağlaması gerekmektedir. $L_{EX, 8h}$ hiç bir koşulda etkilenim sınır değeri olan 87 dBA değerini aşmamalıdır. Etkilenim sınır değerlerinin aşıldığı durumlarda, işveren gürültü düzeyini, etkilenim sınır değerinin altına indirmek için sınır değerinin aşılması nedenlerini belirlemek ve tekrarı önlemek amacıyla, koruma ve önlemeye yönelik tedbirleri almakla yükümlüdür (Gürültü Yönetmeliği, 2003).

Yönetmelikte ayrıca, $L_{EX, 8h}$ değerinin günden güne değiştiğinin tespit edildiği işlerde, etkilenim sınır ve etkin değerlerinin uygulanmasında, $L_{EX, 8h}$ yerine haftalık etkilenim değerlerinin kullanılacağı belirtilmiştir. Ayrıca yeterli sayıda ölçüm sonucuna dayanan haftalık gürültü etkilenim düzeyinin 87 dBA etkilenim sınır değerini aşmayacağı vurgulanmıştır (Gürültü Yönetmeliği, 2003).

4 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), Kozlu Taşkömürü

İşletme Müessesesi yeraltı işyerlerinde gerçekleştirilmiştir. Gürültü ölçümleri; üretim panolarında, hazırlık galerilerinde, motor garajlarında, tulumba dairelerinde, tali vantilatörlerle havalandırılan galerilerde, tumba istasyonlarında ve kuyudibi tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu işyerlerinde toplam 186 adet gürültü ölçümü yapılmıştır.

Gürültü ölçümlerinde TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı'nda bulunan RION NL - 21 kümülatif gürültü ölçer kullanılmış, ayrıca İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'ndaki RION NL - 05 gürültü ölçerden yararlanılmıştır. Her ölçümden önce gürültü ölçerler RION NC -74 cihazı ile kalibre edilmiştir. Bu cihaz anlık ses basınç seviyesi ölçümlerini yapmakla birlikte dahili işlem fonksiyonu ile çeşitli frekans ağırlıklarında (A, B, C...) L_{eq} (sürekli eşdeğer ses basınç seviyesi), L_e anlık ses seviyesi, $L_{max}-L_{min}$ maksimum-minimum ses basınç seviyesi, L_N A-ağırlıklı yüzde ses seviyesi vb. ölçümleri yapılabilmektedir.

Gürültü ölçümlerinde cihaz yavaş tepki zamanlı (Slow Response) olarak ayarlanmış ve ölçüm süresi 60 saniye olarak seçilmiştir. Ölçümlerde A-ağırlıklı eşdeğer gürültü düzeyi (L_{Aeq}) belirlenmiştir. İşyerlerinde gürültü değeri çeşitli gürültü kaynaklarından gelen seslerin bileşik değerine bağlıdır. Çalışma ortamının gürültü düzeylerini belirlemek için ölçümler gürültü kaynaklarından 1,5 m uzakta ve yerden 1 - 1,5 m yükseklikte yapılmıştır. Ölçümlerden sonra her işyeri için elde edilen gürültü düzeyi değerleri istatistiksel analize tabi tutularak tanımlayıcı istatistiksel bilgiler elde edilmiştir.

Gürültü araştırmalarında ölçümlerin türü ve izlenecek strateji araştırmanın

amaçlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genel olarak dört farklı amaçtan söz edilebilir. Bunlar;

- Makine veya makinelerin gürültü emisyonlarının belirlenmesi,

- Gürültü kaynaklarının tespit edilmesi, karakterizasyonu ve sınıflandırılması,

- Çalışanların gürültü etkilenim düzeylerinin yasal sınırlar içinde olup olmadığının değerlendirilmesi,

- Çalışanların işitmekaybı risklerinin tahmin edilmesi olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki Kozlu Müessesesi ocaklarında gürültü kaynaklarının belirlenmesi, karakterizasyonu ve sınıflandırılması amaçlanmıştır. Gürültü kaynaklarının belirlenmesi, karakterizasyonu ve sınıflandırılması çalışmaları, işyerinde gürültünün kontrol altına alınabilmesi için yapılmaktadır. Çünkü, gürültü kontrol çalışmalarından önce işyerindeki gürültü kaynaklarının belirlenmesi ve her bir kaynağın toplam gürültü düzeyine katkısının tespit edilmesi gerekmektedir.

Gürültü kaynaklarının tespit edilmesi, karakterizasyonu ve sınıflandırılması çalışmaları için gürültünün türü ve düzeyi belirlenmelidir. Söz konusu çalışmalar ile çevresel gürültünün değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan kriterlerin en önemlisi Eşdeğer Sürekli Ses Basınç Seviyesi (Equivalent Continuous Sound Pressure Level: "L_{eq, T}")'dir. Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi, ölçüm süresince değişmekte olan ses ile aynı enerjiye sahip sabit gürültü düzeyi olarak tanımlanmaktadır. A-filtreli ölçümlerden elde edilen ve gürültünün zamanla değişimini gösteren bir enerji ortalamasıdır. Belirli bir

T zamanındaki ortalama ses basınç seviyesini belirlemek için kullanılır. Ortalama zaman "T" saniye, dakika veya saat olabilmektedir. L_{eq} eşitlik (1) ile ifade edilmektedir.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_{ref}} \right)^2 dt \right] \quad (1)$$

T : Toplam ölçüm süresi

P_A^(t) : A-filtreli anlık ses basıncı (Pa)

P_{ref} : Referans ses basıncı (2x10⁻⁵ Pa)

T ölçme zaman aralığı "n" tane "T_i" zaman aralığına bölünerek gürültü ölçümleri yapılırsa, "n" tane gürültü düzeyi ile aynı enerjiye sahip eş değer sürekli A-ağırlıklı ses basınç düzeyi (L_{Aeq, T}, τ), eşit enerji prensibine göre Eşitlik (2) ile hesaplanır.

$$L_{Aeq, T} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_{Aeq, T_i}}{10} \right)} \right] \quad (2)$$

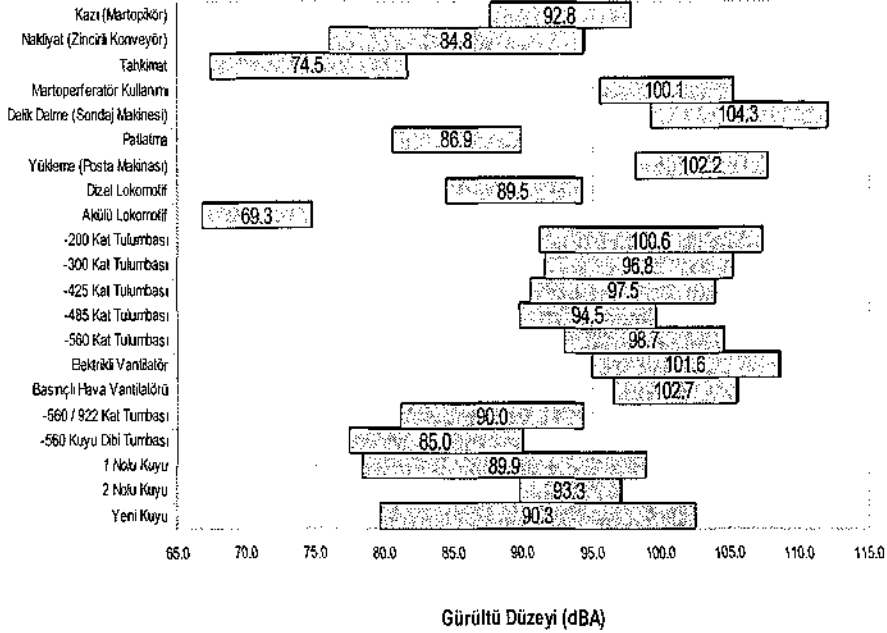
L_{Aeq, T} : T_i zaman aralığında oluşan eş değer sürekli A-ağırlıklı ses basınç düzeyi (dBA),

n : Alt zaman aralıklarının toplam sayısını göstermektedir.

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

TTK Kozlu Müessesesi, yeraltı işyerlerinde yapılan gürültü ölçümlerinin değişim aralığı ve ortalama gürültü düzeyi Şekil 1'de gösterilmiştir. 186 adet gürültü ölçüm değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Ölçüm sonuçları yeraltı işyerlerinde gürültü düzeyinin 66,8 ~ 112,1 dBA arasında değiştiğini göstermiştir. Ortalama gürültü düzeyleri ise 69,3



Şekil 1. TTK Kozlu Müessesesi yeraltı işyerleri gürültü düzeylerinin değişim aralığı

- 104,3 dBA arasındadır. En yüksek gürültü düzeyi 112,1 dBA ile hazırlık galerilerinde sondaj makinası ile delik delme işi sırasında belirlenmiştir. En düşük gürültü düzeyi ise 66,8 dBA ile akülü lokomotif garajında tespit edilmiştir. Gürültü ölçümlerinin yaklaşık % 88'inde 80 dBA, % 77'inde ise 87 dBA'dan büyük değerler saptanmıştır.

Değerlerin enerji ağırlıklı ortalamaları ($L_{Aeq,T}$) Eşitlik (2)'ye göre hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir. Söz konusu bu değerler 70,2 – 106,1 dBA aralığında yer almaktadır.

TTK Kozlu Müessesesi, yeraltı işyerleri gürültü değerlerinin enerji ağırlıklı ortalamaları ($L_{Aeq,T}$), Gürültü Yönetmeliği'nde belirtilen 87 dBA etkilenebilir sınırlarına göre sınıflandırılacak olursa; kazı,

nakliyat, martoperferatör kullanımı, delik delme, patlatma, yükleme, dizel lokomotif garajı, değişik katlardaki tulumba daireleri, elektrikli ve basınçlı ventilatorlerle havalandırılan galeriler, -560 kat tumbası, 1 ve 2 No.lu kuyu ve yeni kuyu dibi tesisleri için belirlenen gürültü değerleri 87 dBA'dan daha büyüktür. Dolayısı ile söz konusu iş ve işyerleri için çalışma ortamındaki gürültü düzeyleri uygun değildir. İşveren bu kesimlerde çalışan işçilerin kulak koruyucusu kullanmalarını sağlamakla yükümlüdür.

Üretim panolarındaki tahkimat işi sırasında ve akülü lokomotif garajlarında belirlenen gürültü değerlerinin 87 dBA'dan daha küçük olduğu görülmüştür. Söz konusu işyerlerinde gürültü koşullarının uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 3. TTK Kozlu Messesesi yeraltı işyerleri gürültü ölçüm sonuçları

İşyeri / İş Türü	Gürültü Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi (dBA)				L _{Aeq,T} (dBA)	Ölçüm Sayısı	
	L _{min}	L _{max}	L _{ort.}	L _{std.}			
Üretim Panoları	Kazı (Martopikör)	87,7	97,8	92,8	2,8	93,7	9
	Nakliyat (Zincirli Konveyör)	76,1	94,4	84,8	4,7	87,3	12
	Tahkimat	67,4	81,7	74,5	4,0	76,1	11
Hazırlık Galerileri	Martoperferatör Kullanımı	95,6	105,2	100,1	3,7	101,5	9
	Delik Delme (Sondaj Makinesi)	99,3	112,1	104,3	3,9	106,1	10
	Patlatma	80,7	89,9	86,9	3,9	88,0	5
	Yükleme (Posta Makinesi)	98,2	107,7	102,2	3,6	103,5	6
Motor Garajları	Dizel Lokomotif	84,5	94,3	89,5	3,2	90,5	8
	Akülü Lokomotif	66,8	74,8	69,3	2,7	70,2	7
Tulumba Daireleri	-200 Kat Tulumbası	91,3	107,3	100,6	6,2	103,4	12
	-300 Kat Tulumbası	91,7	105,2	96,8	5,9	100,1	4
	-425 Kat Tulumbası	90,6	104,0	97,5	4,7	99,6	11
	-485 Kat Tulumbası	89,8	99,7	94,5	4,0	95,9	5
	-560 Kat Tulumbası	93,1	104,6	98,7	3,9	100,2	12
Tali Vantilatörler	Elektrikli Vantilatör	95,0	108,6	101,6	4,7	103,7	12
	Basınçlı Hava Vantilatörü	96,6	105,5	102,7	2,6	103,3	12
Tumba İstasyonları	-560 / 922 Kat Tumbası	81,2	94,4	90,0	3,7	91,1	10
	-560 Kuyu Dibi Tumbası	77,5	90,0	85,0	3,9	86,4	10
Kuyu Dibi Tesisleri	1 No.lu Kuyu	78,5	98,9	89,9	6,1	92,9	7
	2 No.lu Kuyu	89,8	97,1	93,3	2,5	93,9	6
	Yeni Kuyu	79,8	102,5	90,3	6,7	95,0	8

6 SONUÇ

İnsan sağlığı üzerindeki çeşitli olumsuz etkileri olan gürültü ayrıca işyerlerindeki çalışma verimini de önemli ölçüde düşürmektedir. Bu çalışma Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi yeraltı işyerlerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı işyerlerinde toplam 186 adet gürültü ölçümü yapılmıştır. Gürültü ölçümlerinin yaklaşık % 88'inde 80 dBA, % 77'inde ise 87 dBA'dan büyük değerler saptanmıştır. Bu işyerlerinde en yüksek gürültü düzeyi tali vantilatörlerin bulunduğu yerler ile hazırlık galerilerinde sondaj makinesi ile delik delme ve posta

makinesiyle yükleme işleri yapılırken ölçülmüştür. En düşük gürültü düzeyi ise akülü lokomotif garajlarında ve üretim panolarında tahkimat işleri yapılırken tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Barrientos, M.C., Lendrum, D.C. and Steenland, K., 2004. Occupational Noise; Assessing the Burden of Disease from Work-Related Hearing Impairment at National and Local Levels. World Health Organization Protection of the Human Environment. Environmental Burden of Disease Series, No. 9. Geneva.

- Barron, R.F., 2003. *Industrial Noise Control and Acoustics*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Bauer, E.R., Babich, D.R. and Viperman, J.R., 2006. *Equipment Noise and Worker Exposure in the Coal Mining Industry*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Information Circular 9492. Pittsburgh,.
- Crocker, M.J., 2007. *General introduction to Noise and Vibration Effects on People and Hearing Conservation in Handbook of Noise and Vibration Control*, pp.303-307, Eds Crocker, M.J., John Wiley & Sons, New York.
- Daniell, W.E., Susan S.S. and McDaniel, M.M., 2002. *Noise exposure and hearing conservation practices in an industry with high incidence of workers compensation claims for hearing loss*, *American Journal of Industrial Medicine*, 42, 309-317.
- Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 1986. Çevre ve Orman Bakanlığı, 11 Aralık 1986, Resmi Gazete, Sayı 19308, Ankara.
- Gürültü Yönetmeliği, 2003. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 23 Aralık 2003, Resmi Gazete, Sayı 25325, Ankara.
- John J.M., 2000. *Occupational Hearing Loss*, *American Journal of Industrial Medicine*, 37, 112-120.
- Joy, G.J. and Middendorf, P. J., 2007. *Noise exposure and hearing conservation in U.S. coal mines - a surveillance report*, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4:1, 26 - 35.
- King, R.P. and Davis, J.R., 2003. *Community noise: health effects and management*, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206, 123-131.
- McBride, D.I., 2004. *Noise-induced hearing loss and hearing conservation in mining*, *Occupational Medicine*, 54, 290-296.
- McReynolds, M.C., 2005. *Noise-induced hearing loss*, *Air Medical Journal*, 24(2), 73-78.
- Morioka, I., Miyashita, K. and Takeda, S., 1997. *Noise-induced hearing loss in working environment and its background*, *Journal of Occupational Health*, 39, 5-17.
- Nelson, D.I., Nelson, R.Y., Barrientos, M.C. ve Fingerhut, M., 2005. *The global burden of occupational noise-induced hearing loss*, *American Journal of Industrial Medicine*, 48, 446-458.
- NIOSH, 1998. *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Publication No. 98-126. Cincinnati, Ohio.
- Soydal, U., 2006. *Ankara'da bir kamyon ve otobüs fabrikasında 08-16 saatleri arasında çalışan işçilerde işitme kayıpları ve gürültünün fizyolojik ve psikolojik etkilerinin değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Suter, A.H., 2007. *Development of standards and regulations for occupational noise*, in *Handbook of Noise and Vibration Control*, pp.377-382, Eds Crocker, M.J., John Wiley & Sons, New York.
- WHO, 2001. *Occupational and community noise*, World Health Organization, Fact Sheet, No. 258, Geneva.

Madenciliğin Türk Çevre Mevzuatı Açısından Analizi

The Analysis of Mining With Respect to Turkish Environmental Legislation

H. Ceylan, A. Tarhan

Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Batı Kampüsü

ÖZET Madencilikte çevresel etkiler oluşması nedeniyle çevresel açılarından bazı işlemlerin yapılması gerekmektedir. Ülkemizde çevre korumacılığı daha çok bir baskı grubu oluşturma veya sivil toplum hareketi anlayışı ile sosyal bir faaliyet olarak yürütülmekte bu nedenle konunun teknik ve hukuki boyutları genelde ikinci planda kalmaktadır. Oysa çevre koruma, hukuki ve etik boyutları olan teknik bir iştir. Bu çalışmada, teknik bir bakış açısıyla madencilğe ait çevresel etkiler belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen bu çevresel etkilere göre, Türk Çevre mevzuatı incelenerek uyulması gereken teknik, hukuki ve idari hususlar belirlenmiştir. Ülkemizin AB çevre mevzuatına uyumunu sağlamak amacıyla 2000'li yıllarda yaklaşık 700 sayfayı bulan 25'i aşkın yönetmelik yayımlanmıştır. Bu yönetmelikler madencilik sektörü açısından analiz edilerek teknik ve hukuki açıdan madenciliği bağlayan hususlar tespit edilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

ABSTRACT Because of the fact that environmental effects occur in mining; some procedure should be performed. In our country, environmental protection is proposed as a social activity under the concept of a civilian action or comprehension of forming a force group and the technical and legal aspect of the issue is ignored. However environmental protection is a technical process that has ethical and legal extents. In this study the environmental effects of mining are classified with a technical point of view. Then, according to environmental effects of mining European Union and Turkish Environment Legislation is examined and the technical, legal and managerial points that should be obeyed are determined. Approximately above 25 legislations that consist 700 pages were published in order to perform the accordance of our country to European Union environmental legislation. These legislations were analyzed from the point of mining sector and the subject that is connected with technical and managerial aspects are determined.

1. GİRİŞ

Madencilik, ekonomik olarak katma değeri olmakla birlikte sosyal, hukuki ve etik yönleri de bulunan teknik bir iştir. Doğa üzerinde kamuya açık alanlarda üretimi yapılması nedeniyle sosyal açıdan toplumla doğrudan ilgilidir. Bu nedenle madencilikte etik olarak bazı değerlerin korunması gerekliliği vardır. Bu değerlerden en önemlisi de çevredir. Ülkemizde çevre ile ilgili yaptırımlar içeren ve yürürlükte olan kanun ve yönetmelikler vardır ki bunlar da madenciliğin hukuki yönlerinden birini oluşturmaktadır.

Öte yandan ülkemizde popüler hale gelen çevre korumacılığı daha çok "yeşile verilen önem" ortak paydasında bir sivil toplum hareketi veya baskı grubu oluşturma anlayışı ile sosyal bir faaliyet olarak yürütülmekte ve konunun teknik ve hukuki boyutları genelde göz ardı edilmektedir. Oysa çevre koruma, hukuki ve etik boyutları olan teknik bir iştir. Bu bağlamda, işletmelerde çevresel açıdan yapılması gereken işlemlerin üç önemli boyutu vardır. Bunlardan ilki işlerin hukuki açıdan önem arz etmesidir. Yani işletmelerde çevre açısından yapılması gereken işlemler yasal zorunluluğu olan işlemlerdir. İkinci önemli boyutu ise etik açıdan önem arz etmesidir. Çünkü yapılacak faaliyet sonucu kirlenen ya da hasar gören doğa, tüm toplumun yararlandığı ve bugünden geleceğe aktarılacak olan ortak yaşam alanıdır ve etik olarak herkes tarafından korunması gerekliliği vardır. Üçüncü boyutu ise teknik boyuttur. İşletmelerde çevresel açıdan yapılacak işlemler önemli bir mühendislik formasyonu gerektirir (Ceylan, 2007).

Çevre korumacılığının hukuki yönüne bakacak olursak ülkemizde cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren

çevre ve sağlık konuları ile ilgili olarak Umumi Hıfzısıhha Kanunu, Belediye Kanunu, Gayri Sıhhi Müesseseler Yönetmeliği, Zabıta Yönetmeliği gibi kanun ve yönetmeliklerde düzenlemeler yapıldığı görülmektedir. Ancak anayasal bazda ilk olarak 1982 Anayasasının 56. maddesinde çevre hakkı, sosyal ve ekonomik haklar arasında yerini almış ve ülke mevzuatına girmiştir (Ceylan, 2006). Anayasamızın "VIII. Sağlık, çevre ve konut başlıklı 56. maddesinin A. Sağlık hizmetleri ve çevrenin korunması" alt başlığı altında çevre ile ilgili şu ifadeler mevcuttur: "Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir". Daha sonra anayasadaki bu hükme dayanılarak 09.08.1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu çıkarılmıştır. Bu kanun 23 yıl uygulandıktan sonra değiştirilerek 26.04.2006 tarihinde "2872 Sayılı Çevre Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" yürürlüğe girmiştir.

2872 Sayılı Çevre Kanunu'nda bütün canlıların ortak değeri olan çevrenin korunması, iyileştirilmesi; kırsal ve kentsel alanda arazinin ve doğal kaynakların en uygun şekilde kullanılması ve korunması; su, toprak ve hava kirliliğinin önlenmesi; ülkenin bitki ve hayvan varlığı ile doğal ve tarihsel zenginliklerinin korunarak, bugünkü ve gelecek kuşakların sağlık, uygarlık ve yaşam düzeyinin geliştirilmesi ve güvence altına alınması için yapılacak düzenlemeleri ve alınacak önlemleri, ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu olarak belirli hukuki ve teknik esaslara göre düzenlemeler getirmiştir (Anon (a), 1983).

26.04.2006 tarihinde yürürlüğe giren 5492 nolu "2872 Sayılı Çevre Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanunun 1. maddesinde, "Bu

Kanunun amacı, bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır” (Anon (b), 2006) ifadesi mevcuttur. Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir çevre kavramları, çevre ile kalkınmayı tanımlayan, yani çevre bozulacak mantığıyla faaliyetlerin durdurulması ya da hiç yapılmaması yerine çevreyi her türlü önlemlerle koruyarak sanayi faaliyetlerinin sürdürülmesini, böylelikle hem çevre korumanın hem de sanayi faaliyetinin bir arada olması gerektiğini savunan bir anlayışı tanımlamaktadır.

Çevre Kanunu'nun ilk olarak 1983 yılında yürürlüğe girmesinden sonra uygulamaya yönelik bazı esasların belirlenmesi amacıyla bir dizi yönetmelik yayımlanmıştır. 2000'li yılların başlarına kadar 7-8 adet yönetmelik yürürlükte iken ülkemizin Avrupa Birliği mevzuatına uyumunu sağlamak amacıyla 2000'li yıllarda yaklaşık 700 sayfa bulan 25'i aşkın yönetmelik yayımlanmıştır. Özellikle son 4-5 yılda yeni yönetmelikler yürürlüğe girmiş, bazı eski yönetmelikler de değiştirilerek yeniden yayımlanmıştır.

Söz konusu düzenlemelerin son 4-5 yılda birbiri ardına yayımlanması nedeniyle hem yürütücüler hem de yönetmeliğe göre sorumlu tutulan taraflar açısından bir dizi güçlükler oluşmuş ve uygulamada problemlerle karşılaşmıştır. İlgili taraflardan çoğunun getirilen düzenlemelerden haberdar dahi olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle bakanlık birimlerinin yanı sıra sektör temsilcilerinin ve araştırmacıların çevre ile ilgili olarak yapılan bu düzenlemelerle ilgili çalışmalar yapması önem arz etmektedir.

Öte yandan çevre açısından “kirlenen öder” ilkesinin yürürlükte olduğu

ülkemizde madencilik yapan şirketlerin, atık üretimini azaltma ve hatta sıfır atıklı üretim yapma konusunda zorlanacakları düşünülmektedir (Arol, 2005). Ayrıca, Türkiye’de geçtiğimiz son on yıl içinde, madencilik sektörünün karşılaştığı en büyük sorun olarak çevre koruma konularındaki izinlerin alınması gösterilmektedir (Zanbak, 2005). Bu nedenle, madencilikte çevre konusu önemini giderek arttırmaktadır.

1.1. Madencilğin Çevresel Etkileri

Çevresel etkiler, madencilik faaliyetlerinde aramadan başlayarak sahanın terk edilmesine kadar olan aşamalarda, doğal ve kültürel çevrenin özelliğine, maden işletme tekniğine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu etkiler, görsel, akustik, atmosferik, jeoteknik, morfolojik, hidrojeolojik, tarımsal, kültürel, sosyolojik ve alt yapı üzerinde, kısa-uzun süreli, olumlu-olumsuz, onarılabılır-onarılamaz, dolaylı-dolaysız şekilde olabilmektedir (Demirçin ve Çalık, 2005).

Genel olarak bakıldığında madencilik faaliyetleri sonucunda hava, su, toprak gibi alıcı ortamlara atık bırakılması nedeniyle olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Bunların dışında üretilen cevhere göre de çevresel etkiler farklılık gösterebilmektedir. Bazı cevherlerin üretiminde çevresel etkiler çok az olmakla birlikte bazılarında göreceli olarak çok fazla olabilmektedir. Bu durum cevherin üretim ve zenginleştirme yöntemine göre değişebilmektedir.

Zenginleştirme işlemlerinde ise hava kirliliği ve su kirliliği oluşabilmektedir. Prosesten çıkan katı atıkların alıcı ortama verilmesi de çevresel etki oluşturabilir. Zenginleştirme işlemleri, atıklara birçok

kimyasal maddenin karışmasına yol açmaktadır. Zenginleştirme tesislerinden çıkan sular ekonomik değer taşımayan mineralleri, çözülmüş katıları, metal iyonlarını, radyoaktif maddeleri, ağır sıvıları, kimyasal reaktifleri ve/veya taşınma sırasında oluşan reaksiyon ürünlerini içerebilir (Çetiner vd., 2006).

Madenciliğin atıklar dışındaki çevresel etkileri, görsel kirlilik, arazi verimliliğinin azalması, ekosistemin bozulması, tozlanma ve erozyon olarak da sıralanabilir (Anon (c), 2003).

2. MADENCİLİĞİN ÇEVRE MEVZUATI AÇISINDAN ANALİZİ

Yürürlükteki Çevre mevzuatında madencilik faaliyetleri ile ilgili birçok düzenleme mevcuttur. AB uyum sürecinde yenilenen Çevre Kanunu ve ilgili yönetmeliklerinde yaptırımlar artırılmıştır. Türk Ceza Kanunu'nda yapılan yeni düzenlemeye göre, Çevre Kanunu'na aykırı davranışlara hapis cezası öngörülmektedir. Ayrıca para cezalarının uygulanması kolaylaştırılmış ve miktarları da artırılmıştır. Madenciliği ilgilendiren çevre yönetmelikleri aşağıda verilmiştir:

-Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği,

-Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,

-Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,

-Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği,

-Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,

-Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,

-Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği,

-Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği,

-Çevre Denetim Yönetmeliği,

-Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği,

-Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,

-Trafikte Seyreden Motorlu Kara

Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik,

-Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrolü Yönetmeliği,

-Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği,

-Orman Sayılan Alanlarda Verilecek İzinler Hakkında Yönetmelik.

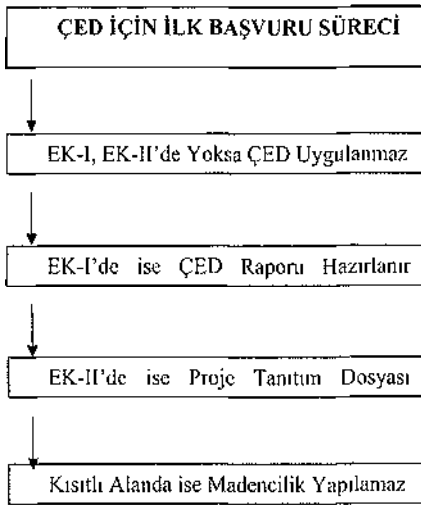
Aşağıda bu yönetmelikler hakkında kısa bilgi verildikten sonra madencilik açısından analizi yapılmaya çalışılmıştır.

2.1. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği

Bu yönetmelik, Çevre Mevzuatına ait önemli düzenlemelerden birisidir. ÇED sürecinde her türlü çevresel etkinin önceden değerlendirilmesi yapıldığı için işletmeler için çevresel açıdan topluca bir tarama yapılmaktadır. Bu taramada madencilik faaliyetinin durumuna göre, oluşabilecek değişik çevresel etkiler belirlenir. Madencilik faaliyetlerini ilgilendirebilen yönetmelikler açısından değerlendirme yapılır. Bu değerlendirme sonucunda da maden işletmesi için hem

teknik açıdan hem de hukuki olarak birçok yükümlülük yerine getirilmiş olmaktadır (Ceylan, 2007).

Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Faaliyetler yönetmelik ekinde EK-I ve EK-II olarak verilmektedir. EK-I'de genel olarak çevresel etkileri fazla olan, kapasiteleri yüksek faaliyetler yer almaktadır. Bu faaliyetler için ÇED raporu hazırlanması gerekmekte olup Çevre ve Orman Bakanlığı'nca değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme sonucunda Bakanlıkça "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumsuz" kararı verilmektedir Anon (d, 2008).



Şekil 1. ÇED için ilk başvuru süreci

Herhangi bir madencilik faaliyeti için ÇED yaptırmak isteyen girişimci, ilk olarak faaliyetin gerçekleşeceği ilin Valiliğine (İl Çevre ve Orman Müdürlüğü) bir dilekçe ile başvurur. Bu dilekçe ekinde, faaliyetin ÇED yönetmeliği'ne göre değerlendirilebilmesi için yapılacak işe ait bir proje özeti, madene ait ruhsat fotokopisi vb. belgeler sunulmalıdır. Bu ilk başvurunun değerlendirilmesi

sonucu, söz konusu faaliyet yönetmelik ekindeki EK-I ya da EK-II listesinde bulunmuyorsa ilgili idarece ÇED'e gerek olmadığı bir yazı ile bildirilir. Bu durumda faaliyet için ÇED açısından herhangi bir işleme gerek kalmamış olur. Eğer söz konusu faaliyet için talep edilen alan, milli park, içme suyu havzası, askeri alan, sit vb. yasal kısıtlamaların olduğu bir bölgeye aitse ilgili idare tarafından reddedilerek bir yazı ile girişimciye bildirilir. Bu durumda söz konusu madencilik faaliyeti yapılamaz. Şekil 1'de ÇED için ilk başvuru süreci şematik olarak gösterilmektedir.

2.2. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

Bu yönetmelik, genel olarak su kaynaklarının korunması, her türlü atık suyun alıcı ortama gelişi güzel verilmesinin önlenmesi amacıyla ilgili idari ve teknik hususları içermektedir. Bu yönetmelikte madencilik kısıtlayıcı önemli hükümler mevcuttur.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre "Mutlak Koruma Alanı", "Kısa Mesafeli Koruma Alanı", "Orta Mesafeli Koruma Alanı" olarak tanımlanan içme ve kullanma suyu rezervuarına yaklaşık 2 km.lik genişlikteki şeritte hiçbir şekilde maden ocağı açılmasına ve işletilmesine izin verilmemektedir. "Uzun Mesafeli Koruma Alanı" olarak tanımlanan içme ve kullanma suyu rezervuarına 5 km mesafeden uzak olan su toplama havzası için ise galeri yöntemi ile patlatmalar, kimyasal ve metalurjik zenginleştirme işlemleri yasaklanmıştır. Madenlerin çıkarılmasına, sağlık açısından sakınca bulunmaması, mevcut su kalitesini bozmayacak şekilde çıkartılması, faaliyet sonunda arazinin doğaya geri kazandırılarak terk edileceği hususunda faaliyet sahiplerince Bakanlığa noter

tasdikli yazılı taahhütte bulunulması şartları ile izin verilmektedir.

Bunun dışında, bu yönetmeliğe göre endüstriyel atıksu üreten tüm işletmelerin atıksularını alıcı ortama vermek için deşarj izin belgesi alması gerekmektedir. Bu durumda yeraltı işletmelerinde veya cevher zenginleştirme tesislerinde oluşabilen atıksuyun deşarj izin belgesi alındıktan sonra alıcı ortama verilmesi gerekmektedir (Anon (e), 2004).

2.3. Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Çevre konusunda madencilik sektörünü ilgilendiren yönetmeliklerden biri de Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'dir. Daha önce Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği adı ile yürürlükte olan yönetmelik üç ayrı yönetmeliğe ayrılmıştır. Bunlardan birisi de Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'dir. Bu yönetmeliğe göre, gaz, toz, buhar vb. her türlü emisyonları atmosfere veren belirli tesisler emisyon iznine tabi tutulmuşlardır. Burada da tesisler iki gruba ayrılmış olup A grubu tesisler için Çevre ve Orman Bakanlığı'nca B grubu tesisler için ise İl Mahalli Çevre Kurulu'nun uygun görüşü ile Valiliklerce "Emisyon İzin Belgesi" verilmektedir. Emisyon izin belgesi alabilmek için ise bakanlık tarafından yetkilendirilmiş bir kuruluşa emisyon ölçüm raporu hazırlamak gerekmektedir. Yönetmelikte, madencilik faaliyetleri kapasite ve büyüklüklerine göre bazıları A bazıları B grubu olarak sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırmadan ayrı olarak, kömür ve fuel-oil yakan tesislerden toplam yakma sistemi ısı gücü 1 MW-50 MW arası olanlar B grubu,

doğalgaz yakanlarda ise 2 MW-50 MW arası olanlar B grubu tesis olarak belirlenmiştir. 50 MW üzeri tesisler ise A grubudur.

Yönetmeliğe göre, ilk olarak işletmelerin planlama aşamasında, henüz üretime geçmeden emisyon ön izni alması gerekmektedir. ÇED'e tabi faaliyetlerde alınan "ÇED Olumlu" veya "ÇED Gerekli Değildir" kararı emisyon ön izni yerine geçmektedir. İşletmeler emisyon ön izni alındıktan sonra işyeri açma ve çalışma ruhsatı alıp üretime geçilmesinden sonra 1 yıl içerisinde emisyon izni için başvuru yapmalıdır. Üretime geçildikten sonraki 1 yıl sonunda emisyon ön izni kendiliğinden iptal olur.

Yönetmelikte belirtilen önemli bir husus da sera gazları ile ilgilidir. Yönetmelik, işletmelerden, proseslerinden çıkan CO₂, CH₄ (metan), N₂O (nitrozoksit), HFC_s (hidroflorokarbon), PFC_s (perflorokarbon) gibi sera gazlarının miktarının yıllık veya aylık olarak belirlenmesini istemektedir. Ayrıca bu gazları azaltmak için önlem alınmasını istemektedir. Bu konu ile ilgili bilgiler emisyon izin dosyasında bulunması, ayrıca her yıl bakanlığa bildirilmesi gerekmektedir (Anon (f), 2006).

2.4. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Bu yönetmeliğe göre, yönetmelik ekinde belirtilen işletmelerin "Gürültü Kontrol İzin Belgesi" almaları gerekmektedir. Yönetmelik ekindeki listeye göre, çimento, kiremit, tuğla, kireç, fayans, porselen gibi tesislerin dışında doğrudan madencilik tesisleri için "Gürültü Kontrol İzin Belgesi" istenmemektedir.

Yönetmelikte ayrıca yerleşim alanlarında çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar belirtilmektedir. Buna göre, maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki hassas kullanım alanının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyinin aşağıda Çizelge 1'de verilen değerleri geçmemesi istenmektedir Anon (g), 2008).

Çizelge 1. Madenlerde Patlatma Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri (Anon (g), 2008).

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen Tit. Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

2.5. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Maden işletmelerinde üretim ve proses atıkları dışındaki, evsel nitelikli olan veya olmayan tüm atıklar için bu yönetmelik hükümleri uygulanır. Tesislere oluşan yemek artığı vb. her türlü çöp bu kapsama girmektedir. Maden işletmeleri bu tür atıklarını, belediye mücavir alanı içinde ise ilgili belediyenin çöp toplama araçlarına vererek, belediye sınırları dışında ise kendi olanakları ile en yakın düzenli depolama tesisinde bertaraf etmekle ya da ettirmekle yükümlüdürler (Anon (h), 1991).

2.6. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

Bu yönetmelik, ne tür atıkların tehlikeli atık olduğu, hangi atıkların ne miktarda olması durumunda tehlikeli atık sınıfına gireceği, bu atıkların geçici depolanması, taşınması, bertaraf edilmesi hususlarını içermektedir.

Madencilikte bazı durumlarda tehlikeli atık oluşabilir. Bu nedenle üretilen cevher ve üretim sonucu oluşan atıklar kontrol altında tutulmalıdır. Özellikle üretim sırasında oluşan atıklar belirlenmeli ve gelişigüzel atılmamalıdır.

Yönetmeliğin EK-7 kısmında verilen "Tehlikeli Atık Listesi"nin 1. maddesinde, madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar başlığı altında aşağıdaki çizelgede verilmektedir. Çizelgede bazı atıklar (A) ile kategorize edilmiş olup bu atıklar doğrudan tehlikeli atık olarak kabul edilmektedir. (M) ile işaretlenmiş atıklar için ise belirlenmiş bazı nitelikleri taşınması durumunda tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Bu atıklar için yönetmelikte tehlikeli atık eşik konsantrasyonları verilmektedir.

Yönetmeliğe göre, işletmelerin üç yıllık atık yönetim planının yönetmeliğin yürürlüğe giriş tarihinden (14.03.2005) itibaren altı ay içinde hazırlayarak valiliğe sunması ve onay alması gerekir. İşletmeler, atıkların tesiste geçici olarak depolanması durumunda valilikten izin almakla, ürettiği atıklarla ilgili kayıt tutmakla, atığını göndereceği lisanslı geri kazanım ya da bertaraf tesisinin istemiş olduğu uluslararası kabul görmüş standartlara uygun şekilde ambalajlama ve etiketlemeyle yükümlüdürler (Anon (i), 2005).

Çizelge 2. Madenlerin Aranması, Çıkarılması, İşletilmesi, Fiziki ve Kimyasal İşleme Tabi Tutulması Sırasında Ortaya Çıkan Atıklar (Anon (ı), 2005), (Anon (ş), 2008).

Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden doğan asit üreten döküntüler	(A)
Tehlikeli madde içeren diğer döküntüler	(M)
Metalik madenlerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden doğan ve tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar	(M)
Metali olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren atıklar	(M)
Yağ içeren sondaj çamurları ve atıkları	(M)
Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları	(M)

2.7. Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği

Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğine göre, kullanılmış taşıt yağları (benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel, transmisyon, iki zamanlı motor, hidrolik fren, antifriz, gres ve diğer özel taşıt yağları); endüstriyel yağlar vb. kontamine olmuş yağ ürünleri atık yağ kapsamında değerlendirilmektedir. Bu durumda madencilikte kullanılan araçlardaki motor atık yağları bu kapsama girmekte olup atık yağların Bakanlıktan lisans almış tesislerde geri kazanımı veya lisanslı yakma tesislerinde yakılarak zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca her yıl Şubat ayına kadar yönetmeliğin ekinde verilen atık yağ beyan formu doldurarak İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'ne verilmesi gerekmektedir (Anon(j), 2008).

2.8. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği

Çevre ilgili en son yürürlüğe giren yeni yönetmeliklerden birisidir. Madencilikte kullanılan lastik tekerlerli araçlara ait eski lastikler bu yönetmelik hükümlerine göre bertaraf edilmelidir. Yönetmeliğe göre, bu lastiklerin geri kazanımı esastır. Araç sahiplerinin araç lastiklerini değiştirdiğinde eski lastiklerini, lastik satışı yapan işletmelere veya yetkili taşıyıcılara bedelsiz olarak teslim etmesi gerekmektedir (Anon (k), 2006).

2.9. Çevre Denetim Yönetmeliği

Çevre Denetim Yönetmeliği'nin 5. maddesine göre, ÇED Yönetmeliği'nin EK-I ve EK-II kapsamında yer alan tüm işletmeler denetime tabi kuruluş olarak belirlenmiştir. Maden işletmeleri de denetime tabi kuruluş olmaktadır. Yönetmeliğin 6. maddesinde ise denetime tabi kuruluş ve işletmelerin yükümlülükleri belirtilmiştir (Anon (l), 2002).

2.10. Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği

Bu Yönetmelik benzin ve motorin ile çalışan içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılacak olan yakıtların teknik özellikleri ile ilgilidir. Madencilik sektöründe kullanılan motorlu araçlarda kullanılan yakıtlar bu yönetmelikte belirtilen benzin ve motorin kalite şartlarını sağlaması istenir. Ancak yönetmeliğe göre bakanlık, benzin ve motorin kalitesini denetlerken tüketiciden ziyade ithalatçıları ve üreticileri sorumlu kılmakta ve denetlemektedir (Anon (m), 2004).

2.11. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Bu yönetmelik sadece ısınma amaçlı

olarak kullanılan yakma tesislerinden kaynaklanan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halinde dış ortama atılan kirleticilerin denetlenmesi ile ilgilidir. Madencilik sektöründe, işyerlerinde veya şantiyelerde ısınma amaçlı ayrı bir yakma tesisi mevcutsa bu yönetmelik hükümlerine tabi olmaktadır.

Bu yönetmeliğin madenciliği ilgilendiren diğer bir yönü de kömür üreten maden işletmeleri ile ilgilidir. Çünkü bu yönetmelik, kentlerde hava kirliliğini önlemek için ısınma amaçlı kullanılan kömürlere belirli kriterler getirmektedir. Yönetmelik ekinde, ithal kömürle birlikte, yerli linyitler için belirli sınır değerler istenmektedir.

Çizelge 3'te yönetmeliğe göre hava kirliliğinde sınır değerleri aşan il ve ilçelerde (bakanlık tarafından yapılan ölçümlere göre yıllık olarak belirlenmektedir), Çizelge 4'de ise sınır değerleri aşmayan il ve ilçelerde yakılması gereken yerli kömür kriterleri verilmektedir (Anon (n), 2005).

Çizelge 3. Sınır Değerlerin Aşıldığı İl ve İlçelerde Kullanılacak Yerli Kömürlerin Özellikleri (Anon(n), 2005).

Yerli Kömürlerin Özellikleri	Sınır Değerler
Toplam Kükürt (kuru bazda)	max. % 2
Alt Isıl Değer (orijinalde)**	min. 4000 Kcal/kg (-200 tolerans)
Toplam Nem (satışa sunulan)	max. %25
Kül (kuru bazda)	max. %25
Boyut*	18-150 mm (18 mm altı max. %10 tolerans, 150 mm üstü max. % 10 tolerans)

*Mekanik beslemeli yakma tesisleri için kömür boyutu 10-18 mm olabilir.

Çizelge 4. Sınır Değerlerin Aşılmadığı İl ve İlçelerde Kullanılacak Yerli Kömürlerin Özellikleri (Anon(n), 2005).

Kömürlerin Özellikleri	
Toplam Kükürt (kuru bazda)	max. % 2,3
Alt Isıl Değer (orijinalde)**	min. 3500 Kcal/kg (-200 tolerans)
Toplam Nem (satışa sunulan)	max. %30
Kül (kuru bazda)	max. %30
Boyut *	18-150 mm (18 mm altı max. %10 tolerans, 150 mm üstü max.% 10 tolerans)

*Mekanik beslemeli yakma tesisleri için kömür boyutu 10-18 mm olabilir.

**Alt Isıl Değeri (orijinalde) en az 5000kcal/kg yanabilir kükürt (kuru bazda) oranı en çok yüzde bir buçuk (%1.5) ve diğer özellikleri bu çizelge'de belirtilen özellikleri sağlayan yerli kömürler mevcut soba ve kazanlarda yakıldığında bacadan atılan kükürt dioksit konsantrasyonu, bu Çizelge'de özellikleri belirlenen kömürün mevcut soba ve kazanlarda yakılmasında bacadan atılan kükürt dioksit konsantrasyonu eşdeğerini aşmadığı akredite olmuş veya Bakanlıkça uygun görülen laboratuvarlar tarafından belgelenmesi halinde bu Yönetmeliğin 28 inci maddesine göre sınır değerlerin aşılmadığı (II. Grup) il ve ilçelerde ısınma amacıyla kullanılabilir.”

2.12. Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik

Bu yönetmelik motorlu kara taşıtlarının egzoz gazı emisyonlarının denetlenmesi ile ilgilidir. Madencilik sektöründe kullanılan motorlu kara taşıtlarının bu yönetmelik hükümlerine göre egzoz gazı ölçümleri yaptırılmadır. Yönetmeliğin 6. maddesine göre;

- Hususi otomobiller ilk üç yaş sonunda ve devamında her iki yılda bir,
- Resmî otomobiller ilk iki yaş sonunda ve devamında yılda bir,
- Diğer motorlu taşıtlar ilk bir yaş sonunda ve devamında yılda bir,
- Trafikte seyreden tüm motorlu taşıtlar on yaş sonunda yılda bir olmak üzere egzoz gazı emisyon ölçümü yaptırmak zorundadırlar (Anon (o), 2005).

2.13. Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrolü Yönetmeliği

Bu Yönetmelik orman sayılan alanlar dışındaki yerlerden, kum, çakıl ve benzeri maddelerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden işletilmesi ve kontrolü ile ilgili esasları içermektedir. Bu yönetmeliğe göre, kum çakıl işletmecileri, üretime başlamadan önce yönetmelikte belirtilen formatta bir çevre yönetim planı hazırlamak ve üretime geçtikten sonra bu planı aynen uygulamakla yükümlüdürler (Anon (p), 2007).

2.14. Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği

Bu Yönetmelik, orman sayılan alanlar dışındaki madencilik faaliyetlerinde bozulan alanların doğaya yeniden kazandırılması çalışmalarını ile ilgili idari, hukuki ve teknik hususları içermektedir. Yönetmeliğe göre, maden işletmecileri

faaliyete başlamadan önce Doğaya Yeniden Kazandırma Planı hazırlamak ve bu planı işletme süresince aynen uygulamakla yükümlüdürler. Doğaya yeniden kazandırma planının hazırlanması ile ilgili format yönetmelik ekinde verilmektedir (Anon (r), 2007).

2.15. Orman Sayılan Alanlarda Verilecek İzinler Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmelik, orman arazilerinde yapılacak faaliyetlerde alınması gerekli izinlerle ilgilidir. Madencilik yapılacak alan orman arazisi olarak kayıtlı ise bu yönetmelikte belirlenen izinlerin alınması ve belirlenmiş bedellerin ödenmesi şarttır. Bu yönetmelikle ilgili işlemler diğerlerinden farklı olarak İl Çevre Orman Müdürlüklerince değil Orman Bölge Müdürlüklerince yürütülmektedir (Anon (s), 2007).

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Madencilik faaliyetlerinde işletme yöntemine, cevher türüne, madensahasının konumuna göre farklı boyutlarda çevresel etkiler oluşabilmektedir. Doğa üzerinde çalışan bir sektör olan madencilik için bu çevresel etkiler normal karşılanmalıdır. Çevresel etkilerle ilgili önemli olan husus, gerekli teknik girişimlerin yapılmasıdır. Bu teknik girişimlerle ilgili yapılması gerekli hususlar Çevre Kanunu ve ilgili yönetmeliklerinde belirtilmektedir. Madencilikte, bu kanun ve yönetmelikler doğrultusunda gerekli yükümlülüklerin yerine getirilmesi durumunda çevre açısından bir sorun kalmayacaktır.

Ülkemizde bazı gruplar, madenlerle ilgili oluşan herhangi bir çevre sorununa karşı "ya madencilik ya çevre" noktasında madencilik faaliyetlerinin engellenmesi veya durdurulması

savunmaktadırlar. Bu durum, hem hukuki hem teknik olarak izah edilemez. Çünkü ülkemizde, teknik ve ekonomik olarak madenlerin çalıştırılması gerekliliği tartışma götürmez bir gerçektir. Hukuken ise "hem madencilik hem çevre" anlayışı, dünyada kabul görmüş bir anlayış olmakla birlikte, ülkemizde de 26.04.2006 tarihinde yürürlüğe giren 5492 nolu "2872 Sayılı Çevre Kanunu"nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'un 1. maddesinde, "sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir çevre" ifadesi ile yerini almıştır. Yani hem sanayi faaliyetlerinin sürdürülmesi hem de çevrenin korunması anlayışının hukuki temelleri mevcuttur. Her sanayi dalında olduğu gibi madencilikte de çevresel değerleri korumak için teknik olarak gerekli girişimler yapıldığı takdirde sorunlar azalacak ya da tamamen ortadan kalkacaktır.

Madencilik sektöründe, hava kirliliği, su kirliliği, gürültü kirliliği ve atık oluşumu gibi çevresel etkiler ön plana çıkmaktadır. Bu çevresel etkilere göre, Türk Çevre Mevzuatında madencilik sektörüne göre yapılan tarama sonucunda, madencilik ilgilendirebilecek 15 adet yönetmelik belirlenmiştir.

Çevre Kanunu ve ilgili yönetmelikleri üzerinde yapılan bu çalışmaya sonucunda anlaşılmaktadır ki günümüzde maden işletmelerinde çevre açısından bazı işlemlerin yapılması artık kaçınılmaz hale gelmiştir. Önümüzdeki dönemde konu ile ilgili sorunlar daha da artabilir. Maden işletmeleri, beklenmedik yaptırımlarla karşılaşabilirler. Bu nedenle maden işletmelerinde bir çevre yönetim modeli geliştirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. Bu modelde, madendeki çevre yönetiminin sağlanması amacıyla bir birim oluşturulmalı ve bu çevre birimi, teknik ve hukuki olarak

çevre ile ilgili işlemlerin yürütülmesini ve takibini sağlamalıdır. Bu çevre birimi, çevresel açıdan gerekli diğer işlemleri de yapabilir. Çevreye en az zarar verecek üretim yöntem ve teknolojilerinin belirlenmesi, madenlerde oluşan üretimden kaynaklanan ve/veya kaynaklanmayan her türlü atığın envanterinin tutulması ve bertarafı, varsa geri dönüşüm veya yeniden kullanılabilme olanaklarının araştırılması, gürültü yönetimi ve doğaya yeniden kazandırma (rehabilitasyon, reklamasyon, rekültivasyon vb.) çalışmalarının yapılması gibi işlemler bu çevre birimi tarafından yürütülebilir. Böylelikle madenlerde çevre yönetiminin uygulanması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anon (a), 1983. 2872 Sayılı Çevre Kanunu, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (b), 2006. 2872 Sayılı Çevre Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (c), 2003; Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Management of Waste from the Extractive Industries, *Commission of European Communities*. 319 final.
- Anon (d), 2008. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon(e), 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon(f), 2006. Endüstriyel Tesislerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.

- Anon(g),2008. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (h), 1991. Katı Atıkların Kontrollü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (ı), 2005. Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (j), 2008. Atık Yağların Kontrollü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (k), 2006. Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (l), 2002. Çevre Denetim Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (m), 2004. Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (n), 2005. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrollü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon(o),2005.Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (p), 2007. Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrollü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (r), 2007. Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (s), 2007. Orman Sayılan Alanlarda Verilecek İzinler Hakkında Yönetmelik, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Anon (ş), 2008. Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Arol, A. İ., 2005. Madencilikte Sıfır Atıklı Üretim, *1. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 83-91, Ankara.
- Ceylan, H., 2007. Kapatılan Madenlerde Yapılabilecek İşlemler ve Keçiborlu Kükürt Madeni Örneği, *2. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Kitabı*, s. 89-97, Ankara.
- Ceylan, H., 2006. Çevre Kanunu ve Kırmataş Sektörü İlişkisi, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 53-61, İstanbul.
- Çetiner, E., G., Ünver, B., Hindistan, M., A., 2006. Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, *Madencilik*, 45,(1), s. 23-34.
- Demirçin, M., Çalık, A., 2005. Madencilik Faaliyetlerinin Çevresel Boyutu ve Mevzuatımızdaki Gelişmelerin Değerlendirilmesi, *1. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 11-21, Ankara.
- Zanbak, C., 2005. Kalkınmanın Sürdürülebilirliği Işığında Madencilik, *1. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 31-39, Ankara.

İzmir Belkahve Bölgesi Kalker Ocaklarının Yeniden Yapılandırılması

Reconstruction of Limestone Quarries Located in İzmir Belkahve District

G. Konak, D. Karakuş, A.H. Onur, Ç. Pamukçu, H. Köse, E. Yalçın,
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Ülkemizde faaliyet gösteren kalker ocakları artan şehirleşme potansiyeli ve konumları nedeniyle şehirlerle çevresel etki açısından zorluklar yaşamaktadırlar. Bu zorlukların başında üretim faaliyetlerinden kaynaklanan toz, gürültü ve titreşim olduğu gibi geçmiş yıllarda tekniğine uygun madencilik faaliyeti yapılmaması nedeniyle oluşan görüntü kirliliği ön plana çıkmaktadır. Üretim faaliyetlerinden kaynaklanan bu tür olumsuz etkiler bir takım önlemlerle minimize edilerek şehirlerin taleplerine cevap verebilecek çözümler üretilebilir.

Bu çalışmada, örnek olarak İzmir ili Bornova İlçesi -Belkahve mevkiinde bulunan kalker ocaklarının Aravadi ve Arkavadi olarak adlandırılan bölgede yeniden yapılandırılması planları sunulmuştur.

ABSTRACT The limestone quarries operating in our country go under environmental predicaments due to increasing urbanization potential and their location close to settlements. The major environmental impacts are dust, noise and vibration induced by production activities and also the visual contamination occurring as a result of non-technical and inappropriate quarrying. This kind of negative effects induced by production activities can be minimized with certain precautions that would meet demands of the cities.

In this study, a case study of reconstructing of quarries in a region called Aravadi and Arkavadi that are readily located in İzmir-Bornova, Belkahve district is presented.

1. GİRİŞ

Kalker ocakları, sınıflandırılmış agrega, çimento hammaddesi ve kireç üretiminde kullanılan kireçtaşını genelde

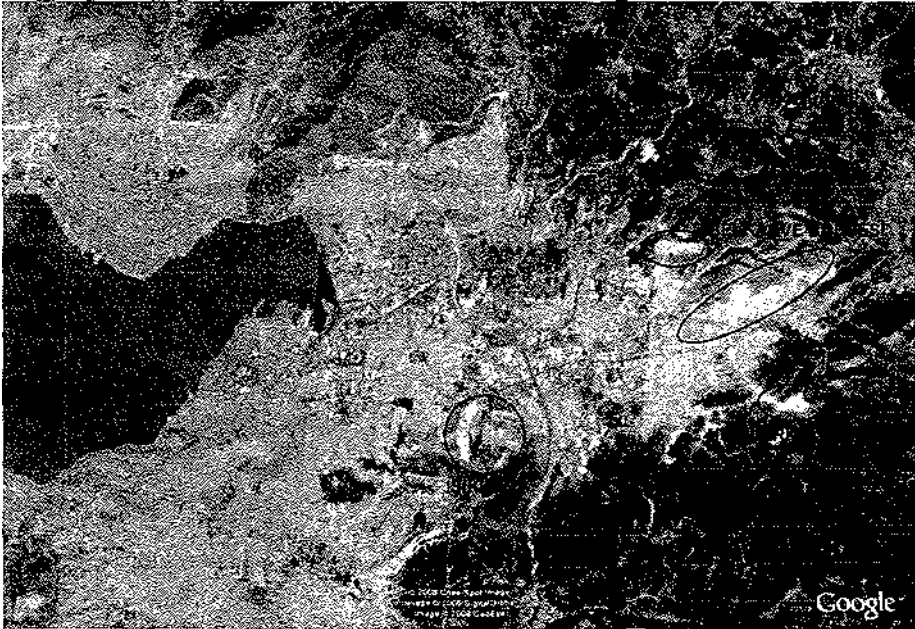
açık maden işletme teknikleri kullanarak üretilirler. Kireçtaşının ülkemizde rezerv miktarları açısından sıkıntı olmamakla birlikte birim maliyetler içinde nakliye giderlerinin fazla olması, rekabet

koşulları ayrıca çevre sorunları ile birlikte yasal izinler gibi nedenlerle faydalanabilir rezerv kısıtlanmaktadır. Bunun yanında üretim miktarları olarak kireçtaşı üretimi %58 pay ile tüm maden üretimi içinde birinci sırada, pazar değeri olarak petrol, doğalgaz ve kömürden sonra dördüncü sırada yer almaktadır (Öztürk vd, 2007).

Şehir sınırlarının büyüme yönündeki eğiliminin doğal sonucu olarak bu kalker ocaklarında yürütülen madencilik faaliyetleri farklı etkilere maruz kalmaktadır. Öncelikle inşaat sektörünün ana hammaddesi olan çimento ve agreganın temininde artan talebi karşılamak için bu ocaklar üretim kapasitelerini arttırmak zorunda kalmışlardır. Kapasite artırma zorunluluğu nakliye yollarında sirkülasyonu artırarak çevresel etki açısından bir takım önlemler alma zorunluluğu doğurmuştur. Diğer yandan önceki yıllarda tekniğine uygun

yapılmayan delme-patlatma faaliyetleri nedeniyle bu ocaklarda oluşturulan şevlerin görüntüsü şehir panoramasında kirlilik olarak değerlendirilmekte ve görüntünün düzenlenmesi için yerel yönetimler tarafından bu ocaklara baskılar yapılmaktadır.

Bu ve benzer durumlar ülkemiz genelinde şehirler etrafında ruhsatlandırılan kalker ocaklarında yaşanmakta ve hem ocakların faaliyetlerine devam edebilecek, hem de şehirler tarafından kabul edilebilecek çözümler aranmaktadır. Benzer bir durum İzmir ili Belkahve bölgesinde faaliyet gösteren kalker ocakları tarafından yaşanmıştır. Bu bölge son kırk yıl içerisinde şehirleşmeye maruz kalarak önceleri şehrin dışında bulunan kalker ocakları günümüzde şehrin ana giriş arterlerinden birinin üstünde kalmıştır. İzmir Ankara karayolu üzerinde yer alan ve uzun yıllar yapılan madencilik faaliyetleri nedeniyle görsel açıdan



Şekil 1. İzmir İli Kalker Ocakları Üretim alanları (Konak, Karakuş, Onur 2009).

kirillığe neden olan bu bölgedeki kalker ocaklarının taşınarak bölgenin yeniden yapılandırılması gündeme gelmiştir. Bu bildiride bölgenin yeniden yapılandırma aşamasında yapılan planlamalar ve teknikleri tanıtarak benzer durumların yaşanabileceği diğer çalışmalara ışık tutabilecek bilgiler verilmiştir.

1.1. İzmir Bölgesi Kalker Ocakları

Türkiye'nin üçüncü büyük şehri olan İzmir ili yıllık yaklaşık 20 milyon ton olan kalker ihtiyacının büyük bir kısmını il sınırları içerisinde yer alan kalker ocaklarından karşılamaktadır. İzmir bölgesi kireçtaşı ihtiyacı yoğun olarak Belkahve Bölgesi, Hacılarkını Mevkii ve Işıkkent bölgesinden sağlamaktadır. Bu bölgelerde faaliyet gösteren altı firma İzmir İli kireçtaşı üretiminin % 90'nını temin etmektedir. Şekil 1'de İzmir İli kalker ocakları bölgesel olarak gösterilmiştir.

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) verilerine göre İzmir ilinde bulunan yaklaşık 15 adet hazır beton tesisinde 2007 yılı verilerine göre 3 538 000 m³ üretim yapılmıştır. Hazır Beton mutlak hacim olarak, %75 oranında agrega, %10 oranında çimento ve %15 oranında sudan oluşur. Buna göre 3 538 000 m³ hazır beton üretiminde hacimce yaklaşık 2.9 milyon m³ agrega kullanılmıştır. Kireçtaşının ortalama yoğunluğu 2.65 ton/m³ kabul edildiğinde ton olarak yaklaşık 8 milyon ton agrega İzmir ilinde 2007 yılında hazır beton tesislerinde tüketilmiştir (Konak, Karakuş, Onur 2009).

İzmir ilinde bulunan iki çimento fabrikası üretimde hammadde olarak kullandıkları kireçtaşını bölgedeki kalker ocaklarından karşılamaktadır Bir ton çimento üretimi için yaklaşık bir ton kireçtaşına ihtiyaç olduğu düşünülürse

yıllık 5 milyon ton kireçtaşı çimento fabrikalarında hammadde olarak kullanılmaktadır(Konak, Karakuş, Onur 2009).

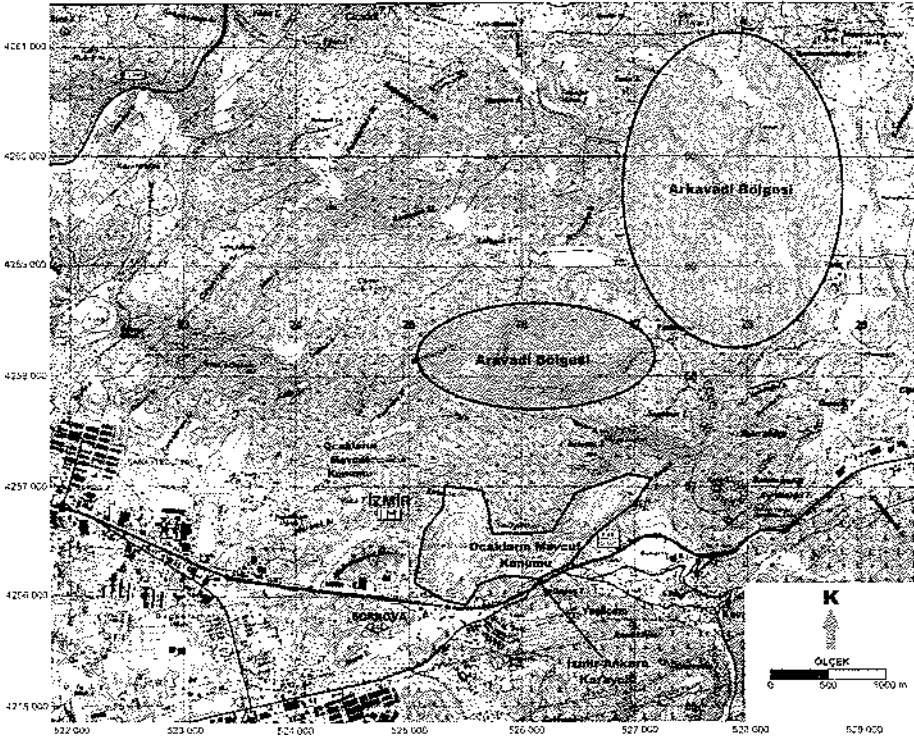
Sürekli artan kentleşmeyle birlikte kent in ihtiyacı olan yol altyapı ve alfalt üretiminde ise 2007 yılında yaklaşık 5 milyon ton agrega kullanıldığı düşünülmektedir. Buna göre İzmir metropolünde üretilen kireçtaşının kullanım alanlarına göre dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir (Konak, Karakuş, Onur 2009).

Çizelge 1. İzmir ili 2007 yılı kireçtaşı tüketim miktarları (Konak, Karakuş, Onur 2009)

Kullanım Alanı	Miktarı (ton)	Oranı (%)
Hazır Beton Üretiminde	8 000 000	% 40
Çimento Hammaddesi	5 000 000	%25
Yol- altyapı ve asfalt yapımı	5 000 000	%25
Diğer	2 000 000	%10
TOPLAM	20 000 000	%100

1.2. Belkahve Bölgesi

Belkahve olarak adlandırılan bölge İzmir ilinin kuzeydoğusunda, İzmir-Ankara karayolunun İzmir'e girişe göre kuzeyinde yer almaktadır. Bölgede farklı işletmelere ait ruhsatların bulunmasına rağmen uzun yıllardır devam eden üretim faaliyetleri sonucu tek bir maden işletmesi gibi görünen görsel etkiye sahiptir. On yılı aşkın süredir işletmeciler ve ilgili makamlar arasında yaşanan hukuksal süreçler sonucu Belkahve bölgesinde İzmir - Ankara karayoluna cephesi bulunan kalker ocaklarının rehabilite edilerek faaliyetlerinin durdurulması ve öngörülen yeni alanlara taşınması zorunluluğu doğmuştur. Aravadi ve Arkavadi olarak isimlendirilen bu yeni



Şekil 2. Bölgenin haritası

alanlara tesis ve ocakların taşınması işlemi iki aşamalı olarak planlanmıştır. Öncelikle ön cephedeki düzensiz basamakların en az kazı ile düzeltilerek rekültive edilmesi ve eşzamanlı olarak da kırma elme tesislerin yeni yerlerine taşınması için gerekli alt yapı hazırlıklarının yapılarak taşınma işleminin gerçekleştirilmesi aşamalarıdır. Bölgenin haritası Şekil 2’de, verilmiştir.

1.3 Bölgenin Genel Jeolojisi

Bölgenin temelinde Menderes masifine ait metamorfik kayalar yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı bu kayalar, Mesozoyik ve Senezoyik’te gelişmiş farklı litolojideki birimler tarafından uyumsuz olarak izlenmektedir. Bölge tektonik olayların etkisi ile zaman içerisinde kıvrımlı kırıntılı ve bindirmeli bir yapı

kazanmıştır. Farklı litolojik istiflerin izlediği Mahmut dağı, Çal dağı, Nif dağı, Spil dağı ve Yamanlar dağı KD-GB doğrultulu bu bindirmelerin etkisi ile oluşmuş üç ayrı dilimi simgelemektedir (Onur vd., 2005).

Bölgede paleozoik yaşlı temellere ait metamorfik birimler açığa çıkmaktadır. En yaşlı istifleri Bornova-Manisa yolunun KB’sında yüzçyleşen dolomitik kireçtaşları oluşturmaktadır. Alttan ince tabakalı açık gri beyaz rengi ve yer yer değişik breşik doku gösteren bu birim bölgede yüzçyleşen diğer formasyonlar ile tektonik dokanaktır. Dolomitik kireçtaşlarının üzerinde onunla düşey ve yatay geçiş gösteren kretase Rudistli kireçtaşları gelmektedir. Bölgede bu birimler karbonatlarla yanal geçiş gösteren flip karakterindeki

çakıltısı, kumtaşı, şeyl, marn ve killi kireçtaşı ardalaşması izlenmektedir. Kretase birimlerin üzerinde belirgin bir uyumsuzlukla kabaçakilli, kötü boylamlı ve elemanlarını temele ait kayaçların oluşturduğu Miyosen çökeller yerleşmektedir. Miyosen, üste doğru kıltaşı, marn, kumtaşı ve volkaniklerden oluşan bir istife dönüşmekte ve gölsel kireçtaşları ile sona ermektedir. Bölgenin stratigrafik kesiti incelendiğinde mezozoyik ve senozoyik yaşlı birimlerin yüzeylendiği görülmektedir. Çökel kayaçlardan oluşan bu birimler paleozoyik yaşlı Menderes masifine ait metamorfik kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak yerleşmektedir. Şekil 3'de bölgenin stragrafik kesiti verilmiştir (Onur vd., 2005).

ÜST SİSTEM	SİSTEM SERİ	KALINLIK m	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOYİK	TERSİYER	KUVATERNER	50		
			30		
		Pliyosen	100		
			~300		
			~500		
			~600		
			~600		
			~600		
			~600		
			~600		
Eosen	120				
Paleosen	150				
MESOZOYİK	JURA KRETASE	~1600			
		Üst	120		
		150			
		Alt	100		
		Malm Degerer Livad	100		
TRİAS	Üst	120			
		500			
		50			
PALEOZOYİK		100			

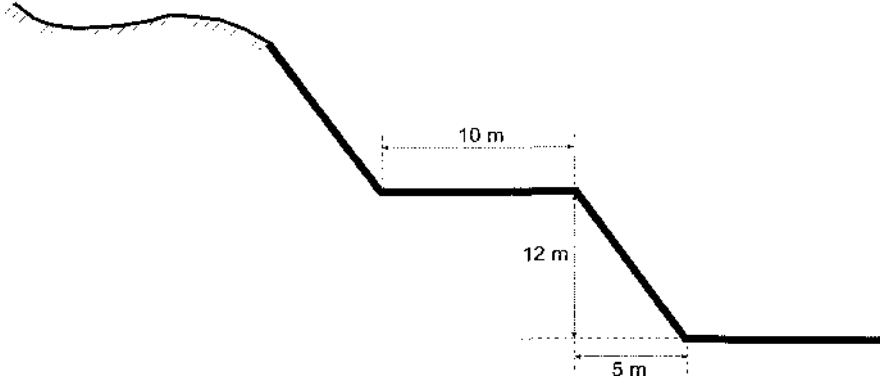
Şekil 3 Bölgenin stratigrafik kesiti (Onur vd., 2005)

2. OCAKLARIN YENİDEN YAPILANDIRILMASI

Bu çalışmanın konusu olan projenin ikinci kısmı, mevcut ocak ve tesislerin bulunduğu bölgenin arkasında yer alan Aravadi ve Arkavadi olarak adlandırılan bölgeye taşınacak olan firmaların kuracak oldukları kırma – eleme tesis yerlerinin ve ocak üretim planlarının hazırlanmasından meydana gelmektedir. Buna göre kırma – eleme tesislerinin görünmeden çalışmalarına olanak sağlayabilecek şekilde yerleştirilmeleri öncelikli olarak ele alınmıştır. Ayrıca yapılacak olan ocak işletmecilik faaliyetlerinin çevreye en az olumsuzluk verecek şekilde planlanması yapılmıştır. Üretim planları firmaların talep etmiş oldukları yıllık üretim miktarlarına göre düzenlenmiştir. Bu planlar kısa, orta ve uzun dönemler olarak hazırlanmıştır.

2.1. İşletme Şev Açılırları ve Basamak Boyutlarının Belirlenmesi

Maden işletmelerinde şev açılarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli faktörler, çalışma sahasını oluşturan formasyonların mekanik özellikleri ve sahanın tektonik yapısı, süreksizlikler, ara kesmeler, yeraltı ve yüzey suları gibi özelliklerdir. Kayaç kütleleri arasında kaymayı kolaylaştırıcı herhangi bir ara kesmenin bulunmadığı jeolojik birimlerde dik şevlerin kaymadan durabilmesi mümkün ise de, bölgede düzenli basamakların oluşturulmasına ve üretimi tamamlanan kısımların yeniden düzenlenmesine olanak sağlamak açısından ocak genel şev açısı 42°, genel şev açısı göz önüne alınarak, basamak yüksekliği 12m ve genişliği 10 m olarak belirlenmiştir. Basamak yüksekliklerinin düşük tutulmasının işletme maliyetlerini artırıcı etkisi olmasına rağmen, üretim sonrası görüntünün iyileştirilmesi amacıyla yüksek basamaklardan kaçınılmıştır (Şekil 4)



Şekil 4 Bölgede uygulanacak basamak geometrisi (Onur vd., 2007)

2.2. Aravadi Bölgesi

İzmir Bölgesi kalker ocaklarının yeniden yapılandırma aşamalarından birisi Belkahve bölgesinde bulunan kalker ocaklarının ruhsat durumlarına göre Aravadi bölgesine taşınmasıdır.

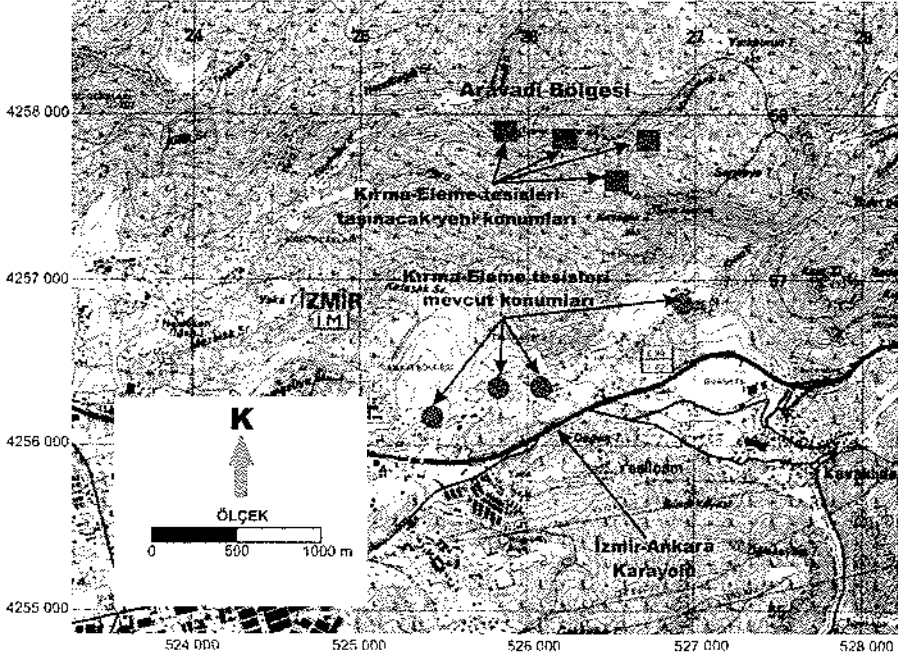
Bölgede birbirine bitişik ruhsatlarda 4 farklı firma için projeler hazırlanmıştır. Bu firmalardan üçü aktif olarak üretim faaliyetlerini sürdürecektir, bir firma ise bölgedeki sahasının projelendirmesine rağmen kısa dönemde üretim yapmayacaktır. Bölgeye yerleştirilecek kırma-eleme tesislerinin eski ve yeni durumunu gösterir harita Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre bölgeden yılda 7750000 ton kalker üretimi gerçekleştirilecek şekilde üretim planlaması yapılmıştır (Onur vd., 2007). Tesis yerlerinin planlanması aşamasında öncelikli olarak tesislerin çevreden görünmesine engel olacak bir konumda bulunmaları göz önüne alınmıştır. Kırma-eleme tesislerinin aravadi'deki detaylı konumlarının belirlenebilmesi için 3 boyutlu grafik animasyonları dizayn edebilen, CAD tabanlı bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. Çalışma öncesi, kırıcı tesislerinin yerleştirileceği potansiyel bölgelerden çok miktarda fotoğrafik

görüntü temin edilmiş, bu görüntüler planlama aşamasında bilgisayar yazılımı ile birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda, kırma - eleme tesisleri mümkün olduğunca görünmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Planlamanın yapıldığı bölge bir vadi içerisinde yer almakta ve vadi yapısı incelendiğinde derin ve dar bir konumda olduğu ve doğu-batı istikametinde güneye kıvrılarak ilerlediği görülmektedir. Ancak vadinin batı yönündeki çıkışına yaklaşık olarak 700 m mesafede bulunan Naldöken mahallesinin yapılacak olan çalışmalardan etkilenmemesi için tesisler vadi iç kısımlarına yerleştirilmiştir. Vadi iç kısımlarına ilerledikçe, vadi taban kotunun yükseldiği, bu nedenle ilerleyen yıllarda yapılacak olan kazı çalışmaları sonucunda arazinin genişlemesi ve topoğrafyanın değişimine bağlı olarak tesislerin açığa çıkmaması için tesislerin taban kotu orijinal topoğrafyaya göre 20 m lik bir kazı yapılarak daha alt kotlara indirilecek şekilde planlanmıştır. Bölgede planlanan kırma-eleme tesislerinin ikisinin yerine ait üç boyutlu animasyon görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

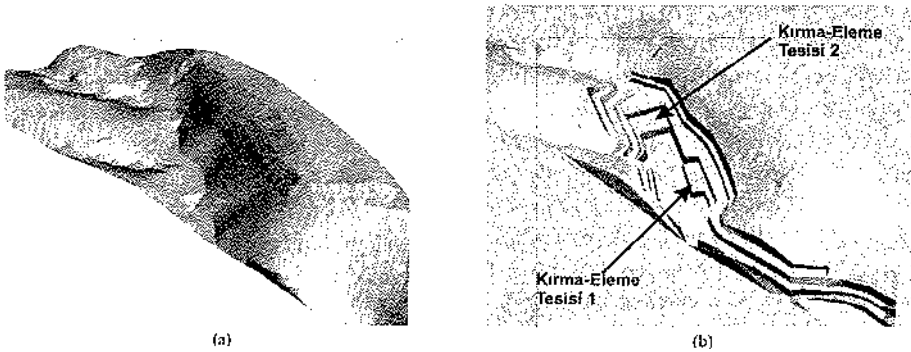
Aravadi bölgesinde kırma-eleme tesislerinin yerlerinin seçimi ve planlaması aşamasından sonra bölgenin

üretim planları hazırlanmıştır. Buna göre daha önce madencilik faaliyeti yapılmamış olan Aravadi bölgesinde oluşturulacak işletmeler için bazı teknik kısıtlar önerilmiştir. Bölgede bulunan sahalarda açılacak olan ocakların ilerleyen yıllarda başta çevre mahallelerden olmak üzere, şehrin genelinde oluşturabileceği olumsuzlukları en az seviyede tutmak için, vadinin güneyinde bulunan ve doğu

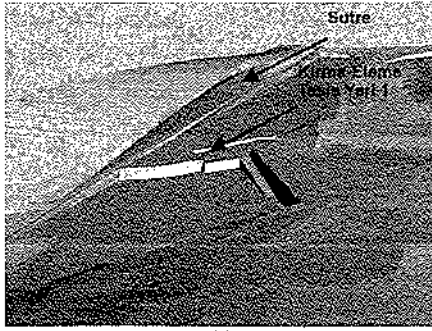
- batı doğrultusunda uzanan Kırtaşlık tepe sırtının ufuk hattı kazı sınırı olarak belirlenmiştir. Oluşturulan üretim planlarında maden işletme ruhsatlı bölge içerisinde bulunmasına rağmen bu sırt muhafaza edilmiştir. Şekil 7'de ruhsat sınırlı sahada kısa ve orta dönem üretim faaliyetleri sonucu bölgenin alacağı şekil görsel olarak verilmiştir.



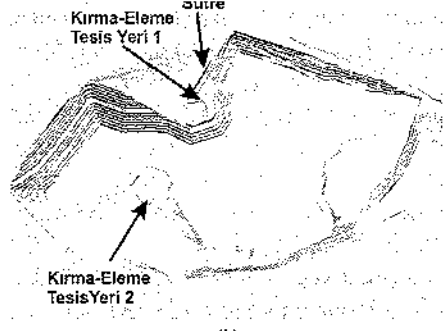
Şekil 5. Kırma-Elleme tesisleri eski ve Aravadi Bölgesi yeni konumları



Şekil 6. Aravadi Kırma-Elleme tesisleri yeri (a) aravadi mevcut topoğrafya, (b) Kırma-Elleme tesisleri için planlanan basamaklar



(a)



(b)

Şekil 7. Aravadi (a) Aravadi mevcut topografya, (b) Aravadi uzun dönem üretim planı

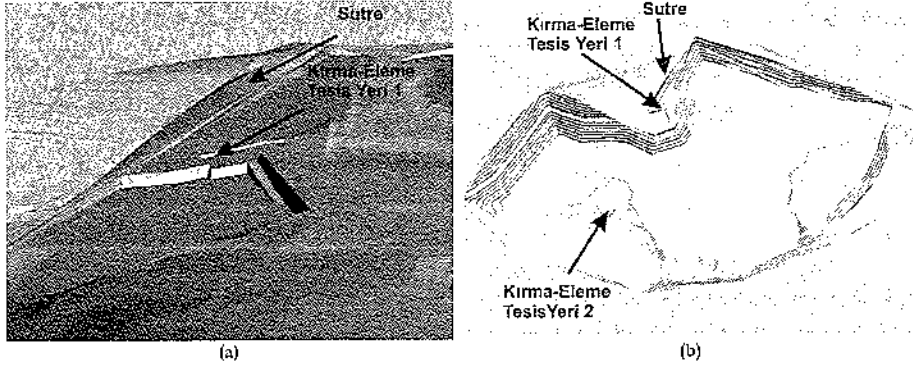
2.2. Arkavadi Bölgesi

Belkahve bölgesinde faaliyet gösteren ocakların yeniden yapılandırma sürecinde belirlenen diğer bir çalışma alanı Aravadi bölgesinin kuzeyinde yer alan Arkavadi bölgesidir. İzmir İlinin yaklaşık %60 kalker ihtiyacını karşılayan Belkahve bölgesindeki kalker ocaklarının hepsinin Aravadi bölgesine taşınması mümkün olmaması nedeniyle ikinci bir üretim sahası olarak Arkavadi bölgesinde de tesis ve üretim planlaması yapılarak projeler oluşturulmuştur.

Arkavadi Bölgesinde tesis yerlerinin planlanması aşamasında öncelikli olarak tesislerin çevreden görünmesine engel olacak bir konumda bulunmaları göz önüne alınmıştır. Ruhsatlı sahaların yapısı incelendiğinde, küçük düzenlemelerle çok hızlı bir şekilde tesis kurulabilme imkanı olan arazi yapısı olduğu belirlenmiştir. Ancak bu şekilde kurulacak olan bir tesisin, bulunduğu kot ve konum göz önüne alındığında bir çok yerden görülebileceği tespit edilmiştir. Aynı şekilde topografik yapı gereği tesisin besleme noktası açıkta kalacağı için kamyon hareketinin en yoğun olduğu bu kısım olumsuz bir görüntü oluşturacaktır. Bu nedenle belirtilen olumsuzlukları kısmen bertaraf edebilmek için kırma-çeme tesisinin

doğal bir sütre içerisine alınması gerekli görülmüştür. Kırıcı tesisi, yamaca yarım ay şeklindeki bir yapının içerisine yerleştirilecek şekilde planlanmıştır. Ayrıca orjinal topografyada 7m'lik bir kazı planlanarak tesis besleme yeri de doğal sütre içerisine alınmıştır. Sahaya yönelik olarak yapılan üretim planlarında tesis için oluşturulan doğal sütre yaklaşık 50m kalınlığında bir topuk ile muhafaza edilmiştir. Böylece ilerleyen yıllarda yapılacak olan kazı çalışmaları sonucunda arazinin genişlemesi ve topografyanın değişimine bağlı olarak tesislerin açığa çıkmaması için tesislerin taban kotu orjinal topografyaya göre 14 m daha alt kotlara indirilecek şekilde planlanmıştır. Şekil 8a'da Arkavadi bölgesinde kurulacak kırma-çeme tesislerinin animasyon görüntüsü verilmiştir (Konak, vd., 2007).

Arkavadi bölgesinden 3500000 ton/yıl kalker üretimi yapılacak şekilde planlama yapılmıştır. Üretim planları kısa, orta ve uzun dönem olmak üzere üç ayrı aşamada hazırlanmıştır. Bu aşamalardan kısa dönem üretim planları (ilk beş yıl) işletmenin teknik ayrıntıları ve makine parkı göz önünde bulundurularak uygulanabilir planları içerir. Orta ve uzun dönem projeler ise işletmeye yönelik teknik ayrıntılardan



Şekil 8. Arkavadi kırma-eleme tesisleri yeri (a) Kırma-Eleme tesisleri için planlanan basamaklar, (b) Arkavadi uzun dönem planı animasyon görüntüsü.

daha çok işletmenin orta ve uzun dönem içerisindeki hammadde potansiyelinin genel değerlendirmesini içerir. Üretim kapasitesi göz önüne alınarak işletme için öngörülen kazı yönüne göre, dönem sonunda ocağın alacağı geometrik şekil belirlenir. İşletmenin orta ve uzun dönemde üretim kapasite değişiklikleri, hammadde kalitesindeki beklenilmeyen değişiklikler gibi parametrelere bağlı olarak orta ve uzun dönem projeleri revize edilebilir. Özellikle ilk beş yıllık dönemden sonrası için ileriki yıllarda ayrıntılı yıllık planların yapılması gereklidir. Arkavadi Bölgesi uzun dönem üretim planları, yakın görüş mesafesi içerisine girmeyecek şekilde belirlenen sınırlar dahilinde, açık işletme tekniğine uygun, güvenli şevler oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir (Konak, vd., 2007). Bölgenin uzun dönem planı animasyon görüntüsü Şekil 8b'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR

Son yıllarda kalker ocaklarını üretim faaliyetleri kadar meşgul eden bir başka konu çevresel etki açısından şehirlerden gelen baskılardır. Artan şehirleşme ve kalker talebinin yanı sıra şehirlere yakın olan bu işletmeler toz, gürültü,

vibrasyon ve görüntü kirliliği gibi konulardan dolayı hukuksal süreçler yaşayabilmektedir. Bu çalışmada benzer bir durumun olduğu İzmir ili Bornova İlçesi -Belkahve mevkiinde, İzmir - Ankara karayoluna cehpele kalker ocaklarının ve aynı bölgede bulunan kırma - eleme tesislerinin yeniden yapılanma ve çevresel etkiyi minimize etme aşamaları sunulmuştur. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

i) Yeniden yapılanmanın temelini oluşturan yaklaşım, Belkahve Bölgesinde halen faaliyet gösteren kırma - eleme tesisleri ve bunların hammadde ocaklarının yaratmış olduğu olumsuz çevresel etkilerin ortadan kaldırılmasıdır. Bu amaçla bu kalker ocakları çevresel olarak şehri etkilemeyecek ama aynı zamanda şehrin ihtiyacı olan kalker ekonomik olarak temin edecek yeni alanlara taşınacaktır.

ii) Yeni bölge olarak Belkahve bölgesinin kuzeyi mevcut ocakların bulunduğu sırtın arka tarafı ve bu bölgenin kuzeyi seçilmiştir. Aravadi ve Arkavadi olarak adlandırılan bu bölgelere mevcut kalker ocakları ruhsat durumlarına göre konumlandırılacaktır.

iii) Aravadi bölgesinde dört firma

ruhsat durumuna göre konumlandırılmış ve bazı teknik kısıtlar göz önünde bulundurularak kırma-eleme tesis yerleri belirlenmiştir. Aravadi bölgesinden kırma-eleme tesis yerleri seçiminden sonra işletmelerin kısa (ilk beş yıl), orta ve uzun dönem üretim planları hazırlanarak bölgenin kalker madenciliği vizyonu belirlenmiştir. Üretim planlarında özellikle görsel kirliliğe yol açmayacak şekilde öncelikler önplanda tutulmuş ayrıca toz ve gürültü oluşturmayacak önlemler sunulmuştur.

iv) Arkavadi bölgesine ruhsat durumuna göre iki firmanın kırma-eleme tesis yerleri belirlenmiş ve Aravadide olduğu gibi bu firmaların kısa, orta ve uzun dönem üretim planları hazırlanmıştır.

v) Günümüzde artan hammadde ihtiyacını karşılama ve rekabet koşulları kalker ocaklarını kaçınılmaz olarak şehirlere yakın konumlandırılmasını gerektirmektedir. Bunun yanında en az çevresel etki ile üretim faaliyetlerine devam etmek de hem hukuksal hem de sosyal bir zorunluluktur. Bu iki parametrenin ortak paydada buluşabileceği uygun madencilik faaliyetleri yürütmek ve çözümler üretmek bilimsel ve teknik olarak mümkündür.

KAYNAKLAR

- Konak, G., Onur, A.H., Köse, H., Yalçın, E., Karakuş, D., 2007, *Batiçim ve İksaş'a ait kırma-eleme tesislerin yerleşim planları ve maden ruhsatlı kalker ocaklarının üretim planının hazırlanması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı , 82s
- Konak, G., Onur, A.H., Karakuş, D., 2009, İnşaat sektörünün ihtiyacı olan agreganın işletilmesi ve kentsel faydaları, *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 229-236
- Onur, A.H., Konak, G., Karakuş, D., Gönen, A., Mallı, T. 2005, *Batiçim A.Ş. Kalker Ocaklarında Yapılan Patlatmaların Çevresel Etkileri*, Dokuz Eylül Üniversitesi Döner Sermaye Projesi , 41 s
- Onur, A.H., Konak, G., Köse, H., Yalçın, E., Karakuş, D., Pamukçu, Ç., 2007, *Belkahve Bölgesi İR-30114 ve İR3770 ruhsat nolu maden sahaları (Aravadi Bölgesi) Üretim Planlaması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı , 113 s
- Öztürk, Ö., Çelikel, M., Erkan, M., 2007, "Türkiye Agrega Sektör Raporu," *Hazır Beton, Sayı. 84*, s.52-56

Açık İşletme Arazi Dönüşüm ve Rehabilitasyon Yöntemlerinde Yeni Gelişmeler

New Developments of Open Pit Mines in the Reclamation and Rehabilitation Methods

M.S. Delibalta

Niğde Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

ÖZET Madencilik sektörü diğer endüstriyel işletmelerden farklı olarak, doğal çevre ile çok daha sıkı ilişki halindedir. Ülkemizdeki toplam linyit üretiminin yaklaşık %90'nın açık işletme yöntemiyle gerçekleştirildiği dikkate alınırsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir. Geometrilere örtü kalınlığına, işletme büyüklüğüne ve seçilen açık işletme üretim yöntemine bağlı olarak bozulan bu arazilerin, yeniden düzenlenmesi ve kullanıma sunulması çevresel etki bakımından büyük önem taşımaktadır. Farklı kullanım alternatiflerinin uygulanabileceği bu bölgelerin, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirmesi, ancak jeoteknik yönden duraylı ortam koşullarına sahip olması ile mümkündür.

Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle 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 kaymaları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir. Bu maksatla yapılan çalışmada; önemli risk potansiyeli içeren pasa şev duraysızlıklarının oluşum koşulları, yeni arazi rehabilitasyon yöntemleri ve kullanım alternatifleri tanıtılacaktır.

ABSTRACT Mining, unlike other industries are much connected with its natural environments. In Turkey, since about 90 % of the overall lignite mining has produced by open pit mining technique, the magnitude of the size of these lands that require reclamation are significant. These land fields of which geometries are deformed depending on the overburden thickness, the size of the operation and the mining technique selected directly impact the effectiveness of the reclamation process and in turn proper preparation of the land for public use. These land fields must be stable geotechnically as well as ecologically so that alternative public usages can be managed.

The mining land field soil is often tend to slide and flow due to its structural and stability properties. These sudden changes can reach to high speeds within seconds and often result in massive energy discharges which can cause catastrophic land slides. It is our hope that this work will shed light to understand and predict the risk of slope stability so that these massive land fields can be safely used for alternative public serve.

1 GİRİŞ

Ülkemizdeki toplam linyit üretiminin yaklaşık %90'nın açık işletme üretim yöntemiyle gerçekleştirildiği dikkate alınrsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir (Ünal vd. 1994, Ünver ve Kara, 1994). Gerek işletme güvenliği gerekse çevresel etki değerlendirme (ÇED) bakımından, bozulan bu arazilerin yeniden düzenlenmesi ve toplum yararına kullanıma sunulması yasal bir zorunluluktur. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, başta jeoteknik bakımdan duraylı (stabil) ortam koşullarına sahip olması gerekmektedir (Pierschke ve Boehm, 1996).

Dekapaj malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Bunun en önemli koşulu, boşluk suyu basıncının artmasıyla kayma gerilmesinin azalması ve statik denge durumunu bozacak yeterli büyüklükteki bir iç veya dış kuvvetin şev yüzeyine etkimesidir (Şek. 1). Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev kaymaları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir (Kuyumcu, 2005). Özellikle bu tür kaymaların büyük bir tehlike potansiyeli

içermesi, klasik kayma öncesi belirtiler olarak yorumlanan;

- şev bölgesindeki hareketlerin yavaş yavaş ilerleyerek artması,
- şev'in göbek oluşturmastı,
- şev gerisinde gerilme çatlaklarının oluşması gibi

alışıl gelmiş belirtiler göstermemesi ve ani meydana gelen bir kaymanın zaman diliminin tam olarak tahmin edilememesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, açık işletme sonrası bozulan arazilerin ıslahı ve pasa yığınlarında oluşabilecek kayma riskinin göreceli bir tahmini için, öncelikle şev duraysızlık oluşum koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

2 PASAŞEV DURAYSIZLIK OLUŞUM KOŞULLARI

Kömür açık işletmelerinde muhtemel bir pasa şev duraysızlığının oluşabilmesi,

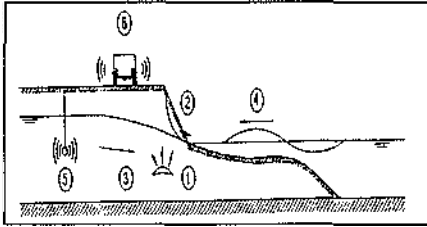


Şekil 1. Koschen-Skado (Almanya) linyit açık işletmeleri şev duraysızlığı

aşağıda belirtilen koşulların açığa çıkmasıyla mümkündür. Bunlar;

- Yığın dane boyut dağılım eğrisinde bir dane büyüklüğünün baskın olarak gözükmesi,
- Yığındaki danelerin büyük bir kısmının iyi yuvarlaklık ve kaygan yüzey özellikleri göstermesi,
- Ortamın gevşek veya çok gevşek yığın halinde bulunması,
- Boşluk ve gözeneklerin tamamen su ile dolu olması,
- İç veya dış etkiyle şev'in kritik denge durumunun bozulması,
- Dinamik kuvvetlerin etki büyüklükleri ve sıklığıdır.

Eğer pasa şev duraysızlığı için yukarıda belirtilen gerekli tüm koşullar oluşmuş ise, yığının denge koşullarını bozacak bir iç veya dış kuvvetin yüzey'e etkimesiyle her an kayma başlayabilir. Kaymayı kolaylaştıran olası etki kuvvetleri ise Şekil 2'de verilmiştir (Förster ve Jennrich, 1999).



Şekil 2. Açık işletmelerde pasa şev duraysızlığına neden olan etki kuvvetleri

- 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,
- ⑥ Yüzeyde oluşturulan dinamik etkiler,
- ⑦ Bölgenin depremsellik özelliği

Burada, sadece dinamik kuvvetlerden ⑤ ve ⑥ etkisi zamansal olarak kontrol edilebilir. Diğer etki faktörlerinin her hangi bir zamanda gerilme değişimine neden olup olmayacağı, bir kayma oluşturup oluşturmayacağı ve ne zaman meydana geleceği henüz belirsizdir. Ancak; şev kayma riski, işletme koşulları ve ortam büyüklüklerine (geometri, dekapaj sistemi, in-situ durum vb.) bağlı olarak, nitel ve ampirik bağıntılar ile göreceli olarak belirlenebilmektedir (Kızıllı ve Köse, 1995, Ulusay, 2001).

3 PASA ŞEV KAYMA ETKİ SAHASININ BELİRLENMESİ

Kayma riski bulunan pasa şev alanlarında, emniyet tedbirleri olarak girişe yasak bölgelerin ve bazı alanların tarım, orman, bayındırlık veya rekreasyon amaçları için kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla olası bir kaymanın şev gerisine doğru etki sahasının yani, riskli bölgenin sayısal esaslara göre boyutlandırılması gerekmektedir. Pek çok etki büyüklüğüne bağlı bu problemin çözümü için pratik düşünceler;

- ✓ Gözlenmiş duraysızlık etki uzunlukları ile muhtemel bir kaymanın değerlendirilmesi,
- ✓ Teorik bir modelleme ile geriye dönük analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıdır.

Buna göre; mevcut etki uzunluğu X_{teorik} (Şek. 3), belirlenen teorik etki uzunluğu ile ilişkilendirilir ve bu ilişki ilgili etki büyüklüklerine bağlı olarak ifade edilebilir.

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) ($^\circ$).

- Normal etki kuvvetleri için; $\delta_1=1.0$
- Geçirgen pasa barajlar ve hızlı yeraltı su seviyesinin yükselmesi halinde; $\delta_1=1.2\sim 1.8$
- Özellikle şiddetli dinamik etkiler için; $\delta_1=2.0\sim 2.4$

(H_{wk}/H_k) oranı saptanmamış alanlar için, yöntemin bir ekstrapolasyonu uygun bulunur.

3.2 Hesaplama Alternatif 2

Şekil 3 ve eşitlik (1)'in dikkate alınması ile muhtemel bir pasa şev kayma etki uzunluğu;

$$X_r = \delta_2 H_k \left[a_2 e^{\frac{1}{2} \left(\frac{H_{wk}}{H_k} \right)} \cdot 2.765 \left(\frac{H_{wk}}{H_k} \right)^{3.27} \frac{1}{2 \tan \beta} \right] \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu yöntemde, (H_{wk}/H_k) oranının belirlenemediği alanlar üzerine bir ekstrapolasyon uygun bulunmaz. δ_2 katsayısı olarak aşağıdaki değerler alınabilir.

- Normal etki kuvvetleri için; $\delta_2 = 1.0$
- Geçirgen pasa barajlar, yeraltı su seviyesinin ani yükselmesi halinde; $\delta_2=1.2\sim 2.5$

Burada özellikle şiddetli dinamik etkilerle oluşmuş kaymalar dikkate alınmadığından, önceki eşitlikler bu durum için kullanılmaz. Her dekapaj malzemesi için, eşitlik (2)'deki parametrelerin laboratuvar deneyleri ile yeniden belirlenmesi gerekmektedir.

Böylece kayma riski taşıyan bölgeler, hesaplama alternatif 1 ve 2 sonuçlarına göre belirlenebilir. Negatif etki uzunluklarının anlamı (Şek. 3'e göre), kayan yüzeyin eğimli şev bölgesinde olduğunu gösterir. Böyle durumlar değerlendirmeye esas teşkil etmediğinden, bunlar için δ değeri kullanılmayabilir. Bu durumda hesaplama daha yüksek su seviyesi koşulu ve şev açısıyla tekrar edilmelidir.

Risk sınırları her defasında gerçek su koşulları oranının (H_{wk}/H_k) ölçümüne göre belirlenir. Bundan dolayı her şev kaymasından sonra mutlaka yeni durum değerlendirmeleri yapmak gerekmektedir (Vogt ve Förster, 1991).

3.3 Arazi Uygulamasına Bir Örnek

Duraylılık sınırının belirlenmesi amacıyla Şekil 6'da örnek bir pasa şev geometrik koşulları ve yükselen yeraltı su seviyesi ölçüm sonuçları verilmektedir. Kritik güvenirlilik sınırının bir tahmini, aşağıda önerilen ampirik bağıntıya göre belirlenebilir.

$$\eta = 0.8 \left(\frac{H_{wk}}{H_k} \right)^{0.430} = 0.8 (0.403 I_D)^{0.430} \left(\frac{1}{\tan \beta} \right)^{0.430} \quad (3)$$

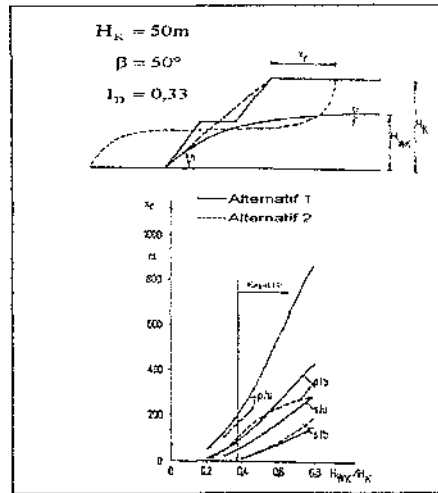
η : Duraylılık (stabilite) sınırı (-),

I_D : Pasa yoğunluk indeksi (-).

Öngörülen örnek durum için;

$$\eta = 0.8 \left(\frac{H_{wk}}{H_k} \right)^{0.430} = 0.24$$

'ten itibaren bir kayma söz konusudur. Bu koşullarda, H_{wk} 'nın 15 metre'ye yükselmesi gerekmektedir. Ayrıca; şev kayma etki uzunluğu (X_r), eşitlik (1)



Şekil 6. Şev kayma etki uzunluğunun (X_r) belirlenmesi için bir uygulama

kullanılarak normal etki kuvvetlerine göre yaklaşık 168,2 metre, şiddetli dinamik kuvvetler etkisinde 403,8 metre olmaktadır. Riskli bölge olarak tanımlanan bu alanlar, ancak jeoteknik bakımdan stabil hale getirilerek kullanıma sunulmalıdır (Delibalta, 2003).

4 ARAZİ REHABİLİTASYON YÖNTEMLERİ VE ÇEVRESEL ÖNLEMLER

Madencilik faaliyetleri sonucu bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve ıslahında temel amaç; bu arazilerin eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirmesidir. Bu ise;

Madencilik sonrası alan kullanım planlaması,

- Alankullanımlanması,doğrultusunda yeniden düzenleme (kazı, döküm, su rejimi kontrolü, üst örtünün selektif değerlendirilmesi vb.),
- İyileştirme (biyolojik reklamasyon),
- İzleme, bakım ve kontrol faaliyetleri ile sağlanabilir.

Alan kullanım planlanması ise; mevcut hukuksal, ekonomik ve zamansal olanaklar çerçevesinde yapılabilir. Ayrıca arazi dönüşüm planlaması ve iyileştirme faaliyetleri, çevre bilimlerini de içeren uygulamalı multidisipliner çalışmaları gerektirmektedir (Akpınar vd., 1993).

Öngörülen arazi kullanım şekli ve saha şartları (işletme koşulları) uygulanacak rehabilitasyon programının seçimini etkiler. Açık işletme sırasında ve sonrasında oluşan üretim çukurları/ boşlukları ve kayma riski taşıyan pasa şev yüzeylerinin rehabilitasyonu için, bir yöntem seçilmesinde mevcut sahasın;

- daha önceden tamamen su ile dolu olması,
- kısmen su ile dolu olması,

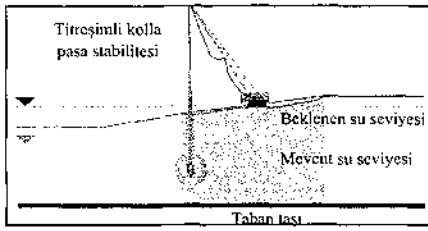
- susuz olması arasında farklılıklar vardır.

Ancak; dekapaj döküm şevlerinin kayma koşullarını belirleyen kriterlerden hareketle, bir kayma riskinin önlenmesi için muhtemel tedbirler öngörülebilir. Bunlar;

- Dekapaj döküm yığın özelliklerini değiştirmek (konsolidasyon ile dayanım özelliklerini arttırmak ve yapısal değişiklikler, Şek. 7),
- Hızlı bir işletme yöntemi ile oluşacak boşluk suyu basınçlarını azaltmak (drenajların yapılması),
- Olumsuz etki kuvvetlerinden sakınmak ve koruyucu olmak,
- Teknolojik planlamada önlemler almak (daha az üretim çukuru ve şev yüzeyine izin vermek),
- Kuvvetli geçirgen, iri daneli veya özel durumlarda bağlayıcı pasa malzemesini nihai şev önüne selektif olarak dökmek,
- Açık işletmenin tamamlanmasından hemen sonra, ycraltı su seviyesi yükselmeden şevlerin kaymaya karşı güvenli olarak boyutlandırılması şeklinde gerçekleştirilebilir (Şek. 8).

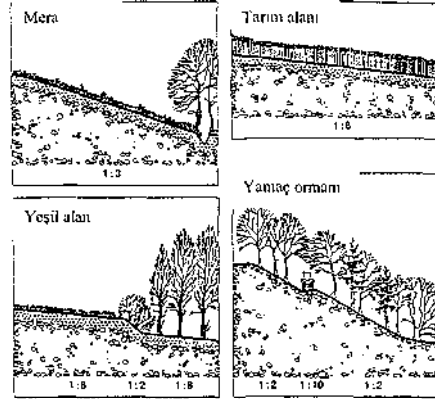


Şekil 7. Patlatmayla dinamik pasa şev stabilitesi



Şekil 8. Titreşimli kolla pasa şev stabilitesi

Her defasında kullanılacak arazi iyileştirmeyöntemi; ilgili sahanın jeolojik, hidrolojik ve zemin mekaniği koşullarına, üretim boşluğunun durumuna ve de öngörülen arazi kullanım planına bağlı olarak seçilmelidir (Çiz. 1). Özellikle ileriki arazi kullanım planı (Biyotop, dinlenme, ulaşım yolları, bayındırlık vs. gibi) yapılacak rehabilitasyonun kapsam ve yoğunluğunu belirler. Genel olarak gerekli arazi rehabilitasyon etkisine yalnız bir yöntem ile değil, bilakis birden fazla yöntemin uygun bir kombinasyonu



Şekil 9. Arazi dönüşüm planı için farklı şev tasarımları

ile erişilebilir (Dähnert ve Vogt., 1997). Aynı zamanda; bozulan arazinin yeniden düzenlenmesinde güçlü bir peyzaj görünümüne ulaşmak kadar, buradan ekonomik olarak yararlanmakta hedeflenmelidir (Şek. 9). Bu maksatla, arazi geri dönüşüm çalışmaları;

Çizelge 1. Arazi rehabilitasyon yöntemlerin kullanılabilirliği

Yöntemler	Uygulanabilirlik			
	Şev stabilitesinde yeraltı su seviyesinin yükselmesinden		İmar alanı hazırlanması yeraltı su seviyesinin yükselmesinden	
	Önce	Sonra	Önce	Sonra
Sellektif döküm	+ o	-	+	-
Statik sıkıştırma	+ ! o	-	+ ! o	-
Vibrasyon silindiri	+ ! o	-	+ ! o	+ !
Karıştırıcı plaka	-	-	-	-
Derin titreşimli karıştırıcı (RDV)	+ !	X	+ !	+ !
Vibro flotasyon	-	X	+ !	+ !
Dinamik sıkıştırma (DYNIV)	-	-	-	+
Şok etki sıkıştırması	+ o	-	+	+

Sembollerin anlamı : - : Yöntem uygun değildir, + : Yöntem sınırlama olmadan kullanılabilir, X : Yöntem sadece kayma eğiliminde malzeme bulunmuyorsa kullanılabilir, ! : Yöntem yüksek maliyeti nedeniyle sadece özel durumlarda kullanılabilir, o : Pasa döküm yağm özelliklerine göre geçerlidir.

Çizelge 2. Teknolojik sürecin arazi rehabilitasyonu üzerine etkileri

Teknolojik Süreç			Rehabilitasyon Değerlendirmeleri			
Üretim	Nakliyat	Döküm	Selektif		Yığın Formu	Röliyef Şekli
			Üretim	Döküm		
Döner keççeli ekskavatör	Nakil köprüleri		+	0	-	0
	Dökücü		+	0	0	0
	Bant/Demiryolu	Dökücü	+	+	+	+
	Demiryolu	Grayder	+	+	+	0
	Demiryolu	Hidrolik	+	-	0	-
Zincirli ekskavatör	Nakil Köprüstü		0	0	-	0
	Bant/Demiryolu	Dökücü	0	+	+	+
	Demiryolu	Grayder	0	+	+	0
	Demiryolu	Hidrolik	0	-	0	-
Draglayn	Demiryolu	Grayder	+	+	+	0
	Kamyon		+	+	+	+

- Ziraat (tarım, bahçe, mera vs.),
- Orman (ticari ve ticari olmayan),
- Rekreasyon (eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, halka açık alanlar vs. Şek.10),
- Su kullanımı (balıkçılık, toplumsal ihtiyaçlar için),
- Bayındırlık ve inşaat (hafif endüstriyel binalar, konut ve hizmet binaları, yol vs.),
- Yaban hayatı (biyotop, doğal koruma alanları vb.) gibi amaçlar için kullanılabilir (Dingethal vd., 1985, Köse vd., 1993).

Yukarıda verilen açıklamalardan hareketle, açık işletme sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi bakımından teknolojik süreçte kullanılan ekskavatörler, nakliyat araçları ve dökücüler (Çiz. 2). uygulanacak arazi rehabilitasyon yöntemini geniş ölçüde etkileyebilmektedir (Derbenstedt, 1996, Brauer, 1997).



Şekil 10. Dinlenme ve doğal çevre için açık işletme sonrası arazi rehabilitasyon uygulaması (Almanya)

Bu nedenle bir açık işletme nakliyat sisteminin seçimi ve ekipman planlamasında, madencilik sonrası arazilerin yeni kullanım şekli ve dönüşüm planları da göz önünde tutulmalıdır.

Madencilik faaliyetleri sonrası bozulan arazilerin rehabilitasyonu için gerekli ekonomik göstergeler ise aşağıda kısaca verilmektedir. Örtü kömür oranı = 8:1 ve her 1000 ton üretim için 0,2 hektarlık arazinin bozulduğu bir açık işletmede.

iyileştirme maliyetinin 0,32 ABD \$/ ton veya toplam maliyetin %7,6'sı olduğunu göstermektedir (Ünal vd., 1992). Ayrıca, Doğu Almanya linyit ocaklarının ıslahı projesi ile 7,5 milyar € harcanarak 100.000 hektardan fazla alan tekrar kullanılabilir hale getirilip çevreye entegre edilmektedir. Devam eden çalışmalar için tahmini ihtiyaç ise 1,5 milyar € civarında bildirilmektedir (Kuyumcu, 2005). Bu maliyetler ülkemizde TKİ-GELİ Muğla bölgesi için ortalama 58,5 TL/hektar gibi çok düşüktür (Bozoğlan, 1997, Delibalta, 2003). Çünkü arazi rehabilitasyonu olarak ülkemizde, genellikle ilgili sahalarda sadece teraslama ve ağaçlandırma faaliyetleri yapılmaktadır.

5 SONUÇLAR

Kömür açık işletmelerinde, gerek üretim gerekse dekapaj faaliyetleri sırasında ve sonrasında pek çok üretim çukurları/ boşlukları ve şev yüzeyleri oluşmaktadır. Geometrilere; örtü kahlılığına, işletme büyüklüğüne ve seçilen açık işletme teknolojisine bağlı olarak bozulan bu arazilerin yeniden düzenlenerek kullanıma sunulması, çevresel etki bakımından büyük önem taşımaktadır. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, başta jeoteknik bakımdan stabil ortam koşullarına sahip olması gerekmektedir.

Dekapaj malzemesinin gevşek yapısı ve oluşum özellikleri nedeniyle, önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev kaymaları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir. Bu nedenle, pasa yığınlarında oluşabilecek bir kayma riskinin sayısal esaslara göre boyutlandırılması gerekmekte ve

bu iki farklı hesaplama alternatifi ile tanıtılmıştır.

Madencilik faaliyetleri sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve kayma riski taşıyan pasa şev yüzeylerinin stabilitesi için, çeşitli arazi rehabilitasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Genel olarak gerekli arazi rehabilitasyon etkisine yalnız bir yöntem ile değil, bilakis birden fazla yöntemin uygun bir kombinasyonu ile erişilebilmektedir. Ayrıca, üretim çukurunun geometrik boyutu, öngörülen arazi kullanım planlaması ve işletme bölgesindeki jeolojik, hidrolojik, zemin mekaniği koşulları ve de teknolojik süreç, uygulanacak arazi rehabilitasyon yöntemi seçimini etkilemektedir.

Sonuç olarak madencilik faaliyetleri sonrası bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesin de temel amaç; bu arazilerin güzel bir peyzaj görünümü kazanması yanında, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirilmesi olmalıdır. Çok yönlü disiplinler arası çalışmayı gerektiren bu faaliyetler ise, ancak mevcut hukuksal, ekonomik ve zamansal olanaklar ölçüsünde gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, N., Kara, D. ve Ünal, E. (1993), Açık Ocak Madenciligi Sonrası Alan Kullanım Planlaması, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *Türkiye XIII. Madencilik Kongresi*, s.327-340, Ankara
- Bozoğlan, M. (1997), TKİ Kurumu Bünyesindeki Çevresel Önlemler ve Bu Önlemlerin Maliyet Analizi, *TKİ Genel Müdürlüğü*, Ankara
- Brauer, H. (1997), *Handbuch des Umweltschutzes und der*

- Umweltschutztechnik*, TU Berlin, Institut für Verfahrenstechnik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Derbenstedt, C. (1996), Braunkohlenbergbau und Naturschutz, *Braunkohle*, Nr.5, s.517-526, Deutschland
- Delibata, M.S. (2003), *TKİ-GELİ (Muğla) Bölgesinde Dekapaj Döküm Sahasındaki Şev Duraysızlıklarının İncelenmesi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 154 s., İstanbul
- Dähnert, R. ve Vogt, A. (1997), Probleme und Lösungen zur Bodenmechanik im Sanierungsbergbau, *VDI-Berichte 1358*, s.77-97, Deutschland
- Dingethal, F. J., Jürging, P., Kaule, G. ve Weinzerl, W. (1985), *Kiesgrube und Landschaft*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Förster, W. ve Gudehus, G. (1998), Beurteilung der setzungsfießgefahr und schutz von kippen gegen setzungsfießen, *TU Bergakademie Freiberg*, s.135, Freiberg
- Förster, W. ve Jennrich, C. (1999), Sanierung und Sicherung Setzungsfießgefährdeter Kippen und Kippenböschungen, *TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik Abteilung Bodenmechanik, Teilprojekt 4*, s.36, Freiberg
- Förster, W. ve Walde, M. (1994), Überlegungen zur Sanierung von Tagebau-Restlöchern an Beispielen, *Vortrag zum Tagebautechnischen Kolloquium*, s.24, Freiberg
- Kızıl, M.S. ve Köse, H. (1995), *Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 254, 114 s., İzmir
- Köse, H., Şimsir, F. ve Günay, A. (1993), *Açık Maden İşletmelerinde Rekültivasyon ve Regreasyon*, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 236, İzmir
- Kuyumcu, M. (2005), Doğu Almanya Linyit Ocakları İslahı ve Çevreye Entegrasyonu, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, s.165-172, Ankara
- Pierschke, K-J. ve Boehm, B. (1996), Geotechnische und Wasserwirtschaftliche Aspekte bei der Restseegestaltung im Rheinsichen Braunkohlenrevier, *Braunkohle*, Nr.6, s.647-653, Deutschland
- Ulusay, R. (2001), *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 38, 385 s., Ankara
- Ünal, E., Kara, D. ve Aydoğan, O. (1994), *Türkiye Madencilik Endüstrisinde İleri Teknoloji Uygulamaları*, Bölüm V, TÜBİTAK MAG-987/ YBAG-0028, 165 s., Ankara
- Ünal, E., Kara, D. ve Vatan, B. (1992), Açık Ocak Kömür Madenciligi Sırasında Bozulan İşletme Sahalarının Yeniden Düzenlenmesi ve İyileştirilmesi, *Madencilik*, Cilt: XXXI, Sayı:1, s.5-16, Ankara
- Ünver, Ö. ve Kara, D. (1994), Türkiye'de Kömür Madenciligi ve Çevre, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *Madencilik*, Cilt: XXXIII, Sayı:2, s.3-9, Ankara
- Vogt, A. ve Förster, W. (1991), Abschätzung der Rückgriffsweite von Setzungsfießbrutschungen, *Neue Bergbautechnik*, 21.Jg., Heft:10/11, s.366-371, Deutschland

Cevher Hazırlama

Linyit Yakıtlı Termik Santrallarda Kömür Yıkama, Harmanlama Ve Homojenizasyon Uygulaması

Application of Coal Washing, Blending and Homegenization in Lignite Fueled Thermal-Plant

C. Taştekin

Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) Genel Müdürlüğü , Ankara

ÖZET Ülkemizdeki kamu tarafından işletilen linyit yakıtlı termik santrallerin tasarımında kullanılan kömür özellikleri ile işletme döneminde santrale verilen kömür özellikleri genellikle birbirinden farklıdır. Aşin-Elbistan Termik Santrali hariç olmak üzere bu farklılık; kömür ısıl değerinde düşme, kül ve nem değerlerinde yükselme şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni, sondajlardan alınan oluk numuneleri üzerinde yapılan analizlerle belirlenen kömür özelliklerinin, üretime geçildikten sonra sağlanamamasıdır.

Süre gelen bu durum, termik santrallarda üretim kayıplarına, işletme şartlarının bozulmasına, erken yıpranmalara, arızalara, teknik, ekonomik ve çevresel etkiler bakımından olumsuz koşulların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuz şartların ortadan kaldırılması ve termik santralin tasarımına uygun kömür verilebilmesi için kömür üretimi evresinde ve/veya üretim sonrasında yapılacak işlemler vardır.

Bu çalışmada; Termik santrale verilecek kömür kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, EÜAŞ termik santrallerinde “Kömür yıkama, harmanlama ve homojenizasyon” yapmak amacıyla yürütülen test çalışmaları ve pilot uygulamalar hakkında detaylı bilgi verilmekte ve bir proses önerilmektedir.

ABSTRACT In Turkey, the main problem of the state-owned, lignite-consuming plants is usually coal characteristics. Namely, the coal characteristics that are actually supplied to the power plant are found different than the ones used in the design of the power plant.

Except Aşin-Elbistan Thermal Plant, this difference occurs as a decrease in the calorific values and an increase as in ash and moisture values. The reason for that change is not being able to provide the coal quality determined by the drilling in the exploration stage with the coal characteristics during production.

This ongoing situation causes production loss, deterioration of the plant's condition, early wearing-out of the plant, breakdowns and some technical, economical and

environmental negative consequences. For sure, there are some procedures can be applied before and during production and/or after production, to eliminate these negative consequences and to provide coal having appropriate characteristics for the plant.

In this study, detailed information of the pilot applications and analysis about the "Coal lavation, homogenization and blending" that are carried out in the power plants operated by E.Ü.A.Ş with the aim of improving the coal quality given to the power plant.

1 ÜLKEMİZDEKİ LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRALLARIN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDEKİ YERİ

Ülkemizdeki elektrik üretim tesislerinin toplam kurulu gücü, 2008 sonu itibarıyla 41.802,4 MW 'tır. Bu kapasite içinde 1651 MW İthal kömür, 335 MW taşkömürü ve 8081 MW linyitle çalışan termik santrallar vardır. Kamu tarafından işletilen linyit yakıtlı termik santral kurulu gücü 7461 MW'tır.

Linyit yakıtlı termik santralların (kamu+özel) toplam kurulu güç içindeki payı % 19,3 'tür.

2008 yılında ülkemizde üretilen toplam 198.598 Milyon kWh elektrik enerjisinin 41.939 Milyon kWh'i (% 21) linyit yakıtlı termik santrallerden üretilmiştir. (TEİAŞ,2008)

Kamu'nun elinde, toplam 37 üniteden oluşan 11 adet linyit yakıtlı termik

Yıllar	Kurulu güç (MW)	Linyit tüketimi (Bin ton)
2002	5701	37.160
2003	5701	37.145
2004	5701	19.100
2005	5701	24.140
2006	5701	41.040
2007	7461	55.230
2008	7461	60.255

Çizelge 1. Kamu'nun işlettiği linyit yakıtlı termik santralların kömür tüketimleri (EÜAŞ,2008)

santral vardır. Bu santralların 2002-2008 dönemindeki kurulu güç ve kömür tüketimleri Çizelge 1'de verilmiştir

2 LİNYİT YAKITLI TERMİK SANTRALLAR İÇİN YAKIT ÜRETME STRATEJİSİ

Termik santrallar; kullanacakları kömür rezervinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre tasarlanır ve kurulurlar.

Ancak, santralin tasarımı aşamasında kullanılan kömür özellikleri ile işletme döneminde santrala verilen kömür özelliklerinin birbirinden farklı olması, yani kömür ısı değerinin düşmesi, kül ve nem değerlerinin yükselmesi; termik santrallarda üretim kayıplarına, işletme şartlarının bozulmasına, erken yıpranmalara, arızalara, teknik, ekonomik ve çevresel etkiler bakımından olumsuz koşulların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. (Esin,J. 1994)

Termik santrala yakıt sağlayan bir linyit madeni işletmeciliğinde en önemli hedef eşit miktarda (randıman düzenliliği) ve sabit kaliteli (homojenize) yakıt üretmektir.

Eğer, herhangi bir kömür katmanında, kömür kalitesi yatay ve düşey yönde değişiyorsa, gerek kömür kalitesinde, gerekse randıman düzenliliğindeki değişkenliğin etkileri santral kömür park sahası yardımıyla azaltılır.

Santrala verilen kömür özelliklerinin, günlük bazda ortalama olarak sağlanmış olması, gün içinde meydana gelen kalori dalgalanmalarının sebep olduğu elektrik üretim kayıplarını ortadan kaldırmaz.

Gün içinde, kalori düşüklüğü nedeniyle meydana gelen enerji kaybının, hemen kömür kalorisini yükseltilecek geri kazanılması mümkün değildir.

Ülkemiz linyitlerindeki kalite değişkenliği bilindiği için, termik santrallarımızın yanında, santrala verilen kömür kalitesindeki ani dalgalanmaları asgariye indirmek amacıyla, harmanlama / homojenizasyon işleminin yapılabilmesine ve üretimde oluşabilecek kesintilerin karşılanmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmış büyük kapasiteli "kömür stok sahaları" kurulmuştur.

Harmanlama; farklı kalitedeki kömürlerin sistematik bir şekilde karıştırılarak, santralin istediği kömür kalitesini elde etme işlemi, Homojenizasyon ise, harmanlama yoluyla oluşturulan karışımın her noktasında aynı kömür özelliklerinin olması halidir. Harmanlama işlemi ne kadar ileri düzeye götürülürse o kadar iyi

homojenize edilmiş kömür elde edilir.

Bu nedenle bu iki kavram birlikte kullanılır ve birbirini tamamlar. (Taştekin,C. 2002)

3 KÖMÜR KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Ülkemizdeki linyit yakıtlı termik santrallarda kullanılan kömürün çok büyük bir kısmı açık işletme yöntemi ile üretilmektedir.

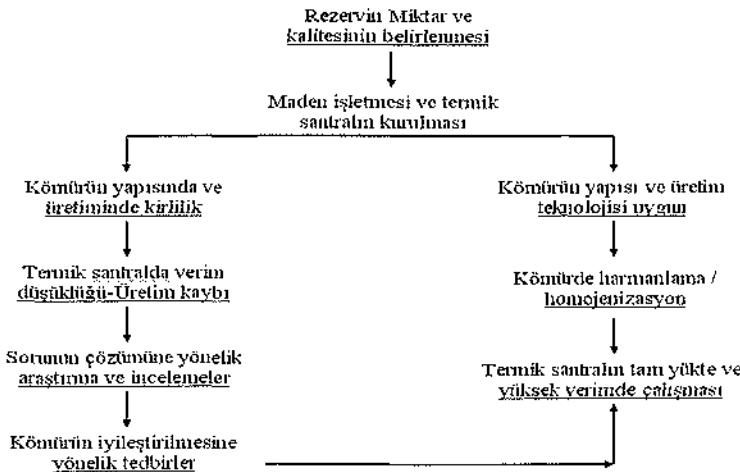
Mevcut termik santrallarımızın kuruluş ve işletme döneminde genel olarak yaşanan süreç, Şekil 1'de verilmiştir.

Kömür iyileştirme çalışmalarını iki evrede yapmak mümkündür.

3.1 Üretim Evresinde Yapılacak İşlemler

Tavan ve taban formasyonları ile ara kesmeler, üretim esnasında kömüre karıştığı için, kömür kirlenir. Bu kirlenmenin asgariye indirilerek temiz kömür üretilebilmesi için kömür, seçimli madencilik yöntemi ile üretilmeli

üretilen bu kömür, santralin kömür stok sahasında harmanlanarak santrala verilmelidir. Özellikle açık işletmelerde



Şekil 1. Mevcut termik santrallarımızda kuruluş ve işletme döneminde yaşanan süreç

kullanılan madencilik ekipmanının; kapasite, kazı şekli, boyutları ve kazı geometrisi açısından, seçimli madencilik uygulaması için uygun olması gerekir. Eğer üretimde kullanılan makine-ekipman seçimli kazı yapabilecek özelliklerde değilse ilave yatırımlar gerekir.

3.2 Üretim Sonrası Yapılacak İşlemler

Üretilerek ocak dışına çıkarılmış olan kömür, bir kribraj veya kömür yıkama tesisinden geçirilerek kalitesi artırılabilir.

Bu çalışmada santral tasarımına uygun kömür elde etmek için geliştirilen "Kömür yıkama, harmanlama ve homojenizasyon" uygulaması ile ilgili bilgiler verilecektir.

4 TERMİK SANTRALLARDA KÖMÜR YIKAMA HARMANLAMA VE HOMOJENİZASYON UYGULAMASI

4.1 Kömür Harmanlama ve Homojenizasyon Metodolojisi

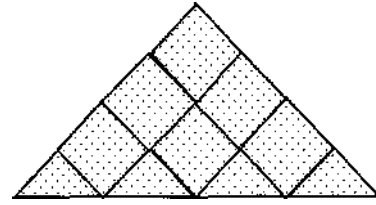
Termik santral verimini etkileyen en önemli uygulamalardan biri de kömür harmanlama yöntemleridir. Termik santral kömür stok sahasına nakledilen kömürler, amaca uygun olarak üç ayrı yöntemle stoklanabilirler.

(Anıl,M, Ural,S.,Onur,A.1994)

4.1.1 Windrow yöntemi

Bu yöntemde raylar üzerinde hareket eden stoklayıcı makine yer seviyesinden başlayarak sıralar halinde, münavebeli olarak ve dökücü kolunun yatay hareket açısını değiştirerek yan yana sıralar halinde ve bunker boyunca döküm yapar.

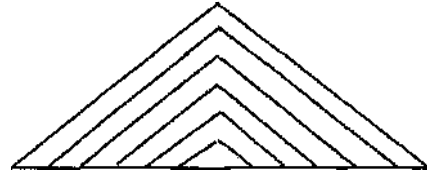
Bu yöntem özellikle, dönerkepçeli stoktan alıcı makinelerin kullanıldığı stok sahalarında başarı ile uygulanmaktadır. En önemli avantajı harmanlama işleminin linyit parça boyutundan etkilenmemesidir.



Şekil 2. Windrow stoklama yöntemi

4.1.2 Chevron yöntemi

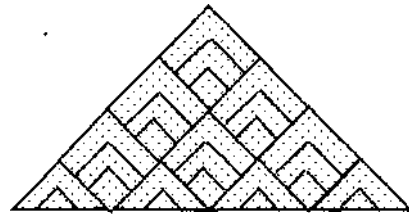
Stoklayıcı makine üçgen şeklinde bir dökümler bunkerin merkezinden başlayarak ve bunker boyunca gidip gelerek döküm yapar. Kömürün bütün bunker boyunca dökülebilmesi için stoklayıcı makine devamlı olarak hareket halinde olmalıdır. Bu işleme stok yüksekliği istenilen seviyeye gelinceye kadar devam edilir. Bu yöntem özellikle parça boyutu 0-10 mm. Arasındaki kömürlerin stoklanması için uygundur.



Şekil 3. Chevron stoklama yöntemi

4.1.3 Chevron-Windrow yöntemi

Chevron yönteminde görülen parça boyutu etkisini azaltabilmek için Chevron ve Windrow yöntemi birlikte uygulanabilir. Bu yöntemde stoklayıcı makine yan yana sıralar halinde döküm yapar. Ancak her üçgen blok kendi içerisinde birbirinden farklı özellikte kömür içermektedir.



Şekil 4. Chevron-Windrow stoklama yöntemi

4.2 Kömür Yıkama, Harmanlama ve Homojenizasyon Uygulamaları

EÜAŞ Genel Müdürlüğüne, termik santrallerin kömür hazırlama ve nakil sistemlerine ilave edilmek üzere bir

“Kömür yıkama, harmanlama ve homojenizasyon tesisi” kurulması amacıyla Orhaneli ve Çayırhan linyitleri üzerinde test ve pilot tesis uygulamaları yapmıştır.

4.2.1 BURSA/Orhaneli Kömürlerinin Yıkama Testi

Bu test çalışmaları, MTA Genel Müdürlüğüne üretim numunesi üzerinde yapılmıştır. Üretim numunelerini, EÜAŞ personeli sahada yaptığı çalışmalar ile

standartlara uygun şekilde almıştır.

Orhaneli kömüründen alınan üretim numunesinin tam analiz sonuçları Çizelge 2’de, elek analizi sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Tablodan görüldüğü gibi, Orhaneli kömürünün % 90,3’ü, -30+0,5 mm. fraksiyonunda toplanmıştır.

Yüzme-batma deneyleri öncesinde yapılan testlerde, linyitin yeterli parça sağlamlığında olduğu tespit edilmiştir. Yüzme-batma deneyleri -30+0,5 mm. fraksiyonu üzerinde yapılmıştır. Dency sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir. (MTA, 1998)

Çizelge 2. Orhaneli tüvenan kömür analizi

Analizler	Orj.	Kuru baz
Nem (%)	23,49	-
Kül (%)	36,62	47,86
Uçucu Madde (%)	26,79	35,02
Sabit Karbon (%)	13,10	17,12
Yanar kükürt (%)	0,38	0,49
Toplam kükürt (%)	1,16	1,51
AİD (Kcal/Kg)	1723	2431

Çizelge 3. Orhaneli linyitin elek analiz sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Miktar (%)
-30 + 19,0	10,7
-19,0 + 11,2	9,2
-11,2 + 5,6	16,1
-5,6 + 1,25	37,7
-1,25 + 0,5	16,6
-0,5	9,7
Toplam	100,0

Çizelge 4. Orhaneli linyitleri yüzme-batma deney sonuçları

Yoğ. aralığı	Yoğunluk aralığındaki malzeme			Toplam yüzen			Toplam batan			±0,1 Yoğ. Malz. %
	Miktar %M	Kül %K	M x K	ΣM_I	$\Sigma M \times K_I$	$\frac{\Sigma M \times K_I}{\Sigma M_I}$	ΣM_I	$\Sigma M \times K_I$	$\frac{\Sigma M \times K_I}{\Sigma M_I}$	
<1,5	41,3	12,3	508	41,3	508,0	12,3	100,0	4386,8	43,9	-
1,5-1,6	3,6	26,9	96,8	44,9	604,8	13,5	58,7	3878,9	66,1	4,8
1,6-1,7	1,2	41,1	49,3	46,1	654,2	14,2	55,1	3782,0	68,6	2,8
1,7-1,8	1,6	48,5	77,6	47,7	731,8	15,3	53,9	3732,7	69,3	3,8
1,8-1,9	2,2	53,3	117,3	49,9	849,0	17,0	52,3	3655,1	69,9	4,5
1,9-2,0	2,3	64,7	148,8	52,2	997,8	19,1	50,1	3537,8	70,6	-
>2,0	47,8	70,9	3389	100	4386,8	43,9	47,8	3389,0	70,9	-

Yüzme-batma fraksiyonlarının tam analiz sonuçları, kül arttıkça kalori değerinin düştüğünü göstermiştir. Kül ile kalori arasında bir ilişkinin var olup olmadığı doğrusal ilişki hesaplamaları yapılarak

araştırılmıştır.

Bu hesaplamalarda; Orhaneli Linyiti için;

$Y=6034,7 - 80,5 X$, [$r=0,9865$] eşitliği bulunmuştur.

numuneleri üzerinde 3 ayrı deney yapılmış olup, Deney-3'ün sonuçları çizelge 6'da verilmiştir

Yapılan 3 deneyde de, şiste kömür kaçağı olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, termik santral yakıtı elde etmek için nasıl bir proses oluşturulması gerektiği konusu incelenmiştir.

Tüvenan kömürün kalitesini düşüren kirlenmenin iki neden vardır.

-Yapısal nedenler ve

-Üretim esnasında kömürün kirlenmesi.

Bu güne kadar yapılan araştırma, inceleme ve çeşitli test çalışmaları neticesinde; gerek kömürün oluşumu esnasında (yapısal) gerekse kömürün üretimi esnasında kömüre karışarak kalitenin bozulmasına yol açan inorganik maddelerin sadece bir kısmının bir lavvar tesisi yardımıyla kömürden uzaklaştırılması halinde termik

santralin istediği kömürün elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Ülkemizdeki termik Santraller düşük kaliteli kömürleri olduğu şekliyle tüketmek için kurulmuşlardır.

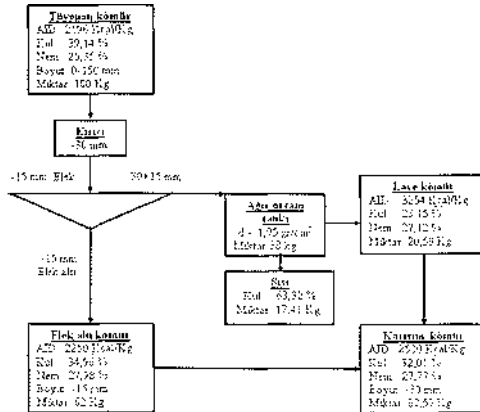
Kömür yıkama yöntemiyle kömür kalitesinin iyileştirilmesi ancak, ocaktan üretilen kömür kalitesinin yeterli olmadığı durumlarda son çare olarak başvurulması gereken bir yöntemdir. Yıkamada sadece iri boyuttaki kömürler yıkanmalıdır. İnce boyuttaki kömür iri boyuttaki yıkanmış temiz kömüre karıştırılarak harmanlama / homojenizasyon yapılmalı ve santrale verilmelidir.

Bu noktadan hareketle önerilen proses, Yıkama ve Homojenizasyon tesisi şeklinde dizayn edilmiştir. Orhaneli linyitlerinin yıkama sonuçları ve Çayırhan Linyitleri için kurulan pilot lavvar tesisi Deney-3 sonuçları dikkate alınarak geliştirilen proses Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Deney 3'ün yıkama sonuçları

Ürün	Miktar		Isıl Değer Kcal/Kg.	Nem %	Kül %
	Kg.	%			
Tüvenan kömür	126.920	-	2196	25,35	39,14
0-15 mm. Lavvar elek altı	78.690	62	2250	27,98	34,96
15-30 mm. Lave ürün	26.130	20,59	3254	27,12	23,15
0-30 mm. Elek altı + Lave ürün karışımı	104.820	82,59	2500	27,77	32,01
Şist	22.100	17,41	-	12,73	63,32

PROSES AKIM ŞEMASI



Şekil 6. Yıkama ve homojenizasyon proses şeması

5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yukarıda verilen proses oluşturulurken, şiste kömür kaçağının olmaması temel hareket noktası olmuştur. Bunu sağlamak için, özellikle bağlı tanelerin fazla olduğu kömürlerde, yıkamanın yüksek yoğunluklarda (1,75- 1,90 gr/cm³) yapılması önerilmektedir.

Bu süreçte sisteme giren tüvenan kömürdeki enerji, kuru bazda 240.063 Kcal sistemden çıkan karışım kömürdeki enerji ise 205.337 Kcal (% 85,53) olarak hesaplanmıştır.

Bu süreçteki Yanabilir Verim (kt):

$$\left[\frac{(100-44,32)}{(100-52,43)} \right] \times 82,59 = \% 96,67$$
 olmaktadır. Bu değerler şiste kömür kaçağı olmadığını göstermektedir. Bu süreçteki yıkama randımanı % 82,59 dur. Gözle görüldüğü gibi, üretim esnasında kömüre karışan inorganik maddelerin sadece bir kısmının kömürden uzaklaştırılması halinde, yüksek verimle, santral tasarımına uygun kömür elde etmek mümkündür.

Tüvenan kömür belli bir kalitede geldiği sürece, bu süreçten çıkan temiz kömür ve elek altı kömür proses çıkışından itibaren karıştırılarak doğrudan santral kömür park sahasında stoklanması halinde homojenize edilmiş karışım kömür elde edilebilir.

Tüvenan kömürde aşırı dalgalanmalar olduğu zaman ise temiz kömür ve elek altı kömür karışımının harmanlama / Homojenizasyon metodolojisine uygun şekilde santral kömür park sahasında stoklanarak istenen netice elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Anıl, M., Ural, S., Onur, A.H. 1994 Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 15.Yıl Sempozyumu "Atşin-Elbistan Termik Santralında Kömür Harmanlama Çalışmaları" Adana
- Esin, J. 1994 2000'li Yıllara Doğru

Linyit Sempozyumu "Linyite Dayalı Santrallarda Enerji Üretimi ve Çevre" Ankara, S.69-70

<http://www.euas.gov.tr>

MTA Raporu, 1998 Soma ve Orhaneli Kömürlerinin Yıkabilme Özellikleri

Taştekin, C., 1997-1999 "Orhaneli Termik Santral Kömür Kalorisinin Yükseltilmesi Çalışmaları", Bursa

Taştekin, C., Bahadır, E., Öz, Z., Önen, K.S. "Çayırhan Termik santralında Yakıt Olarak Kullanılan TKİ-OAL Kömürünün Pilot Çapta Yapılan Yıkama Deney Sonuçları" Raporu, 1997

Taştekin, C. 2002 "Kömüre Dayalı Termik santrallarda Yakıt Homojenizasyonu" Madencilik Bülteni, Sayı 64, Ankara

<http://www.teias.gov.tr>

Kömür Yıkama Tesislerinde Ağır Ortam Kayıplarının Nedenleri –Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisinin Analizi

Cause of Medium Loss in Coal Washing Plants-Analysis of Eski Çeltek Coal Washing Plants

S. Yüce, İ. Alp, S. Sarı

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

R. Arabacı, H. Karagöz

Eski Çeltek Kömür İşletmesi, Amasya

ÖZET Kömür zenginleştirme tesislerinde yaygın olarak ağır ortam zenginleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Ağır ortam malzemesi olarak ise genellikle manyetit tozları kullanılmaktadır. Bu tesislerde değişen miktarlarda manyetit kayıpları meydana gelmekte ve bu manyetit kayıpları işletme giderlerini önemli derecede artırmaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak kömür yıkama tesislerindeki manyetit kayıplarının olası nedenleri detaylı olarak araştırılarak incelenmiştir. Bu inceleme sonrasında Eski Çeltek Kömür İşletmesinde faaliyet gösteren kömür yıkama tesisindeki manyetit kaybına neden olabilecek problemler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek tartışılmış ve tesisdeki manyetit kaybının azaltılması için gerekli düzenleme ve işlemler ortaya konulmuştur.

ABSTRACT Heavy medium separation is the most common method used in the coal washing plants. Fine magnetite is often used as the material for heavy media. In the plants, a varying amount of magnetite losses occurs and adversely affects the operating costs. In this study, the possible reasons for the magnetite losses in the plant practice were examined in detail. The factors that lead to the magnetite losses in Eski Çeltek Coal Washing Plant were then investigated. The findings were discussed and, the measures to be taken and the process modifications suggested in order to minimise the magnetite losses were presented.

1 GİRİŞ

Ülkemizde enerji üretiminde vazgeçilmez enerji kaynaklarından biri olan kömür; yaygın, emniyetli, güvenilir ve ucuz

olmasından dolayı önemlidir. Kömürün ülkemiz için önemli bir öz kaynak varlığı olması, dışa bağımlılığın azaltılmasında ve enerji güvenliğimizin artırılmasında

daha fazla önem kazanmasına neden olmaktadır (Arslan, 2006).

Kömür gerek yapısı gereği ve gerekse üretim sırasında içine karışan yan kayaçlardan dolayı çoğu durumda yüksek kül ve düşük kalori değerleri nedeniyle ocaktan üretildiği şekilde kullanılamamaktadır. Bu nedenle kömür üretiminde zenginleştirme işlemlerinin uygulanması olması gereken bir uygulama haline gelmiştir (Üzülmüş ve Yeldan, 1990, Arslan, 2004, Kural, 1991).

Kömür zenginleştirmede kuru ve yaş yöntemler kullanılmaktadır (Önal, 1994). Kuru zenginleştirme ayıklama ve akışkan yatak sistemleri ile gerçekleştirilirken yaş zenginleştirmede; jig ve spiral gibi gravite ayırma yöntemleri, flotasyon, manyetik ayırma yöntemi ve ağır ortam ayırma yöntemleri kullanılmaktadır (Arslan, 2006). Bu yöntemler içinden kesin, etkili, ayırma kontrolü kolay ve yüksek kalitede temiz kömür üretiminde başarılı olmasından dolayı ağır ortam ayırma yöntemi diğer yöntemlere tercih edilmektedir. Bu yöntemde su ile ağır bir katının karışımından oluşan bir ortam kullanılmaktadır (Çelik, 2006). Ağır ortam zenginleştirme yönteminde ağır ortam tamburları, tekneleri ve ağır ortam siklonları kullanılmaktadır. Ağır ortam oluşturmak için genellikle uygun özelliklere sahip ve tane boyutu yaklaşık olarak 45 mikronun altında olan manyetit kullanılmaktadır (Çelik, 2006). İşletme giderlerinin azaltılması için kullanılan manyetitin ürünlerden geri kazanılması gerekmektedir. Manyetitin yüksek manyetik alınganlığa sahip olması, ürünlerden yıkandıktan sonra manyetik ayırma yöntemi ile geri kazanılmasını ve tekrar kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Geri kazanım için ürünler bir seri elek üzerinden geçirilerek süzülmemektedir. Ürünler üzerine yapışmış olan manyetit

taneleri ise yıkama eleği üzerinde basınçlı su ile yıkanmaktadır. Bu durumda seyreltmenin yanı sıra ürünlerden oluşan ince malzemeler de manyetitle birlikte elek altına geçmektedir. Yıkama eleği altı bu malzeme manyetik ayırıcılardan geçirilerek temizlenmekte ve katı oranı yükselmektedir. Kazanılan bu manyetit devreye geri beslenmektedir. Yıkama elekleri ve manyetik ayırıcılarda oluşan manyetit kayıpları büyük kapasiteli kömür zenginleştirme tesislerinde işletme giderlerini önemli derecede arttırmaktadır.

Eski Çelttek Kömürü, 3500-5000 kcal/kg'lık ısı değeriyle, Türkiye linyit rezervi'nin %5'lik dilimine girmektedir. Eski Çelttek Kömür Hazırlama Tesisi'nde ortam malzemesi olarak manyetitin kullanıldığı çift yoğunluklu ağır ortam zenginleştirme yöntemi uygulanmaktadır. İşletmede önemli oranlarda manyetit kaçığının olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmada Eski Çelttek Kömür Hazırlama Tesisi'nde uygulanan ağır ortam ayırımında manyetit kaybına neden olabilecek problemler araştırılmıştır. Tesiste kullanılan manyetitin özellikleri incelenerek ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

2 AĞIR ORTAM TESİSLERİNDE MANYETİT KAYIPLARI

Avrupa'daki kömür yıkama tesislerinde manyetit kaybı ince kömür (10-0,6 mm) için 0,15 kg/ton ve iri kömür (+10 mm) için ise 0,05 kg/ton olarak kabul edilmektedir (Mikhail, 1990). Manyetit kayıpları üzerine yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır. Sripriya ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada yıkama suyu, yıkama zamanı, ortamın göreceli yoğunluğu ve cihazın hızının manyetit kaybı üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir.

Dardis (1989), çok ayda tesis üzerinde yaptığı çalışmalar sonunda tüvenan kömür başına manyetit kaybının 0,27-0,90 kg/ton değerlerinde değiştiği belirtmektedir. Bazı çalışmalarda ağır ortam kayıplarının statik ağır ortam ayırıcılarında 0,1-0,2 kg/ton ve dinamik ağır ortam ayırıcılarında 0,3-0,6 kg/ton olarak gerçekleştiği ve toplam ağır ortam kaybının %75'inin manyetik geri kazanım sisteminden kaynaklandığı belirtilmektedir (Çelik, 2006).

Ağır ortam yöntemini uygulayan bir kömür hazırlama tesisinde manyetit kayıpları iki önemli noktada oluşmaktadır (Sripriya vd., 2005);

- süzme ve yıkama sonrasında elde edilen nihai ürünlerde bulunma,
- ortam kazanma prosesinin nihai atığında bulunma.

Bu kayıpların belli başlı nedenleri ise,

- cevher ve ortam taneleri arasındaki çekim gücü ve tanelerin porozitesi nedeniyle yetersiz yıkama,
- manyetik ayırma ve sınıflandırmanın yetersizliği,
- ortamın korozyonu ve aşınması,
- taze ortam ilavesi sırasında fazla yükleme,
- tesis arızası ve duruşlar,
- kullanılan ortam malzemesinin özellikleri

olarak verilmektedir (Sripriya, 2005).

Manyetit kayıplarına etki eden birkaç faktör vardır (Mikhail, 1990). En önemlileri:

- işlem gören kömürün tane boyutu,
- manyetit tane boyutu,
- manyetik ayırmanın etkinliği,
- manyetit kazanım devresinin dizaynıdır.

İşlem gören kömür tane boyutu

küçüldükçe meydana gelen yüzey alanının artışı, yıkamayı zorlaştırmakta ve tanelere tutunarak oluşan manyetit kaybını arttırmaktadır.

İnce boyutlu manyetit ise daha stabil olduğundan ağır ortam etkinliğini geliştirmektedir. Ancak yüksek viskozite göstermekte ve geri kazanımı zor olduğundan kaçaklara neden olmaktadır. Mikhail ve diğerleri (1990) tarafından ağır ortamda kullanılacak manyetit için sahip olması gereken özellikler;

- Tane boyut dağılımı:

54 μm 'dan iri tane oranı en fazla %5,

10 μm 'dan ince tane oranı en fazla %30,

- yoğunluğu: 4,9-5,2 gr/cm^3

- manyetit içeriği: en az %95

- nem içeriği: en fazla %10

olarak sıralanmaktadır. Genel olarak ağır ortam malzemesi olarak kullanılacak manyetit özgül (kütle) manyetik alınganlığı $452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (SI) değerinin üzerindedir (Svoboda, 2004).

Manyetik ayırmanın etkinliğini ayırmanın manyetik alan şiddeti, sabit mıknatıs pozisyonu, besleme miktarı, beslemedeki katı ve manyetit oranı (%) etkilemektedir. Manyetik seperatörler için bazı önemli çalışma parametreleri aşağıda verilmiştir (Mikhail, 1990);

a) sabit mıknatıslı akış yönlü tambur,

b) en fazla 250 g/l besleme,

c) en fazla %16 katı hacim içeriği,

d) tambura 50 mm mesafede en az 750 Gauss şiddetinde manyetik alan,

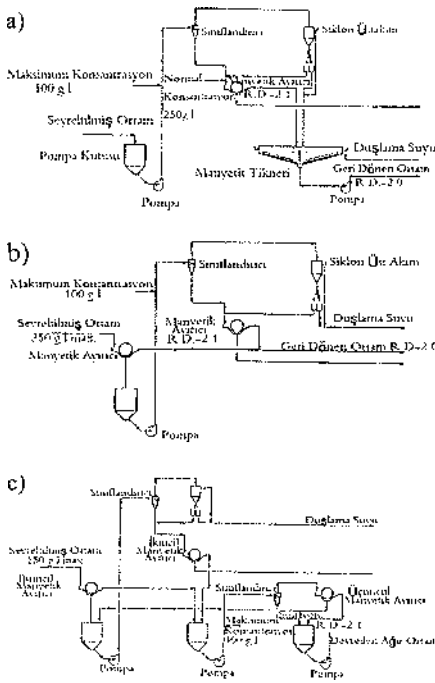
e) kazanılan ortam yoğunluğu: 2,1 gr/cm^3 ,

f) en fazla 0,3 gr/lt manyetit kaybı.

Ağır ortam kazanımında kullanılan devreler çeşitlilik göstermektedir. Ancak literatürde önerilen üç ağır ortam geri kazanım devresi vardır. Etkili ayırım için sulu ortam yoğunluğuna bağlı olarak aşağıdaki devrelerden birisi kullanılması

önerilmektedir (Mikhail, 1990);

- 100 gr/l den az manyetit içeren ortamlar için hidrosiklon kullanılan tek devre manyetik ayırma (Şeki1-a),
- ortamın konsantrasyonu 100 gr/l den yüksek olduğunda ikincil manyetik ayırmadan önce koyulaştırma ile iki aşamalı manyetik ayırma (Şekil 1-b),
- çok düşük yoğunluklu ortamlar bir manyetik seperatöre beslendiğinde ikinci ve üçüncü manyetik seperatörden önce tikner kullanılan üçlü manyetik ayırma (Şekil 1-c)



Şekil 1. Manyetit kazanım devreleri: a) Tek aşamalı, b) iki aşamalı c) üç aşamalı manyetit kazanımı devre düzenlemeleri.

3 MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Eski Çelték Zenginleştirme Tesisi

Amasya İl Özel İdaresine bağlı olarak çalışan Eski Çelték Kömür Zenginleştirme Tesisinde tüvenan kömür +150 mm üstü

kırma işlemine tabi tutulduktan sonra yaş olarak sınıflandırılmakta ve ince boyutlu malzeme (-0,5mm) ayrılmaktadır. Zenginleştirme iri ve orta boyutlarda ağır ortam ayırması, ince boyutlarda ise spiral ayırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Ağır ortam ayırmasında ağır ortam tamburu, ağır ortam teknesi (Drewboy) ve ağır ortam siklonları olmak üzere üç farklı ağır ortam ayırma cihazı kullanılmaktadır. Tesiste ağır ortam malzemesi olarak Divriği (Sivas) manyetiti kullanılmaktadır.

Tesiste iri ayırmada 1,80-1,85 ve 1,45-1,50 gr/cm³ yoğunlukları olmak üzere çift yoğunluklu ayırma uygulanmaktadır. Sınıflandırma sonrasında üretilen +18 mm boyutundaki malzeme 1,8-1,85 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam tambur ayırıcısına beslenmektedir. Ağır ortam tamburundan elde edilen yüzen ürün 1,45-1,50 gr/cm³ yoğunluğundaki Drewboy ağır ortam teknesinde ikincil zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır.

-18+10 mm boyutundaki malzeme ise 1,8-1,85 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam siklonuna beslenmektedir. Yüzen ürün 1,65-1,70 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam siklonunda ikincil zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Her bir ağır ortam ayırıcısından gelen yüzen ve batan ürünler süzme ve yıkama eleklerinden geçirildikten sonra ürün olarak alınmaktadır. Süzme eleğinden süzülen ağır ortam devreye geri beslenirken yıkama eleğinden süzülen seyrelmiş ortam ise manyetik seperatörle kazanıldıktan sonra devreye geri beslenmektedir. Tesis maliyetleri incelendiğinde önemli miktarlarda manyetitin kaybedildiği belirlenmiştir. Tesiste kullanılan cihazların özellikleri Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Tesiste bulunan ağır ortam devrelerini oluşturan cihazlar ve özellikleri

CİHAZ	ÖZELLİKLER
Ağır ortam tamburu	Ayırma yoğ: 1,80-1,85 gr/cm ³ , Ø: 3 m – L: 4 m, 1 dev/dk
Ağır ortam teknesi	Ayırma yoğ: 1,45-1,50 gr/cm ³
Ağır ortam siklonu	1,80 - 1,85 gr/cm ³ , gövde Ø: 630 mm, giriş Ø: 200 mm, üst çıkış: Ø 200 mm, alt çıkış: Ø 170 mm, eğim: 15°
Manyetik Seperatör	Ø: 0,76 m, L: 1,20 m, 2800 Gauss
Süzme Eleği	Boyut : 1,20 x 3,60 m, Elek açıklığı: 0,5 x 10 mm (nxL)
Yıkama Eleği	Boyut: 1,20 x 3,60 m, Elek açıklığı: 0,5 x 10 mm (nxL)

3.2 Malzeme ve Yöntem

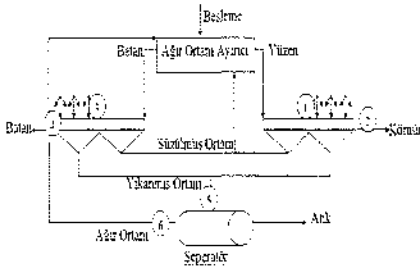
Yapılan çalışmalar üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tesiste kullanılan manyetitin özellikleri araştırılarak kullanım için gerekli özellikleri taşıyıp taşımadığı araştırılmıştır. Bunun için tesiste kullanılan manyetitten yeterli miktarda örnek alınmıştır. Örnek içerisindeki mineral dağılımını belirlemek için yaş kimyasal analiz ve minerolojik incelemeler X-ışınları kırınımı (XRD) ve mikroskopik incelemeler yardımıyla yapılmıştır. XRD incelemeleri Rigaku Geigerflex cihazı ile (2θ=5-65°) gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik incelemeler ise; alınan örneklerden parlak kesitlerin hazırlanması, Leitz Wetzlar Ortholux yazıtmalı cevher mikroskobu ile incelenmesi ve Nikon Coolpix 5400 (5MP, NCD lens) dijital fotoğraf makinesi ile fotoğraflanması ile gerçekleştirilmiştir.

Tane boyut dağılımı Malvern Mastersizer(HidroMU2000)kullanılarak belirlenmiştir. Manyetizasyon ve demanyetizasyon sonrası tane boyutu dağılımları incelenerek değişimler araştırılmıştır. De-manyetize işlemi demanyetize bobini ile gerçekleştirilmiştir. Ağır ortam malzemesinin manyetik duyarlılığı Bartington MS2B cihazı ile belirlenmiştir. Örneğin kullanıldığı durumda, dc-manyetize edildikten sonra ve manyetikleştirildikten sonraki çökme davranışı çökme test metodu ile 1,68

gr/cm³ yoğunluklu ortam için yapılmış ve zamana göre çökme grafikleri çizilerek serbest çökme hızları hesaplanmıştır. TSE 10450 (1992)' ye göre; yoğunluk tayini, nem ve toplam demir tayini yapılmıştır. Çeşitli yoğunluktaki ağır ortam malzemesinin viskozitesi Brookfield DV-II Ultra Viskozimetre cihazı ile 17,6°C de V-72 karıştırıcı kullanılarak ölçülmüştür.

İkinci aşamada; ağır ortam ayırması sonrası süzme ve yıkama işlemlerinin performansı araştırılarak yüzen ve batan ürünlerle manyetit kaybının miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için her bir ağır ortam ayırıcısının (tambur ve siklon) yüzen ve batan ürünlere ait yıkama/süzme eleklerinden düşleme öncesi ve düşleme sonrasında örnekler toplanmıştır (Şekil 2). Alınan örneklerin su içerisinde yıkanması, manyetik ayırma yoluyla ayrılması sonrasında her bir aşama için manyetit miktarları belirlenmiştir. Son olarak manyetik seperatörlerin çalışma performanslarını değerlendirmek için seperatör beslemesi ve konsantresinden örnekler alınmıştır.

Bu örneklerin katı içerikleri ve manyetit içerikleri belirlenerek seperatörlerin ayırma etkinlikleri ve sebep oldukları manyetit kayıpları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu aşamada manyetitin geri kazanımında uygulanan devrenin tasarımı literatür verileriyle tekrar gözden geçirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Ağır ortam devresi örnek noktaları

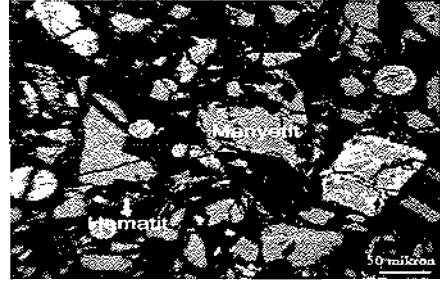
4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kullanılan Manyetit Özelliği

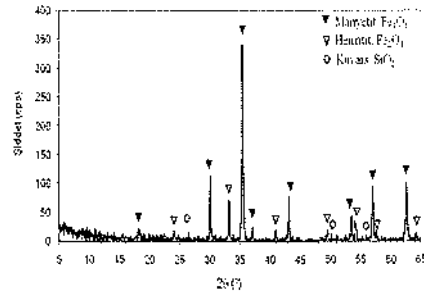
Tesiste kullanılan ağır ortam malzemesi %89,64 Fe_2O_3 , %9,11 SiO_2 ve %1,32 CaO içermektedir (Çizelge 2). Mikroskobik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde manyetit tanelerinin çoğunlukla bulunduğu ancak az miktarda hematit tanelerinin de bulunduğu belirlenmiştir. Kuvars taneleri nadir olarak serbest olarak gözlemlenmiştir (Şekil 3). XRD sonuçları incelendiğinde malzemenin büyük oranda manyetit, az miktarda hematit ve çok az miktarda kuvarstan oluştuğu görülmektedir (Şekil 4). Bu sonuçlar analiz değerlerini ve mikroskop tanımlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 2. Ağır ortam malzemesinin yaş kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	%
Fe_2O_3	89,64
SiO_2	9,11
Al_2O_3	<0,25
CaO	1,32
MgO	0,02
SO_3	<0,25
Kızdırma Kaybı	<0,10



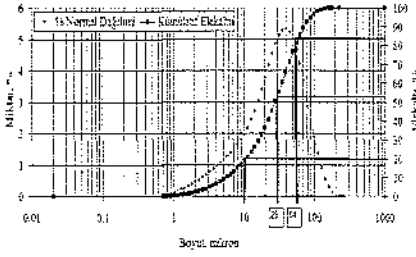
Şekil 3. Manyetit ve hematit tanelerinin cevher mikroskobunda görünümü.



Şekil 4. Ağır ortam malzemesi XRD değerlendirme grafiği

Elde edilen bu bulgulara göre malzemenin belli bir kısmını oluşturan kuvarsin serbestleşmiş olarak bulunan kısmının geri kazanılamayacağı açıktır. Malzeme içerisinde bulunan hematitin özgül (kütle) manyetik alınganlığının ($0,5-3,8 \cdot 10^{-6} m^3.kg^{-1}$) manyetite göre çok düşük olması ise geri kazanım devresinde olası ilave kayıplara sebep olabilecektir.

Ağır ortam malzemesinin ortalama tane boyutu 29 mikron olarak belirlenmiştir (Şekil 5). $54 \mu m$ 'den iri malzeme oranı %18 değerinde olup istenen özellikler göre (maks %5) daha yüksek orandadır. $10 \mu m$ 'den daha ince malzeme miktarı ise %20 değeri ile istenen özelliklere (maks. %30) uygun gözükmemektedir (Çizelge 3).

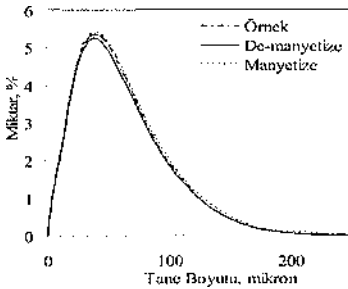


Şekil 5. Manyetitin tane boyut dağılımı

Örneğin orijinal, manyetize ve de-manyetize edilmiş hallerindeki tane boyutlarına bakıldığında orijinal örnek içinde manyetize olmuş tanelerin var olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Kömür hazırlamada kullanılan manyetit için geliştirilen standart (TSE 10450, 1992) ağır ortam olarak kullanılan malzemenin nem yüzdesinin %10'unun altında olması gerektiğini belirlemektedir. Örneğimizin serbest nem (havada kurutma) içeriği % 4,87 ve bağlı nem içeriği %0,07 olarak bulunmuş olup toplam nemi % 4,94 ile standart değere uygun olarak bulunmuştur (Çizelge 3).

Malzemenin manyetik malzeme miktarı %99,45 olarak bulunmuştur. Bu değer istenen (min. %95)'in üzerindedir (Çizelge 3). Bu bulgu; kimyasal ve minerolojik analizlerde belirlenen kuvarsin serbestleşmemiş taneler halinde bulunduğunu göstermektedir.



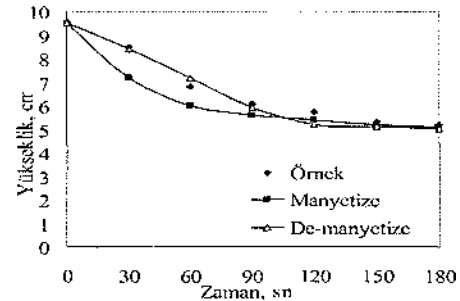
Şekil 6. Örneğin manyetize/de-manyetize sonrasında tane boyut dağılımının değişimi

Standarta göre yoğunluk 4,9–5,2 gr/cm³ arasında olmalıdır. Örneğimiz için bağıl yoğunluk 4,95 gr/cm³ bulunmuş olup standarta uygun olmasına rağmen alt limite yakın değer olarak dikkat çekmektedir (Çizelge 3). Örneğin manyetik duyarlılığı 437x10⁻⁶ m³.kg⁻¹ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık (452-685 x 10⁻⁶ m³.kg⁻¹) aralığından düşük çıkmıştır. Yoğunluk ve manyetik duyarlılık değerlerindeki düşüklüğünün ağır ortam malzemesi içindeki kuvars ve hematit içeriğinin sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu durum geri kazanım devresinde daha yüksek manyetik alan şiddetine sahip manyetik ayırıcıların kullanımını gerekli kılabilir.

Çizelge 3. Ağır ortam malzemelerinde aranan özellikler ve örnek için bulgular

Parametre	Standart	Analiz
54 µm büyük, %	≤ 5	18
10 µm küçük, %	≤ 30	20
Nem içeriği, %	≤ 10	4,94
Manyetik içeriği, %	≥ 95	99,45
Yoğunluk, gr/cm ³	4,9–5,2	4,95
Manyetik duyarlılık 10 ⁻⁶ m ³ .kg ⁻¹	452-685	437
Çökme hızı, cm/dk	1-2	2,5

Çökme hızı deneylerinde belirleyici en önemli faktör serbest çökme hızıdır. Standart serbest çökme hızının 1-2 cm/dk arasında olması gerektiğini

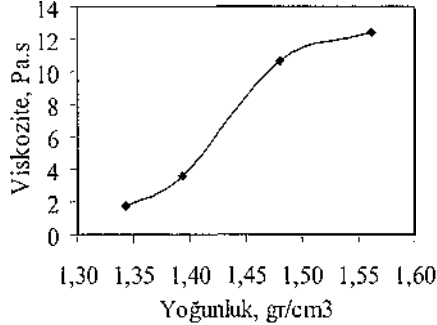


Şekil 7. Çökme hızının değişimi

belirtmektedir. Yapılan incelemelerde manyetitın serbest çökme hızı 2,5 cm/dk olarak bulunmuştur. Bu durumun malzeme içerisindeki iri boyutlu malzeme oranının istenenden yüksek olarak bulunmasından kaynaklanabilir (Yang ve Aldrich, 2008). De-manyetize edilmiş numune daha yavaş (2 cm/dk) çöklerken mıknatıslanmış numune daha hızlı (2,37 cm/dk) çökelmektedir (Şekil 7). Bu manyetitın kullanılmadan önce de-manyetize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Manyetitle oluşturulan çeşitli yoğunluklardaki ağır ortam süspansiyonlarının viskozite değişimi ise Şekil 8'de verilmektedir.

4.2 Ürünlerde Manyetit Kaybı

Avrupa standartlarına göre kömür yıkama tesislerinde ağır ortam zenginleştirme sırasında en fazla ortam kaybı ince



Şekil 8. Çeşitli yoğunluklardaki ağır ortam süspansiyonlarında viskozitenin değişimi

Çizelge 4. Ağır ortam ayırımı sonunda duşlama eleğinde ürünler üzerindeki ortam kaybı

Ürün		Manyetit miktarı kg/ton (ürün)		Uzaklaştırma Verimi %	Kabul edilebilir kayıp kg/ton
		Duşlama Öncesi	Duşlama Sonrası		
Tambur	Lave	87,4	5,78	93,5	0,05
	Şist	19,2	2,8	85,5	
Siklon	Lave	40,1	1,1	97,2	0,15
	Şist	19,4	1,0	94,8	

kömür (10-0,6 mm) için 0,15 kg/ton ve iri kömür (+10 mm) için ise 0,05 kg/ton kabul edilmektedir. İnceleme sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4' de verilmiştir.

Gerek tesis incelemelerinde ve gerekse literatür verilerinde ince boyutlu ürünlerde manyetit kaybının daha fazla olacağı öngörülmüştür. Ancak düşünülenin tersine iri tanelerin duşlanması sırasında kayıp daha fazla gerçekleşmektedir (5,78 kg manyetit/ton kömür).

Veriler incelendiğinde her iki ağır ortam ayırıcısı için de; manyetit kaybının yüzen üründe (lave) batan ürüne (şist) göre daha yüksek olarak gerçekleştiği görülmektedir. Batan ürünün tambur içerisinde kaldırılarak ortamın süzölmeye başladığı ancak yüzen ürünün tamburdan ortam malzemesi ile birlikte süzme eleğine döküldüğü düşünülürse duşlama öncesindeki yüksek manyetit içeriklerinin yetersiz süzmeden kaynaklandığı söylenebilir. Bu durumun duşlama sonrasında da devam etmesi fazla ortam bulunmasının daha fazla duşlama gerektirmesinden kaynaklanabilir. Lave devrelerinde kayıpların daha fazla olması kömür tanelerinin çatlaklı yapıda olması ve kömür ile ortam arasındaki ilişkinin daha yüksek olmasına bağlı olabilir.

4.3 Manyetik Seperatörün Etkinliği

Standarda göre seperatör girişinde hacimsel katı oranı yaklaşık %16, ağırlıkça katı oranı ise 250 gr/lt değerine yakın olmalıdır. Yapılan incelemeler göstermektedir ki tesiste manyetik seperatör beslemesinin hacimsel katı oranları çok düşük değerlerde bulunmaktadır. Bu durum manyetik ayırmanın performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Seperatör beslemesi özellikleri

Ünite	Katı Oranı (gr/lt)	Hacimcc Katı, %
Tambur	24	0,70
Siklon	78	1,87
İstenen	250	16,00

5 SONUÇ

Bu çalışmada kömür yıkama tesislerinde meydana gelen ağır ortam kayıplarının sebepleri araştırılarak Eski Çeltik Kömür Hazırlama Tesisi'nde meydana gelen yüksek manyetit kayıplarının nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır.. Ağır ortam malzemesinin özellikleri incelendiğinde; malzemenin çoğunlukta manyetitten oluşmasına rağmen az miktarda hematit ve kuvars içerdiği ve bu nedenle daha düşük manyetik alınganlık değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumun manyetik geri kazanım biriminde verimsizliklere neden olabileceği görülmüştür. Malzemenin yoğunluğu, manyetik içeriği ve nemi standartlara uygundur. Ancak tane boyut dağılımında 54 mikrondan iri malzeme miktarı istenen değer üstünde çıkmıştır. Tesisteki manyetik seperatör devresi üzerine yapılan çalışmalara göre beslenen katı oranının çok düşük olduğu ve manyetik ayırma performansını

olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Ağır ortam zenginleştirme sonrası yıkama veriminin değerlendirilmesinde ise manyetit kaybının standardın çok üstünde olduğu ve beklenenin tersine iri tanelerde kaybın daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak; manyetik seperatörün performansını iyileştirmek için seperatör manyetik alan şiddetinin en az 4000 Gauss değerinde olması gerektiği, literatürde önerilen devrelerde olduğu gibi seperatör öncesinde veya sonrasında koyulaştırma sistemi kurulmasının doğru olacağı, yıkama performansının iyileştirilmesi için elek kapasitelerinin artırılması gerektiği, fiskiyelerin konumunun ve su şiddetinin doğru ayarlanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arslan, V., 2006, Kuru Kömür Hazırlama Yöntemleri, *Madencilik*, 45, 3, 9-18.
- Arslan, V., Kemal, M., 2004, Kömür Hazırlama ve Türkiye'deki Uygulamalar, *Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak.
- Çelik, H., 2006, İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu, *DEÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, 2, 93-106.
- Dardis, K. A., 1989, The Design and Operation of Heavy Medium Recovery Circuits for Improved Medium Recovery, *Coal Preparation*, 7, 119-157.
- Kural, O., 1991, *Kömür*, İTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü. İstanbul.
- Mikhail, M. W., Osborne, D. G., 1990, Magnetite heavy media: standards

- and testing procedures, *Coal Preparation*, 8, 111-121.
- Önal, G., Ateşok, G., 1994, *Cevher Hazırlama El Kitabı*, İTÜ, İstanbul.
- Sripriya, R., Dutta, A., Dhall, P.K., Narasimha, M., kumar, V., Tiwai, B.S., 2005, An analysis of medium losses in coal washing plants, *International Journal of Mineral Processing*, 80, 177-188.
- Svoboda, J., 2004, *Magnetic Techniques for Treatment of Materials*, Developments of Processing, Kluwer Academic Pub., London.
- TS 10450, 1992, *Manyetit – Kömür Hazırlamada Kullanılan Deney Metotları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL 1. <http://www.eskiceltek.gov.tr>
- Üzülmez, M., Yeldan, M., 1990, *Kömürlerimizin Değerlendirilmesi*. Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Değerlendirme Raporu, İstanbul.
- Yang X., Aldrich, C., 2008, Sedimentation of magnetic suspensions of magnetite, *The Open Mineral Processing Journal*, 1, 18-25.

Türkiye’de Kömür Hazırlama Tesisleri, Performans Ölçümünün Önemi ve Bir Örnek Uygulama

Coal Preparation Plants in Turkey, the Importance of Performance Measurement and an Example Application

V. Arslan, M. Tanrıverdi, S. Şen, B. Er

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Türkiye’de kömür yıkama açısından epey yol alınmış ve hemen hemen tüm kömür işletmelerinde kömür yıkama tesisi kurulmuş ya da kuruluş hazırlıkları devam etmektedir. Ancak kurulan tesislerin birçoğu temel araştırmalar yapılmadan, standart bir tesis olarak kurulmaktadır. Kömür özellikleri, beklentiler ve işletme ekonomisi pek göz önünde tutulmadan tesis yatırımları gerçekleştirilmektedir. Yine bu tesislerdeki en önemli eksikliklerden birisi de performans ölçümlerinin yapılmamasıdır. Bu nedenle de işletmede tüvenan üretimi ile yikanan kömür arasında oransal dengeler, tesis kayıp kaçakları ve temiz kömür kalitesi ile ilgili olası sınır değerler belirlenememektedir.

Bu çalışmada kömür yıkama tesis tasarımında olması gereken yaklaşım şekli açıklanacak, Türkiye’de kurulu bulunan kömür işletmelerinin tespit edilebildiği kadarıyla bir listesi verilecek ve son olarak performans ölçümünün önemi vurgulanarak örnek bir performans ölçüm uygulamasına yer verilmektedir.

ABSTRACT It has been made notable progress in coal washing in Turkey recently. A great number of coal washing plants have already been established and the preliminary works of new establishments are still undergoing in the coal mines nowadays. On the other hand, the most of these plants are the copy of others concerned with existing facilities and installed installation without doing coal-specific research studies. Mine investments are usually made without considering site specific coal properties, expectations and mining economics. One of the most important problem about these facilities is the lack of the performance determination studies. For this reason the mass balance between the run of mine and clean coal, limit values about the loss rate of the plant and the quality of the clean coal can not be determined exactly.

A list of operational parameters of coal washing plants was presented, the importance of the performance tests for coal-washing equipments was emphasized and furthermore, an example for the estimation of the performance of a coal-washing plant was also given in this paper.

1 GİRİŞ

Fosil yakıtlardan enerji üretimi çevresel etkileşimleri nedeniyle üzerinde çok hassas durulan bir konudur. Özellikle kömür, üretimden yakma işlemi sonucuna kadar birçok çevre problemlerine neden olabilmektedir. Kömürlerin yakılmasıyla oluşan problemleri yakma öncesi, yakma esnasında ve yakma sonrası alınacak tedbirlerle minimize etmek mümkün olabilmektedir. Kömür üretimini takip eden aşamada yapılan kömür iyileştirme işlemine kömür hazırlama ve/veya kömür yıkama denilmektedir.

Kömür yıkama, tüvenan kömür içerisindeki istenmeyen safsızlıkların, kömür ve yantaş arasındaki fiziksel ve/veya yüzey özellikleri farkından yararlanarak ayrılması işlemidir. Bu şekilde kömür yıkama işlemi sonucu, ürün özelliklerinde süreklilik sağlanmaktadır. Kömür yıkama için yöntem seçimi yapmadan önce muhakkak yapılması gereken ön çalışmalar vardır. Bunlar temsili numune alımı, tüvenan kömürün kimyasal analizi, elek analizleri ve yüzdürme-batırma testleridir. Kömür yıkama yöntemi seçimi öncesinde gerekli araştırmalar yapılmadığı takdirde, beklenen ürünler alınamamakta ya da verimde önemli kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Ancak ne yazık ki, ülkemizdeki tesislerin büyük bir çoğunluğu bu araştırmalar yapılmadan kurulmuştur (Osborne 1988; Kemal ve Arslan 1999).

1.1. Kömür Yıkama Tesisi Tasarımında Temel Yaklaşımlar

Kömür yıkama tesisi kurulmasında, kömürün oluşturabileceği olası ürün kaliteleri ve piyasa beklentilerine kalite ve fiyat açısından verebileceği cevaplar önemlidir. Dünyanın en modern tesisi

de kurulsa, yıkanacak kömür özellikleri açısından piyasaya beklentilerini sağlayabilecek ürünü ekonomik olarak sağlamak mümkün değilse, tesis yatırımı boş bir yatırım olarak kalacaktır. Kömürün oluşum sürecine bağlı özellikler, elde edilecek ürün kalitesinin limitlerini ortaya koyarken, piyasa beklentileri de, bu limitler dahilinde üretilmesi gereken ürün özelliklerini belirlemektedir.

Kömür yıkama tesisi kurma kararı vermeden önce, kömürü iyi tanımak gerekmektedir. Linyit, taşkömürü ve antrasit için farklı yaklaşımlar gerekmektedir. Linyit kömürlerinde, özellikle de genç linyit kömürlerinde yıkama işlemi açısından önemli olan 3 özellik vardır. Birincisi genç linyit kömürü, kömürleşme derecesine bağlı olarak nemsiz-külsüz halde daha düşük ısı değerine sahiptir. İkincisi, genç linyit kömürleri su ile temas ettiğinde bünyesine büyük miktarda su almakta, daha sonra ise kuruma ile büzülerek parçalanmaktadır. Dolayısıyla, iri ve sağlam parçalı kömür elde etmek zordur. Üçüncüsü ise, yıkama sürecinde kömür bünyesine aldığı aşırı miktardaki su ile yıkama işleminden beklenen ısı değeri artışının çok düşük seviyelerde kalmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı kömür yıkama kararı vermeden önce kömürün oluşum sürecine bağlı olarak, kömürleşmenin hangi aşamasında olduğu iyi belirlenmelidir.

Kömürleşme derecesine göre kömür yıkamanın faydalı olduğu düşüncesi olduğu takdirde, kömürün kullanılacağı sektörler açısından beklenen nitelikleri irdelenmelidir. Örneğin, yıkama ile kömür oldukça yüksek ısı değerlerine ulaşabilmesine rağmen, düşük kükürtlü ürün elde edilemediği takdirde, ürünün pazar alanı çok daralmaktadır. Bunun yanında ağırlıklı tüketim alanının sanayi

olması durumunda, kömür külünün cüruflaşma riski önem kazanmaktadır. Bu özellikleri değerlendirmek açısından, yüzdürme-batırma testleri, kül bileşenlerinin analizleri, yüzdürme-batırma testinde elde edilen yoğunluk fraksiyonlarında kükürt analizleri vb analizler, hedeflenen piyasalar açısından detaylı olarak araştırılmalıdır. Yapılan tüm testler sonucu, uygun görülen yıkama yöntem veya yöntem kombinasyonlarına karar verilmelidir. Bu aşamada kömür fiziksel özellikleri, tane boyut dağılımı, yüzdürme-batırma testinden elde edilen yıkanabilirlik bilgileri ve hedeflenen kül değerlerine göre yıkama yoğunluğu seçimleri önemli kıstas olmaktadır. Son olarak da kapasite seçimleri, tesis yerleşim yeri seçimi ve kömür işletmesine bağlı kritik süreçler var ise, bunların yaratması olası sorunları önleyici tedbirlerin alınması ile ilgili kararlar verilir (Osborne 1988; Özbayoğlu ve Bilgen 1997; Kemal ve Arslan 1999; DPT 2001; Honaker ve Patwardhan 2006; De Korte 2008).

Tüm bu kararların sonunda yatırım aşamasına gelinmiş olur ki, bu süreçte maliyet analizleri son kararın verilmesini sağlamaktadır.

1.2 Kömür Yıkama Tesisi Performans Ölçümü

Kömür yıkama tesisinin kurulması kadar, kuruluşunda hedeflenen doğrultuda sürekli çalışmasını sağlamak ta çok önemlidir. Bu da ancak çalışma koşullarının devamlı denetimi, sonuçların değerlendirilmesi, hedeflerle kıyaslanması, gerekli düzeltmelerin yapılması ile mümkündür. Bu sürecin tümüne performans ölçümü ve değerlendirmesi demek mümkündür. Performans ölçümü ile kayıp-kaçakları

kontrol altına alıp minimize etmek, maliyetleri en düşük seviyede tutmak, plan ile fiili durumu kıyaslamak, varsa planda ortaya çıkan hataları düzeltecek mümkündür.

Kömür yıkama tesisinde performans ölçümü, her üniteye (sınıflandırma ve yıkama) beslenen kömür ile elde edilen ürünlerden doğru şekilde ve uygun miktarda numune alımı ile başlar. Elek analizleri ve yüzdürme-batırma testleri gerçekleştirilir. Gerekli olan nem, kül ve ısı değeri analizleri yapıldıktan sonra, performans ölçümü amaçlı yöntemler ile gerekli değerlendirmeler yapılır. Günümüzde en çok kullanılan yöntem Tromp eğrisi ile yapılan performans değerlendirmesidir. Bilindiği üzere, bu yöntemle ayırma sınır yoğunluğu, ayırma hassasiyeti gibi bilgiler elde edilmektedir. Elde edilen bilgiler sayısal olduğu için kıyaslanabilir değerlerdir ve hem planla hem de sürekli elde edilen sonuçlarla kıyaslanabilir değerlerdir. Bu bilgiler sayesinde tesisin hedeflenen doğrultuda çalışıp çalışmadığı belirlenirken, aynı zamanda performansta düşüş varsa bunların sebeplerinin araştırılarak düzeltmelerin yapılması için gerekli bilgileri sağlaması söz konusudur (Honaker ve Patwardhan 2006; De Korte 2008).

2 TÜRKİYE'DEKİ KÖMÜR YIKAMA TESİSLERİ

Ülkemizde yakın zamana kadar kömür yıkama tesisi kurulumu çok az bir oranda seyrederken, son zamanlarda rekabet ve zaruri nedenlerden dolayı hızla tesisleşme artmış, yurt içi imalatçıların belli bir tecrübe birikimine ulaşması ile de yeni kurulan tesislerde yerli imalatlar büyük ağırlığı oluşturmuştur. Yeni kurulan tesislerin tamamına yakını

ağır ortam esaslı tesislerdir. Genelde iri devrede ağır ortam tamburu ya da Drewboy ekipmanı, ince devrede ağır ortam siklonu mevcuttur. İlk başlangıçta -0.5 mm kömür sadece sınıflandırma siklonundan geçirilip, yüksek küllü toz kömür elde edilirken, son yıllarda tesislerde Humprey spirali kurulumları

hızla artmış ve bu sayede -0.5 mm yıkanmış toz kömür oranı artmıştır.

Çizelge 1a ve 1b de belirlenebildiği kadarıyla ülkemizde mevcut olan kömür yıkama tesisleri, kapasiteleri ve kullanılan ekipmanlar, bilgi amacıyla verilmektedir.

Çizelge 1a. Türkiye'deki kömür yıkama tesisleri, kapasiteleri ve kullanılan ekipmanlar.

Tesis	Kapasite (t/h)	İri Devre	İnce Devre	Toz
Amasra	210	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Flotasyon
Ardar Madencilik San.Tic.A.Ş / Zonguldak	60	(10/100) Drewboy	(0.5/10) AOS	Spiral
Aydın Linyit	100	2 Ad. Jig		
Bahadır Madencilik / Gelik - Zonguldak	60	(18/100) Drewboy	(0.5/18) Ağır mayi siklon(çift ür.)	Spiral
ELİ Deniz Lavvarı	100	Drewboy		
Polat Madencilik Dursunbey, Balıkesir	125	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Spiral
Özçevreci Madencilik Dursunbey, Balıkesir	100	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Spiral
Özdemler Madencilik Tavşanlı, Kütahya	120	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Spiral
Enerji Madencilik, Kepsut	100	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Spiral
Ortur Madencilik Gönen, Balıkesir	150	Ağır Ortam Tamburu	AOS	
Çatalağzı	500	jig	Jig	Filtrasyon
Çelikler / Çorum	150-175	(6/150)	(0.5/10) AOS	

(20/150) Drewboy (0.5/20) AOS

Çizelge 1b. Türkiye'deki kömür yıkama tesisleri, kapasiteleri ve kullanılan ekipmanlar.

Tesis	Kapasite (t/h)	İri Devre	İnce Devre	Toz
De-Ka Madencilik Gelik / Zonguldak	200	Drewboy (20/150)	(0.5/20) AOS	Filtrasyon Spiral
De-Ka Madencilik AZDAVAY	100	Drewboy (20/150)	(0.5/20) AOS	Filtrasyon Spiral
Denizli	50	Ağır Ortam Tamburu		
Dodurga	75	Drewboy	AOS	
Ege Uyarlar Madencilik (Söke)	150	(20/150) Drewboy	(0.5/20) AOS	Spiral
Eski Çeltik (Suluova) Kömür İşletmesi	175	Drewboy	AOS	
Forbes Madencilik	75	(20/150) Drewboy	(0.5/20) AOS	
Hema Kağıdıllı Kömür İşl	150	(10/150) Drewboy	(0.5/10) AOS	
İmbat Madencilik, Soma	350	Drewboy	AOS	
Kartalkaya Mad. / Azdavay - Kastamonu	118	(18/150) Drewboy	Çift Yoğunluklu Siklon	Spiral
Milten / İstanbul	150	(10/150) Drewboy	(0.5/20) AOS	
Park Teknik (Çayırhan)	300	Drewboy	AOS	
Seyitömer (Park Teknik)	300	Drewboy	AOS	
Azyak Madencilik, Soma	200	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Humprey Spiral
Azyak Madencilik, Soma	100	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Humprey Spiral
Çiftay (Mayda Madencilik) Soma	800	Çift Yoğunluklu Ağır Ortam Tamburu	AOS	Humprey Spiral

Soma Kömürleri A.Ş.	600	Ağır Ortam Drewboy- 2.devre Tambur	AOS	Humprey Spirali
Söke Şekerler Madencilik	20	Baum (10/80)		
Tuncerler (Tunçbilek)	50	Ağır Ortam Tamburu		
Tunçbilek	700	Ağır Ortam Tamburu	AOS	Siklon-Elek
Tunçbilek Ömerler	600	Ağır Ortam Teknesi	AOS	Humprey Spirali
Uysal Madencilik / Tekirdağ	175	(20/150) Drewboy	(0.5/20) AOS	
İbrice Maden İşletmeleri (İrfan Pullukcu)/Malkara Tekirdağ	100	50 t/h Tambur	50 t/h AOS	
Volkar Enerji San. Ve Tic. A.Ş Tekirdağ Malkara	75	(20/100) Drewboy	(0.5/20) AOS	
Y.K.İ. Yılmazlar Köm.İşlt Mengen - Bolu	50	*(18/150) İri kömür		
Y.K.İ. Yılmazlar Köm.İşlt Kiliimli - Zonguldak	59	(10/100) Drewboy	(0.5/10) AOS	(+0.15-0.5) Spiral
Yeni Çeltik Kömür İşletmesi	50	Ağır Ortam Tamburu		Pres Filtre
Yılmaz Madencilik	75		(0.5/40) AOS	"
Zirve Madencilik / Kiliimli - Zonguldak	175	(18/150) Drewboy	(0.5/18) Çift yoğunluklu siklon	
Zonguldak Kozlu-Park	300			
Zonguldak Üzümeç-Park	300			
Yeniköy Linyit İşletmesi	220	Ağır Ortam Tamburu 120t/h	AOS	Humprey Spirali
Merdiveali İşletmesi, Muğla	100		AOS	

3. KÖMÜR YIKAMA TESİSİ PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Performans ölçümünün yapılmasını ve sonuçların değerlendirilmesini örneklemek amacıyla Ege Uyarlar Kömür İşletmesine ait tesiste yapılmış olan performans ölçümü çalışmaları ve sonuçları aşağıda verilmektedir.

3.1 Tüvenan Kömür Özellikleri

Ege Uyarlar kömür yıkama tesisine beslenmekte olan kömürün, tüvenan olarak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tesis girişinden alınmış olan numune üzerinden analizler yapılmıştır. Çizelge 2'de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, söz konusu kömürün tüvenan olarak kül oranının Türkiye'de üretilmekte olan linyit kömürlerinin genel ortalama değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Nem oranı göz önüne alındığında da, bu kömürün sert linyitler sınıfına girdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Tüvenan kömür analiz sonuçları

	Orijina l Baz	Kuru Baz
Nem %	23,35	-
Kül %	31,97	41,71
Toplam Kükürt %	2,63	3,44
Alt Isı Değeri kcal/kg	2900	3967
Üst Isı Değeri kcal/kg	3154	4120

3.2 Elek Analizleri ve Elek Fraksiyonları Nem, Kül ve Alt Isı Değerleri

Tesise beslenen tüvenan kömürün tane iriliği dağılımı ve fraksiyonel kül oranları Çizelge 3'de verilmiştir. Kömür yıkama aygıtı devrelerinin kapasitelerini belirleyen boyut dağılımı açısından bakıldığında, iri kömür (+18 mm) miktarının toplam kömürün %50,32'sini oluşturduğu görülmektedir. Yine çizelgeden ortaya çıkan sonuç, kömür tane iriliği düştükçe, -0.5 mm boyutuna kadar kömür kül oranının düşmesidir. -0.5 mm boyutunda kilin çoğunlukta

yer alması nedeniyle bu boyutta kül oranı yeniden yükselmektedir. Bu sonuçlara göre, kömürün yan kayaca göre daha kırılabilir olduğunu söylemek mümkündür. Bu nedenle elde edilecek olan temiz kömür miktarı ince kömürde daha fazla olacaktır. Şlam olarak tabir edilebilecek -0.5 mm boyutunda ise kül oranı tekrar yükselmektedir. Ancak toplam tüvenan kömürün %6.57'sini oluşturan bu fraksiyonda kül oranının çok aşırı yükselmemesi kömürde kül oranının az olduğunu bir göstergesi olmaktadır. Gerek yıkama, gerekse de susuzlandırma işlemleri açısından bu önemli bir avantajdır.

Çizelge 3. Tüvenan kömür elek analizi sonuçları.

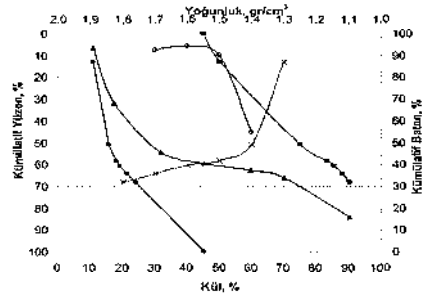
Tane iriliği mm	Ağırlık %	Nem %	Kül (%)		Alt Isı Değeri Kcal/kg
			orj	kuru	
+50	31.87	19.69	47.38	59.00	2025
50 - 18	18.45	22.71	32.84	42.49	2750
18 - 10	13.07	25.62	24.08	32.38	3178
10 - 0.5	30.04	25.86	21.91	29.55	3319
-0.5	6.57	25.86	38.54	51.99	2044
	100.00	23.28	33.42	43.16	2699

3.3 Yüzdürme-Batırma Test Sonuçları ve Kömür Yıkabilme Özelliği

Tüvenan kömürden üretilebilecek temiz kömür miktarını ve yıkama işleminde oluşabilecek performansın tahminini yapabilmek için gerçekleştirilmiş olan yüzdürme-batırma testlerinin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Şekil 1'de verilen iri kömüre (+18 mm) ait grafiklerden kömürün büyük oranda 1.3-1.4 g/cm³ fraksiyonunda toplandığı, birleşik tane (ara ürün) miktarını gösteren 1.5 -1.8 g/cm³ arası yoğunluklarda toplanan malzeme miktarının ise nispeten daha az olduğu ortaya çıkmaktadır. Ara ürün miktarının

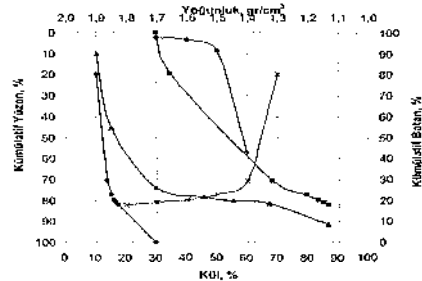
az olması kömürün iyi yıkanabilirliğinin bir göstergesi olmaktadır. Kömür yıkanabilme özelliğinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir yaklaşım da yıkama yoğunluğu için $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yakın yoğunlukta malzeme miktarı değerleri olmaktadır.



Şekil 1 Tüvenan kömür +18 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları

$\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yakın yoğunlukta malzeme değerlerine göre kömür yıkanabilirliği yorumlandığında, çalışmaya esas olan kömürlerde 1.5 -1.7 g/cm³ arasında herhangi bir yıkama yoğunluğu seçilebileceği ve bu yoğunluklarda kömür yıkama sonuçları açısından bir sıkıntı olmayacağı söylemek mümkündür.

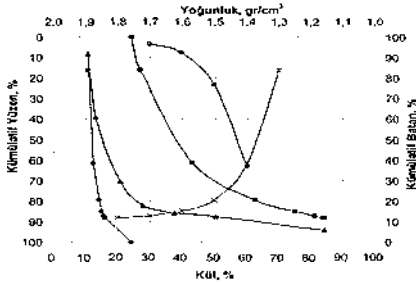
Piyasada fındık kömür olarak tabir edilen boyut içerisinde yer alan -18 +10 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Tüvenan kömür -18+10 mm fraksiyonu yüzdürme-batırma test sonuçları.

Bu boyuttaki kömürün iri kömüre nazaran yıkanabilme özelliğinin daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun yanında dikkate değer bir hususta bu fraksiyonda yantaş miktarının da daha az olmasıdır. Daha önce elek analizi sonuçlarında da vurgulandığı gibi, kömüre göre yan kayacın ufalanmasının daha az olması bu sonucu oluşturmuştur. Buna ilaveten, ara ürünü oluşturan fraksiyonların da daha düşük miktarlara inmesi kömür-yantaş serbestleşmesinin daha da arttığını ortaya koymaktadır. Kömür-yantaş serbestleşmesinin iri fraksiyona göre daha iyi olmasına bağlı olarak kömür yıkanabilirliğinin de çok iyi denebilecek duruma geldiği görülmektedir.

Şekil 3'te verilen grafikler toz kömür (10+0.5 mm) için yıkanabilme özelliğini ortaya koymaktadır. Toz kömürde de yıkanabilme özelliğinin oldukça iyi olduğu görülmektedir.



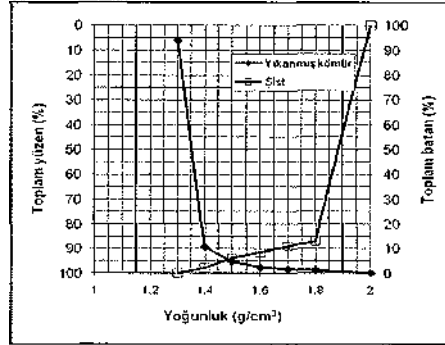
Şekil 3. Toz kömür (-10+ 0.5 mm) yaldürme-batırma test sonuçları.

3.4 Yıkama Aygıtları Performans Ölçümleri

İşletmede kömür -150+10 mm olarak Drewboy kömür yıkama aygıtında, -10+0.5 mm olarak da ağır ortam siklonunda yıkanmaktadır.

Mevcut durumda iri kömür ve fındık kömürün bir arada yıkandığı drewboy yıkama aygıtına ait performansı ortaya

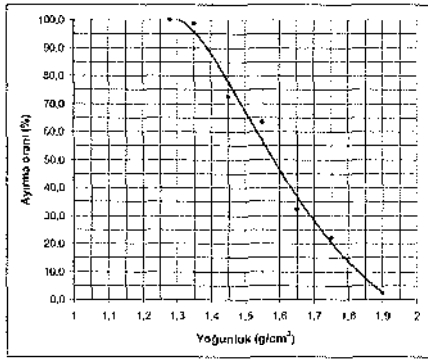
koyan sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. Kömür yıkama işlemi teorik olarak %100 verimle yapıldığında, Şekil 4'te verilen eğrilerin x-ekseni üzerinde kesişmeleri söz konusu olacaktır. Burada ise her iki eğrinin x-eksenine inmeden kesiştiği ve x-ekseni ile aralarında bir alan oluşturdukları görülmektedir. Bu alan hatalı yer alan malzemelerin miktarı ile orantılı olarak büyüüp küçülmektedir. Alanın büyüklüğü görece bir değerlendirme olacağından asıl sayısal değerlendirme Şekil 5'te verilmekte olan tromp eğrisi üzerinden gerçekleştirilecektir. Ancak yine de Şekil 4'te eğri altında kalan alanın şist içerisindeki kaçak kömür nedeniyle büyüdüğü açıkça görülmektedir.



Şekil 4. Drewboy temiz kömür kümülatif yüzen ve artık kümülatif batan eğrileri.

Tromp'a göre performans değerlendirmesini ortaya koyan Şekil 5'ten, fiili ayırma yoğunluğunun 1,58 g/cm³ olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında, iki yönden bakmak gerekmektedir. Birincisi eğrinin dike yakın olup olmaması ikincisi ise Ep değeridir. Bilindiği üzere, tromp eğrisi ne kadar dike yakın olursa, ayırma o kadar iyi gerçekleşmiş demektir. Burada eğrinin biraz yatık olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu

durum performansta bir miktar düşüş olduğunun bir göstergesidir. Performansı sayısal olarak ortaya koyan Ep değeri 0,13'tür. İyi bir yıkama işlemi olması için Ep değerinin 0,1'in altında olması gerekmektedir. (Osborne, 1988). Burada elde edilen sonuç bu sınırı biraz aşmıştır. Ancak geniş tane iriliğinde yıkama yapan aygıtlarda bu şekilde kayıplar söz konusu olabilmektedir. Daha önceki yoğunluk fraksiyonu incelemesinde de görüldüğü üzere, şistteki kaçak malzeme bu sonucun nedenidir. Sonuç olarak iri kömür yıkama aygıtında elde edilen yıkama performansı, artıktaki kömür kaçağı nedeniyle bir miktar düşük gerçekleşmiş olmasına rağmen, kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

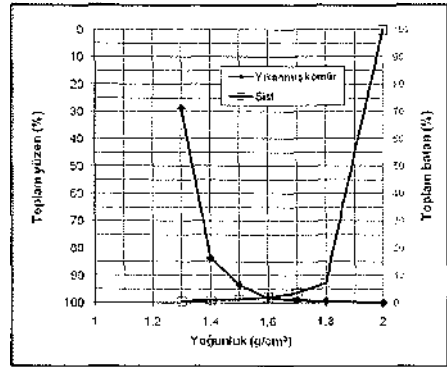


Şekil 5. İri kömür yıkama aygıtı (Drewboy) performans eğrisi.

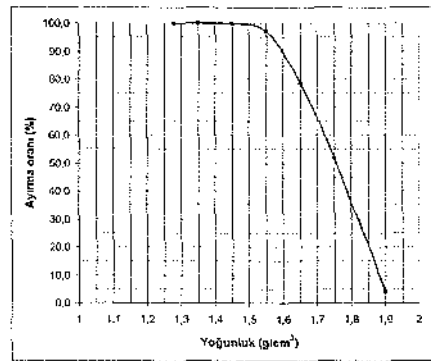
Şekil 6 ağır ortam siklonu ürünlerinde hatalı yer almış malzeme miktarını göstermektedir. Ağır ortam siklonu ürünlerinde hatalı yer almış malzeme miktarının, drewboy ürünlerine nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Eğrilerin kesim noktasının x-eksenine çok yakın olması, ayırma veriminin yüksekliğin işaret etmektedir.

Şekil 7'de verilen Tromp eğrisini dike yakın bir şekilde olması ayırmanın iyi gerçekleştiğinin bir

diğer işareti olmaktadır. Burada Ep değeri hesaplandığında, 0,09 olarak tespit edilmiştir. Elde edilmiş olan verilerin tümü de göstermektedir ki ağır ortam siklonunda kömür yıkama işlemi oldukça yüksek bir performansla gerçekleştirilmiştir. Ağır ortam siklonunda elde edilmiş olan fiili yıkama yoğunluğu ise 1,75 g/cm³ olmuştur. Bilindiği üzere siklon ve benzeri merkezkaç esaslı yıkama aygıtlarında, ayarlanmış ortam yoğunluğu ile gerçekleşen fiili yıkama yoğunlukları daima birbirinden farklı olmakta ve fiili yoğunluk daha yüksek olmaktadır.



Şekil 6. Ağır ortam siklonu temiz kömür kümülatif yüzen ve artık kümülatif batan eğrileri.



Şekil 7. İnce kömür yıkama aygıtı (ağır ortam siklonu) performans eğrisi.

4 SONUÇLAR

Türkiye'deki kömür yıkama tesislerinin kuruluşu ve çalıştırılması sürecinde yaşanan sorunların ortaya konulduğu ve ayrıca bir örnek uygulama olarak, Ege Uyarlar kömür yıkama tesisi performans ölçümünün verildiği bu çalışmada, performans ölçümü ile ilgili özet değerlendirmeler aşağıda verilmektedir.

- Ege Uyarlar Madencilik tarafından üretilmekte olan kömür sert linyitler sınıfına girmektedir.
- Elek analizlerinden ortaya çıkan sonuç, kömürün yan kayaca göre daha kırılğan olduğudur. Şlam olarak tabir edilebilecek -0.5 mm boyutunda ise kül oranı tekrar yükselmektedir. Ancak toplam tüvenan kömürün %6.57'sini oluşturan bu fraksiyonda kül oranının çok aşırı yükselmemesi kömürde kil oranının az olduğunun bir göstergesi olmaktadır. Gerek yıkama, gerekse de susuzlandırma işlemleri açısından bu önemli bir avantajdır.
- Genel olarak kömür yıkanabilme özelliği iyidir. Her üç tane iriliği fraksiyonu için de, efektif yıkama yoğunluğu 1.55 ile 1.7 g/cm³ arasında kaldığı sürece, yıkama sonuçları açısından bir sorun yaşanmayacağını söylemek mümkündür.
- Yıkamış kömür ürünlerinin analizleri incelendiğinde; mevcut sistemde, *drewboy yıkama aygıtında* birlikte yıkanan +18 ve -18+10 mm fraksiyonları, yıkanabilme özellikleri benzer olmasına ve aynı yoğunlukta yıkamış olmalarına rağmen, -18+10 mm kömürün kül oranı daha yüksek olmuştur. Genelde aynı ortamda birlikte yıkanan iri kömüre nazaran ince boyutta kül

oranı daha yüksek olmaktadır, bu sonuç burada da ortaya çıkmıştır.

- Ağır ortam siklonunda yıkanmakta olan toz kömürden elde edilen yıkanmış kömürde ise, kömür-mineral madde serbestleşmesinin biraz daha iyi olması nedeniyle, daha düşük kül oranı ortaya çıkmıştır.
 - Ağır ortam siklonunda yıkanan toz kömüre ait temiz kömür ürünü yüzdürme-batırma test sonuçları, dar tane iriliğinde yıkama yapılan ağır ortam siklonunda yıkanmış kömüre karışan yan taş oranının az olduğunu göstermektedir.
 - Tromp'a göre performans değerlendirmesi, iri kömür yıkama aygıtında fiili ayırma yoğunluğunun 1,58 g/cm³ olduğunu göstermektedir.
 - İri kömür yıkama aygıtında elde edilen yıkama performansı, artıdaki kömür kaçağı nedeniyle bir miktar düşük gerçekleşmiş olmasına rağmen, kabul edilebilir sınırlar içerisinde.
 - Ağır ortam siklonunda kömür yıkama işlemi oldukça yüksek bir performansla gerçekleştirilmiştir. Ağır ortam siklonunda elde edilmiş olan fiili yıkama yoğunluğu ise 1,75 g/cm³ olmuştur. Bilindiği üzere siklon ve benzeri santrifüj esaslı yıkama aygıtlarında, ayarlanmış ortam yoğunluğu ile gerçekleşen fiili yıkama yoğunlukları daima birbirinden farklı olmakta ve fiili yoğunluk daha yüksek olmaktadır.
- Sonuç olarak Ege Uyarlar kömür yıkama tesisi performansının, kömürün yıkanabilme özelliğinin de iyi olmasına bağlı olarak, oldukça iyi bir verimle gerçekleştiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Honaker, R.Q, Patwardhan A, 2006. In-plant evaluation of dense medium process performances, *Coal preparation*, 26, 149-164.
- De Korte, G.J, 2008. The influence of near-dense material on the separation efficiency of dense-medium processes, *International journal of coal preparation and utilization*, 28: 69-93.
- Kemal M, Arslan V, Kömür Teknolojisi, 1999. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:33, İzmir, 1999.
- Osborne, D.G, 1988. *Coal Preparation Technology*, Graham&Trotman Ltd.
- Özbayoğlu G, Bilgen S, 1997. Türkiye'deki kömür yıkama tesisleri, Kömür teknolojisi ve kullanımı semineri IV, TKİ Çayırhan tesisleri.
- DPT, 2001. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, Dpt: 2605 - Öik: 616 Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Enerji hammaddeler alt komisyonu kömür çalışma grubu raporu.

FGX Cihazı ile Soma Kömürlerinin Temizlenmesi

Cleaning of Soma Coals by Using FGX Device

H. Hacıfazlıoğlu

Metek Madencilik ve Enerji Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti., Mecidiyeköy/İSTANBUL

S. Buyurgan

Metek Madencilik ve Enerji Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti., Mecidiyeköy/İSTANBUL

ÖZET Bu çalışmada, yeni teknoloji bir "karma kuru kömür temizleme" yöntemi olan FGX cihazı ile Manisa-Soma kömürlerinin temizlenebilirliği araştırılmıştır. Teste tabi tutulan kömürler Güventepe, Belentepe, Işıklar ve Deniz panolarından alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bu cihazın Soma kömürlerinden termik santral veya sanayi yakıtı oluşturabilecek düzeyde başarılı olduğu görülmüştür. Tek kademeli temizleme işlemi ile, Güventepe kömürünün kalorisi 1988 kcal/kg'dan 3230 kcal/kg'a yükseltilmiş, külü ise %43.78'den %30.50'ye düşürülmüştür. Işıklar ve Deniz kömürlerinin kalorileri 500-700 kcal/kg düzeyinde artırılmıştır. Yüksek nem içerikli (%33.90) Belentepe kömüründe ise önemli bir iyileşme sağlanamamıştır. Genel olarak FGX cihazının ön-temizleme işlemi için uygun olduğu ve elle-ayıklama işlemine önemli bir alternatif oluşturabileceği görülmüştür.

ABSTRACT In this study, the cleaning of Manisa-Soma coals was examined via FGX device, a new technology "compound dry coal cleaning" method. The coals that were tested were obtained from Güventepe, Belentepe, Işıklar and Deniz panels. As a result of the tests by this device, Soma coals were found to be good enough to make thermal power plants and industrial fuel. The lower calorific value of Güventepe coal after a single cleaning step, increased to 3230 kcal/kg from 1988 kcal/kg, its ash was dropped down to 30.50% from 43.78%. The lower calorific value of Işıklar and Deniz coals were increased by 500-700 kcal/kg. No improvement could be obtained from Belentepe coal, which contains high levels of moisture (33.90%). Generally, FGX device was found to be suitable for pre-cleaning and an alternative to hand-picking.

1 GİRİŞ

Kuru Kömür Temizleme Teknolojisi, eskiden beri bilinen bir kömür hazırlama yöntemidir. Bu konudaki ilk araştırmalar 1910 yıllarında başlamıştır. 1910 - 1930 arası ilk uygulama yıllarıdır. ABD'

de 1965 yılı itibariyle kuru kömür temizleme kapasitesi 25.4 milyon ton/yıl kadardır. Bu tesislerden en büyüğü Pensilvanya'daki 1400 ton/saat kapasiteli tesistir ki burada her biri 100 ton/saat kapasiteli 14 kuru kömür

temizleme ünitesi vardı. Bu tesise -19 mm ebatlı tüvenan kömür besleniyordu. Bu tesislerden pek çoğu 1980'li yıllarda kapatılmıştır. 1990'lara gelindiğinde sadece 4 milyon ton/yıl kapasite kalmıştır. Bunun nedeni kömürlerin çok ıslak gelmeye başlaması ve dolayısıyla kuru temizlemeye uygun olmamasıdır (Alderman, 2001; Chen and Yang, 2003; Çiçek, 2008).

Son yıllarda artan küresel ısınma ve kuraklık, bu konuya tekrar ve daha fazla ilgi duyulmasını gerektirmiştir. Yapılan çalışmalarla kuru temizleme teknolojisi geliştirilmiş, FGX Karma Kuru Kömür Temizleme Sistemi imal edilmiş ve endüstriyel uygulamalar yaygınlaşmıştır. Bu sistemin patenti Shenzhou isimli bir Çin firmasına aittir. Bu yöntem sadece temiz kömür teknolojisi ve çevreyi koruma, su ve enerji kaynaklarında tasarruf gibi ulusal ekonomi politikalarına hizmet etmekle kalmamakta, aynı zamanda, birçok kömür üreticisinin çeşitli ölçeklerdeki talep ve ihtiyaçlarına da cevap verebilmektedir. Ayrıca killi linyitlerin zenginleştirilmesindeki proses güçlüklerinin kolayca aşılmasına sağladığı katkı çok büyüktür (Li and Yang, 2006; Arslan, 2006).

Bu yöntemin günümüzdeki en büyük uygulayıcısı Çin'dir. Son sekiz yılda Çin'in 25 bölgesinde 611 kuru temizleme tesisi kurulmuş ve bunların yıllık toplam kapasitesi 170 milyon tona ulaşmıştır. Bu sistem, ABD, Rusya, Güney Afrika, Kore, Endonezya, Ukrayna, Moğolistan, Yunanistan ve Filipinler'de uygulama alanı bulmuş, Hindistan, Avustralya ve İran gibi bazı ülkelerin kömürlerinin endüstriyel anlamda kuru temizlenebilirlik testleri yapılmıştır. Buralardan da alınan sonuçlar olumlu olup, yakın bir tarihte uygulamaya geçilecektir (Qingru, 2006; Shaolei, 2006; Jianing, 2006; Chengzhong, 2006).

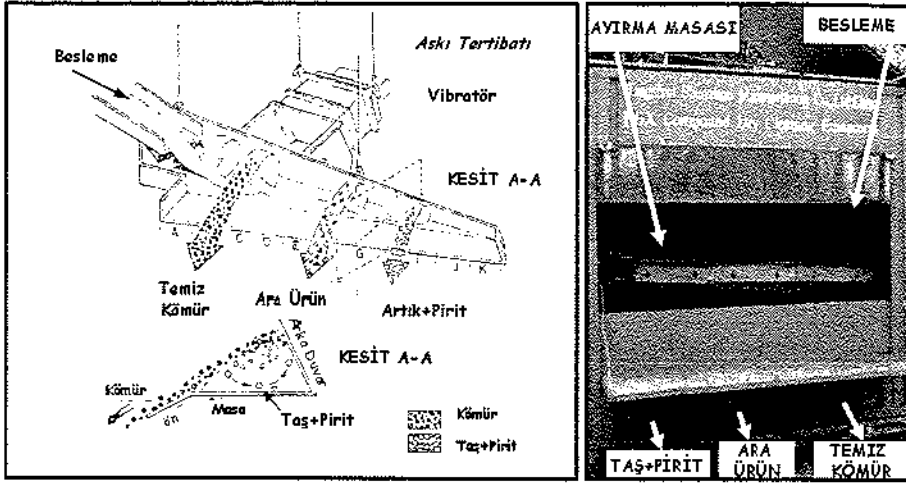
Türkiye'de ise bu sistem henüz deneme aşamasında olup, yalnızca özel bir kömür işletmesinde başarı ile kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, FGX Karma Kuru Kömür Temizleme cihazı ile Soma kömürlerinin temizlenebilirliği araştırılmıştır.

2 FGX CİHAZININ TANITILMASI

Karma Kuru Temizleme cihazında, tüvenan kömür kırılırken ayrılan ince kömür taneciklerinin havayla birlikte oluşturdukları iki fazlı hava-katı karışımı, otojen bir ağır ortam olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak mekanik bir vibrasyon yardımıyla oluşturulan ayırma kuvveti de malzemenin helisel dönme hareketini sağlamaktadır. Böylece, malzeme bu ağır ortamda yüzer hale gelmekte ve tedricen azalan yoğunluk farkına göre dizilerek tabakalanmaktadır. Şekil 1'de FGX cihazının çalışma prensibi ve pilot ölçekli bir FGX cihazının görüntüsü verilmiştir.

Temizlenecek kömür, bir besleyici vasıtasıyla besleme boğazından geçerek ayırma tablasına, ayırma tablasında belirli bir kalınlıkta tabaka oluşturacak şekilde beslenir. En alttaki parçacıklar tabandaki vibrasyonla direkt temas halinde oldukları için bunlar, oluşan momentle deşarj bariyerinden, ayırma tablası arka paneline doğru hareket ederler. Arka panelin engellemesi nedeniyle buraya çarpan taneciklerin hareketi yukarıya yönelir. Bu esnada üst tabakadaki tanecikler arka panelin itmesi ve gravitenin etkisiyle deşarj tarafına doğru kaymaya başlarlar. Böylece tüm malzeme tabakaları hareketli bir yatağa döner ve ayırma başlar. Hafif olan kömür en üste çıkar ve deşarj



Şekil 1. FGX cihazının çalışma prensibi ve pilot ölçekli FGX cihazının önden görüntüsü.

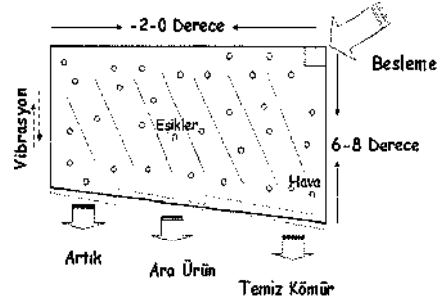
bariyerinden ilk olarak boşalan malzeme olur. Hareket çevrimi bu şekilde sürüp gider (Qingru, 2006; Dwari and Hanumantha Rao, 2007).

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Pilot Ölçekli FGX Cihazı

Deneysel çalışmalarda kapasitesi 10 ton/saat ve toplam gücü 25.64 kW olan Tangshan Shenzhou firmasının FGX adlı cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda ayırma tablasının toplam ayırma alanı 1 m²'dir. Cihaz 4.1 m boyunda ve 6.2 m genişliğinde olup, toplam ağırlığı 3164 kg'dır.

Şekil 2'de verilen ayırma tablasında 7 eşliği bulunan cihazın eşikleri arasındaki mesafe 15 cm'dir. Eşikler birbirine paralel olarak yerleştirilmiştir. Ön panelde yer alan taşma eşikleri ise Soma kömürleri için temiz kömür kısmında 2 cm, ara ürün kısmında 1 cm, artık kısmında ise 0 cm yüksekliğinde olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2. FGX cihazında ayırma tablasının üstten görünüşü.

Sisteme hava 18.5 kW'lık bir motoru olan 70 cm çapındaki bir fan ile 3 ayrı kanaldan verilmiştir. Verilen hava besleme kısmında maksimuma yakın, ara üründe az, artık bölgesinde ise minimum düzeyde olacak şekilde kömür tipine göre ayarlanmıştır.

Ayırma tablası genişliğinin ayarı için 0.7 kW'lık 2 adet vibratör motor kullanılmıştır. Tabla genişliği 3-5 mm arasında olup, kömür tipine bağlı olarak değiştirilmiştir. Tablanın boyuna eğimi -2 ile 0 derece arasında, enine eğimi ise 8 ile 6 derece arasında değiştirilmiştir.

3.2 Kömür Örneklerine Ait Özellikler

Deneyisel çalışmalarda Manisa-Soma yöresine ait Güventepe, Belentepe, Işıklar ve Deniz kömürleri kullanılmıştır. Belli bir panodan alınan 2 tonluk linyit örnekleri -60 mm'nin altına kırılarak tozu ile beraber FGX cihazına beslenmiştir. Örneklere ait nem, kül ve ısı değerleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kömür örneklerine ait özellikler.

Kömür Tipleri	Orijinal	Kuru	Orijinal
	Nem (%)	Kül (%)	Kömürde Alt Isıl Değer (kcal/kg)
Güventepe	12.88	43.78	1988.00
Belentepe	33.90	22.56	2083.00
Işıklar	13.90	47.77	2200.00
Deniz	18.00	32.10	3100.00

Yukarıdaki sonuçlardan görülebileceği gibi, Deniz kömürü hariç diğer kömürler 2500 kcal/kg'ın altında bir ısı değere sahiptirler. Belentepe kömürü dış yüzeyi oldukça ıslak olan yüksek nemli (%33.90) bir kömürdür. Diğer kömürlerin nem içerikleri ise %20'nin altındadır. En yüksek kül içerikli kömür olan Işıklar kömürü %47.77'lik bir kül içeriğine sahiptir. Yukarıdaki kömürlerin tümü bir lavvarda toplanarak yağ yıkama işlemine tabi tutulmakta ve çeşitli yanabilir verim değerleri (%50-65) ile %15-30 küllü temiz kömürler elde edilmektedir.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Kömürlerin FGX cihazında tek kademeli temizlenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'den görülebileceği gibi; FGX cihazı Güventepe kömürünün

Çizelge 2. FGX Cihazından tek kademeli temizleme ile alınan ürünlere ait özellikler.

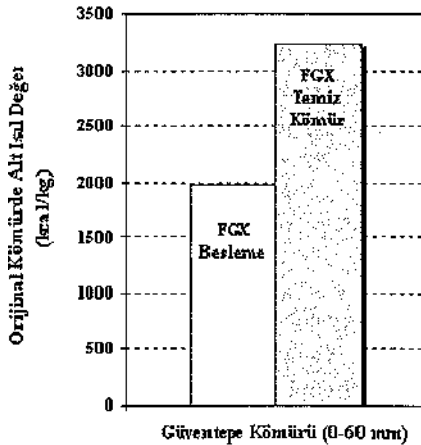
LİNYİT ÖRNEKLERİ	FGX ÜRÜNLERİ	TOPLAM NEM (%)	KURU KÜL (%)	TOPLA	YANABI
				M AĞIRLIK (%)	LİR VERİM (%)
GÜVENTEPE	Temiz K.	17.03	30.58	47.81	59.03
	Ara Ürün	13.39	46.90	16.52	15.60
	Siklon T.	15.00	43.38	1.23	1.24
	Artık	6.80	60.62	34.44	24.12
	Besleme	12.88	43.78	100.00	100.00
BELENTEPE	Temiz K.	35.20	21.10	78.70	80.19
	Ara Ürün	33.00	21.40	10.20	10.35
	Siklon T.	25.70	32.50	1.90	1.66
	Artık	25.20	34.30	9.20	7.81
	Besleme	33.90	22.56	100.00	100.00
IŞIKLAR	Temiz K.	14.70	43.40	57.83	62.67
	Ara Ürün	11.90	45.14	18.00	18.91
	Siklon T.	9.45	58.00	1.17	0.94
	Artık	8.80	60.31	23.00	17.48
	Besleme	13.90	47.77	100.00	100.00
DENİZ	Temiz K.	19.00	25.70	72.40	79.23
	Ara Ürün	18.20	42.40	18.10	15.36
	Siklon T.	15.40	51.00	1.80	1.30
	Artık	14.20	63.70	7.70	4.12
	Besleme	18.00	32.10	100.00	100.00

külünü %43.78'den %30.50'ye %59.03'lük bir yanabilir verimle düşürmüştür. Kalori ise 1988 kcal/kg'dan 3230 kcal/kg'a yükselmiştir (Şekil 3).

Ara ürün %46.90 küllü olup, toplam ağırlığın %16.52'sini oluşturmaktadır. Sistemden alınan çok ince boyutlu havada askıda kalan ve siklonla tutulan tozun küllü ise %43.38, ağırlıkça miktarı ise %1.23'tür.

Artık %62.60 küllü olup, yanabilir madde kaybı % 24.12'dir. Artığın ağırlıkça kazanımı %34.44'tür.

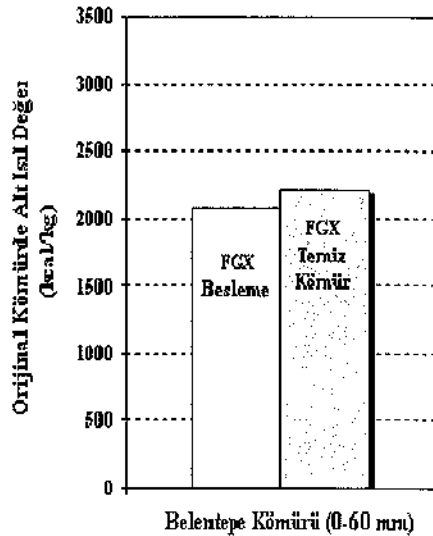
Temiz kömür, ara ürün ve artığın nem içerikleri sırasıyla %17.03, %13.39 ve %6.80 bulunmuştur. Artığa doğru nemin azalmasının başlıca nedeni, tabla üzerinde en uzun süre kalan (en uzun süre hava ile temas eden) malzemenin artık (yani taşlar) olmasıdır. Temiz kömür, tablayı en önce terk eden malzeme olduğu için, hava ile daha az temas kurmuş ve yeterince nemini kaybedmeden sistemden ayrılmıştır. Ayrıca, yüksek nem içeren 6 mm'den küçük taneler de ayırma tablasından en önce ayrılarak temiz kömür nemini arttırmıştır.



Şekil 3. Güventepe kömürü besleme ve temiz kömürünün alt ısıl değerleri.

FGX cihazı, Belentepe kömürünün külünü %22.56'dan %21.10'a %80.19'lük bir yanabilir verimle düşürmüştür. Her ne kadar yanabilir verim değeri yüksek olsa da, beslenen kömürle temiz kömür arasında çok büyük bir kül değişimi yaşanmamıştır. Başka bir deyişle, cihaza beslenen kömürle alınan temiz kömür arasında çok fazla bir fark görülmemiştir. Zira bu durum Şekil 4'de verilen beslenen ve temiz kömür ürünlerine ait ısıl değer değişimlerinden de açıkça görülmektedir. FGX cihazı Belentepe kömürünün ısıl değerini çok az artırarak, 2083 kcal/kg'dan 2158 kcal/kg'a yükseltmiştir.

FGX cihazının Belentepe kömüründe iyi sonuç vermemesinin bir nedeni çok yüksek oranda nem içeriğine sahip olmasıdır. Bu kömürün nem içeriği %33.90 olup, yüzeyi oldukça ıslak bir şekilde beslenmiştir. Bilindiği gibi, FGX cihazının etkili çalışabilmesi için nem içeriğinin %20'nin altında olması istenmektedir.



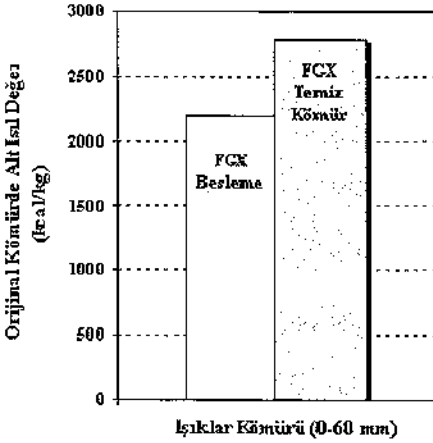
Şekil 4. Belentepe kömürü besleme ve temiz kömürünün alt ısıl değerleri.

FGX cihazı, Işıklar kömürünün külünü %47.77'den %43.40'a %62.67'lik bir yanabilir verim değeri düşürmüştür. Kalori ise 2200 kcal/kg'dan 2790 kcal/kg'a yükselmiştir. Bu durum Şekil 5'de verilen grafikten görülmektedir.

Ara ürün %45.14 küllü olup, toplam ağırlığın %18.00'ünü oluşturmaktadır. Sistemden alınan çok ince boyutlu havada askıda kalan ve siklonla tutulan tozun külü ise %58.00, ağırlıkça miktarı ise %1.17'dir.

Artık %60.31 küllü olup, yanabilir madde kaybı yalnızca %17.48'dir. Artığın ağırlıkça kazanımı ise %23'tür.

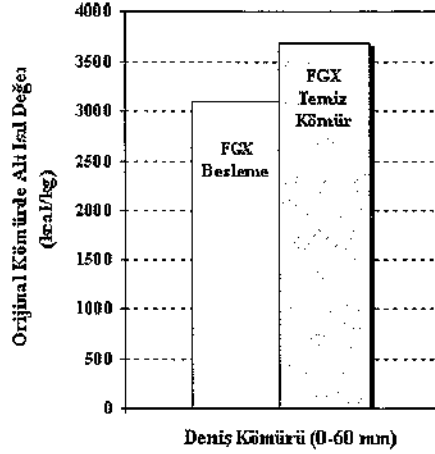
Işıklar kömürünün nem içeriği, beslenen kömürde %13.90 iken, temiz kömürde %14.70, ara üründeki %11.90 ve artıktaki ise %8.80 bulunmuştur.



Şekil 5. Işıklar kömürü besleme ve temiz kömürünün alt ısıl değerleri.

FGX cihazı, Çizelge 2'den görülebileceği gibi Deniz kömürünün külünü %32.10'dan %25.70'e %79.23'lük bir yanabilir verim değeri düşürmüştür. Orijinal kömürdeki alt kalori değeri ise 3100 kcal/kg'dan 3680 kcal/kg'a yükselmiştir (Şekil 6).

Ara ürün %42.40 küllü olup, toplam ağırlığın %18.10'unu oluşturmaktadır. Sistemden alınan çok ince boyutlu havada askıda kalan ve siklonla tutulan tozun külü ise %51.00, ağırlıkça miktarı %1.80'dir. Artığın külü %63.70 olup, yanabilir madde kaybı %4.12'dir. Artığın ağırlıkça miktarı ise %7.70 bulunmuştur.

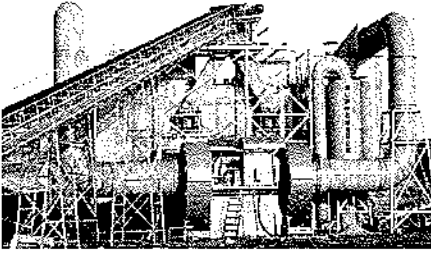


Şekil 6. Belentepe kömürü besleme ve temiz kömürünün alt ısıl değerleri.

5 DİĞER ÜLKELERDE YAPILAN ÇALIŞMALARDA FGX CİHAZININ PERFORMANSI

FGX cihazı başta Çin olmak üzere, dünya üzerinde pek çok ülkede endüstriyel ölçekte kurulmuş ve bazı ülkelerde ise halen pilot çaptaki testleri devam etmektedir. 1997 tarihinden günümüze kadar resmi satış sayısının 700'ün üzerinde olduğu belirtilmektedir. Çizelge 3'de çeşitli kömür madenlerinden alınan endüstriyel ölçekli sonuçlar gösterilmiştir (Li and Yang, 2006). Şekil 7'de ise toplam kurulu gücü 1560 kW olan, 480 t/saat kapasiteli Çin'de kurulu bir FGX cihazı gösterilmiştir.

FGX-48A



Şekil 7. Çin'de kurulmuş olan 480 ton/saatlik FGX Cihazının tesisteki görüntüsü.

Çizelge 3'den görülebileceği gibi, hemen hemen her kömür tipinde FGX cihazı yüksek verim değerleri ile kömür külünde belli oranlarda düşüş sağlamıştır. Örneğin, gazlı bir kömürün külü %48'den %31'e %62'lik bir verim değeri ile düşürülmüştür. Benzer şekilde, %34.37 küllü bir linyitten %88.81'lik bir verimle %23.74 küllü temiz kömür üretilmiştir.

Çizelge 3. Endüstriyel FGX cihazı uygulamalarından alınan sonuçlar (Li and Yang, 2006).

Kömür Madeni Adı	Kömür Tipi	Besleme Tane Boyutu (mm)	Besleme Külü (%)	Temiz Kömür Külü (%)	Verim (%)
Didao	Gazlı Kömür	80-0	48.00	31.00	62.00
Qiantun	Linyit	80-0	34.37	23.74	88.81
Yangquan	Antrasit	13-0	30.86	21.44	85.64
Silong	Uzun Alevli	50-0	33.39	23.35	73.31
Taixi	Artık Kömür	150-0	70.85	58.29	44.20
Pinggou	Koklaşır	80-20	35.32	23.32	62.61

Yukarıdaki sonuçlar, Belentepe kömürü hariç, diğer kömürlerin (Güventepe, Deniz ve Işıklar) FGX cihazında temizlenmesi ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görülmektedir. Belentepe kömüründen iyi sonuç alınmaması muhtemelen yıkanabilirliğinin zor olmasından veya nem içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Diğer kömürlerin temizlenebilirliği için, Çizelge 3'deki gibi farklı uygulamalardan da görülebileceği gibi küldeki azalma değerleri genellikle %10-15 aralığındadır.

6 SONUÇLAR

Pilot ölçekli FGX cihazı ile, boyutu -60 mm'nin altında olan Soma kömürlerinden yan taşın kolaylıkla atılabileceği ve ısı değerinin önemli ölçüde artırılabilceği deney sonuçlarından açık bir şekilde görülmüştür.

Yüksek oranda nem içeren ve yıkanmasının oldukça güç olduğu tahmin edilen Belentepe kömüründen kül uzaklaştırma oldukça zor olmasına rağmen, %20'nin altında nem içeren Güventepe, Işıklar ve Deniz kömürlerinden kül %10-15 oranlarında azaltılmış, kalori ise yaklaşık 500 ile 1300 kcal/kg civarında artırılmıştır.

Güventepe kömürünün külü %43.78'den %30.50'ye; Işıklar kömürünün külü %47.77'den %43.40'a ve Deniz kömürünün külü %32.10'dan %25.70'e makul (\geq %50) bir yanabilir verim değeri ile düşürülmüştür.

Güventepe kömüründe kalori 1988 kcal/kg'dan 3230 kcal/kg'a; Işıklar kömüründe 2200 kcal/kg'dan 2790 kcal/kg'a ve Deniz kömüründe 3100 kcal/kg'dan 3680 kcal/kg'a yükseltilmiştir.

Yukarıdaki sonuçlar tek kademeli temizleme işleminden elde edilmiş olup,

temiz kömür ve ara ürünün sisteme tekrar beslenmesi durumunda daha temiz kömürlerin elde edilebileceği tahmin edilmektedir. Ancak böyle bir durumda temiz kömür miktarında azalma olacaktır.

Boyutu 60 mm'nin altında olan fındık-ceviz büyüklüğündeki tanelerin elle ayıklama bandında ayıklanmasının oldukça güç olduğu düşünülürse, FGX cihazı bu soruna önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Su kullanmadan Soma kömürlerinin kalorisi 2500 kcal/kg'ın üstüne çıkarılabilecek ve ideal bir termik santral veya sanayi yakıtına dönüştürülebilecektir.

FGX cihazı, dünyadaki diğer örneklerinde olduğu gibi, çok düşük küllü kömürler üretememektedir. Yalnızca, kömürle birlikte bulunan ve yoğunluğu kömüre göre daha büyük olan yan taşları kolaylıkla atabilmektedir. Bu bağlamda, FGX cihazı ön-zenginleştirme işlemi için kullanılabilecek ve işletmelerde konvansiyonel elle-ayıklama bandını ortadan kaldırabilecek, yenilikçi, yüksek kapasiteli ve düşük maliyetli bir sistem olarak gözükmemektedir. Ayrıca, suya ihtiyaç duymaması nedeni ile su sıkıntısının bulunduğu bölgelerde klasik yaş yöntemlere önemli bir alternatif sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, FGX cihazı Türkiye temsilcisi METEK Madencilik & Enerji Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti'ye ve numunelerin temini için TKİ Ege Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

Alderinan, J. K., 2001. Improving power plant performance and reducing emissions through the use of pneumatic dry cleaning for low rank coal. *SME*

Annual Meeting, February 26-28, Denver, Colorado.

Arslan, V., 2006. Kuru kömür hazırlama yöntemleri, *Madencilik Dergisi*, Vol.45, No.3, s. 9-18.

Chen, Q. and Yang, Y., 2003. Development of Dry Beneficiation of Coal in China", *Coal Preparation* 23, pp. 3-12.

Çiçek, T., 2008. Dry cleaning of Turkish coal, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 30, No. 7, pp. 593 - 605

Dwari, R.K. and Hanumantha, K. 2007. Dry beneficiation of coal-A Review, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, Vol.28,pp.177-234.

Chengzhong, Z., 2006. Application of compound dry cleaning machine in medium and small scale mines, *China Coal*, Vol. 1, pp. 85-92.

Gongmin, L. and Yunsong, Y., 2006. Development and application of FGX series compound dry coal cleaning system, *China Coal*, Vol. 1, pp. 17-28.

Jianing, J., 2006. Market prospect of application of the compound dry coal cleaning technology in USA", *China Coal*, Vol. 1, pp. 29-33.

Li, G., and Yang, Y., 2006. Application of compound dry cleaning technique in China, *Coal Preparation in China*, No.5, p.29-32.

Qingru, C., 2006. Dry coal cleaning technology- an affective way to solve the coal burning pollution, *China Coal*, Vol. 1, pp. 5-8.

Shaolci, Z., 2006. Compound dry cleaning being an effective method on pre-removing refuse in heavy-medium coal washeries, *China Coal*, Vol. 1, pp. 9-11.

Termik Santral Uçucu Küllerinden Hafif Agregata Üretimi

Production of Light Weight Aggregates from Fly Ash

M. Tanrıverdi, T. Çiçek

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir

ÖZET Türkiye’de, kömüre dayalı termik santraller bugün olduğu gibi ve gelecekte de enerji üretiminde kullanılacaklardır. Ancak, her yıl yaklaşık 15 milyon ton uçucu kül termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde atık olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük miktardaki bu uçucu küllerin sadece çok az bir bölümü tekrar ekonomiye kazandırılmaktadır. Daha fazla uçucu kül kullanımı için, bu alanda yeni uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Seyitömer termik santral uçucu küllerinden agregata üretilebilirliği farklı oranlarda kil katkılı uçucu külle hazırlanan agregaların farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle yeterli mekanik dayanımda agregalar elde edilmiştir.

ABSTRACT In Turkey, today and in the future the coal fired thermal power plants will be used for production of energy. However, annually about 15 million tonnes of fly ash are produced as waste during electrical power production. Only a small part of this huge amount of fly ash is being used in the economy. New application areas are needed in order to increase the use of fly ash.

In this study, the fly ash of Seyitömer power plant was intermixed with different amount of clay and pelletized. The pellets were fired at different temperatures and light weight aggregates with satisfactory mechanical strength were obtained

1 GİRİŞ

Uçucu küllerin ekonomiye kazandırılması amacıyla yapılan araştırmalar özellikle son 20-25 yıl içerisinde hız kazanmıştır. Uçucu küller dünyada, çimento ve beton olarak baraj duvarlar, köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonunda ve diğer inşaat yapılarında; tarımda, çatı

bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında; agregata olarak otoyol, köprü, yol ve briket yapımında, endüstride hafif mineral dolgu maddesi, asfalt içinde dolgu maddesi, yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır (Koçkal, ve Özturan, 2007) (Tanrıverdi ve Çiçek, 2007), (Tanyeli, 2005) Ancak kullanılarak değerlendirilen uçucu kül miktarları

santrallerde elde edilen miktarların küçük bir yüzdesini geçmemekte olup, dünya ortalaması olarak % 15 civarında rakamlar verilmektedir. (Türker ve ark., 2007)

Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalite olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabilmesi ortaya konmuştur. (Çiçek, ve Tanrıverdi, 2007) Bu çalışmada da Seyitömer termik santrali uçucu külleri kullanılarak hafif agrega üretilirliği araştırılmıştır.

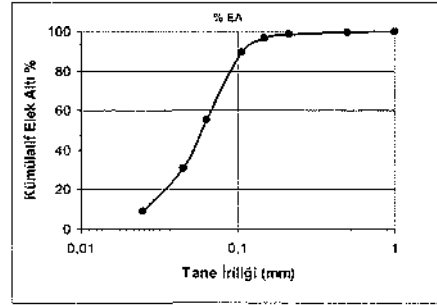
2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santraline ait uçucu kül ağırlıkça % 10, % 20 ve % 30 oranlarında kil ile karıştırılarak peletleme tavasında peletlenmiş ve elde edilen agregaların fırında farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle hafif agrega elde edilebilirliği araştırılmıştır.

Deneylerde kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 1 de ve tane boyut dağılımı Şekil 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Seyitömer uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonu.

Kömlür Tipi	Linyit
Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	0.90
SiO ₂ (%)	58.60
Al ₂ O ₃ (%)	18.00
Fe ₂ O ₃ (%)	8.90
CaO (%)	4.05
MgO (%)	3.88
K ₂ O (%)	2.88
Na ₂ O (%)	0.85
TiO ₂ (%)	0.50
Kızdırma Kaybı (%)	2.27
Cd (ppm)	4
Pb (ppm)	113
Zn (ppm)	189
Cu (ppm)	132
Cr (ppm)	415
Ni (ppm)	867
Co (ppm)	57
Mn (ppm)	860



Şekil 1. Seyitömer uçucu külü tane boyu dağılımı

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda yukarıda özellikleri verilen uçucu kül uçucu kül -100 mikron tane boyutundaki Turgutlu yöresi killeri ile ağırlıkça % 10, % 20, % 30 oranlarında karışımıyla elde edilen numune Evreka Apparatenbau GmbH marka peletleme tavasında karıştırılarak peletlenmiş ve elde edilen agregaların yaş dayanımları, yaş düşme testleri yapılmıştır. Daha sonra 950, 1000, 1050 °C sıcaklıklarda pişirilen agregaların dayanımları, yoğunluğu ve su emme oranları tespit edilmiştir.

3.1 Kil Katkılı Hafif Agreganın Üretimi

Seyitömer uçucu külü % 10, % 20 ve % 30 oranlarında kil ile Şekil 2 de verilen peletleme tamburunda su püskürtürerek aşağıda verilen şartlarda peletleme işlemine tabi tutulmuştur.

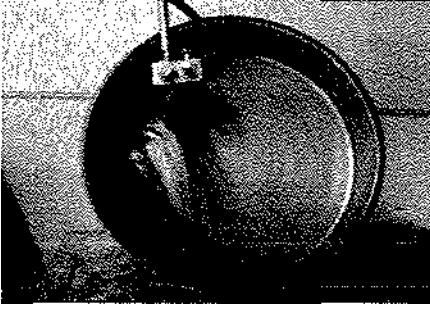
Tava eğimi: 30°

Sıyırıcı eğimi: 25°

Hız: 60 devir/dak.

Tava çapı: 55 cm

Tava derinliği: 12 cm



Şekil 2. Peletleme Tavaşı

Elde edilen agregaların tane boyut dağılımı Şekil 3 de verilmiştir.

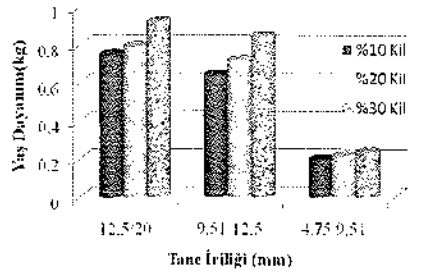
Elde edilen 3 farklı karışım oranındaki agregalar yaş düşme testi ve dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Etüvde 105 °C de 2 saat kurutulduktan sonra Vecstar marka fırında 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle pişirilerek 9 farklı tip agrega elde edilmiştir (Şekil 3)

Yaş agregalara düşme ve dayanım testi, pişmiş agregalara dayanım, su emme oranı testi uygulanmıştır. Pişmiş agregaların elek analizleri yapılmıştır. Düşme testi (drop test) peletlerin 45 cm yükseklikten çelik bir plaka üzerine bırakılması ile yapılmıştır. İki paralel çelik plaka arasında parçalanma dayanım testleri ise ASTM E382-97 standardına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Pişmiş agrega

Şekil 4 de kil katkılı agregaların yaş dayanım testi sonuçları ve Çizelge 2 de ise yaş agregaların düşme testi sonuçları verilmiştir.



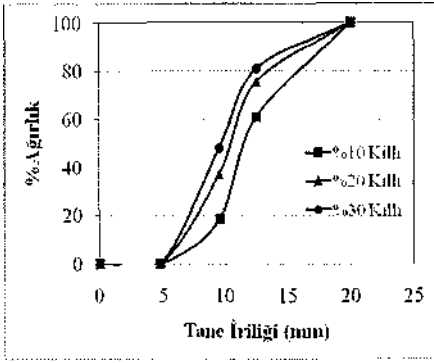
Şekil 4. Kil katkılı agregaların yaş dayanımları

Şekil 4 den de görüleceği üzere killi agregaların yaş dayanımları tane iriliğinin artışına paralel olarak bir artış gösteriyor olsa da maksimum 1 kg civarındadır. Düşme ve yaş dayanım testleri yaş agregaların pişirine işlemine tabi tutulmak üzere fırına bantlarla aktarılması sırasında bantlardan peletin düşmesi esnasındaki durumunu belirlemek açısından önemlidir. Bu testlerden elde edilen sonuçlar tatmin edici düzeydedir.

Çizelge 2. Kil katkılı yaş agregaların düşme testi sonuçları

Tane İriğiği(mm)	Düşme Sayısı		
	%10 Killi	%20 Killi	%30 Killi
12.5/20	4	4	4
9.5/12.5	3	3	3
4.75/9.51	3	3	3

Pişmiş agregaların tane boyut dağılımı 4.75/20 mm tane boyutu aralığındadır (Şekil 5). Agregaların % 81 i 9.51 ile 20 mm aralığındadır



Şekil 5. Kil içrikli pişmiş agregaların tane irilik dağılımı

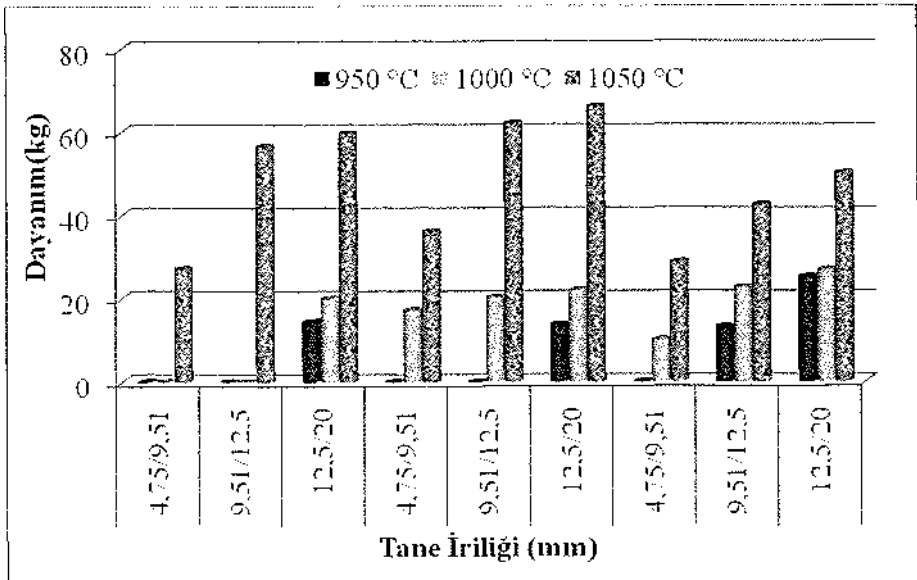
950 -1050 °C sıcaklık aralıklarında elde edilen agregaların su emme oranları incelendiğinde pişirme sıcaklığının artışına paralel olarak su emme oranının azaldığı görülmektedir (Çizelge 3). Bunu sıcaklığın artışıyla beraber agrega içerisindeki camı faz oluşumunun artması şeklinde açıklamak mümkündür.

Çizelge 3. Pişmiş agregaların su emme oranları

Pişirme sıcaklığı (C°)	Kil oranı (%)	Su Emme Oranı (%)
950	10	38.73
	20	36.90
	30	33.40
1000	10	35.80
	20	33.13
	30	31.98
1050	10	24.85
	20	18.93
	30	18.91

Pişmiş agregaların dayanım test sonuçları Şekil 6 da verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere en yüksek dayanım 66 kg olarak % 20 kil katkı 1050 °C de pişmiş 12.5/20 mm boyutundaki agregalarda elde edilmiştir.

Pişmiş agregaların yığın yoğunluğu, birim hacim ağırlığı ve kaba yoğunluk değerleri Çizelge 4 te verildiği gibi tespit edilmiştir.



Şekil 6. Pişmiş agregaların dayanımları

Çizelgeden de görüleceği üzere pişirme sıcaklığı arttıkça elde edilen agregaların da yoğunluk değerleri artmaktadır. En yüksek dayanım elde edilen % 20 kil katkılı 1050 °C de pişmiş 12.5/20 mm boyutundaki agregaların birim hacim ağırlığı 1.368 g/cm³ tür. Bu agregaların yığın yoğunluğu 0.797 t/m³ olup, kalkerden üretilen agregaların yığın yoğunluğunun yaklaşık 1/2 değerindedir.

Çizelge 4. Agregaların yoğunluk değerleri

Pişirme sıcaklığı (°C)	Kil oranı (%)	Yığın Yoğ. (t/m ³)	Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	Kaba yoğ. (g/cm ³)
950	10	0.590	1.123	1.987
	20	0.595	1.135	1.954
	30	0.688	1.388	2.591
1000	10	0.689	1.021	1.609
	20	0.698	1.230	2.079
	30	0.713	1.272	2.146
1050	10	0.738	1.326	1.979
	20	0.797	1.368	2.058
	30	0.801	1.481	2.085

4. SONUÇLAR

Termik santral uçucu küllerinden hafif agrega üretimi üzerine yapılan bu çalışmanın sonuçları umut vericidir.

Pelletleme ile istenilen tane boyutuna uygun agregalar üretilebileceği görülmüştür. Elde edilen agregalarda 4.75 mm altı tane boyutunda agrega bulunmamaktadır. Bu da kullanım alanlarında genelde tercih edilen 5 mm üzeri tane boyutu agrega talebine uymaktadır.

Yaş düşme testleri elde edilen agregaların fırına aktarılması esnasında önemli ufalanma sorunu çıkarmayacağını göstermiştir.

Çalışmada agregaların tek nokta baskıda parçalanma dayanımları 60 kg civarında olabilmektedir. 1050 °C de pişirilen % 20 killi agregalarda en yüksek dayanım elde edilmiştir. Pişirme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak elde edilen agregaların dayanımının arttığı da görülmüştür.

Agregaların birim hacim ağırlığı pişirme sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Burada amaç hafif agrega üretmek olduğundan yeterli dayanım elde edilen 1050 °C den daha yüksek sıcaklıklara gerek duyulmamıştır.

Agregaların birim hacim ağırlığı kil oranı ve pişirme sıcaklığına bağlı olarak 1.12 – 1.48 g/cm³ civarında olup yığın yoğunlukları ise 0.59 – 0.80 t/m³ civarında olduklarından hafif agrega özelliği göstermektedir.

Su emme oranının yüksek olması bu agregalardan elde edilebilecek hafif betonların özellikle bina içi yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Elde edilen hafif agregaların hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması bu çalışmanın devamında yapılması gereken bir çalışmadır.

KAYNAKLAR

- Çiçek, T. Tanrıverdi, M. 2007, Lime based steam autoclaved fly ash bricks, *Construction and Building Materials*, 21(6), 1295-1300
- Koçkal, N. U., Özturan, T., 2007, Sinterleme Sıcaklığının Uçucu Kül Hafif Agregaların Özelliklerine Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, s-133-145
- Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F., ve Yeğinobalı, A., 2004, "Uçucu

küllerin sınıflandırılması ve Özellikleri”, *Türkiye Çimento müstahsilleri Birliği yayını*, TÇMB/AR-GE/YO3.03,

Tanrıverdi, M., T., Çiçek. 2007, Otoklav yöntemi ile uçucu küllü tuğla üretiminde presleme basıncının tuğla özelliklerine etkilerinin araştırılması

Proceedings of 6.th International Industrial Minerals Symposium, 384-388. İzmir,

Tanyeli, D., 2005, Termik santral uçucu küllerinden hafif agrega üretimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Müh. Bl.* Bitirme Tezi, Yönetici: M. Tanrıverdi, T. Çiçek

Çayırhan Termik Santral Taban ve Uçucu Külünün Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği

Utilization of Bottom and Fly Ash of Çayırhan Power Plant as Light Weight Material

M. Uçurum, Ö. Y. Toraman, E. Yoğurtçuoğlu

Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, NİĞDE

A. Bilgil

Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, NİĞDE

ÖZET Taban külü ve uçucu kül, termik santrallerde kömürün yakılması sonucu ortaya çıkan, önemli çevre ve depolama sorunlarına yol açan endüstriyel atıklardır. Bu çalışmada; Çayırhan Termik Santralinde açığa çıkan taban ve uçucu külünün karakteristik özellikleri ortaya konduktan sonra, formaldehit esaslı bir bağlayıcı kullanılarak hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, uçucu kül orijinal hali ile, taban külü ise üç farklı boyutta (orijinal, -0,300 ve -0,106 mm) kullanılmıştır. Sonuç olarak, hafif yapı malzemesi üretimi için en iyi malzemenin -0,300 mm boyutundaki taban külü olduğu ortaya konulmuştur.

ABSTRACT Bottom ash and fly ash are industrial solid wastes obtained from coal-fired thermal power plants. They give rise to environmental and dumping problems. In this study, characteristic properties of fly and bottom ash from Çayırhan Power Plant were determined. Then, possible usages of the samples as light weight material in construction were researched. For this purpose, fly ash sample was used as original form. While, bottom ash was used as three form, i.e., original, -0.300 and -0.106 mm. The trials showed that -0.300 mm bottom ash sample gave the best results for production of light weight material.

1 GİRİŞ

Endüstriyel yakıt olarak kullanılma imkanı olmayan düşük kalorili, yüksek küllü kömürler termik santrallerde enerji üretimi amacı ile kullanılmaktadır. Ancak, enerji üretiminin artırılmasında tutarlı bir çözüm olarak gözüken kömüre

dayalı termik santraller önemli ekolojik, ekonomik ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir (DEÜ, 1985).

Ülkemizde faaliyet gösteren ve genellikle düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün

yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan bu küllere, uçucu kül (fly ash) adı verilmektedir (Erdoğan, 1993; Tokyay ve Erdoğan, 1998). Termik santrallerde açığa çıkan, daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü (bottom ash) denilmektedir (Mehta, 1986). Uçucu küller termik santralde açığa çıkan toplam külün %75-80'ini, taban külleri ise toplam külün %20-25'ini oluşturmaktadır (Kızılgut vd., 2001).

Bugün dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye'de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi, ortalama 16 milyon ton (2006 yılı ortalama veri) kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir (Türker, vd. 2007; TÜİK, 2008).

Bu atıkların termik santralden uzaklaştırılması ve depolanması muhtemel çevre kirliliğinin yanı sıra, işletme, enerji, üretim v.b. konularda ekonomik ve teknik problemler meydana getirmektedir.

Öte yandan, Dünyada 1970'li yıllarda başlayan petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Gerek uçucu küllerin gerekse taban küllerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilmesi, dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğer taraftan

çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunmasına da yardımcı olunacaktır. İnşaat sektöründe çimento, beton, agrega, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretimi ile baraj ve yol yapımı gibi çeşitli uygulamalarda bu tür atıklar kullanılmaktadır. Gerek Dünyada gerekse ülkemizde uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı başlıca alanlar ise çimento, beton ve tuğlada katkı ve ikame malzemesi ile ince/iri ve hafif agrega üretimidir. Ayrıca, blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik ve harç gibi çeşitli yapı malzeme ve elemanlarının üretiminde de kullanılabilir (Aruntaş, 2006). Uçucu külün duvar yapımında kullanılan hafif yapı malzemesi, yük taşımayan panel ve blok üretiminde kullanılabilmesi çeşitli deneysel çalışmalarla belirlenmiştir (Jueshi vd., 2001; Kumar, 2003), silis kaynağı olarak gaz beton üretiminde hammaddeye karıştırılarak kullanılmıştır (Ropelewski ve Neufeld, 1999). Ayrıca, uçucu külün fenol formaldehit reçinesini içinde dolgu maddesi olarak kullanılarak suya dayanıklı seramik görünümü yapı malzemesi üretildiği (Güler vd., 2005) ve pirina ile birlikte kullanılması durumunda yine suya dayanıklı, ahşap görünümü yapı malzemesi elde edildiği belirtilmiştir (Gürü, 2001).

Bu çalışmada; Çayırhan Termik Santral uçucu ve taban külünün hafif yapı malzemesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2 MATERYAL ve METOD

Deneysel çalışmalarda, Çayırhan Termik Santral atığı uçucu ve taban külü kullanılmıştır. Niğde Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına getirilen yaklaşık ellişer kilogram numuneler konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Numunelere ait özellikler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Taban külü ve uçucu

kül numunelerinin mineralojik analiz sonuçları Çizelge 3'de sunulmuştur. XRD analizleri, Cu-X-ışın tüplü Philips PW 3710/1830 XRD analiz cihazı ile 2,5-70° arasında yapılmıştır. Şekil 1'de ise numunelere ait elek analiz sonuçları gösterilmiştir. Bu analize göre çalışılan orijinal taban külünün d_{50} ve d_{80} sırası ile 0,425 ile 0,850 mm, uçucu külün ise 0,106 ve 0,212 mm' dir.

Hafif yapı malzemesi üretim deneylerinde hacim değerleri esas alınmıştır. Bu bağlamda formaldehit esaslı bağlayıcı numune hacminin %10-15-20-25-30-35'i oranlarında kullanılmıştır. Yeterli miktarda sertleştirici ile karıştırılarak plastik kıvamına gelene kadar su ilave edilmiş ve 4x4x16 cm ebadındaki çimento numune kalıplarına dökülerek sıkıştırılmıştır. Daha sonra reaksiyonun hızlanması için $120 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde 24 saat bekletilmeye bırakılmıştır. Son olarak, numuneler 4x4x4 ölçülerine indirgenerek numuneler üzerinde basınç gerilme deneyleri yapılmış ve birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Deney numunelerinin özellikleri (Kuru bazda).

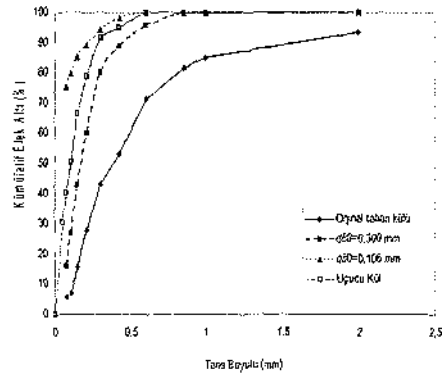
Özellikler	Taban Külü	Uçucu Kül
Kül (%)	90,08	99,55
Uçucu Madde (%)	9,90	0,44
Yanar Kükürt (%)	2,17	-
Külde Kükürt (%)	1,74	-
Toplam Kükürt (%)	3,91	1,33
Alt Isıl Değer (Kcal/kg)	Yakılamadı	Yakılamadı
Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Yakılamadı	Yakılamadı

Çizelge 2. Taban külü ve Uçucu küle ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşik	Taban Külü	Uçucu Kül
Na ₂ O	0,92	1,17
MgO	5,61	4,86
Al ₂ O ₃	10,12	12,54
SiO ₂	48,81	53,51
P ₂ O ₅	0,79	0,88
K ₂ O	2,31	2,94
CaO	11,81	12,38
TiO ₂	0,39	0,49
MnO	0,08	0,09
Fe ₂ O ₃	6,10	7,19
K.K.	9,75	0,55

Çizelge 3. Taban külü ve uçucu külün mineralojik bileşenleri

Taban Külü	Uçucu Kül
Kuvars	Kuvars
Feldispat grubu mineraller	Feldispat grubu mineraller
Jips	Maghemit
Piroksin grubu mineraller	Anhidrit
Amorf malzeme	Amorf malzeme
Dolomit (az)	Periklas
Kalsit (az)	Az Lime
Periklas (çok az)	Piroksen grubu mineral (az)
Zcolit (çok az)	Opal (az)
Manyetit (çok az)	Mika (çok az)
Karışık tabakalı kil minerali (çok az)	Amfibol grubu mineral (çok az)
	Karışık tabakalı kil minerali (çok az)



Şekil 1. Uçucu kül ve taban külü elek analizi

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

Literatürlerde bağlayıcı olarak çimento kullanılarak yapılan çalışmalardan mekanik etkiler bazında iyi sonuçlar alındığı bilinmekte olup, normal beton basınç mukavemet değerlerine çeşitli oranlarda çimento ve kül karışımları ile ulaşılabildiği görülmektedir. Ancak, bu tür çalışmalarda çimento oranının yükselmesi ile üretim maliyeti artmakta ve birim hacim ağırlığı normal betonun üzerine çıkmaktadır. Bu sebeple, gerçekleştirilen bu çalışmada, hafif yapı malzemesinin üretiminde daha ucuz ve etkili bir bağlayıcı olan formaldehit esash bir bağlayıcı kullanılmıştır.

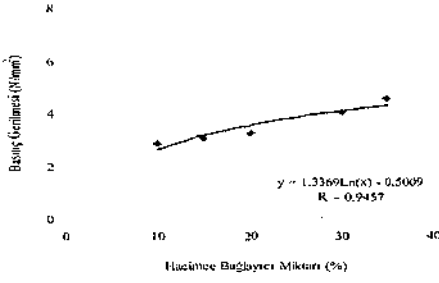
Söz konusu deneylerde uçucu kül orijinal hali ile kullanılırken, taban külü orijinal formu ile birlikte, bilyalı değirmende iki farklı boyuta öğütülerek ($d_{80}=0,300$ ve $0,106$) üç farklı boyutta kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise basınç gerilmeleri (N/mm^2) bazında Şekil 2-5'te, birim hacim ağırlığı bazında (t/m^3) ise Şekil 6-9' da verilmiştir. Şekillerde elde edilen nokta değerler baz alınarak eğilim çizgisi kullanılmış ve formülleri ile korelasyon katsayıları (R) şekiller içinde verilmiştir.

Şekil 2'de orijinal taban külüne ($d_{80}=0,850$ mm) ait basınç gerilmesi değerleri verilmiştir. Bağlayıcı miktarı artıkça basınç gerilmesi değerleri artış göstererek hacimce %35 bağlayıcı miktarında $4,50 N/mm^2$ değerine ulaşmıştır. $d_{80}=0,300$ mm boyutuna öğütülen taban külünde bu değer $7,00 N/mm^2$ (Şekil 3), $d_{80}=0,106$ mm'ye öğütülen taban külünde $4,70 N/mm^2$ (Şekil 4), uçucu külde ise $4,10 N/mm^2$ olmuştur (Şekil 5).

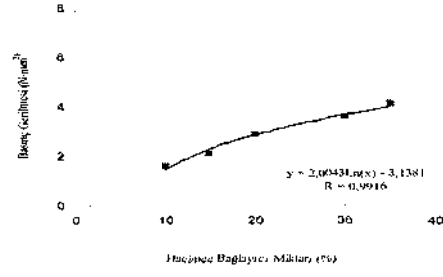
Birim hacim ağırlığı değerleri (t/m^3), bağlayıcı miktarı ile $0,300$ mm, $0,106$ mm taban külü ve uçucu külde ters orantılı

bir seyir izlemiştir (Şekil 7,8,9). Ancak, bu durum orijinal taban külünde doğru orantılı olarak kendisini göstermektedir (Şekil 6). Bunun nedeni olarak, taban külünün geniş tane irilik dağılıma sahip olması gösterilebilmektedir. Çünkü hafif yapı malzemesi imalatında geniş tane dağılımı nedeni ile taneler arasında nispeten daha büyük boşluklar meydana gelmektedir. Pişirme esnasında bağlayıcının içerisinde bulunan su, buhar haline geçtiği zaman boşluklardan kolayca kütleli terk etmesinden dolayı numunede herhangi bir genişleme olmamıştır. Dolayısı ile de, orijinal taban külünden elde edilen hafif yapı malzemesinde bir hacim artışı meydana gelmemiştir. Bu nedenle, orijinal taban külünün birim hacim ağırlığı, bağlayıcı miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Birim hacim ağırlığı değerleri %35 bağlayıcı miktarında, orijinal taban külünde $1,30 t/m^3$ (Şekil 6), $d_{80}=0,300$ mm taban külünde $1,01 t/m^3$, $d_{80}=0,106$ mm taban külünde $1,19 t/m^3$ ve uçucu külde ise $1,15 t/m^3$ değerlerini almıştır.

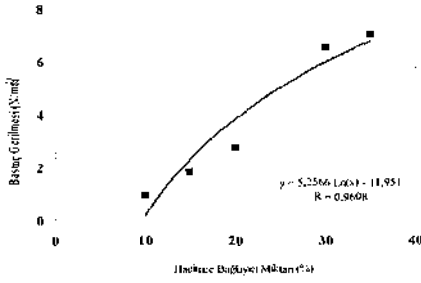
Günümüz yapı endüstrisinde konstrüktif olarak kullanılan Gazbeton kagir imalatlar, *TS EN 771-4 Gazbeton Kagir birimler* standardında belirtilen standart değerlerinde göre basınç dayanımı $1,5 N/mm^2$ 'den büyük olması gerekmektedir. Bu çalışmadan elde edilen ürünlerin tümünün basınç dayanım değerleri, belirtilen standart değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Ürünlerin etüv kurusu birim hacim ağırlıkları ise $1,15-1,40 t/m^3$ aralığında olmuştur. Bu değerler; *TS EN 771-4 Gazbeton Kagir birimler* standardında belirtilen Gazbetonlar için verilen $0,3-1,0 t/m^3$ standart değerlerine göre nispeten yüksektir. Bunun nedeni, maliyeti yükseltmemek için deneysel çalışmalarda ürünlerin birim hacim ağırlıklarını düşürmek için herhangi bir genişletici katkı maddesinin kullanılmamasıdır.



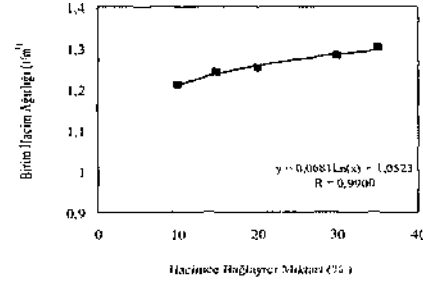
Şekil 2. Orijinal taban külünün ($d_{80}=0,850$ mm) farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin basınç gerilmeleri



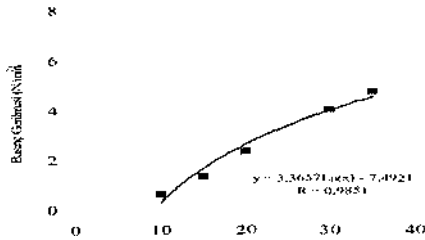
Şekil 5. Uçucu külün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin basınç gerilmeleri



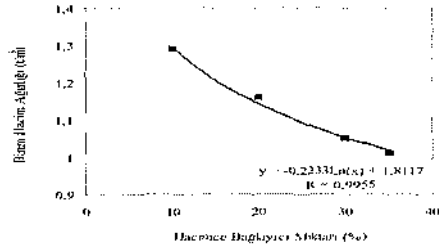
Şekil 3. $d_{80}=0,300$ mm taban külünün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin basınç gerilmeleri



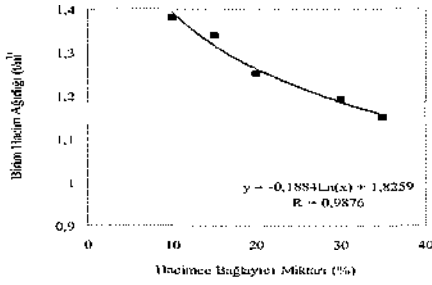
Şekil 6. Orijinal taban külünün ($d_{80}=0,850$ mm) farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıkları



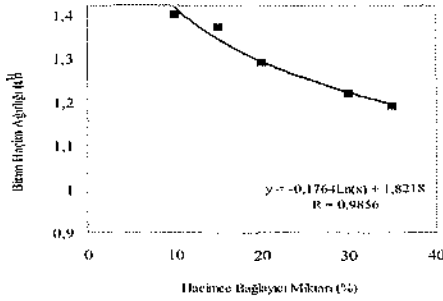
Şekil 4. $d_{80}=0,106$ mm taban külünün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin basınç gerilmeleri



Şekil 7. $d_{80}=0,300$ mm taban külünün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıkları



Şekil 8. $d_{30}=0,106$ mm taban külünün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıkları



Şekil 9. Uçucu külün farklı oranlarda bağlayıcı kullanılarak elde edilen hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıkları

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çayırhan Termik Santrali taban külü ve uçucu küllerinin formaldehit esaslı bir bağlayıcı kullanılarak hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Çimentonun yoğunluğundan dolayı, üretilen malzemenin birim hacim ağırlığının yüksek değerlerde olması nedeni ile bağlayıcı olarak çimento tercih edilmemiştir.

Uçucu kül ve taban külünün formaldehit esaslı bir bağlayıcı kullanılarak hafif yapı malzemesi ürünlerinin basınç

gerilmeleri sonuçları standartların üzerinde olmasına karşın birim hacim ağırlıkları bazında ise nispeten standart değerlerden yüksek sonuçlara ulaşılmıştır. Bunun nedeni olarak, maliyetin daha da yükseltilmemesi için herhangi bir genişletici katkı maddesi kullanılmaması gösterilebilir.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışma ile, numunelerin, formaldehit esaslı bir bağlayıcı ile kolaylıkla karışırma giderek su ilavesi ile plastik kıvama getirildiğinde kalıplarda istenilen şeklin verilebildiği ve karışımın $120^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta reaksiyon tamamlanabilmesi için etüvde 24 saat bekletilmesi ile kullanıma sunulabilecek özellikleri kazanabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışılan numuneler içerisinde -0.300 mm taban külünün hafif yapı malzemesi için daha uygun olduğu gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Niğde Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Projeleri (BAGP) Birimi tarafından desteklenen FEB2008/14 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için Niğde Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine ve numunelerin temin edilmesinde katkılarından dolayı Çayırhan Termik Santrali yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aruntaş, H.Y., 2006. "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt. 21, No. 1, s.193-203.

DEÜ, 1985. "Uçucu Küllü Yapı Blok Elemanları Üretimi Ön Çalışmaları ve Fizibilite Etüdü Nihai Raporu.

- Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Erdoğan, T.Y., 1993. "Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı-Uçucu kül ve Yüksek Fırın Cürufu", *End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, Ankara, 1-8, 18-19 Kasım 1993.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H. 2005 "Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları" *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET*. İzmir. Türkiye, 09-12 Haziran 2005.
- Gürü, M., 2001. "Uçucu Kül ve Pirinadan Plastik Kompozit Malzeme Üretimi", *Politeknik Dergisi*, Cilt 4, No 1, 35-38.
- Jueshi, Q., Caijun, S., Zhi, W., 2001. "Activation of Blended Cements Containing Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, Cilt 31, No 8, 1121- 1127.
- Kızıgüt, S., Çuhadaroğlu, D., Çolak, K., 2001. "Çatalağzı Termik Santrali Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması" *Türkiye 17 Uluslararası Madencilik Kongresi*, TUMAKS 2001, Ankara s 81-85
- Kumar, S., 2003. "Fly Ash-Lime-Phosphogypsum Hollow Blocks for Walls and Partitions", *Building and Environment*, Cilt 38, No 2, 291-295.
- Mehta, P.K., 1986. *Concrete-Structure, Properties and Materials*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- Ropelewski, L., Neufeld, R.D., 1999. "Thermal Inertia Properties of Autoclaved Aerated Concrete", *Journal of Energy Engineering-ASCE*, Cilt 125, No 2, 59-75.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., ve Yeğinoğlu, A., 2007; "Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri", *Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği* Ankara, 1-102.
- TUİK, 2008; "Termik Santral Su ve Atık İstatistikleri, 2000-2006", <http://www.tuik.gov.tr>
- TSE, 2006. "Kagir Birimler-Özellikler-Bölüm 4: Gazbeton Kagir birimleri TS EN 771-4.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., 1998. "Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu", *TÇMB*, Ankara, 1998.

Gazlaştırma Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamalar Bazında Bugünü ve Geleceği

Current and Future Trends of Gasification Technology

G. Ateşok, A. A. Sirkeci

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Müh. Bölümü
34469 Maslak, İstanbul*

ÖZET Gelişen teknolojiler çerçevesinde, kömürün gazlaştırılması, pek çok olumlu yönü ile ön plana çıkmaktadır. Kömürden gaz üretimi, prosesin yüksek verimliliği, gaz ürünün kolaylıkla kullanılabilmesi, ucuz ve basit dağıtımının yapılabilmesi, çevre için kabul edilebilir şekilde yanması ve gazın ham madde olarak kullanımı olanaklarından dolayı önemlidir. Gazlaştırma işlemi kullanılan hammaddenin 700 °C'nin üstünde bir reaktan gaz ile tepkimeye girmesi sonucu gerçekleşir. 2007 yılı itibariyle Dünya'da yaklaşık 430 gazlaştırıcı reaktör mevcuttur. Bu reaktörlerin toplam gücü 56,000 MW_{th} civarındadır. Gazlaştırıcı reaktörlerin 80 tanesi Güney Afrika'da çalıştırılmaktadır. Dünya'da söz konusu reaktörlerden üretilen gazın; %33'ü doğrudan gaz ürün olarak, %30'u çeşitli kimyasallar üretiminde (başta NH₃ olmak üzere) ve %37'si ise sıvı ürünler eldesinde kullanılmaktadır. Üretilen gaz ürünlerin tamamı elektrik üretiminde tüketilmektedir. 2010 yılında Dünya sentetik gaz kapasitesinin %30'un üzerinde artarak yaklaşık 73,400 MW_{th}'ye çıkacağı tahmin edilmektedir.

ABSTRACT In parallel with technological developments, gasification of coal comes forward with many advantages. Gas production from coal is an important issue for such reasons as high process efficiency, the ease of gas utilization, simple and low cost distribution, environmentally friendly combustion and the use of gas as raw material. Gasification is accomplished by the treatment of the feedstock with a reacting gas above 700°C. There are about 430 gasifiers in the world according to the database of the year 2007 and the total operating power is around 56,000 MW. South Africa has 80 gasifiers in operation. The use of the gas produced from the reactors is as follows: 33% for direct combustion in electricity generation, 30% for the production of chemicals (primarily NH₃) and 37% for the production of liquid products. Coals are gasified in fixed bed, fluidised bed and entrained flow gasifiers depending on the particle size. The syngas production capacity in the World is estimated to increase by more than 30% to about 73,400 MW_{th} in the year 2010.

1 GAZLAŞTIRMA PROSESLERİNİN GELİŞİMİ

Günümüzde kömürün gazlaştırılması ile ilgili çalışmaların gittikçe arttığı gözlenmektedir. ABD’de bir Texaco gazlaştırıcısı Kingsport, Tennessee’de bulunan Tennessee Eastman kimyasal tesisinde ticari amaçla kullanılmakta ve metanol elde etmek için sentez gazı üretmektedir. Kuzey Dakota’da Dakota Gazlaştırma tesisinde 2. Dünya Savaşı’ndaki gelişmiş gazlaştırma teknolojileri temel alınarak doğal gaz ve kimyasallar üretilmektedir.

Deniz aşırı ülkelerden Güney Afrika Cumhuriyeti’nde ise yine çoğunlukla 2. Dünya Savaşı’ndaki gelişmiş gazlaştırma teknolojileri temel alınarak kimyasal ve taşıt yakıtı üreten endüstriler

bulunmaktadır. Bir kombine çevrimli entegre gazlaştırma (IGCC) güç santrali de Hollanda’da işletilmektedir. Ticari anlamda birçok Alman gazlaştırıcısı mevcuttur. Çin Halk Cumhuriyeti’nde Texaco gazlaştırıcılıarı ticari olarak çalışmakta ve yapımı planlanmaktadır.

Gelişmiş gazlaştırma ve kombine çevrimli entegre gazlaştırma (IGCC) teknolojisi gelişimi 1960’larda ABD’de başlamıştır. Birinci amaç olarak, doğal gaz ve petrol fiyatlarındaki artış ve yokluğu karşılayabilecek kömür temelli teknolojilerin geliştirilmesi gelirken, ikincil olarak daha verimli temiz kömür termik santrallerinin işletilmesi gelmektedir. Modern IGCC teknolojisi endüstrinin bu ihtiyaçlarına bir cevaptır. Bazı sistemler gaz türbin sistemli elektrik güç üretimi için yakıt

Çizelge 1. Dünya çapında işletilen IGCC projeleri.

Proje-Bölge	İşletilme Tarihi	MWe Çıkaşı	Hammadde-Ürünler
Nuon (Demkolcc)-Buggenum, Hollanda	1994	253	Kömür/Biyolojik Madde-Enerji
PSI Wabash (Global/Cinergy)-Indiana ABD	1995	262	Kömür/Petrokok-Enerji
Tampa Electric-Polk County, Florida ABD	1996	250	Kömür/Petrokok-Enerji
SUV-Vresova, Çek Cumhuriyeti	1996	350	Kömür/Petrokok-Enerji
Shell Refinery-Pernis, Hollanda	1997	80	Katran-Enerji, hidrojen ve buhar
ELCOGAS-Puertollano, İspanya	1998	320	Kömür/Petrokok-Enerji
ISAB Energy, İtalya	1999	510	Asfalt-Enerji
Valero (Premcor)-Delaware City, Delaware ABD	2000	240	Petrokok-Enerji
Sarlux/Enron-Sardunya, İtalya	2000	550	Katran-Enerji, hidrojen ve buhar
API Energia-Falconara, İtalya	2001	250	Petrol atığı-enerji ve buhar
Exxon Chemical-Singapur	2002	180	Etilen katran-Enerji
Nippon Petroleum (NPRC)-Negishi, Japonya	2004	350	Asfalt-Enerji
ENI Sannazzaro-İtalya	2006	250	Petrol atığı-Enerji
Temiz Kömür Teknolojisi Enstitüsü (ICTT)-Yankuang, Çin	2006	72	Kömür-Enerji ve metanol
Temiz Kömür Enerjisi-Nakoso, Japonya	2007	220	Kömür-Enerji
<i>Toplam İşletilen IGCC Çıkaşı (MW)</i>		<i>4.137</i>	

üreten geliştirilmiş basınçlı kömür gazlaştırıcılarını kullanmaktadır. Bu sistemde, sıcak gaz türbini egzozu buhar üreterek ilave elektrik sağlar (Johnson, 1979; Hebden, 1981; Berkowitz, 1985; Smoot, 1985).

Bir gazlaştırıcının ilk ticari ölçekli kullanımı Kaliforniya'daki bir Birleşmiş Devletler IGCC projesi olan Soğuk Su Projesinde gerçekleşmiş ve Texaco kömür gazlaştırma teknolojisi temel alınmıştır. En büyük desteği Birleşmiş Devletler Sentetik Yakıtlar Kurumu, Güney Kaliforniya Edison Company, Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü ve diğerleri tarafından alan Soğuk Su Projesi IGCC'nin fizibilite çalışması yapıldığı olağanüstü çevresel performans sağlayan bir sistemdir. Çizelge 1'de Dünya çapında işletilen IGCC projeleri görülmektedir.

Kömürün gazlaştırılması ve gaz türbin teknolojilerdeki çok büyük gelişmeler, atık ısıyı verimli olarak elde eden ve yeniden kullanan sistem entegrasyonundan dolayı günümüzün IGCC'leri verim açısından yeterli bir düzeye gelmişlerdir (DOE/NETL, 2007).

Oksijen kullanan bir IGCC güç santralinde gaz temizleme işlemi doğrudan kömür yakarak elektrik üreten termik santrallere göre daha ucuzdur. Daha az hacimli gaz temizleneceği için daha küçük aygıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü kirleticiler yanma işleminden önce basınç altındaki baca gazında temizlenmektedir. Buna karşın, havadaki azot varlığından dolayı kömürle çalışan elektrik santrallerinden çıkan baca gazının hacmi çok daha büyüktür. Çünkü, baca gazı atmosferik basınçta temizlenir.

Atmosferik emisyonlar, sentetik gazlardan sülfürün ve diğer kirleticilerin çok etkili olarak uzaklaştırılması için kullanılan, kanıtlanmış teknolojilerden

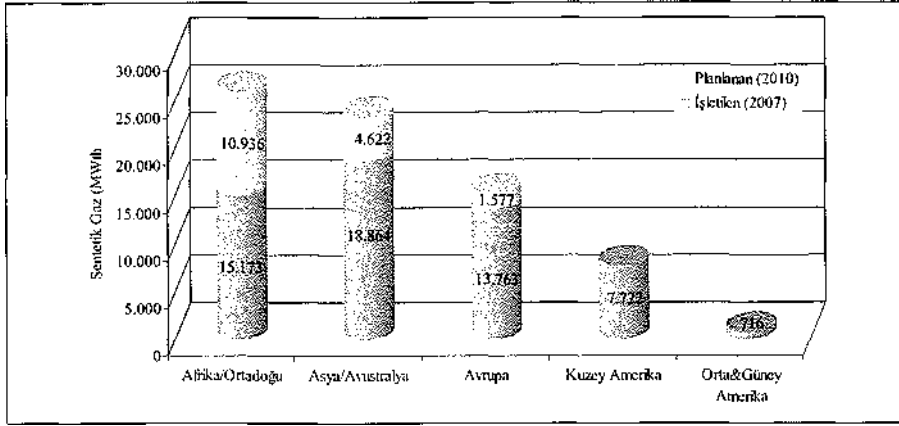
daha düşük değerlerdedir. Temiz kömür teknolojilerinde gösterilen ilerlemelerin daha iyi verimliliklere sebep olacağı tahmin edilmektedir.

2 KÖMÜR GAZLAŞTIRILMASI İLE İLGİLİ 2007 YILINA KADAR OLAN GELİŞMELER

2007 Dünya Gazlaştırma Veritabanı, Gazlaştırma Teknolojileri Konseyi ve Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı Ulusal Enerji Teknoloji Laboratuvarı elemanlarıyla birlikte hazırlanmıştır. Bu veritabanı doğru bilgiye kolay ulaşımı ve küresel gazlaştırma endüstrisi hakkındaki bilgilere merkezi bir kaynaktan ulaşmayı sağlamaktadır. Bu veritabanı içinde gazlaştırma esaslı termik santrallerin ve üretim tesislerinin sahipleri ve/veya işletmecileri, büyük gazlaştırma teknolojisi üreticileri ve yan sanayi kolları mevcuttur. 100 MW'ı aşan kapasiteli ticari tesisleri de kapsamına alan veritabanı tüm hammaddeleri de (örneğin, kömür, petrol artıkları, ikincil malzemeler, biyolojik hammaddeler ve diğer karbonlu hammaddeler) içeriğinde bulundurmaktadır.

Bu veritabanı tesislerin gelişim, mühendislik, yapı, hizmete girme veya ticari işletim gibi durumlarını sınıflandırmaktadır. Aynı zamanda işletilen tesislerin hizmete başlama ve ticari işletme durumlarında olan projelerini de içermektedir.

Gazlaştırma tesisleri farklı çeşitlilikte hammaddeler kullandığı ve farklı ürünler ürettiği için, bu tesislerin 2007 yılındaki hizmetleri hakkında doğrudan bir kıyas yapmak zor olmaktadır. Bu nedenle, sentetik gaz çıkışı güç değerlerine göre bir karşılaştırma yapılmaktadır. 2007 dünya sentetik gaz kapasitesi 56,238 MW_{th} (MW termal) kabaca 29.000 MW_e'ye (MW elektrik) denk gelmektedir. Denk ürün kapasitesinin tespiti



Şekil 1. Bölgelere göre dünya gazlaştırma kapasitesi ve planlanan büyüme (DOE, 2007).

genellikle farklı üretim teknolojilerinin çeşitliliğindeki farklı kabullere bağlıdır (DOE, 2007).

2.1 Bölgelere Göre Sentetik Gaz Kapasitesi

Dünya gazlaştırma kapasitesi, işletilen 144 tesisten 427 tesise çıkarak 56,238 MW_{th} a yükselmiştir. Günümüzde işletilen tesisler göz önüne alındığında Asya ve Avustralya dünyada ilk sırada yer alırken onları Afrika ve Ortadoğu izlemektedir. Avrupa üçüncü büyük bölge olarak yer alırken onu Kuzey Amerika takip etmektedir. Orta ve Güney Amerika'nın ise oldukça sınırlı bir kapasitesi mevcuttur. Bölgelere göre sentetik gaz kapasitesi Şekil 1'de verilmektedir.

2.1.1 Asya ve Avustralya

Günümüzde dünya gazlaştırma kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda, Asya ve Avustralya Bölgesi %34'lük pay ve 18,864 MW_{th} lik kapasiteyle ilk sırada yer almaktadır (DOE, 2007). Asya ve Avustralya Bölgesi'ndeki ülkeler aşağıda sıralanmıştır:

Avustralya: Kimyasallar üreten 1 adet doğalgaz tesisi.

Çin: Kömür ve petrol artıklarını farklı kimyasallara, gübre ve gaz yakıtlara dönüştüren 44 işletilen tesis. Bu tesislerin 22'si General Electric (GE) Enerji Gazlaştırma, 18'i Shell, 3'ü Sasol Lurgi ve 1'i de Gaz Teknoloji Enstitüsü (GTI) tarafından işletilmektedir. Buna ek olarak, bu tesislerin 30'u hammadde olarak kömür, 13'ü hammadde olarak sıvı yakıt ve 1'i ise doğalgaz kullanmaktadır. Günümüzde Çin'de gazlaştırma esaslı termik santral bulunmamaktadır. Fakat Fujian IGCC hali hazırda yapım aşamasındadır (DOE, 2007).

Hindistan: 5 adet petrol esaslı tesis kimyasallar ve gübre üretirken 1 adet linyit ve petrokok tesisi elektrik üretmektedir.

Japonya: 5 adet petrol; petrokok ve kömürle çalışan tesis kimyasallar üretmektedir. Biri petrol ve diğeri kömür esaslı olmak üzere 2 adet tesis enerji üretmektedir. Nippon Petrol Rafineri Şirketi Negishi Rafinerisi'nde 2003'de ilk enerji üretimini gerçekleştirmişlerdir. Hammadde olarak kömür kullanan ve Mitsubishi tasarımı gazlaştırıcıya sahip Nakoso IGCC tesisi işletmeye başlamıştır. Bu tesiste Mitsubishi Gazlaştırıcıları kullanılmakta olup

günde 1700 ton kömür beslenmektedir. Tesis 2007 Eylül'ünde hizmete girmiştir (DOE, 2008).

Malezya: 1 adet doğalgaz tesisi F-T (Fischer Trops) sıvıları üretmektedir. Bu tesis doğal gaz kullanılarak saflaştırılmış F-T sıvıları üretecek Katar'daki tesis için de öncü olmuştur.

Singapur: Petrol artığı hammaddelerle çalışan 2 adet tesis, kimyasallar ve enerji üretmektedir.

Güney Kore: Petrol artığı ve nafta esaslı 3 adet tesis, kimyasallar ve gübre üretmektedir.

Tayvan: Petrol artığı ve nafta esaslı 2 adet tesis, kimyasallar ve gübre üretmektedir.

2.1.2 Afrika ve Ortadoğu

Afrika ve Ortadoğu Bölgesi %27'lik oran ve 15,173 MW_{th} lik kapasiteye sahiptir. Güney Afrika'daki Sasol tesisleri kömürden temiz yakıtlar üretmektedir. 17 adet Sasol Lurgi Sabit Yataklı Gazlaştırıcı kullanan Sasol I tesisinde %100 yarı bitümlü kömür hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu tesiste kimyasallar üretilmektedir. 1974 yılında faaliyete başlayan Sasol II ve III tesislerinde 80 adet Sasol Lurgi Sabit Yataklı Gazlaştırıcı kullanılmaktadır. Doğalgazla desteklenen yarı bitümlü kömür hammaddesi kullanılan tesiste sıvı yakıtlar ve kimyasallar üretilmektedir.

3 adet gazlaştırıcıya sahip rafineri artıkları kullanan Mısır'daki Suez amonyak tesisi 1996'da üretime başlamıştır.

2.1.3 Avrupa

Dünya gazlaştırma kapasitesinde %24'lük oran ve 13,763 MW_{th} lik kapasiteye sahip olan Avrupa Bölgesi'nde 50 adet tesis bulunmaktadır. Gazlaştırma işlemleri esas olarak petrol esaslı hammaddeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca

Finlandiya'da biyolojik hammadde esaslı 2 adet tesis işletilmektedir. Hollanda'da IGCC ile çalışan kömür esaslı Nuon Buggenum tesisi ve İspanya'daki Puertollano kömür-petrokok esaslı IGCC tesisi en önemli tesislerdendir. Doğu Avrupa'da birçok eski kömür ve/veya linyit gazlaştırma tesisi hala işletilmektedir. 2007 yılındaki Avrupa gazlaştırma kapasiteleri aşağıdaki gibi dağılmıştır:

Çek Cumhuriyeti: Petrol esaslı 1 adet tesis, kimyasallar; kömür esaslı 2 adet tesis, enerji üretmektedir.

Eski Yugoslavya: Biri kömür esaslı diğeri ise doğal gaz kullanan 2 adet tesis, kimyasallar üretmektedir.

Finlandiya: 1983 ve 2001 yılları arasında üretime geçen 3 adet tesiste gaz yakıtlar ve enerji üretilmektedir. Bu tesislerin ana hammaddesi biyolojik maddeler ve artıklardır. Oulu sentetik gaz tesisi 1965'de işletilmeye başlamış ve petrolün gazlaştırılması sonucu kimyasallar üretmektedir.

Fransa: 2 adet doğalgaz tesisi kimyasallar üretmektedir.

Almanya: 21 adet tesis, (1'i kömür esaslı, 5'i biyolojik maddeler ve artık esaslı, 14'ü petrol esaslı ve 1'i doğalgaz esaslı) üretim yapmaktadır. Bu tesislerin 14'ü kimyasal, 1'i gaz yakıtı ve 6'sı da enerji üretmektedir.

İtalya: 6 adet tesis mevcuttur. Bu tesislerden 4'ü 1999'dan 2006 yılına kadar olan 7 senelik zaman diliminde kurulmuştur. Tesisler hammadde olarak rafineri artıklarını kullanarak elektrik ve rafinerilerde kullanılacak hidrojen üretmektedir. Daha eski olan 2 tesis 1958'de ve 1963'de kurulmuştur. Bu tesisler doğalgaz kullanarak kimyasallar üretmektedirler (DOE, 2007).

Hollanda: Halen çalışmakta olan 3 adet tesis bulunmaktadır. Kömür esaslı IGCC Nuon Buggenum tesisi 1993

yılında işletmeye başlamıştır. Bu tesiste Shell gazlaştırıcısı kullanılmaktadır.

1997'de Rotterdam'da işletilmeye başlanan Shell Pernis Rafinerisi petrol atıklarından enerji, buhar ve rafineri kullanımı için hidrojen üretmektedir.

Portekiz: Biyolojik maddelerin hammadde olarak kullanıldığı 1 adet tesiste gaz yakıtlar üretilirken petrol esaslı diğer tesiste ise kimyasallar üretilmektedir.

İspanya: Puertollano'daki kömür esaslı ve Prenflo gazlaştırıcısı kullanılan Elcogas tesisinde enerji üretilmektedir. Günde 2600 ton kömür ve petrokok beslenen tesis, 1996 yılında doğalgazla çalışmaya başlamıştır. %50 petrokok ve %50 İspanyol kömürü ile işletilmeye ise 1998 yılında başlamıştır. Doğalgaz esaslı olan diğer tesiste ise kimyasallar üretilmektedir (DOE, 2007).

İsveç: Biyolojik malzemelerle işletilen iki adet tesiste enerji ve gaz yakıtlar üretilirken petrol esaslı diğer tesiste ise kimyasallar üretilmektedir.

İngiltere: İki adet doğalgaz esaslı tesiste kimyasallar üretilmektedir.

2.1.4 Kuzey Amerika

Kuzey Amerika dünya gazlaştırma kapasitesi sıralamasında %14'lük oran ve 7,722 MW_{th} lik kapasiteyle dördüncü sırada yer almaktadır. İşletilen 20 gazlaştırma tesisinin tamamı Birleşik Devletler'de yer almaktadır.

Bu tesislerden 9'u esas olarak kimyasallar üretmektedir. 7 tesis kömür ve/veya petrokokla çalışmaktadır. Bu tesislerin 4 tanesi enerji, 2'si kimyasallar ve gübre ve 1 tanesi de sentetik doğal gaz üretmektedir. IGCC teknolojisi ile çalışan Wabash River ve Tampa Polk termik santralleri 1990'lı yıllarda kurulmuştur.

Tennessee'deki Eastman Chemical tesisi 1983 yılında faaliyete geçmiş olup Texaco gazlaştırıcıları kullanılmaktadır.

Dakota'daki Basin Electric Great Plains tesisi 1984'de faaliyete geçmiş olup, günde 16,000 ton linyit işleyerek dünyada boru hattına verilecek kalitede gaz üreten tek tesistir.

Kansas'taki Coffeyville Resources Nitrogen Fertilizers tesisi GE (General Elektrik) Energy gazlaştırıcılarının ilave edilmesiyle doğalgazdan petrokoka geçerek maliyetleri düşürmüştür. Bu tesislerde karbon monoksit ve hidrojen üretilmektedir. Hidrojen gübreler için amonyak üretimi için kullanılmaktadır. 2007 yılında 296,342 ton amonyak üretilmiştir.

Pernis Rafinerisi ise 1997 yılında tamamlanmış ve 3 adet Shell gazlaştırıcısıyla hidrojen üretimi gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda 2 adet GE türbinleri de tesiste mevcuttur.

Petrol esaslı sıvılarla çalışan 4 tesis ise kimyasallar veya sentetik gaz üretmektedirler.

Kanada'da ise ülkenin ilk gazlaştırma tesisi 2007'de çalışmaya başlayan Alberta Bölgesi'ndeki Long Lake Tesisi'dir. Hidrojen, buhar ve enerji üretilecek olan gazlaştırma tesisinde petrolü kumlardan çıkarılan sentetik ham petrol kullanılacaktır.

2.1.5 Orta ve Güney Amerika

Veritabanı sonuçları Orta ve Güney Amerika Bölgesi'nde diğer bölgelerle kıyaslandığında oldukça az oranda, 716 MW_{th} lik güce sahip gazlaştırma tesislerinin olduğunu göstermektedir. Günümüzde Brezilya'da ve Dominik Cumhuriyeti'nde çalışan 2 adet petrol esaslı tesiste enerji, kimyasallar ve gaz yakıtları üretilmektedir (DOE, 2007).

2.1.6 Hammaddeye Göre Sentetik Gaz Kapasitesi

Gazlaştırma faaliyetleri gerçekleştiren tesisler doğalgaz, kömür, petrol,

petrokok, biyolojik maddeler ve endüstriyel atıkları içeren karbon esaslı hammaddeleri tüketmektedirler. 2007 veritabanına göre hammadde türleri Şekil 2'de verilmektedir.

Şekilden de anlaşılacağı üzere kömür %55'lik oranla veya 30,825 MW_{th} lik sentetik gaz kapasitesine göre hammaddeler arasında oldukça büyük bir orana sahiptir. Hali hazırda kömürle çalışan 45 adet tesis bulunmaktadır. Fueloil, rafineri artıkları ve nafta içeren petrol esaslı tesisler (59 adet) %33'lük oranla veya 18,454 MW_{th} lik sentetik gaz kapasitesine göre hammaddeler arasında ikinci sırada bulunmaktadır. Doğalgaz esaslı tesisler sadece %8'i iken petrokok ve biyolojik maddelerle çalışan tesisler %2 oranındadır.

3 2010 YILI İÇİN PLANLANAN ÇALIŞMALAR

2007 verileri, tüm planlanan gazlaştırıcılar kurulursa dünya sentetik gaz kapasitesinin 2007'den 2010 yılına kadar %30'un üzerinde artarak 17,135 MW_{th} kadar çıkacağını göstermiştir. Bu artışın nedenleri aşağıda açıklanmaktadır (DOE, 2007).

3.1 Bölgelere Göre Sentetik Gaz Kapasitesi Artışı

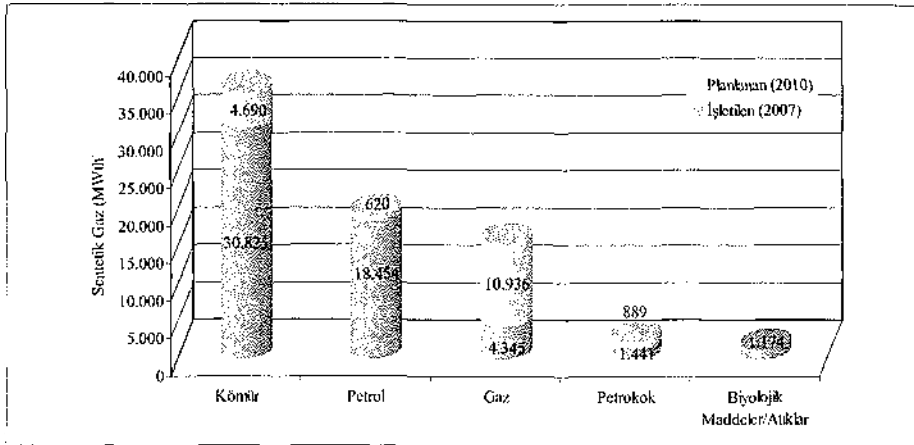
Şekil 2'deki verilere bakıldığında 2007'den 2010 yılına kadar dünyanın her bölgesinde gazlaştırma kapasitesinin arttığı görülmektedir. Bu artış sırasıyla Afrika/Ortadoğu, Asya/Avustralya ve Avrupa şeklinde sıralanmaktadır.

3.1.1 Afrika ve Ortadoğu

Afrika ve Ortadoğu'daki kapasite 2008'den 2010'a kadar %72 oranında bir artış gösterecektir. Distile yakıt üretecek olan Katar'daki Shell GTL Projesi bu artışın temelini oluşturacaktır. 2010 yılına kadar hayata geçmesi beklenen proje ile doğalgazdan sentetik gaz üretimi ve sonra FT (Fischer Trops) dönüşümü teknolojisi ile temiz dizel yakıt üretilen Katar'daki bu sıra dışı büyük tesisin sonucu olarak, bölge yakın zamanda gazlaştırma esaslı kapasitede en üst sıraya oturacak gibi gözükmektedir (DOE, 2007).

3.1.2 Asya ve Avustralya

Asya ve Avustralya'daki sentetik gaz kapasitesi 2008-2010 arasındaki planlanan tesislerin hizmete geçmesiyle



Şekil 2. Hammaddelere göre dünya gazlaştırma kapasitesi ve planlanan büyüme (DOE, 2007).

tüm dünya bölgeleri arasında ikinci sırada yer alacaktır. Toplamda 4,622 MW_{th} kapasite artışı ile 2007 düzeyine göre %25 oranında büyüme gösterecektir. Bu büyüme gazlaştırılmış kömür veya petrokok ile çalışan 7 adet tesisin işletilmeye başlamasıyla mümkün olacaktır. Bu tesislerin 6 tanesi Çin'de yer alacak ve tamamı kömürden olmak üzere kimyasallar, gübre ve metanol üretimine yönelik çalışacaktır. Bir diğer tesis ise Hindistan'daki Paradip Rafinerisi'dir. Bu rafineri 2010 yılında hizmete girecek ve Hollanda'daki Shell Pernis Rafinerisi'ne benzer şekilde petrokoktan enerji ve hidrojen üretecektir.

3.1.3 Avrupa

Avrupa Bölgesi'nin kapasitesi esas olarak enerji üretecek iki tesisin 2008–2010 yılları arasında hizmete girmesiyle %12 oranında 1,577 MW_{th} artacaktır. 2008 yılında Polonya'da hizmete başlaması planlanan tesis, rafineri atıkları ve/veya asfalt kullanarak çoklu enerji üretimi, buhar ve hidrojen üretecektir. 2009 yılında İtalya'da faaliyete geçecek olan IGCC tesisi kömür kullanarak elektrik üretecektir. 2008–2010 yılları arasında Avrupa ülkelerinde planlanan başka bir tesis yoktur (DOE, 2007).

3.1.4 Kuzey Amerika

Kuzey Amerika Bölgesi'nde 2008–2010 yılları arasında planlanan yeni bir gazlaştırma tesisi yoktur. Bu süreklilik 2005–2007 yılları arasında Birleşik Devletler'de başlamıştır. Kanada, Alberta'da işletilmeye başlanan Long Lake Tesisi ülkenin ilk gazlaştırma esaslı tesisidir. Kanada'da diğer petrolü kumları işleyen gazlaştırma projeleri ön analiz ve planlama aşamasındadır. Buna rağmen 2010 yılından sonra Birleşik Devletler'de birçok gazlaştırma projesi hayata geçirilecektir.

3.1.5 Orta ve Güney Amerika

Orta ve Güney Amerika Bölgesi'nde 2010 yılına kadar planlanmış herhangi bir yeni gazlaştırma tesisi yoktur.

4 GÜNÜMÜZDEKİ ENDÜSTRİ DEĞİŞİMLERİ

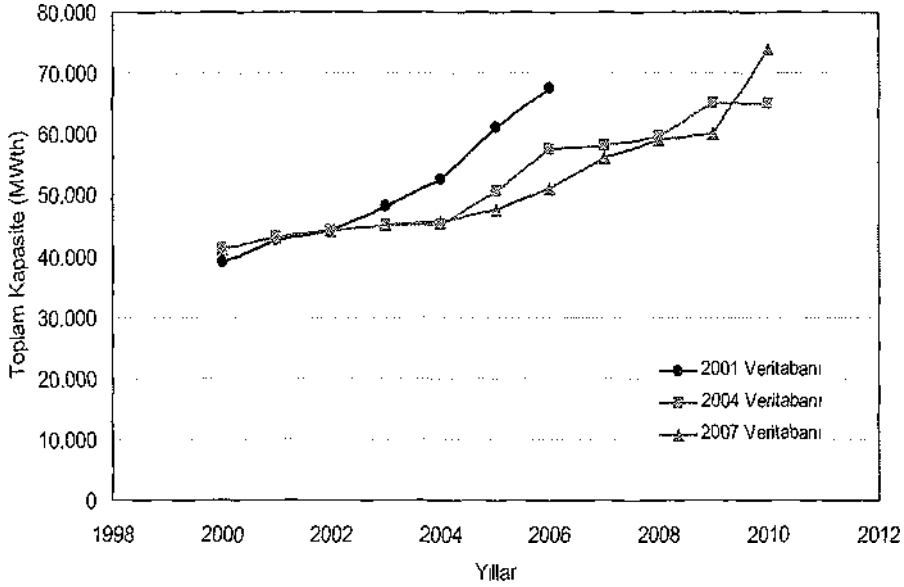
2007 Dünya Gazlaştırma Veritabanına göre mevcut dünya gazlaştırma kapasitesi 144 tesis ve 427 gazlaştırıcıyla birlikte 56,238 MW_{th}'a yükselmiştir. Bu rakamlar 1999 yılının rakamlarıyla karşılaştırıldığında %32 artışı (42,726 MW_{th}), 2004 yılına göre ise %25 artışı (45,001 MW_{th}) göstermektedir.

2004–2007 arasındaki faaliyetler bakıldığında zaman 13 tesisin ticari olarak işletilmeye başladığı, 10 tesisin işletilmeye hazır duruma getirildiği ve 3 tesisinin de 2007 yılının sonunda işletilmeye hazır duruma getirilmek üzere planlandığı görülmektedir. Bu dönem aralığında faaliyete geçmesi planlanan tesislerden 12 tanesi kömür beslemeli Shell gazlaştırıcıları ile Çin'de kimyasallar üretmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu da 2004 yılı sonrası için sentetik gaz üretiminde %45'lik bir artışa denk gelmektedir. Bu büyüme yakın zamanda da devam edecektir. Katar tesisi hariç tutulursa 2010'a kadar planlanan sentetik gaz kapasitelerinin %46'sı Çin'de ve Shell gazlaştırıcılarıyla sağlanacaktır.

4.1 Büyüme Tahminlerinin Karşılaştırılması

Şekil 3'de 2001, 2004 ve 2007 verilerinin tahminleri gösterilmektedir. Genelde, gazlaştırma endüstrisindeki büyümenin tahmini iki üç yılda değişiklik göstermiştir. Bunun nedeni de 2000–2003 yılları arasındaki dünya ekonomisindeki küçülmüştür.

1999 yılı için Afrika ve Ortadoğu Bölgesi



Şekil 3. Dünya gazlaştırma planlanan büyümesi-tahmini karşılaştırma.

izleyen 5 yılda gelişim göstermemiştir. Bununla birlikte 2004'e kadar Güney Afrikalı Saso gazlaştırıcıları %40 oranında artmıştır. Bazı olağandışı kazançlar diğer ülkelerde de gerçekleşmiştir. Çin'in ekonomisindeki hızlı büyüme enerjiler ve kimyasal hammadde ihtiyaçlarına da yansımıştır. Bu da Çin'in gazlaştırma tesislerinin toplam sayısını %30 arttırarak 44'e yükselmesini sağlamıştır. Katar'da ise 2010'da işletilmeye başlayacak olan büyük kapasiteli tesis, Afrika ve Ortadoğu Bölgesi'nin gazlaştırma ligindeki oranını %72'lere çıkaracaktır.

Batı Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da planlanan birçok yeni tesisin açılması ertelenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde açıklandığı üzere, kurulan yeni tesislerin yüksek maliyeti, doğalgaz fiyatları, hidrojen üretimi ve karbon dioksit emisyonlarının düşürülmesi gibi birçok faktörden dolayı bu ertelemeler söz konusu olmuştur.

5 2010 YILI SONRASI ABD'DE GERÇEKLEŞTİRİLECEK ÇALIŞMALAR

Dört gazlaştırma tesisi 2000-2004 yılları arasında faaliyete başlarken 2005-2007 yılları arasında yeni bir tesis kurulmamıştır. Veriler 2008-2010 yılları arasında da herhangi bir projenin hayata geçirileceğini göstermemektedir. 2005 yılından 2010 yılına kadar olan Birleşik Devletler'deki bu kapasite ilavesinin yokluğunun nedeni, doğalgaz fiyatlarının oldukça düşük olması, endüstriyel hammadde fiyatları ve yakıt nakliyesi gibi etkenlere bağlanabilir.

2010 yılından sonra Birleşik Devletler'de faaliyete geçecek olan 50 adet proje tanımlanmıştır. Bunların çoğunluğu veritabanında yer almamaktadır. Çizelge 2, 3, 4 ve 5, bu planlanan projeleri listelemektedir.

Çizelge 2. 2010 yılından sonra faaliyete geçecek yapım aşamasındaki gazlaştırma esaslı termik santral projeleri.

Proje Adı/Sahibi	Bölge	Hammadde	Yakma Türbini Yakıtı	Net (MWe)
Orlando Gasification Project*/Southern Co., OUC	Orlando, FL	Kömür	Sentetik Gaz	285
Lima Energy IGCC/Global Energy	Lima, OH	Kömür/Petrokok	Sentetik Gaz	540 SNG H ₂
Cash Creek IGCC Plant/GE, MDL Holdings	Henderson County, KY	Kömür	Sentetik Gaz	630
Lockwood IGCC Plant/Hunton Energy, Cogentrix Energy Inc.	Sugar Land, TX	Petrokok	Sentetik Gaz	1200
Mesaba, Excelstor Energy	Holman, MN	Kömür/Petrokok	Sentetik Gaz	600
Carson H ₂ Power Project/BP, Edison Mission Group	Carson, CA	Petrokok	H ₂	500
FutureGen/FutureGen Alliance	Illinois or Texas	Kömür	H ₂	275
Mountaineer Plant/AEP	New Haven, WV	Kömür	Sentetik Gaz	630
Pacific Mountain Energy Center/Energy Northwest	Port Kalama, WA	Kömür/Petrokok	Sentetik Gaz	680
Taylorville Energy Center IGCC/CCG LLC	Taylorville, IL	Kömür	Sentetik Gaz	630
Huntley IGCC Project/NRG Energy	Tonawanda, NY	Kömür	Sentetik Gaz	680
Tampa Electric, Unit 2	Polk County, FL	Kömür	Sentetik Gaz	630
Wallula Energy Resource Center/Wallula Resource Recovery LLC	Wallula, WA	Kömür	Sentetik Gaz	600-700
Xcel Energy	Colorado	Kömür	Sentetik Gaz	300-350
TXU Corp.	Colorado City, TX	Kömür	Sentetik Gaz	630
TXU Corp.	Henderson, TX	Kömür	Sentetik Gaz	630
Clean Hydrogen Power Generation Project/Southern California Edison	California	Kömür	H ₂	600
Indian River IGCC Project/NRG Energy	Millsboro, DE	Kömür	Sentetik Gaz	630
Edwardsport IGCC Project/DukeEnergy	Edwardsport, IN	Kömür	Sentetik Gaz	630
Great Bend/AEP	Meigs County, OH	Kömür	Sentetik Gaz	630
IGCC Demonstration Plant/Wyoming Infrastructure Authority, Pacific Corp.	Wyoming	Kömür	Sentetik Gaz	TBD
Lower Columbia Clean Energy Center/Summit Power group	Clatskanie, OR	Petrokok/Kok	Sentetik Gaz	520
Mississippi Power	Kemper County, MS	Kömür	Sentetik Gaz	600
NRG Energy	Texas	Kömür	Sentetik Gaz	630
Steelhead Energy/Madison Power	Williamson County, IL	Kömür	Sentetik Gaz	620 SNG

*DOE Clean Coal Demonstration Project

Çizelge 3. 2010 yılından sonra faaliyete geçecek yapım aşamasındaki kömürden sıvı yakıt üretim tesisleri.

Proje Adı/Sahibi	Bölge	Ham madde	Ürünler	Kapasite (bpd*)
American Clean Coal Fuels	Oakland, IL	Kömür	Ultra temiz dizel ve jet yakıtı	25.000
American Lignite Energy	North Dakota	Kömür	Ultra temiz taşımacılık yakıtları, enerji, petrokimyasal hammaddeler, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂	32.000
Baard Energy	Wellsville, OH	Kömür/Biyolojik Madde	Ultra temiz dizel ve jet yakıtı	35.000
Beluga CTL Plant/AIDEA	Cook Inlet, AK	Kömür	Ultra temiz dizel yakıtı, nafta ve LPG	80.000
DKRW Advanced Fuels, Arch Coal, Bull Mountain Coal	Roundup, MT	Kömür	Ultra temiz yakıtlar, 300 MW'lık enerji	22.000
Gilberton Coal-to-Power and Clean Fuels Project/WMPI PYT, DOE	Gilberton, PA	Atık Kömür	Ultra temiz dizel yakıtlar, enerji	5.000
Headwaters/Hopi Indian Tribe	Arizona	Kömür	Ultra temiz dizel yakıt, diğer sıvılar, enerji,	10.000-50.000
Medicine Bow Fuel and Power/DKRW Advanced Fuels	Medicine Bow, WY	Kömür	Ultra temiz dizel yakıt, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂ , nafta, 200 MW'lık enerji, kimyasallar	13.100
Power County Advanced Energy Center/Southeast Idaho Energy	Pocatello, ID	Kömür	Ultra temiz dizel yakıt, amonyak, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂	1.400
Rentech	Mingo County, WV	Kömür	Ultra temiz taşımacılık yakıtları	30.000
Rentech	East Dubuque, IL	Kömür	Ultra temiz yakıtlar, azot gübrelere, enerji	2.000
Rentech	Natchez, MS	Kömür/Petrokok	Ultra temiz yakıtlar, kimyasallar, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂	25.000-50.000
Rentech, Peabody	Montana	Kömür	Ultra temiz taşımacılık yakıtları	10.000 veya 30.000
Rentech, Peabody	Kentucky	Kömür	Ultra temiz taşımacılık yakıtları	10.000 veya 30.000
Synfuels Inc	Ascension Parish, LA	Kömür	Ultra temiz yakıtlar, kimyasallar, enerji	N/A
Twin River Energy Center	Wiscasset, MN	Kömür/Ağaç Biyolojik Madde	Ultra temiz yakıtlar, 700 MW'lık enerji	214

Çizelge 4. 2010 yılından sonra faaliyete geçecek yapım aşamasındaki kömürden SNG üretim tesisleri.

Proje Adı/Sahibi	Bölge	Hammadde	Ürünler	Kapasite (bcfy*)
Cardinal Energy Center/ArcLight, Peabody	Illinois	Kömür	SNG, CO ₂	35
Indiana Gasification LLC	Southwestern IN	Kömür	SNG, 630 MW _e	40
Peabody, Conoco Phillips	Midwest	Kömür	SNG	50-70
Secure Energy, LLC	Decatur, IL	Kömür	SNG	20
Southern Illinois Coal-to-SNG Facility/Power Holdings, LLC	Rend Lake, IL	Kömür	SNG	50
TransGas Development Systems	Scriba, NY	Kömür	SNG	4

* yıllık milyar kübik feet.

Çizelge 5. 2010 yılından sonra faaliyete geçecek yapım aşamasındaki diğer gazlaştırma tesisleri.

Proje Adı/Sahibi	Bölge	Hammadde	Ürünler
Kenai Blue Sky Coal Gasification Project/Agrium	Nikiski, Alaska	Kömür	Azot, enerji, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂
Eastman Chemical	Beaumont, TX	Petrokok	H ₂ , metanol, amonyak, geliştirilmiş petrol kazanımı için CO ₂
Faustina Hydrogen Products/Eastman Chemical	St. James Parish, LA	Petrokok/Kömür	Amonyak, metanol, sülfür, endüstriyel CO ₂

6 SONUÇ

Gazlaştırma, çevresel açıdan memnurluk verici ve karbon politikaları ihtiyacı açısından bir çeşitlilik ve seçimli bir teknoloji sağlamaktadır. Artan elverişli enerji pazar şartlarına ve kuvvetli halk politikası desteğine ve gazlaştırma kapasitesine önemli katkılar sağlamaktadır. Gelecek yıllarda temiz enerji, yakıt ve kimyasalların üretilmesi daha büyük önem kazanacaktır.

KAYNAKLAR

- Berkowitz, N., (1985), "The Chemistry of Coal". Coal Science and Technology, Elsevier, Amsterdam.
- Hebden, D.; Stroud, H.J.F., (1981), "Coal Gasification Processes", Chemistry of Coal Utilization, Elliot, M.A.,

- Ed., Second Supplementary Volume, Wiley-Interscience, New York.
- Johnson, J.L., (1979), "Kinetics of Coal Gasification", John Wiley and Sons, New York.
- Smoot, L.D.; Smith, P.J., (1985), "Coal Combustion and Gasification", Plenum Press, New York.
- Gasification World Databası 2007 Current Industry Status Robust Growth Forecast, U.S. Department of Energy (DOE), Office of Fossil Energy.
- Fossil Energy Power Plant Desk Reference "Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity Summary Sheets", DOE/NETL-2007/1282.
- Gasification-Versatile Solutions. DOE's Gasification Program Overview, 15 Mayıs 2008 tarihinde İ.T.Ü-TKİ Delegelerine yapılan sunum.

Tüvenan Tinkalden Tek Kademede Kalsinasyon-Otojen Öğütme-Separasyon (KÖS) Metoduyla Mikronize Kalsine Tinkal Üretimi

Micronized Calcined Tincal Production By Calcination Autogenic Grinding and Separation Method in a Single Step From Coarse Tincal

O. Yılmaz, Y. Yalçınoğlu, İ. Kayandan, T. Ergül, C. Demirbağ, H. Akçin, T. Uludağ, B. Şentürk,

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

ÖZET Bu çalışma, daha önce Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Proje Çalışma Grubu tarafından laboratuvar şartlarında yapılmış olan “Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi” çalışmasının devamı niteliğinde olup, laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler ışığında, tinkalin kalsinasyonu endüstriyel boyuta taşınarak mikronize kalsine tinkal üretimi yapılmıştır. Bu amaçla, Kırka Bor İşletme Müdürlüğünde endüstriyel ölçekte Kalsinasyon Pilot Tesisi kurulmuştur. Laboratuvar şartlarında tüvenan tinkal cevherine farklı ekipmanlarda sırasıyla kalsinasyon, otojen öğütme ve separasyon (kil cevher ayırımı) işlemleri uygulanarak elde edilmiş olan mikronize kalsine tinkal, içerisinde L tipi yanıl taşıma plakaları bulunan döner kalsinasyon fırını içerisinde tek kademede yapılmıştır. Döner kalsinasyon fırınında geliştirilen bu yöntemle “Tek Kademede Kalsinasyon-Otojen Öğütme-Separasyon (KÖS) Yöntemi” adı verilmiştir. Bu metod ile 10 mol kristal suya sahip tüvenan tinkal cevherine içerisinde L tipi yanıl taşıma plakaları bulunan döner fırında ısıl işlem uygulanarak; tek kademede, yüksek B_2O_3 tenörlü, düşük H_2O ve safsızlık içerikli ürün üretilmiştir. Üretilen ürün mikron boyutunda olması nedeniyle Mikronize Kalsine Tinkal olarak adlandırılmış, üretim verimi B_2O_3 bazında yaklaşık %90 olarak gerçekleşmiştir. Bu yöntemde su kullanılmadığından mevcut zenginleştirme yöntemiyle karşılaştırıldığında atık göleti ihtiyacı ortadan kaldıracak ve çevresel etki problemleri en az düzeye indirilmesi sağlanacaktır.

ABSTRACT This study is a follow-up one of the study of “Production of Calcined Tincal from coarse tincal ore” which has previously done by Project Team of Eti

Mine Works General Management Directorship within the laboratorial conditions and in the light of data obtained from the laboratory studies, micronized calcined tincal production has been done by taking the calcination of tincal to an industrial dimension. For this purpose, the Calcination Pilot Plant within the industrial scale has been built in Kurka Boron Work Management. Calcined tincal, which has been obtained by applying respectively calcination, autogenous grinding and separation (separation clay from ore) processes to coarse tincal ore within separate equipments in laboratorial conditions, has been produced in single step in the rotary calcination furnace in which there are L-type lateral transport plates. This method developed in the rotary calcination furnace is called as "Method of Calcination- Autogenous Grinding-Separation In Single Step". By using this method, the production including high B_2O_3 grade, low H_2O and impurity has been produced in single step applying heating processes to coarse tincal ore containing 10 mole of crystal water in the revolving furnace in which there are L-type lateral transport plates. As the end product is in micron size, it is called as Micronized Calcined Tincal and production efficiency performed as about 90% on the basis of B_2O_3 . Since water is not used in this method, in comparison with the existing enriching method, there will be no need for waste pond and the environmental problems will be minimized.

1 GİRİŞ

Kurka Bor İşletme Müdürlüğünde ortalama %20-29 B_2O_3 tenörler arasında açık işletme yöntemiyle üretilen tüvenan tinkal, boraks pentahidrat üretiminde kullanılmak üzere kırma ve eleme işlemlerinden sonra konsantrator ve çözmeoluğutesislerine gönderilmektedir. Konsantrator tesislerinde cevher, kırma ve yıkama işlemlerine tabi tutularak minimum %30 B_2O_3 tenörde ve maksimum %9 nem içerikli konsantre tinkal üretilmektedir. Üretimde aşırı miktarda su kullanılması nedeniyle atık göletlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çözme oluğu tesislerinde ise tüvenan tinkal cevheri, fiziksel yıkamaya tabi tutulmadan 96-98 °C'de seyreltik çözelti kullanılarak çözülmesi sağlanarak, Boraks Pentahidrat fabrikasının ihtiyacı olan doygun çözelti elde edilmektedir. Tüvenan tinkalin zenginleştirilmesinc yönelik uygulanabilecek alternatif bir yöntem de tinkalin kalsinasyon yoluyla zenginleştirilmesidir. Kalsinasyon yöntemi literatürde daha önce farklı

bor ürünlerine farklı yöntemlerle uygulanmış olup, bu bor ürünlerinden bazıları kolemanit (Arslan vd., 1999) ve tinkaldır (Akçin vd., 2006).

Tüvenan tinkalin kalsinasyonundaki amaç; tüvenan tinkalin kalsinasyon yoluyla gangminerallerinden (kil dolomit, vb) ayrılarak zenginleştirilmesiyle yüksek tenörlü kalsine tinkal üretilmesi ve buna bağlı olarak üretim sonrası oluşan atıkların düşük B_2O_3 içerikli ve kuru olarak elde edilmesi sağlanarak atık göleti ve çevresel etki problemlerinin en az düzeye indirilmesidir. Ayrıca, üretilecek kalsine tinkalin, hem boraks pentahidrat üretiminde girdi olarak kullanılabilmesi hem de satılabilir bir ürüne dönüştürülerek yeni bir bor ürününün üretilmesi hedeflenmiştir. Kurumumuz bünyesinde daha önce tinkalin kalsinasyonu ile ilgili laboratuvar düzeyde detaylı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Akçin vd., 2006).

2 MİKRONİZE KALSİNE TİNKAL ÜRETİMİ

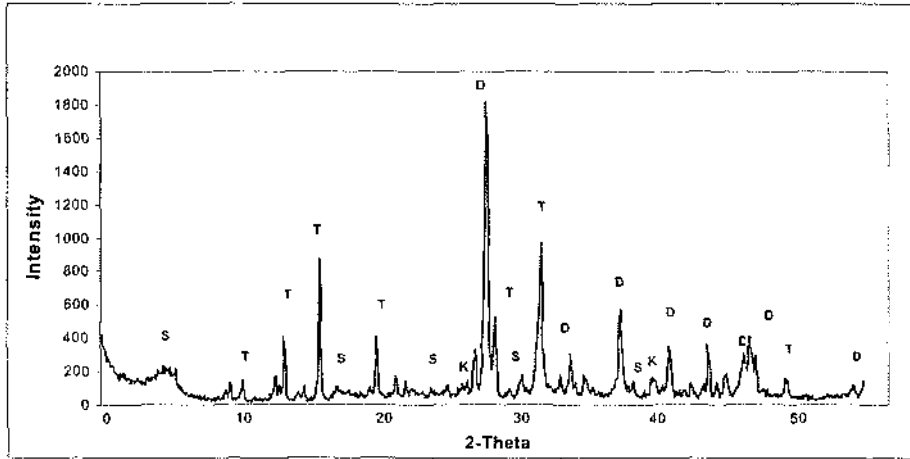
2.1 Hammadde

Mikronize kalsine tinkal üretim çalışmalarında, Kırka Bor İşletme Müdürlüğünde üretilen tüvenan tinkal cevheri kullanılmıştır. Tüvenan tinkalin kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tüvenan tinkalin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal formülü	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
B_2O_3	20-29 %
Safsızlık	25-45 %
Nem	4-7 %
Kristal suyu	10 mol
Dökme yoğunluğu	1,3 g/cm ³
Tane boyu	-25 mm

X-ışınları difraktometresi (Rigaku, D/Max-2200) kullanılarak yapılan X-ışınları difraksiyon analizinde, tüvenan tinkalin, gang mineralleri olarak dolomit, smektit (montmorillonit tipi kil alt grubu) ve kalsit içerdiği tespit edilmiştir Şekil 1.



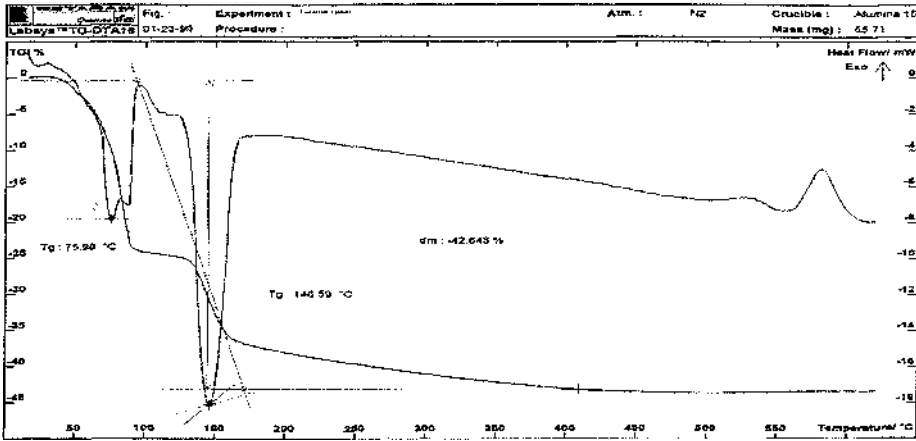
T: Tinkal, D: Dolomit, S: Smektit, K: Kalsit

Şekil 1. Tüvenan tinkalin X-ışınları Difraktometresi

Diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik analiz cihazında yapılan TG-DTA grafiği tüvenan tinkalin 20-450°C'ler arasında yaklaşık % 42,6'lık bir ağırlık kaybına uğradığını göstermiştir. Ağırlık kaybıyla ilişkili olarak 76 °C, 90 °C ve 147 °C'de 3 tane endotermik pik oluşmuştur Şekil 2.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Kalsine tinkalin üretimi öncelikle laboratuvar çalışmalarıyla başlamıştır. Laboratuvar çalışmalarında kül fırını kullanılarak farklı sıcaklık ve sürelerde kalsinasyon denemeleri yapılmıştır. Kül fırınında tüvenan tinkale uygulanan ısı işlem karşısında; cevherin bünye suyunu atarken genleştiği ve çok yüksek poroziteye sahip bir yapıya dönüştüğü; kil minerallerinin ise büzüşerek sertleştiği; kalsine numune içerisinde B_2O_3 ve Na_2O değerleri ağırlıkça artarken, kızdırma kaybı oranının ise azaldığı tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen kalsine ürünlerden kili uzaklaştırmak için, önce laboratuvar tip değirmende öğütme, sonra separatörde separasyon işlemi yapılarak B_2O_3 bazında % 80 verimle tüvenan tinkalin



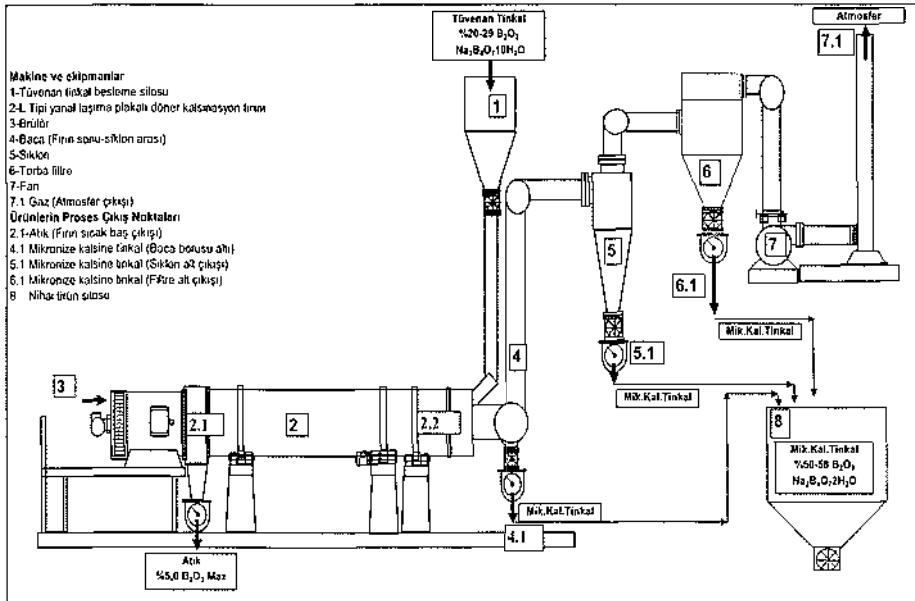
Şekil 2. Tüvenan tinalin DTA ve TG grafikleri

zenginleştirilmesi yapılmıştır (Akçin vd., 2006). Laboratuvar şartlarında elde edilen veriler ışığında tinalin kalsinasyonla zenginleştirilmesinin endüstriyel boyutta uygulanabilirliğini tespit etmek amacıyla Kırka Bor İşletmesinde endüstriyel ölçekli pilot kalsinasyon tesisi kurularak çalışmalar yapılmıştır.

2.3 KÖS Metoduyla Mikronize Kalsine Tinal Üretimi

Metodun uygulanmasında kullanılan makine ve ekipmanlar; döner kalsinasyon fırını (içerisi yanal taşıma plakalı), brülör, fan, siklon ve torbalı filtredir Şekil 3.

Metodun Uygulanması: KÖS Metodunun en önemli özelliği içerisinde



Şekil 3. Kalsinasyon Ünitesi Akış Diyagramı

L tipi yanal taşıma plakaları olan döner fırında tüvenan tinkal cevherine uygulanan kalsinasyon, otojen öğütme ve separasyon işlemlerinin tek kademede ve aynı ortamı içerisinde yapılmasıdır. Bu metotta, öncelikle ısıtma işlemi görülmüş boraks cevheri genişleterek kırılabilir ve hafif bir yapıya, gang mineralleri ise sertleşerek yüksek yoğunlukta bir yapıya dönüşmektedir. Daha sonra, fırın içerisinde sertleşmiş ve yoğunluğu artmış gang mineralleri, genişleterek kırılabilir ve hafif bir yapıya dönüşmüş tinkal üzerinde otojen öğütme etkisi gösterir. Otojen öğütme sonrası kalsine tinkal, mikron boyutuna getirilir. Isıtma işlemi ve otojen öğütme sonunda farklı yoğunluklara ulaşarak serbest hale gelen mikronize kalsine tinkalin ve gang minerallerinin separasyonu kolaylıkla ayırımı yapılmaktadır. Tüm bu işlemler ilave ekipman kullanılmadan sadece L tipi yanal taşıma plakaları olan döner fırın içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Üretim çalışmalarına başlanmadan önce, prosesin ön ısıtması yapılmıştır. Daha sonra -25 mm ebadında kırılan cevher, besleme bunkerine (1) şarj edilerek, fırın soğuk baş tarafından (2.2) sıcak hava akımına ters yönde fırına kademeli olarak nominal kapasiteye ulaşmaya kadar artırılarak beslenmiştir. Besleme miktarı, sistem kapasitesine göre tayin edilmiştir. Ortamdan emiş fanı (7) tarafından çekilen hava, aynı zamanda yanmayı sağlayarak fırın boyunca beslemeye ters yönde hareket ederek fırın içerisinde oluşan ürün yatağının akışkanlığını sağlamıştır. Kalsinasyon fırını (2), ters akışlı bir fırın olup, fırın içerisinde hammadde ile sıcak gaz ters yönde hareket etmektedir. Yanma gazı fırından geçtikten sonra, öncelikle baca adı verilen gaz borusundan (4) siklon separatörüne (5), daha sonrada torbalı filtreden (6) geçerek atmosfere (7.1)

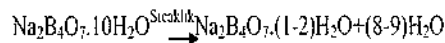
atılmıştır. Hava kontrolü, emiş fanının klepesinden manuel olarak ayarlanmıştır Şekil 3.

Kalsinasyon aşaması: L tipi yanal taşıma plakaları olan döner fırında tüvenan tinkal cevherinin ısıtma işlemi karşısında öncelikle yüzey suyu buharlaşmış, daha sonra cevherin bünyesinde bulunan kristal suyun (10 mol) büyük bir kısmı genişlemiş cevherin en zayıf noktasından patlayarak cevherin bünyesinden dışarı çıkarak buharlaşmıştır. Bünye suyunun bu genişleme ve patlama hareketi boraksın da hacimsel olarak genişlemesine ve kırılabilir bir yapıya dönüşmesine neden olmuştur. Cevher içerisindeki gang mineralleri (kil, dolomit) ise; ısıtma işlemi karşısında büzüşerek sertleşmiştir. Bu sertleşen killerin bir kısmı cevherden ayrılmış; bir kısmı da cevher içerisine hapsolmüştür. Kalsinasyon sonunda boraks ve gang minerallerinin hem fiziksel, hem de kimyasal yapısında bir değişim meydana gelmiştir.

Tüvenan tinkal cevherinden uzaklaştırılan kristal su miktarı, proses çalışma sıcaklık değerine göre değişkenlik göstermiştir. 1-2 mol kristal su mikronize kalsine tinkal üretebilmek için gerekli olan proses çalışma sıcaklık aralığı aşağıda verilmiştir.

	Min.	Mak.
Fırın girişi (sıcak baş)	300°C	350°C
Fırın ortası	250°C	300°C
Fırın çıkışı (soğuk baş)	200°C	250°C
Baca (fırın-toz tutma arası)	100°C	150°C
Toz tutma ünitesi	100°C	125°C

Tüvenan tinkalin kalsinasyon aşamasında, L tipi yanal taşıma plakalı döner fırında yaklaşık 30 dakika kadar ısıtma işlemine tabi tutulması ile;



reaksiyonuna uygun olarak kristal suyunun ayrılması sağlanmıştır.

Kalsinasyon sonrası gang mineralleri, ortalama $1,0 \text{ g/cm}^3$ dökme yoğunluğunda sert bir yapıya, tinkal cevheri ise hacimsel olarak genişerek $0,2-0,4 \text{ g/cm}^3$ dökme yoğunluğunda kırılğan bir yapıya dönüşmüşlerdir.

Otojen Öğütme Aşaması: Otojen öğütmenin yapılabilmesi için proseste gerekli olan unsurlar değirmen, öğütücü ortam ve öğütülecek malzeme aynı ortam içerisinde sağlanmıştır. Burada, değirmen görevini içinde L tipi yanal taşıma plakaları (kaldıraçları) bulunan kalsinasyon fırını, öğütücü görevini ise ısıtma işlemi karşısında sertleşmiş ve yoğunluğu artmış olan gang mineralleri üstlenmiş ve ısıtma işlemi sonucunda kırılğan ve hafif yapıya dönüşen kalsine tinkal mineralleri öğütülmüştür. Isıtma işlemi sonrası gang minerallerinin (öğütücü ortam) fırın içerisindeki oranı, tüvenan tinkalin B_2O_3 tenörüne bağlı olarak yaklaşık %50 aralığındadır. Otojen öğütme işleminde; fırın içerisindeki L tipi yanal taşıma plakaları, ısıtma işlemi sonrası karışık halde bulunan kalsine tinkal ve gang minerallerini fırının dönme hareketiyle fırın tabanından alarak fırın üst noktasına taşımış, daha sonra L tipi yanal taşıma plakaları dökme açısına ulaşmasıyla da tinkal ve gang minerallerini fırının tabanına doğru bırakmıştır. Bu işlemler esnasında tinkal ile karışık halde bulunan sert ve yüksek yoğunluğa dönüşmüş gang mineralleri, hacimsel olarak genişerek kırılğan yapıya ve düşük dökme yoğunluğuna dönüşmüş kalsine tinkali çok rahat parçalayarak kırma ve öğütme işlemlerinin fırın içerisinde gerçekleşmesini sağlamıştır. Öğütme sonucunda kalsine tinkalin içerisinde kalan bir miktar kristal suyunun dışarı çıkartılarak buharlaştırılması

kolaylaştırılmış, ayrıca boraksı içerisinde çözerek jelimsi bir özellik kazanan kristal suyun fırın tabanına yapışması önlenmiştir. Fırın içerisinde otojen öğütme sonunda kalsine tinkal ortalama -250 mikron ebatında öğütülerek $0,20-0,30 \text{ g/cm}^3$ dökme yoğunluğuna getirilmiştir. Öğütme aşamasında fırına herhangi bir öğütücü şarj edilmemiştir.

Separasyon Aşaması: L tipi yanal taşıma plakalı döner fırın sıcak başından baca aspiratörü tarafından emilen sıcak hava, fırın içerisinde öğütülmüş mikronize kalsine tinkali toz tutma ünitesine taşınmıştır. Siklon ve torba filtrelerde gaz ve tozun ayrıştırılması sağlanarak temiz gaz bacadan atmosfere (7.1) atılmıştır. Mikronize kalsine tinkal ise proseste üç ayrı noktadan baca (4.1) tabir edilen fırın sonu siklon arasındaki gaz borusundan, siklondan (5.1) ve torbalı filtreden (6.1) alınmıştır. Şekil 3. Toz tutma ünitesinden nihai ürün silolarına aktarılan %50-58 B_2O_3 tenör aralığında 1-2 mol kristal sulu mikronize kalsine tinkal üretilmiştir. Gang mineralleri ise dökme yoğunluğunun daha yüksek olması nedeniyle, hava akınıyla taşınmayarak fırının eğimi ve dönüş hareketinin etkisiyle L tipi yanal taşıma plakalı döner fırının sıcak başından (2.1) kuru olarak alınmıştır. Yapılan üretim çalışmalarında atık olarak adlandırılan gang mineralleri B_2O_3 oranı %5,0'in altında kalmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KÖS Metoduna göre kurulan endüstriyel ölçekte Kalsinasyon Pilot Tesiste yapılan Mikronize Kalsine Tinkal üretim çalışmalarında; içerisinde yanal taşıyıcı plakaları bulunan döner fırında $200-350$ C sıcaklık aralığında, ortalama % 50-58 B_2O_3 tenörlü, 1-2 mol kristal sulu, -250

mikron boyutlu, 0,2-0,3 g/cm³ dökme yoğunluğunda ve %3-12 safsızlık içeriğinde Mikronize Kalsine Tinkal adı verilen ürün tek kademede üretilmiştir. Mikronize kalsine tinkal ürünün özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Mikronize kalsine tinkal üretimi B₂O₃ bazında yaklaşık % 90 üzerinde verimle gerçekleşmiştir.

Mikronize kalsine tinkalin içerdiği mol su oranı çalışılan sıcaklık aralığına göre değişkenlik göstermiştir.

X-Işınları Difraksiyon analizi, (Rigaku, D/Max-2200) mikronize kalsine tinkalin, boraks yanında gang mineralleri olarak dolomit, kil ve kalsit içerdiği saptanmıştır Şekil 4.

TG-DTA grafiği, Şekil 5'de görüleceği üzere kalsine tinkal 20-900 °C'ler arasında yaklaşık %11,764'lik bir ağırlık kaybına uğramıştır. Bu ağırlık kaybının kalsine tinkal bünyesinde kalan sudan ve gang minerallerinin dekompozisyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. DTA eğrisinde ise 132 °C ile 720°C civarında endotermik pikler gözlenmiştir. İlk pikin kaybedilen

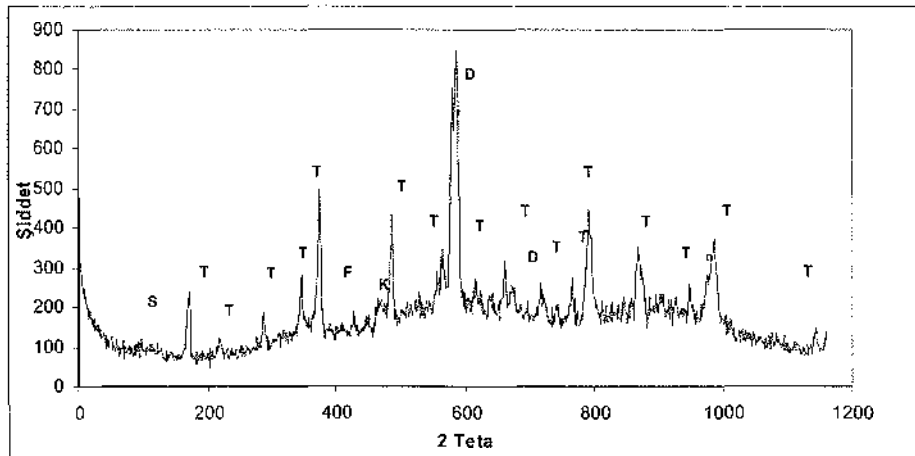
su nedeniyle, ikinci pikin ise boraksın ergimesi nedeniyle olduğu tahmin edilmiştir (700°C'de ağırlık kaybı yoktur) Şekil 5.

Elek analizi; çalışılan tüm sıcaklık aralıklarında tane boyutunun ortalama -250 mikron boyutunda kaldığını göstermiştir.

Mikronize kalsine tinkal ürünü toz tutma ünitesinden yaklaşık 70 °C yüzey sıcaklığında alınmıştır.

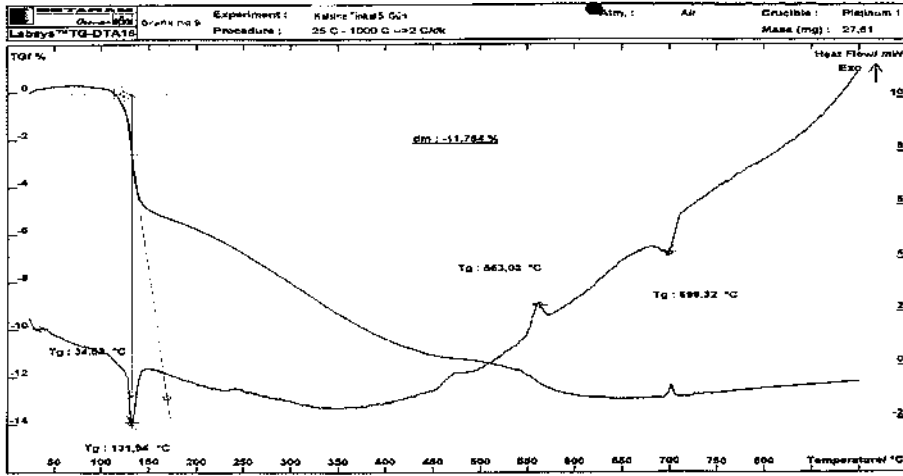
Mikronize kalsine tinkal ürünün atmosferdeki nemi bünyesine absorbe etme özelliği tespit edilmiştir. Bu durum üründe kristal suyu artışına neden olduğundan atmosfer ile temasının olmayacak şekilde muhafaza edilmesi gerekmektedir.

Kütle miktarının değişimi ele alındığında ortalama %24,50 B₂O₃ tenörlü tüvenan tinkalin kalsinasyon işlemi sonunda prosese giren her 100 birim cevher kütle miktarına karşılık yaklaşık %39,4'ü mikronize kalsine tinkal ürünü (%56,00 B₂O₃), % 39,0 atık (gang mineralleri) (%3,40 B₂O₃) ve % 21,6 gaz (su buharı) olarak sistemden



T: Tinkal, D: Dolomit, S: Smektit, K: Kalsit

Şekil 4. Mikronize kalsine tinkalin X-Işınları Difraktometresi



Şekil 5. Mikronize kalsine tinkalin DTA ve TG diyagramları

Çizelge 2. Mikronize kalsine tinkalin temel özellikleri (ortalama değerlerdir)

Kimyasal formülü		$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
B_2O_3	%	56
Na_2O	%	26
K.Kaybı	%	12
K.Suyu	mol	1,7
Safsızlık	%	6,9
Nem	%	0,2
Dökme yoğunluğu	g/cm^3	0,2
Boyut	mikron	-250
Isı sığası (%54,00 B_2O_3)	j/gK	1,179
Yığılma açısı	°	43,44
MgO	%	1,76
CaO	%	2,07
SiO_2	%	1,60
SO_4	ppm	787
Fe_2O_3	%	0,05
Al_2O_3	%	0,11
As	ppm	5,35
Corg	%	0,06
Li	ppm	361
Cl	ppm	467,00

atıldığı saptanmıştır.

Tüvenan tinkalin sahip olduğu gang minerallerinin yaklaşık % 90'ı fırın ağzından alınan atık (gang mineralleri) içerisinden, yaklaşık % 10'u mikronize kalsine tinkalle beraber alınmıştır. Gang mineralleri fırından yaklaşık 100-180 °C yüzey sıcaklığında alınmıştır.

Atık, kuru olarak maksimum %5.0 B₂O₃ tenör içeriğinde fırın ağzından alınmıştır.

Atık miktarı, hammadde besleme tenörüne bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. B₂O₃ içeriği yükseldikçe atık oranı azalmıştır.

Atıkların boyutu, fırın boy ve çapından dolayı -10 mm boyutunda elde edilmiştir. Fırın içerisindeki hareket gang minerallerinin aşınma ve kırılmalarına neden olmuştur. Yapılan bu çalışmalarda, gang minerallerindeki aşınma ve kırılmaların üretilen mikronize kalsine tinkal ürününe yansımadağı görülmüştür.

Ortalama %56,00 B₂O₃ tenörlü ve 1,70 mol kristal sulu 1 ton Mikronize Kalsine Tinkal üretmek için birim tüketimler aşağıda verilmiştir.

Hammadde(kuru)	2,43 ton/ton
Gaz	129 m ³ /ton
Elektrik	90 kwh/ton

KÖS Metoduyla mikronize kalsine tinkal üretmek için en önemli maliyet unsuru enerji olmuştur. Üretilen mikronize kalsine tinkal kristal suyu oranı düştükçe gaz sarfiyatı artmaktadır. Birim sarfiyatlar ortalama 2,42 ton/saat Mikronize Kalsine Tinkal üretime göre hesap edilmiş olup, prosesin endüstriyel boyutta tasarlanması halinde elektrik ve doğal gaz sarfiyatlarının azalacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak tüvenan tinkalin kalsinasyonla zenginleştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar neticesinde; laboratuvar çalışmalarından endüstriyel boyuta geçilerek tinkalin kalsinasyonunun uygulanabilirliği kısaca KÖS adı verilen "Tek Kademe Kalsinasyon-Otojen Öğütme-Separasyon Yöntemi" ile yapılmış ve "Mikronize Kalsine Tinkal" adı verilen ürünün üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle; tek kademe, su kullanılmadan, B₂O₃ bazında % 90 verimde, yüksek B₂O₃ tenörlü bir bor ürünü üretilirken, düşük tenörlü katı atık elde edilmiştir.

Mikronize Kalsine Tinkalin rafine bor üretiminde hammadde girdisi olarak kullanılması, Kırka Konsantratör tesislerinde tüvenan tinkalin zenginleştirilmesinde kullanılan su tüketim ihtiyacını ortadan kaldıracığından yüksek maliyetle kurulan atık baraj ihtiyacını ve çevre kirliliğini en az düzeye indirecektir. Ayrıca, üretim esnasında çözeltili fazlalığı gibi sorunları minimum düzeyde tutacaktır. Bunun yanında, mikronize kalsine tinkalin kendine has özelliklere sahip olmasından dolayı, mikronize kalsine tinkalin kimyasal yapısını bozmadan granül hale getirilmesi amacıyla laboratuvar ortamında Kompaktlama Metodu geliştirilmiştir. Bu metoda uygun olarak Kırka'ya kurulan endüstriyel ölçekli Kalsinasyon Pilot Tesisin devamına yine aynı ölçekte Kompaktlama Tesisi kurularak yeni bir granül bor ürünü piyasaya sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Arslan Fatma, Arslan Cüneyt, Çelik Mehmet S, (1999). Arsenic removal through the decrepitation of

colemanite ores Powder Technology
103_260–264

- H. Akçin, T. Uludağ, B. Şentürk, T. Ergöl, İ. Kayandan, C. Demirbağ, O. Yılmaz, Y. Yalçınoğlu & A. Mergen (2006). Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, “Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi” 11. International Boron Symposium, Ankara

Emet-Espey Bor Tesisi İnce Gölet Artıklarından Flotasyonla Arsenik Minerallerinin Uzaklaştırılabilirliğinin Araştırılması

A Research on the Possibility of Separation of Arsenic Minerals from the Small Sized Waste of Emet-Espey Boron Concentrator Plant by the Flotation Methods

A. Uçar, M. Yargan

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Espey konsantratör tesisi bor zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan ve artık barajında depolanan hem çevresel sorunlara hem de ekonomik kayıplara neden olan ayrıca her geçen gün miktarı artan ince (-3 mm) artıklarından Arsenik (As) minerallerinin (Realgar ve Orpiment) flotasyonla uzaklaştırılabilirliği araştırılmıştır.

Bunun için ilk önce malzemenin kimyasal ve fiziksel karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada artık barajından alınan temsili numunenin %0,4 As ve %26,3 B₂O₃ içerikli olduğu tespit edilmiştir. Mineralojik incelemeler sonucunda ise numunenin esas olarak kolemanit, kil ve kuvars minerallerinden oluştuğu az olarak da kalsit, dolomit içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca numunenin realgar ve orpiment minerallerini de içerdiği tespit edilmiştir.

Doğal hidrofobik olan As minerallerinin gaz yağı (kerosen) kullanılarak etkili bir şekilde yüzdürülebildiği saptanmıştır. Böylece uygun flotasyon koşullarında artık barajında bulunan arsenik mineralleri uzaklaştırıldığında hem daha sonra kazanılacak kolemanitin kullanım sınırı hem de çevresel sorunlar ortadan kalkacaktır.

ABSTRACT In this study, the possibility of separation of arsenic (As) minerals (Realgar and Orpiment) from the small sized (-3 mm) waste of Emet-Espey Boron Concentrator plant by using Flotation methods is investigated. The waste, which comes from the boron beneficiation process and stored in tailing dump, causes both environmental problems and economic losses and is increasing day by day.

First, the chemical and physical properties of material are characterized. The representative sample from tailing dump has 0,4% As and 26,3% B₂O₃ contents. The mineralogical analysis shows that the material is composed of colemanite, clay and quartz minerals and contains small amounts of calcite and dolomite with some realgar and orpiment minerals.

Arsenic minerals that naturally hydrophobic can be floated by kerosene. Thus, the arsenic minerals of tailing dumps are removed in optimum flotation medium, the environmental problems and the boundaries of usage beneficiated colemanite can be removed.

1 GİRİŞ

Dünya bor rezervlerinin en büyük oranı ülkemizde Eskişehir-Kırka (boraks (tinkal)), Kütahya-Emet (kolemanit), Balıkesir-Bigadiç (kolemanit, üleksit) ve Bursa-Kestelek (kolemanit) üçgeninde yer almaktadır. Bu yataklar yüksek B_2O_3 içermelerine rağmen aynı zamanda bazılarında önemli oranlarda Arsenik (As) bulunmaktadır (Arslan 1999, Acarkan 2002).

Bor ve bileşikleri geleneksel endüstrilerden (cam, seramik, deterjan, tarım, metalürji, vb.) ileri teknoloji endüstrilerine (nükleer uygulamalar, fiber ürünler, uzay, metal boridler, süperiletkenler, biyomedikal ürünler vb.) ve yakıt (enerji) üretimine kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kullanım alanları da her geçen gün artmaktadır (Alkan 2004, Delfini 2003, Okur 2002, Baycan 2005).

Bor cevherleri ocaktan çıkarıldıkları halleri ile kullanılmazlar. Bu nedenle ilk önce zenginleştirilirler, sonra yarı mamul haline getirilirler (borik asit, susuz boraks, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat vb.). En sonunda da ileri teknoloji ürünlerine dönüştürülürler. Bu aşamaların her birinde sektörlerine göre üretilen ürünler kullanılırlar.

Bor elementinin ana kaynağı olan yatakların bazılarında zehirleyici As mineralleri olan realgar (As_2S_3) ve orpiment (As_2S_5) bulunmaktadır. Bu minerallerdeki As'nin bor konsantresinden son ürün aşamasına kadar hareket ederek her yere bulaşması bu ürünlerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Ayrıca her aşamada çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Bu nedenle As minerallerinin ortamdan uzaklaştırılması gereklidir (Arslan 1999, Baycan 2005, Aydın 2003). Ülkemizde bor cevherleri genellikle fiziksel yöntemlerle

(kıırma – yıkama – sınıflandırma – triyaj) zenginleştirilmektedir. Bu yöntemlerde As mineralleri hem konsantreye hem de artığa gitmektedir. Bunun yanında bor cevherleri kimyasal (liç, dekrupitasyon (kalsinasyon)) ve fizikokimyasal (flotasyon) yöntemleri ile de zenginleştirilebilmektedir. Fakat ülkemizde bunlarla ilgili bir uygulama olmamasına rağmen bu alanda çalışmalar hem bor zenginleştirme (fiziksel metotlar da dahil) hem de As uzaklaştırma ile ilgili olarak devam etmektedir (Arslan 1999, Delfini 2003, Okur 2002, Gül 2006, Özkan 1997, Aytekin 1992, Doğan 1997).

En yoğun As oranına (%0,1-5) sahip yataklardan olan çalışmanın yapıldığı Kütahya-Emet bölgesi kolemanit yatakları realgar ve orpiment minerallerini içermektedir (Koca 1998, Aydın 2003). Bu mineraller fiziksel zenginleştirme sonucu elde edilen bor konsantresi ve artığa gitmektedir. Artık barajına giden bu As'li mineraller çevresel sorunlara yol açmaktadır. Konsantreye gidenler ise borik asit üretim proseslerinde liç işlemleri sonucunda oluşan borik asite karışmaktadır. Bu ise bazı alanlarda kullanımı engellemektedir. Bir kısmı ise oluşan borojipse karışarak artık barajına gitmektedir. Bu da borojipsin kullanımını engellediği gibi yine çevresel sorunlara yol açmaktadır (Delfini 2003).

Bu nedenlerle As'nin değişik metotlarla uzaklaştırılma çalışmaları ocaktan çıkarılan cevherde (flotasyon, liç, kalsinasyon, triyaj) (Baycan 2005, Aydın 2003). konsantrede ve artıktaki (flotasyon, liç, kalsinasyon, triyaj) (Köse 1989, Arslan 1999) ve hatta borojips artığında (liç) (Delfini 2003) yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir.

Flotasyonla kolemanitten

(Ca₂B₆O₇·5H₂O) arsenik minerallerinin uzaklaştırılması ile ilgili olarak yapılmış çok az sayıda araştırmalardan biri olan Köse vd. (1989) Emet bor tesisi artık barajı numunesi (%0,27 As) ile yaptığı çalışmaya göre; %15,72 As tenörlü konsantreyi %85,5 verimle elde etmişlerdir. Kolemanitteki (yüzmeyen) As tenörü ise %0,05 olmuştur. Bu alanda diğer bir çalışma olan Erkan vd. (2003)'in Emet-Espey artık barajı numunesi (%0,51 As) ile yaptıkları çalışmaya göre ise %3,83 As içerikli konsantreyi %96,35 verimle elde etmişlerdir. Kolemanitteki (yüzmeyen) As tenörü ise %0,02 olmuştur.

Toksin bir element olduğu için hiçbir yerde istenmeyen arseniğin sınırlı da olsa çeşitli alaşımların yapımında, boya olarak seramikte ve haşere öldürücü olarak ziratte kullanım alanları bulunmaktadır (Çilingir 1996). Buna göre As mineralleri kolemanitten ve artıktan alınarak değerlendirildiğinde hem ekonomik kazanç sağlanacak hem de çevresel sorunlar ortadan kaldırılmış olacaktır.

Kuru yöntemlerle (kalsinasyon) As uzaklaştırmada kirlilik sulu ortamdan gaz (hava) ortamına geçmekte böylece sorun başka bir ortama taşınmış olmaktadır. Halbuki yöntem olarak flotasyon kullanılırsa böyle bir sorun olmayacağı gibi bor zenginleştirme prosesi de sulu olduğu için proses sulu olarak devam edecektir.

Bu çalışmanın amacı da yüksek bor ve As içerikli Emet-Espey tesisi artık barajında bulunan As minerallerini flotasyonla uzaklaştırmaktır. Böylece değişik metotlarla elde edilecek konsantrenin kullanım engeli ortadan kalkacağı gibi çevresel sorunların oluşması engellenecektir. Ayrıca yine bu metotlarla tesisten çıkan ince artıklar hemen zenginleştirileceği için artık barajı daha uzun ömürlü olacaktır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme ve Yöntem

Deneylerde Kütahya-Emet bölgesinde faaliyet gösteren Emet Etibor Genel Müdürlüğü Espey Konsantratör tesisi ince (-3 mm) atık barajından değişik noktalarından temsili olarak kürekle alınan numuneler kullanılmıştır. Numune, içinde bulunan nemi kaybetmesi için 2 gün laboratuvar atmosferinde kurutulmuştur. Daha sonra numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak, elek analizi, kimyasal analiz, mineralojik analiz (XRD) ve zenginleştirme deneyleri için temsili olarak ayrılmış ve torbalanmıştır.

Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi Emet Etibor Genel Müdürlüğünde ARL Brand 8680+ model X-Ray cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Numunenin mineralojik analizi Rigaku Miniflex Brand marka XRD cihazı ve binoküler mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Flotasyondeneyleri, numunenin boyut gruplarına ayrılmasıyla elde edilen her boyut grubuna uygulanmıştır. Toplayıcı olarak analitik kalite emulsifiye edilmiş gaz yağı (kerosen), köpürtücü olarak çam yağı (50 g/t) kullanılmıştır. Flotasyon deneyleri 1200 d/d devir hızında 1 lt'lik denver flotasyon hücresinde %30 katı

Çizelge 1. Numunenin kimyasal analizi.

İçerik	Miktar (%)
B ₂ O ₃	26,3
SiO ₂	25,7
CaO	13
CO ₂	11,3
Al ₂ O ₃	8,3
MgO	6,29
K ₂ O	2,38
Fe ₂ O ₃	2,85
SO ₃	0,953
F	0,842
SrO	0,612
As	0,4
TiO ₂	0,33
Na ₂ O	0,191
Diğer	0,552
Toplam	100,00

oranında, ortam pH'ı olan 8,83'de, 5 dak. kıvamlaşma ve 2 dak. flotasyon zamanı seçilerek yapılmıştır.

3 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

3.1 Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyut Analizleri

Emet-Espey artık barajından alınan numunenin kimyasal analiz deneylerine göre numune, %26,3 B_2O_3 , %0,4 de istenmeyen As içermektedir.

Artık barajı numunesi mineralojik çalışmalara göre, kolemanit, illit, kalsit, dolomit ve muskovit bulunmaktadır. Bu mineraller kimyasal analizle uyumludur. Ayrıca kimyasal analizde arsenik olması ve numunenin gözle ve mikroskopla incelenmesi sonucu sarı ve kırmızı renkli minerallerin görülmesi, bu mineralin içerisinde realgar ve orpiment minerallerinin de olduğunu göstermektedir.

3.2 Arsenik flotasyonu

Emet kolemanit yatağında kolemanit yüzeyini kaplamış olarak oluşan realgar ve orpiment mineralleri ocaktan cevher olarak tesise gelmekte bir kısmı (iri) elle ayıklama ile ayrılmakta bir kısmı (ince) konsantreye, bir kısmı ise artikla beraber artık barajına gitmektedir.

Arsenik mineralleri doğal hidrofobik özellik gösterirler. Bu nedenle bu mineraller için toplayıcı olarak gaz yağı kullanılmıştır (Köse 1989, Zaman 1985). Realgar ve orpiment sülfürlü mineral oldukları için bazı araştırmacılar ksantatları da ya önermişler ya da kullanmışlardır (Zaman 1985, Koca 1998, Yekeler 2004, Erkan 2003).

Flotasyon çalışmalarında, ilk önce numunenin tane boyut dağılımına göre arsenik tenörü ve verimi incelenmiştir.

-0,425+0,250, -0,250+0,150 ve -0,150+0,038 mm boyut gruplarında arsenik flotasyonu deneyleri yapılmıştır (Çiz. 2). Bu boyut gruplarının ve şlam

olarak atılan -0,038 mm boyut grubunun malzeme oranları ise sırasıyla %17,57; 17,69; 12,94 ve 32,58 dir. -0,038 mm boyut grubunun As oranı da %0,67 dir. %19,22 oranlı ve %0,32 As içerikli +0,425 mm boyut grubu üzerinde çalışma yapılmamıştır.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi tane boyutundaki azalmaya bağlı olarak veriminde ve tenörde oldukça yüksek oranlarda artış olmuştur. En yüksek artış ise -0,150+0,038 mm tane boyut grubunda elde edilmiştir. Bunun nedeni en yüksek serbestleşme oranının 0,150 mm boyutunun altında olmasıdır (Köse 1989, Erkan 2003).

Çizelge 2. Tane boyutuna göre flotasyon sonuçları (Toplayıcı miktarı, 1000 g/t).

Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)	As (%)	Verim (%)	
	Konsantre	03,22	1,16	12,11
-0,425 +0,250	Artık	96,78	0,28	87,89
	Besleme	100,0	0,31	100,0
	Konsantre	03,42	4,45	41,73
-0,250 +0,150	Artık	96,58	0,22	58,27
	Besleme	100,0	0,36	100,0
	Konsantre	04,45	11,85	87,34
-0,150 +0,038	Artık	95,55	0,08	12,66
	Besleme	100,0	0,60	100,0

Yapılan tane boyutuna göre flotasyon deneylerinden arseniğin -0,150+0,038 mm boyut grubunda serbestleştiği görülmektedir. Bu boyut grubunda tekrar farklı gaz yağı miktarlarında deneyler yapılarak arsenik tenörü ve verimi incelenmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Bu deneyde numune ufalamadan sadece -0,150+0,038 mm boyut grubu kullanılmıştır. Çünkü bu boyutun üstünde kolemanit fiziksel yöntemlerle (Karıştırma + dağıtma + sınıflandırma) zenginleşebilmektedir. Bu nedenle As uzaklaştırmak için bu iri boyutun ayrıca zenginleştirildikten sonra 0,150 mm'nin

altına öğütülüp As flotasyonunun yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde öğütme ile şlam oluşumu artacağı için kolemanit kayıpları artacaktır.

Gaz yağı miktarına bağlı olarak verim ve tenörlü 1000 g/t toplayıcı miktarına kadar arttığı daha sonra ise düştüğü Çizelge 3'den görülmektedir. Bu toplayıcı miktarında %11,85 As tenörlü konsantrasyonla %87,34 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 3. Gaz yağı miktarına göre flotasyon sonuçları.

Gazyağı miktarı (g/t)	Miktar (%)	As (%)	Verim (%)	
500	Konsantrasyon	02,88	3,41	16,28
	Artık	97,12	0,52	83,72
	Besleme	100,0	0,60	100,0
750	Konsantrasyon	04,31	5,85	43,66
	Artık	95,69	0,34	56,34
	Besleme	100,0	0,58	100,0
1000	Konsantrasyon	04,45	11,85	87,34
	Artık	95,55	0,08	12,66
	Besleme	100,0	0,60	100,0
1250	Konsantrasyon	05,85	5,75	58,83
	Artık	94,15	0,25	41,17
	Besleme	100,0	0,57	100,0
1500	Konsantrasyon	03,88	4,84	31,24
	Artık	96,12	0,43	68,76
	Besleme	100,0	0,60	100,0

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Atık barajı numunesi 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 %0,4 oranında istenmeyen As içermektedir.

As minerallerini flotasyonla uzaklaştırabilmek için yapılan deneylerde aşağıdaki şartlarda arsenik mineralleri etkili olarak uzaklaştırılabilir.

Karıştırma hızı: 1200 d/d
pH: 8,83
Toplayıcı: Gaz yağı
Toplayıcı miktarı: 1000 g/t

Köpürtücü: Çam yağı, 50 g/t
Kıvam zamanı: 5 dak
Flotasyon zamanı: 2 dak

Bu şartlarda yapılan deneyler sonucunda %11,85 As tenörlü konsantrasyonla %87,34 verimle elde edilmiştir. Kolemanitteki (yüzmeyen kısım) As oranı ise %0,08 olmaktadır. Konsantrasyondaki, artıktaki ve şlamdaki B_2O_3 oranları ise sırasıyla %3; 34,08 ve 9,3 dür.

Arsenik flotasyonunda serbestleşme boyutu 0,150 mm olarak saptanmıştır. Bu boyut kolemanit için de uygundur.

Öneriler:

As mineralleri uzaklaştırıldıktan sonra kolemanit flotasyonu yapılmalıdır. Artıktaki iri kısım da fiziksel yöntemlerle kolemanitçe zenginleştirildikten sonra öğütülerek flotasyonla As minerallerinin uzaklaştırma çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acarcan, N., 2002, Bor ürün çeşitleri ve kullanım alanları, 1. Uluslar arası bor sempozyumu, s.1-5, Kütahya.
- Alkan, M., Doğan, M., 2004, Dissolution kinetics of colemanite in Oxalic acid solutions, Chemical Engineering and Processing, 43, s. 867-872.
- Arslan, F., Arslan, C., Çelik, M. S., 1999, Arsenic removal through the decrepitation of colemanite ores, Powder Technology, 103, s. 260-264.
- Aydın, A. O., Gülensoy, H., Akıcıoğlu, A., Sakarya, A., 2003, Kolemanitlerdeki arseniğin borik asit ve boraks üretimine etkisi, BAÜ. Fen Bil. Enst. Derg. 5. 1., s. 51-58.
- Aytekin, Y., Badruk, M., 1992, Emet kolemanit cevherinin dekrepitasyon yoluyla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 4th International Mineral Processing Symposium Procee-

- ding Volume 2, s. 549-561, Antalya.
- Baycan, F., Henden, E., Akkılıç, M., Öztürk, N., Ulu, N., Yayayürük, O., Deniz, T., 2005, Bor minerallerinden arsenik giderilmesi, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, s.231-236, Ankara.
- Çilingir, Y., 1996, Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri, DEÜ. Mühendislik Fakültesi Yayınları No:198, İzmir,
- Delfini, M., Ferrini, M., Manni, A., Massacci, P., Piga, L., 2003, Arsenic leaching by Na_2S to decontaminate tailings coming from colemanite processing, Minerals Engineering, 16, s.45-50.
- Doğan, M.Z., Kaytaç, Y., Önal, G., Perrek, K.T., 1997, Bigadiç ve Kestelek bor artıklarının ısıtma işlemi, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- Erkan, Z. E., Akar, A., Savaş, M., 2003, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık baraj artıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması, BAÜ. Fen Bil. Enst. Derg. 5. 1., s. 161-174.
- Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, G., 2006, Beneficiation of colemanite tailings by attrition and flotation, Minerals Engineering, 19, 368-369.
- Koca, S., Savaş, M., 1998, Kolemanit ve realgarın zeta potansiyelinin belirlenmesi, VII International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., Öztoprak, M., 1989, Emet konsantratöründe artık barajındaki arsenik ve kolemanitleri seçimli olarak kazanma imkanları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Okur, H., Tekin, T., Özer, A. K., Bayramoğlu, M., 2002, Effect of ultrasound on the dissolution of colemanite in H_2SO_4 , Hydrometallurgy, 67, s.79-86.
- Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, Bor minerallerinin özellikleri ve madenciligi, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- Yekeler, M., Yekeler, H., 2005, Molecular modeling study on the relative stabilities of the flotation products for arsenic-containing minerals: dioxanthogens and arsenic (III) xanthates, Journal of Colloid and Interface Science, 284, s.694-697.
- Zaman, S., 1985, Antimony and arsenic, SME of AIME, Mineral Processing Handbook, Weiss, N. L. Editor-in-chief, New York.

Kırka Boraks Tesisi Kil Pestili ve DSM Elek Üstü Atığının Çini Bünyelerde Kullanımının Araştırılması

An Investigation into the Use of Preset Clay and DSM Tailing of Kırka Boraks Plant in Art-Tile Bodies

N. Ediz

Dumlupınar Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Kütahya

İ. Bentli

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

İ. Tatar

Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya

Ö. Çakıroğlu, E. Arat

Dumlupınar Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Çini, çift pişirim yöntemiyle üretilen seramik bir malzemedir ve başlıca hammaddeleri kil, kaolin, kalsit veya dolomittir. Bu çalışmada, Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Boraks tesisinden alınan Kil pestili ve DSM elek üstü atıklarının çini bünyede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çini çamuruna %5, %10 ve %15 oranlarında atıkların eklenmesiyle elde edilen çini çamurlarının öncelikle reolojik özellikleri araştırılmış, daha sonra çini bünyeler 850°C, 900°C ve 950°C sıcaklıklarda pişirilerek fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Her iki atıkla elde edilen çini bünyelerin pişirme mukavemetlerinin referans bünyeye göre daha avantajlı olduğu saptanmıştır. Ayrıca kil pestili katkılı bünyelerin su emme değerlerinin ise referans reçeteye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla atıkların çini bünyelerde kullanımı ile çevre kirliliğinin azaltılması ve daha düşük sıcaklıklarda pişirimin yapılmasıyla da enerji giderlerinin azaltılması sağlanacaktır.

ABSTRACT Art-tile is a ceramic material which is mainly made of clay, kaolin, calcite or dolomite. In this research, possible use of preset clay and DSM tailing taken from Kırka Borax Plant in art-tile body was investigated. The rheological properties of the art-tile bodies obtained by the addition of wastes were examined; the physical and mechanical properties of the bodies fired at various temperatures were then determined.

The fired strength values of the bodies obtained by the addition of both wastes were

found to be more advantageous compared to those of the reference body. Moreover, the water absorption values of the bodies with preset clay were determined to be lower than those of the reference body. Therefore, the use of these wastes will not only help for eliminating the environmental problems caused by stockpiling of the wastes but also decrease the energy cost due to the lower firing temperatures required.

1 GENEL BİLGİLER

Türk çini ve seramik sanatının, Türk sanatları arasında önemli bir yeri vardır. 16. yüzyılda Türk çini ve seramik sanatı sürekli bir gelişme göstererek teknik ve sanatsal açıdan doruk noktasına ulaşmış ve sır altı tekniğinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Böyle bir sanat anlayışı, çini ve seramiklerin uzun yıllar bozulmadan kalmasına, boyaların korunmasına ve renklerin daha hoş görünmesine imkân sağlamıştır. 16. yüzyılda İznik ve Kütahya çini bünyeleri, silika, cam frit ve %80'i montmorillonitten oluşan bentonit içermekteydi (Atasoy ve Raby 1989). Osmanlılar döneminde İznik ve Kütahya, çini ve seramik üretim merkezleri olmuşlardır. Ancak 18. yüzyılın sonlarına doğru İznik'te bulunan atölyeler kapanmış ve bu tarihten sonra sadece Kütahya'da bulunan atölyeler günümüze kadar faaliyetlerini sürdürebilmişlerdir (Gyözö 1986).

Çok geniş kullanım alanına sahip olan killer, üretimi ve talebi sürekli artan endüstriyel hammaddelerin başında yer almaktadır (Sarıkaya 1987). Hızlı üretim ve tüketim artışının getirdiği sorunlar bu sektörde yeni araştırmaları, bulunan sahaların incelenmesini ve irdelenmesini gerektirmektedir (Malayoğlu ve Akar 1995). Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü konsantratör ve bor türevleri tesislerinde, tinkal (boraks) konsantresi ve boraks pentahidrat üretimini yapılırken önemli miktarda kil, atık barajlarında depolanmaktadır. Atıkların

ekonomik olarak değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi ve depolama problemleri nedeniyle büyük önem arz etmektedir (Poslu ve Aslan 1995).

Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğünde; açık ocak işletmeciliği ile yılda 1.5 milyon ton %26-27 B_2O_3 tenörlü ham tinkal cevheri, konsantratör tesisinde yıkama ve dağıtma yöntemi ile zenginleştirilerek 800 bin ton %32-34 B_2O_3 tenörlü tinkal konsantresi üretilmektedir. Ayrıca bor türevleri tesisinde 160 bin ton boraks pentahidrat, 17 bin ton boraks dekahidrat ve 60 bin ton susuz borik asit üretilmektedir. Bor konsantresinin bir kısmı ise Bandırma borik asit tesislerine gönderilmektedir (Eti Bor A.Ş. 1998). Bu işletmede her yıl 400000 ton civarında atık kil depolanmaktadır. Bu kilin yaklaşık 250000 tonu konsantratör tesisinden, 150000 tonu bor türevleri tesisinden çıkmaktadır. Konsantratör tesisinde kilin bir kısmı merdanelerle ezilerek pestil halinde atılmakta, kalan kısmı ise yıkama sonunda su ile beraber atık barajına verilmektedir. Bor türevleri tesisinde ise atık killerin 50 000 tonu 1 mm'lik DSM eleği (yay elek) üstünden ve 100 000 tonu üç adet çözeltme tankı altından atılmaktadır.

Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletmesinde oluşan atıkların büyük boyutlara ulaşması ve çevre kirliliği meydana getirmesi nedenleriyle; Sönmez ve Yorulmaz (1995), Ediz ve Özdağ (1995), Kavas ve Emrullahoğlu (1999) tuğla yapımında, Genç vd

(1998) fayans sırında, Yaman (1997) yer karosunda ve fayans bünyesinde, Sönmez vd (1993) DSM atık killerin sır yapımında, pestil killerin ise seramik bünyede değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yamık vd (1995) atıklardaki boraksın soda liçi ile kazanılmasına yönelik bir akım şeması önermiştir. Ediz vd (1997) atık killerin baca gazında adsorbant olarak kullanılabileceğini tesis şartlarında göstermiştir. Sabah ve Yeşilkaya (2000), Yeşilkaya vd (1989) atık killer üzerinde flokülasyon, Badruk vd (1997) ise kompaktlaştırma deneyleri yapmıştır. Mordoğan vd (1995) ise kavurma ve sulu çözeltme ile bu killerdeki lityumun kazanılabileceğini deneysel olarak göstermişlerdir.

Bu çalışmada, Kırka boraks işletmesinde depolama problemleri ve çevre kirliliği meydana getiren atık killerin kullanılması ile çini çamur üretiminin daha ekonomik hale getirilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla bor atıklarının katkısıyla yeni çini bünye reçeteleri üretilmiş ve bu örneklerin reolojik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bünyelerin kuru ve pişme küçülmeleri, pişme mukavemeti, su emme gibi fiziksel özellikleri de incelenerek çini üretimi yapan bir fabrikanın kullandığı referans çini reçetesi ile karşılaştırılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme

Çini karo bünyelerin ana hammaddeleri olan kil, kaolen, kuvars ve dolomit Kütahya'da çini üretimi yapan bir fabrikadan alınmıştır. Kil pestili ve DSM elek üstü atığı ise Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Boraks Tesisinden temin edilmiştir. Kil pestili, konsantr tesisinde yıkama ünitesinden gelen (-25) mm boyutundaki cevherin 6 mm açıklıklı titreşimli eleğe verilmesi ve elek üstünün

merdaneli kırıcıdan geçirilmesi ile oluşmaktadır. DSM elek üstü atık ise bor türevleri tesisinden elde edilmektedir ve konsantr tinalın 98°C de çözündürülmesi sonucu çözünmeyen kısımların (+1 mm) DSM eleğinden geçirilmesi sonucu elek üstünde kalan atıktır. (Baysal 1973), Kırka Bor İşletmeleri kurulmadan önce yapılan "Sarıkaya (Kırka) Borat Yataklarının Oluşumu" başlıklı çalışmada borat yataklarının taban, tavan ve ara katlarında Mg-Montmorillonit'in (hektorit) killi kayaçları oluşturduğu ve Mg-Hidratasyonu ile erken diagenetik dolomitleşme meydana geldiğini tespit etmiştir. Daha sonra yapılan mineralojik çalışmalarda ise konsantratör tesisinde konsantr B₂O₃ üretimini esnasında açığa çıkan ve konsantratör kil pestili atığı ve şlam atığı olarak isimlendirilen atıklarda boraks, dolomit ve montmorillonit mineralleri, bor türevleri tesisinde boraks pentahidrat üretimini esnasında DSM elek üstü atığında boraks, dolomit, montmorillonit ve kuvars mineralleri bulunduğu belirlenmiştir (Kavas ve Emrullahoğlu 1999; Sönmez ve Aytakin, 1992).

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri Spectra X-Lab 2000 marka XRF cihazı kullanılarak yapılmıştır. Atık malzemelerin ve çini üretimi yapan fabrikadan alınan referans reçetelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Hammaddelerin kimyasal analizi.

Bileşim (%)	Referans Reçete	Kil Pestili	DSM Elek Üstü Atığı
SiO ₂	55.56	13.02	20.93
Al ₂ O ₃	18.29	0.15	0.66
Fe ₂ O ₃	0.19	0.80	0.17
CaO	2.62	12.04	15.67
MgO	2.32	12.48	9.22
Na ₂ O	1.91	6.25	6.89
K ₂ O	0.50	1.35	0.97
B ₂ O ₃	-	13.71	7.78
A.Z.	11.11	37.64	33.94

2.2 Yöntem

Deneylerde kullanılan kil pestili ve DSM elek üstü atığı, önce açık havada daha sonra etüvde 80°C’de kurutulduktan sonra 1 mm altına öğütülmüştür. Boyutları küçültülen bu malzemeler, çini massesine %5, %10 ve %15 oranlarında karıştırılarak bilyalı değirmende bir saat öğütülmüştür. Öğütülen çini çamuru örnekleri değirmenden alınıp 150 mikronluk elekten geçirilmiş ve reolojik özellikleri incelenmiştir (elek bakiyesi, viskozite, yoğunluk). Daha sonra çini çamuru örnekleri etüvde 90°C’de tamamen kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Kuruyan örneklerin granül hale getirilebilmeleri için havada ezilmeleri sağlanmış ve daha sonra elekten geçirilmiştir. Granül haldeki örneklerin ağırlıklarının %5-6’sı oranlarında su ilave edilmiş ve nem homojenliğinin sağlanması için naylon poşetlere alınarak 24 saat bekletilmiştir. Bu şekilde hazırlanan örnekler hidrolik el presi ile 160 kg/cm² basınç altında 80×100×30 mm boyutlarındaki kalıplarda preslenmiştir. Şekillendirilen bünyeler önce 24 saat oda sıcaklığında daha sonra 85°C etüvde 2 saat kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, 850°C, 900°C ve 950°C sıcaklıklarında laboratuvar fırınında pişirilmiştir. Pişirme işlemi 200°C’de 15, 400°C’de 15 ve son sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan tıkalı atık katkılı çini bünyelerin (KP, DS) fiziksel ve mekanik özellikleri, çini fabrikasının kullandığı standart çini bünye (REF) ile karşılaştırılmıştır. Reçetelerin karışım oranları Çizelge 2’de verilmektedir.

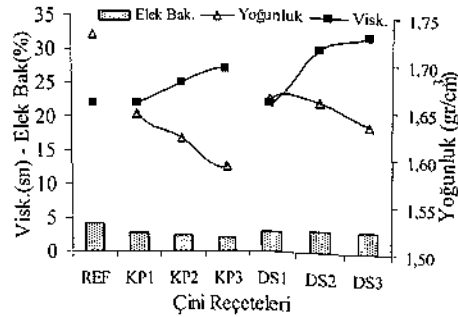
Çizelge 2. Çini bünye reçetelerinin karışım oranları(%).

Kod	Atık Miktarı	Çini Çamuru
REF	---	100
KP1	5	95
KP2	10	90
KP3	15	85
DS1	5	95
DS2	10	90
DS3	15	85

2.3 Sonuçlar

2.3.1 Reolojik testler

Şekil 1’de kil pestili ve DSM elek üstü atığı ile elde edilen çini bünye örneklerinin reolojik özellikleri gösterilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde kil pestili ve DSM elek üstü atığı katkılı çini bünye örneklerinin viskoziteleri, her iki atık için de atık miktarı arttıkça artmaktadır. Bunun nedeni olarak atıklarla birlikte önemli oranda sisteme giren Ca²⁺ ve Mg²⁺ kanyonlarının süspansiyon içinde çözünerek koagülant gibi davranmaları gösterilebilir (Vilches 2002).



Şekil 1. Çini bünyelerin reolojik özellikleri.

Yoğunluklar incelendiğinde, her iki atık katkılı çini bünye süspansiyonu yoğunluklarının referans reçeteye göre düştüğü görülmektedir. Bu sonuç, atıkların süspansiyon yoğunluklarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır (kil pestili 1.30 gr/cm³, DSM elek üstü 1.45 gr/cm³).

Elek bakiye değerleri incelendiğinde ise kil pestili atığı katkılı çini bünye süspansiyonunda atık miktarı arttıkça elek bakiyesi değerinin azaldığı, DSM elek üstü atık katkılı çini bünyelerde ise arttığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak kil pestili atığındaki kil varlığının

DSM elek üstü atığından daha fazla olması gösterilebilir. Yani kil pestili atığında bulunan çok ince taneli kil, bu testin yapıldığı 63 mikronluk elekten geçerek elek bakiyesi değerinin daha az olmasına neden olmuştur. Ayrıca DSM atığında SiO₂ miktarı daha fazla olduğundan, öğütme süresinin aynı olmasına rağmen yeterli boyut küçültme sağlanamamıştır ve bu nedenle de elek bakiyesinin daha fazla olmasına neden olmuştur.

2.3.2 Kuru, pişme ve, toplam küçülme testleri

Kil pestili ve DSM elek üstü atık katkılı çini bünye örneklerinin kuru ve pişme küçülmesi değerleri Çizelge 3'de gösterilmektedir. Çizelge 3 incelendiğinde, her iki atık katkılı çini bünye örnekleri için atık miktarı arttıkça kuru küçülme değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak atıkların bünyesinde bulunan montmorillonit tipi kilin varlığı gösterilebilir (Ediz vd 2004). Çünkü montmorillonit tipi killerin plastikliği yüksektir ve bu killer bünyelerine yüksek miktarda su emebilirler (Arcasoy 1983). Kuruma sırasında fiziksel olarak absorbladıkları bu suyu bünyelerinden atarken kuruma küçülmelerinin de yüksek olmasına neden olurlar (Grim 1962).

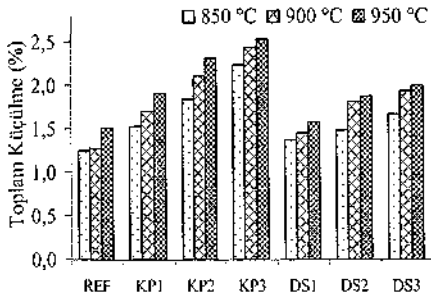
Çizelge 3. Çini bünyelerin kuru ve pişme küçülme değerleri.

	850 °C	900 °C	950 °C
	Kuru	Pişme	Pişme
	Küç.	Küç.	Küç.
REF	1.16	0.09	0.11
KP1	1.25	0.35	0.46
KP2	1.44	0.43	0.69
KP3	1.50	0.71	0.90
DS1	1.03	0.30	0.42
DS2	1.11	0.37	0.60
DS3	1.22	0.46	0.72

Ayrıca Çizelge 3'den kil pestili katkılı çini bünyelerin kuru küçülmelerinin, DSM elek üstü atık katkılı çini bünyelere göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu sonuca neden olan şey, atıkların içerdikleri kil miktarları ile ilgilidir. DSM elek üstü atığı, konsantre tınkalin çözündürülmesi sonucunda çözünmeyen kısımların elenmesi ile açığa çıkmaktadır ve bu aşamada artık cevherde bulunan killerin büyük bir kısmı yıkanarak ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Bu nedenle bu atıkta bulunan kil miktarı da kil pestiline göre daha azdır ve daha az kuru küçülmesine neden olmuştur.

Çini bünye örneklerinin pişme küçülmeleri incelendiğinde ise tüm sıcaklıklarda, her iki atık katkılı çini bünyelerde atık miktarı arttıkça pişme küçülmelerinin arttığı gözlenmektedir. Bu sonucun da atıklarda bulunan montmorillonit tipi kil varlığından kaynaklandığı söylenebilir. Bu tür plastikliği yüksek killerin pişme küçülmeleri de yüksek olmaktadır (Arcasoy 1983). Çizelge 3'den her iki atık katkılı çini bünye reçetelerinde sıcaklık arttıkça pişme küçülmesi değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sonuç literatürle uyumludur. Çünkü küçülmelere neden olan killere uygulanan pişme sıcaklığı arttıkça buna bağlı olarak küçülme değerleri de artmaktadır (Arcasoy 1983). Ayrıca Çizelge 3'den tüm sıcaklıklar için kil pestili katkılı çini bünyelerde pişme küçülmesi değerlerinin DSM elek üstü atık katkılı çini bünyelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de kil pestili atığında bulunan plastik özellikteki kil miktarının daha fazla olmasıdır.

Şekil 2'de referans ve atık katkılı çini reçetelerinin toplam küçülmeleri verilmektedir.



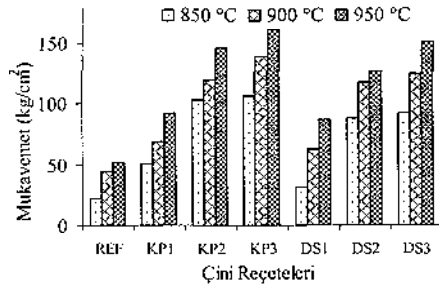
Şekil 2. Çini bünyelerin toplam küçülme-sıcaklık ilişkisi.

Şekil 2 incelendiğinde tınkal atığı katkılı çini bünyelerin toplam küçülmelerinin, referans çini reçetesine göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Fakat bu durum pişme mukavemeti ve su emme değerlerinde olumlu etkiye dönüştürmektedir.

2.3.3 Pişme mukavemeti testleri

Kil pestili ve DSM elek üstü atık katkılı çini bünye örneklerinin 850°C, 900°C ve 950°C sıcaklıklardaki pişme mukavemeti değişimleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, her iki atık katkılı çini bünye örnekleri için tüm sıcaklıklarda atık miktarları arttıkça pişme mukavemeti değerleri de artmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden birinin atıklarda bulunan yüksek plastiklik özelliğe sahip olan kil olduğu söylenebilir. Çünkü atıklarda bulunan montmorillonit tipi kil, çini bünye içinde organik bir bağlayıcı gibi hareket ederek hem kuru mukavemet hem de pişme mukavemet değerlerinin artmasını neden olmuştur. Çini bünyelerin pişme mukavemetlerinin artmasının bir diğer nedeni de atıklarda yüksek miktarlarda bulunan B_2O_3 ve Na_2O gibi ergitici özelliği yüksek oksitlerin varlığı gösterilebilir. Bu oksitler, bünyelerin ergime sıcaklıklarını düşürmelerinin

yanı sıra cam yapıcı özelliğe de sahiptirler. Dolayısıyla bünyelerde bu oksitlerin miktarlarının artmasıyla camlı faz oluşumu da artmakta ve çini bünyelerin sinterlenebilmeleri için yeterli vitrifikasyon sağlanabilmektedir (Yurdakul 2005).



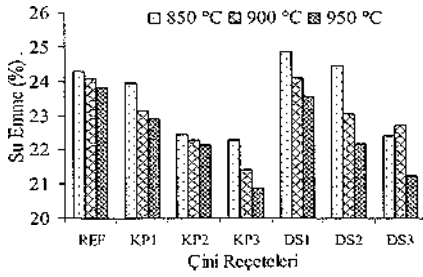
Şekil 3. Çini bünyelerin pişme mukavemeti- sıcaklık ilişkisi.

Şekil 3'den, her iki atık katkılı çini bünyeler için sıcaklıklar arttıkça pişme mukavemetlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sonucun da atıklarda bulunan yüksek plastiklik özelliğe sahip kil ve dolayısıyla ergitici karakterdeki oksit miktarlarının artmasıyla bağlantılı olduğu söylenebilir. Yani atık miktarıyla birlikte sıcaklıkların da artmasıyla, bünyelerdeki bileşenler arasında daha iyi bir bağlayıcılık oluşmakta ve mukavemet değerleri artmaktadır. Bu sonuç, çini bünyelerin su emme değerlerinin sıcaklık arttıkça azalmasını da en önemli nedenidir (Şekil 4).

2.3.4 Su emme testleri

Kil pestili ve DSM elek üstü atık katkılı çini bünye örneklerinin 850°C, 900°C ve 950°C sıcaklıklardaki su emme değişimleri Şekil 4'de gösterilmektedir.

Su emmeyi etkileyen en önemli etkenler, yapıda bulunan kilin plastikliği ve pişme sıcaklığıdır. Yani bünyenin plastikliği ve pişme sıcaklığı arttıkça su emme yeteneği azalır (Arcasoy 1983).



Şekil 4. Çini bünyelerin su emme-sıcaklık ilişkisi.

Şekil 4'den, her iki atık katkılı çini bünyelerde, atık miktarı arttıkça su emme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuç literatürle uyumluluk göstermektedir. Yani atıklarda bulunan kil, bünyelerin plastikliğinin artmasına neden olmuş ve çini bünyelerin su emme değerlerinin düşmesini sağlamıştır.

Su emme değerlerinin azalmasının diğer bir nedeni de atıklarda bulunan B_2O_3 , Na_2O ve K_2O gibi akışkanlaştırıcı ve düşük erime özelliğine sahip oksitlerin miktarlarının çini reçetelerde artması gösterilebilir. Çünkü bu oksitler sinterleme sırasında camı fazın oluşumunu sağlayarak porları kapatmış ve daha az gözenekli bir yapının oluşmasına neden olmuşlardır.

Ayrıca şekil 4'den tüm sıcaklıklar için kil pestili katkılı atıklarla üretilmiş çini bünyelerinin su emme değerlerinin DSM elek üstü atık katkılı bünyelere oranla daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de kil pestili atığında bulunan kil oranının daha fazla olması ve bunun da plastikliği artırarak bünyelerin su emme değerlerini azaltması gösterilebilir (Arcasoy 1983).

3 SONUÇLAR

Etibor Kırka Boraks Tesisi kil pestili ve DSM elek üstü atıklarının %5, %10 ve %15 oranında ilavesiyle elde edilen

çini çamurunun reolojik özellikleri ve bu reçetelerin 850°C, 900°C ve 950°C'de pişirilmesiyle elde edilen bünyeler üzerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Atıkların süspansiyon yoğunluklarının düşük olması nedeniyle, atık katkılı çini süspansiyonların yoğunlukları referans çini süspansiyonuna göre azalmıştır.
- Atıklardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} kanyonlarının koagülant gibi davranmaları nedeniyle, atık katkılı çini süspansiyonların viskoziteleri referans çini süspansiyonuna göre artmıştır
- Tüm sıcaklıklarda atık miktarı arttıkça kuru, pişme ve toplam küçülmeler artmıştır. Referans reçeteye göre, %15 DSM elek üstü atık katkılı çini bünyenin kuru küçülmesi 1,05 kat artarken, %15 kil pestili katkılı bünyenin kuru küçülmesi ise 1,29 kat artmıştır. En yüksek toplam küçülmeyi 950°C de %15 kil pestili katkılı çini bünye göstermiştir (referans bünyeye göre 1,67 kat).
- Tüm sıcaklıklarda ve tinal atığı katkısı ile üretilmiş tüm reçetelerde pişme mukavemeti değerleri, referans bünyenin pişme mukavemetinden daha yüksek bulunmuştur. En yüksek pişme mukavemeti, referans reçeteye göre 3,11 kat artışla 950°C sıcaklıkta %15 kil pestili katkılı çini bünyede elde edilmiştir.
- Tüm sıcaklıklarda ve bor atığı katkısı ile üretilmiş tüm reçetelerde su emme değerleri azalmıştır. En yüksek su emme değeri 850°C de pişirilmiş %5 DSM elek üstü atık katkılı çini bünyede, en düşük su emme değeri ise 950°C de pişirilmiş %15 kil pestili katkılı çini bünyede elde edilmiştir.

Sonuç olarak tinal atıklarının çini

bünyede kullanımı ile hem atıkların depolama problemleri ortadan kalkacak, hem düşük sıcaklıklarda çini üretimi mümkün olacak hem de önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Arcasoy, A., 1983. *Seramik Teknolojisi*, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Ana Sanat Dalı Yayın No: 2, İstanbul, 278 s.
- Atasoy N., Raby, J., 1989. *Türkiye'den Günümüze Gelen İznik Çinileri*, İstanbul Üni. Sosyal Bilimler Ens. Yayını, İstanbul, 384 s.
- Badruk, M., Yamık, A., Akçıl, A., 1997. Tinkal cevherinden elde edilen konsantre ve artığın kompaktlaştırılması ve konsantrenin çözümlenmesi, *Türkiye 15. Madencilik Kongresi*, TMMOB Maden Müh. Odası, Ankara, s 395-398.
- Baysal, O., 1973. Sarıkaya (Kırka) Borat Yataklarının Oluşumu, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi*, TMMOB Maden Müh. Odası, Ankara, s 255-277.
- Ediz, N., Özdağ, H., 1995. Kırka boraks işletmesi atık killerin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması, *Madencilik*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Cilt: 34, Sayı: 4, Ankara, s 27-34.
- Ediz, N., Seyfettinoğlu M. A., Özdağ H., 1997. Kil minerallerinin TÜGSAŞ-KÜTAHTA azot fabrikası baca gazlarının filtrasyonunda kullanımının araştırılması, *VIII. Ulusal Kil Sempozyumu*, Kütahya, s 315-325.
- Ediz, N., Yurdakul, H., İssi, A., 2004. Use of tinkal waste as a replacement for calcite in wall tile production, *Key Engineering Materials*, V: 264-268, p 2457-2460.
- Eti Bor A.Ş., 1998. Faaliyet Raporu.
- Genç, S., Sevinç, V., Özşeker, A., Çakı, M., 1998. Kırka boraks işletmesi konsantratör atığının sır hammaddesi olarak değerlendirilmesi, *4. Seramik Kongresi*, Türk Seramik Derneği Yayınları No: 20, Eskişehir, s 118-124.
- Grim, R.E., 1962. *Applied Clay Mineralogical*, Chapter 3, New York, 109 s.
- Gyözö, G., 1986. Anatolian Potery from İznik and Kütahya in Hungary in the 16th and 17th Centuries, *1. Uluslararası Türk Çini ve Seramik Kongresi*, Kütahya, s 143-148.
- Kavas, T., Emrulloğlu, Ö.F., 1999. Seydişehir kırmızı çamuru ve Kırka bor atıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanımı, *1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, s 216-225.
- Malayoğlu, U., Akar, A., 1995. Killerin sınıflandırılmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, s 125-133.
- Mordoğan, H., Helvacı, C., Malayoğlu, U., 1995. Bor yatakları killeri ve güncel göllerdeki lityum varlığı ve değerlendirilme olanakları, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, s 185-196.
- Poslu, K., Arslan, İ.H., 1995. Dünya bor mincraleri ve bileşikler üretiminde Türkiye'nin yeri, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri

- Odası, İzmir, s 33-42.
- Sabah, E., Yeşilkaya, L., 2000. Farklı tipte polimerlerle Kırka boraks işletmesi tinkal konsantratörü atıklarının çökelme davranışlarının incelenmesi, *Cevher Hazırlama Dergisi*, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını, Sayı: 3, İzmir, s 1-12.
- Sarıkaya, Y., 1987. Killerin önemi ve özellikleri, *3.Kil Sempozyumu*, ODTÜ Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara, s 13-32.
- Sönmez, E., AYTEKİN, Y., 1992. Kırka tinkalcevherinden doğrudan çözeltme ve üç kademeli flokülasyon yoluyla B_2O_3 kazanılması, *4th International Mineral Processing Symposium*, V:2, Antalya, s 751-764.
- Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., Sümer, G., 1993. Kırka boraks işletmesi atık killerinin seramik endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Türkiye 13.Madencilik Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, s 561-566.
- Sönmez, E., Yorulmaz, S., 1995. Kırka boraks işletmesi atık killerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, s 163-168.
- Vilches, E.S., 2002, Technical considerations on porcelain tile products and their manufacturing process, *Qualicer*, s 57-83.
- Yaman, C., 1997. Bor minerali atıklarının seramik endüstrisinde kullanılabilirliği, *8.Ulusal Kil Sempozyumu*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, s 345-352.
- Yamık, A., Tosun, İ.Y., Güneş, N., Topal, E., 1995. Kırka boraks atıklarının soda liçi, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, s 43-48.
- Yeşilkaya, L., Poşlu, K., Özdağ, H., 1989. Kırka boraks işletmesi tinkal konsantratörü atıklarındaki kilin flokülasyon ile ayrıştırılması ve kullanılabilirliğinin araştırılması, *Anadolu Üni. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, Cilt: 5, Sayı: 2, Eskişehir, s 45-58.
- Yurdakul, A., 2005. Ham ve Kalsine kolemanit atığının porselen karo bünyelerde kullanım olanaklarının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 164 s.

Biyoliç Yöntemiyle Feldspat Cevherinden Demirin Uzaklaştırılması

Iron Removal From Feldspar Ore By Bioleaching

V. Arslan

MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana

O. Bayat

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Bu çalışmada, Kaltun Madencilik A.Ş.'den (Çine/Aydın) temin edilen feldspat (albit) cevherine biyoliç uygulanmıştır. Biyoliç deneylerinde Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) kültür koleksiyonundan saf halde temin edilen *Acidithiobacillus ferrooxidans* ve Çukurova Üniversitesi Biyoloji Bölümünde üretilen *Aspergillus niger* kullanılmıştır. Biyoliç deneylerinde katı-sıvı oranının etkileri araştırılmıştır. Bütün deneylerde pH, oksalik ve sitrik asit konsantrasyonları ve çözeltiye geçen Fe miktarları ölçülmüştür. Deneylerde *Aspergillus niger*'in etkili olduğu ve katı-sıvı oranı arttıkça Fe çözünme veriminin düştüğü belirlenmiştir. *Acidithiobacillus ferrooxidans*'ın kullanıldığı deneylerde Fe_2O_3 giderim verimi %57,5 ve *Aspergillus niger* ile yapılan deneylerde Fe_2O_3 giderim verimi ise %60,05 olarak tespit edilmiştir. Son olarak kinetik değerlendirme yapılmış ve elde edilen reaksiyon hız katsayısı (k) değeri $0,0375 \text{ gün}^{-1}$ ve korelasyon katsayısı (R^2) değeri de 0,85 olarak tespit edilmiştir.

ABSTRACT In this study, bioleaching was used for feldspar ore taken from Kaltun Madencilik A.Ş.(Çine/Aydın). In bioleaching experiments, Bacteria as *A. Ferrooxidans*, used obtained from Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) and Fungus as *A. Niger*, used obtained from Cukurova University, Biology Department. The effects of solid ratio were investigated on the bioleaching experiments. The all experiments, pH, oxalic and citric acid concentrations and Fe concentration in bioleached solution were measured. *Aspergillus niger* was determined to be effective in the experiments. Furthermore, the dissolution rate of Fe

decreased with increased solid/liquide ratio. The removal of Fe_2O_3 was determined as 57.5% with *A. Ferrooxidans* and as 60.05% with *Aspergillus niger*. Finally, bioleaching experiment results were evaluated with respect to kinetics. Values of k and R^2 were determined as 0.0375 day^{-1} , 0.85, respectively.

1. GİRİŞ

Potasyum, sodyum ve kalsiyum alümina silikat bileşimli mineral grubuna "feldspat" denilmektedir. Rengi gri, pembe veya beyaz, sertliği 6-6,5, dilinimler birbirine dik iki yönde mükemmeldir (Cornelius ve Hurlbut, 1982). Feldspatların bileşimi $KAlSi_3O_8$ (ortoklaz), $NaAlSi_3O_8$ (albit) ve $CaAlSi_2O_8$ (anortit)'in oluşturduğu üç bileşenli sistemde incelenebilir. Alkali feldspatlar $(K,Na)AlSi_3O_8$ genel formülü ile ifade edilen ortoklaz, mikroklin, sanidin, adularya ve anortoz ile temsil edilmektedir. Plajiyoklas katı eriyik serisi ise $(Na,Ca)AlSi_2O_8$ genel formülü ile temsil edilen albit, oligoklas, andezin, labrador, bitovnit ve anortitten oluşmaktadır. Ayrıca kontak metamorfizma ürünü olarak ortaya çıkan ve çok nadir olarak bulunan feldspatlara ağır feldspatlar denir. Bu gruba ait olan iki mineral selsiyanit ($BaAlSi_2O_6$) ve hiyalofan ($(Ba,K)AlSi_2O_6$)'dır (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992; Kırkoğlu, 1990). Feldspat ergime noktası düşük bir hammaddedir. Potasyum feldspat 1.170°C 'de, sodyum feldspat ise 1.122°C 'de erimektedir. Eriyen bünye tamamen camsı kütle oluşturur (Köktürk, 1991).

Metalürjide biyoteknolojik yöntemlerin uygulanması giderek artan bir önem kazanmaktadır. Mikroorganizmaların mineral

kaynaklarının oluşması ve çözülmesinde önemli rol oynadığı çok eski zamanlardan beri bilinmektedir. Son zamanlarda biyoteknolojik yöntemler mineral zenginleştirilmesinde gittikçe önemi artan bir araştırma konusu olmuştur. Klasik yöntemlerle ekonomik olarak değerlendirilemeyen endüstriyel hammaddeler (kaolen, feldspat, kuvars kumu gibi), düşük tenörlü cevherler ve bazı endüstriyel atıklar gibi ancak biyoliç uygulamalarıyla ekonomik biçimde geri kazanılmaktadır. Biyoliç uygulamalarında, bazı bakterilerin (mikroorganizma) suda çözünmeyen mineralleri suda çözünür hale getirmesi özelliğinden faydalanılmaktadır (bakteriyel liç).

Günümüzde, bakteriyel liç endüstriyel ölçekte çoğunlukla uranyum, bakır ve altın gibi önemli metallerin kazanımında, ince taneli kömürden kükürdün uzaklaştırılmasında ve sülfürlü cevherlerden demir ve kükürdün uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Brierley, 1982; Lundgren ve vd., 1986; Haddadin ve vd., 1995; Telefoncu, 1995; Leveille, 2000; Billiton, 2000; Nemati ve Harison, 2000; Sampson ve vd., 2000; Sand ve vd., 2001).

Biyoliç, normal basınç altında ve 5-90 $^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında, mikroorganizmaların katalizör etkisini kullanarak cevher veya konsantrelerden metallerin çözündürülmesi işlemlerini kapsamaktadır

(Seifelnassr ve Abouzeid, 2000). Biyoliç ile metal kazanım işlemlerinin ekonomik olarak diğer işlemlere rekabet edebilir durumda olmasının en önemli nedeni mikroorganizmaların kemolitotrofik olarak gelişebilmeleridir (Brierley, 1982).

Feldspattaki demirin uzaklaştırılmasında demiri yükseltgeyen ya da indirgeyen mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bu mikroorganizmalar çoğunlukla *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Bacillus* ve *Aspergillus niger* türü mikroorganizmalardır (Lee vd., 1997). Bu mikroorganizmalar uygun koşullar altında asidik enzimler (oksalik asit, sitrik asit, malik asit ve glukonik asit gibi) salgılayarak üremektedirler. Mikroorganizmaların oluşturduğu bu zayıf asidik ortamlarda (pH>2-3) demirin yükseltgenmiş formu (Fe^{+3}) çözünmez iken indirgenmiş formu (Fe^{-2}) ise çözünmektedir. Dolayısıyla feldspattaki demirin indirgenmesi, kontrollü koşullar altında mikroorganizmalar tarafından üretilen organik asitler ve diğer metabolik ürünler ile kontrollü şartlarda gerçekleşmektedir (Lee vd., 2002).

Bu çalışmada, Çine/Aydın'da kurulu bulunan Kaltun Madencilik A.Ş.'den temin edilen feldspat numunesine içeriğindeki demirin giderilmesi amacı ile *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisini ve *Aspergillus niger* mantarını kullanarak faklı katı-sıvı oranlarında bakteri liçi deneysel çalışması yapılmıştır.

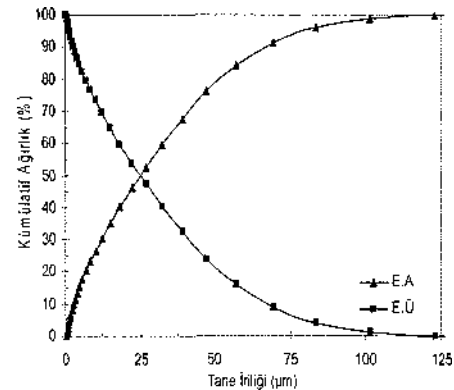
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Numunesi ve Hazırlanması

Kaltun Madencilikten (Çine-Aydın) temin edilen yaklaşık 50 kg'lık feldspat numunesi Çukurova Üniversitesi,

Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiş ve temsili numune miktarı konileme-dörtleme yöntemi ile yaklaşık 10 kg'a indirilmiştir. Numune %100'ü -2 mm olacak şekilde çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra seramik bilyalı değirmende öğütülerek %100'ü -63 µm tane boyutuna indirilmiştir. Deneysel kullanılan feldspat numunesinin Tübitak-MAM'da yaptırılan mineralojik analizi sonucunda başlıca minerallerin kuvars (SiO_2), albit ($Na_2OAl_2O_3 \cdot 6SiO_2$), ortoklaz ($KAlSi_3O_8$) ve illit ($(KH_3O) Al_2Si_3Al_0(OH)_2$) bileşikleri olduğu belirlenmiştir. Numunenin elek analizi de Tübitak-MAM'da Malvern Mastersizer cihazı kullanılarak tane boyut dağılım analizi yaptırılmış ve sonuçları Şekil 1'de, kimyasal analizleri ise yine Tübitak-MAM'da yarı-kantitatif element analizine (XRF) göre yaptırılmış ve sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca deneylerde kullanılan feldspat numunesinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) altındaki görüntüsü çekilmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.

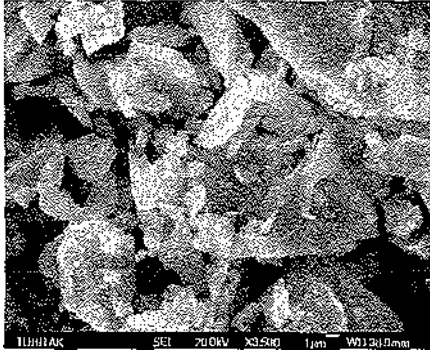
Şekil 2. Feldspat numunesine ait SEM fotoğrafı



Şekil 1. Tane irilik dağılımı

Çizelge 1. Feldspat numunesinin kimyasal analizi

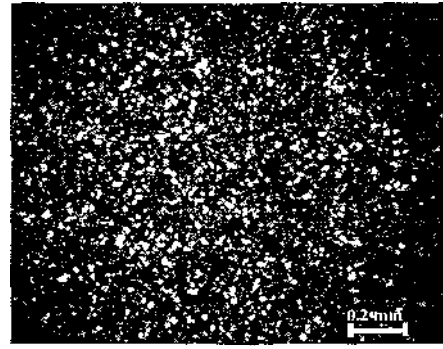
Bileşen	%Ağırlık
Al ₂ O ₃	21,872
CaO	1,100
Cl	0,046
F	0,671
Fe ₂ O ₃	0,119
K ₂ O	0,452
MgO	0,366
Na ₂ O	7,966
P ₂ O ₅	0,317
SO ₃	0,028
SiO ₂	66,594
SrO	0,032
TiO ₂	0,386
ZrO ₂	0,029



Şekil 2. Feldspat numunesine ait SEM fotoğrafı

Feldspat numunesinden hazırlanan ince kesitte yapılan incelemede; mikro-kristalen yapıda ana minerali feldspatların oluşturduğu gözlenmiş ve kesitte plajyoklaslar karlsbad sönme şekilleri ile oldukça belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bozuşma ürünü yer yer oldukça yoğun gözlenen plajyoklasların sönme açıları tam olarak tespit edilememişse de temiz 2-3 mineralde yapılan ölçümler sonucunda bunların albit formunda oldukları tespit edilmiştir. Kristalleri öz şekilsiz mikrolitik formda gözlenmiştir. İkincil mineral olarak küçük kristalli halde

kuvars minerali gözlenmiştir. Parlak, yer yer paralel sönme gösteren kuvars kristalleri feldspatlara eşlik etmektedir. Kesitte ayrışım ürünü olarak ortaya çıkan demir yer yer feldspat ve kuvars kristallerinin çatlak ve kırıkları boyunca izlenmiştir. Ayrıca çok az miktarda mafik mineral gözlenmiştir. Feldspatlar dönüşüm ürünü olarak kaolenleşme göstermektedir. Ayrıca matris'te çok ince formda kaolen mineralinin varlığı gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Feldspat numunesine ait ince kesit fotoğrafı

Deney numunelerinin beyazlık dereceleri 457 nm dalga boyuna ayarlı, reflex-ion ışık ile ölçüm yapan Keet marka, C-100 model dijital beyazlık indeksi ölçme cihazında yapılmıştır.

2.2. Bakteriyel Liç Deneyleri

Deneyisel çalışmalar Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Biyoteknoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan *Acidithiobacillus ferrooxidans* Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) kültür koleksiyonundan saf halde temin edilmiş ve *Aspergillus niger* ise Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji bölümünden saf halde temin edilmiştir. Daha sonra stok kültür hazırlamak amacıyla Patates Dekstroz Agar (PDA) hazır katı besiyeri

kullanılarak çoğaltılması sağlanmıştır. Çoğaltılan mantarlar Çizelge 2'de verilen besi ortamına ilave edilmiştir.

Çizelge 2. *Aspergillus niger* için uygun besiyeri (Cameselle, 2003)

Kimyasal Madde	Miktar (gr/l)
KH ₂ PO ₄	0,5
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,025
KCl	0,025
NaNO ₃	1,5
Maya özü	1,6
Sükroz	100

Acidithiobacillus ferrooxidans kullanılan deneyler için stok kültür hazırlamak amacıyla mikroorganizma öncelikle uygun besiyeri ortamında çoğaltılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. *Acidithiobacillus ferrooxidans* için uygun besiyeri (Ronald, 1997)

Kimyasal Madde	Miktar (gr/l)
KH ₂ PO ₄	0,4
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,4
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,4
FeSO ₄ .7H ₂ O	33,3
pH (H ₂ SO ₄ ile)	1,4

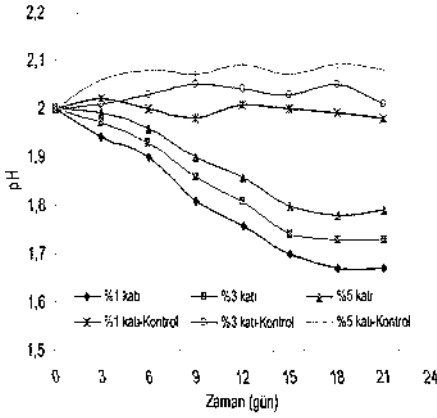
Deneysel çalışmalarda kullanılan mikroorganizmaların çoğaltılma işlemleri 250 ml'lik Erlenmeyer flasklarda 150 ml'lik çalışma hacminde gerçekleştirilmiştir. 135 ml hacme uygun olarak hazırlanan besi ortamları 121°C sıcaklıkta, 1 atm basınç altında 20 dakika sterilizasyon otoklavında steril edilmiştir. Sterilizasyon işleminden sonra saf kültürler steril kabinde uygun sterilizasyon şartları sağlandıktan sonra besi ortamına ekimi yapılmıştır. Bakteri ekimi yapılan besi ortamları, bakterilerin çoğalması için 7 gün boyunca 150 dev./dk. hızı

ve 30°C sıcaklığa ayarlanmış orbital çalkalamalı inkübatörde karıştırılmıştır. Bu süre sonunda üremesi gerçekleşen mikroorganizmadan yukarıdaki steril şartlarda alınan 15 ml'lik solüsyon, yeni hazırlanan besi ortamına ekilmiştir. Bu işlem aynı şartlarda 4-5 defa tekrarlanmıştır. Daha sonra mikroorganizmanın cevhere adapte olması için besi ortamlarındaki ferros demir yerine feldspat numunesi ilave edilerek ekimler yapılmıştır.

Biyoliç deneyleri 250 ml'lik Erlenmeyer flasklarda 150 ml çalışma hacminde yapılmış ve katı-sıvı oranının etkisi kinetik olarak irdelenmiştir. 21 günlük deney periyodunda her 3 günde bir 5 ml örnek alınarak önce kaba filtre kâğıdında daha sonra 0,45µm membran filtrede süzölmüş ve Atomik Absorbsiyon Spektrometre (AAS) cihazında demir analizleri yapılmıştır. Ayrıca alınan örneklerin pH değerleri de ölçülmüştür. Son olarak *Aspergillus niger* ile yapılan deneylerde deney çözeltisinden yaklaşık 1 ml alınarak yüksek performanslı sıvı kromatograf (HPLC) cihazı ile oksalik ve sitrik asit konsantrasyonları ölçülmüştür.

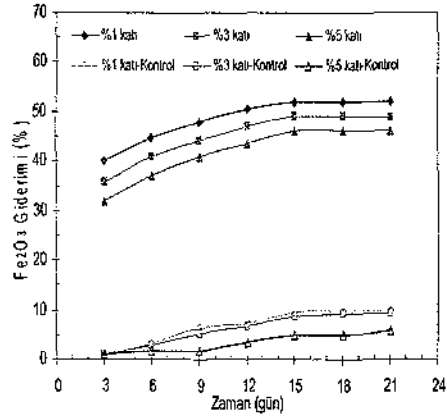
3. SONUÇLAR

Bakterilerin liç faaliyetleri sırasında liç işleminin verimli olup olmadığının en önemli göstergelerinden biri pH değerindeki değişimlerdir. Liç işlemi başladıktan sonra ortam pH'ı düşer ise yani ortam asidik hal almaya başlarsa bu durum ortamda demir oksidasyonunun gerçekleştiğinin bir göstergesi olarak kabul edilir. 21 günlük biyoliç deneyleri sırasında üç günde bir erlenmayerin ortam pH'ı ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. A. *Ferrooxidans* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan biyoliç deneylerinde ortam pH'ındaki değişimler (Başlangıç pH'ı 2; Bakteri konsantrasyonu %15; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev./dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

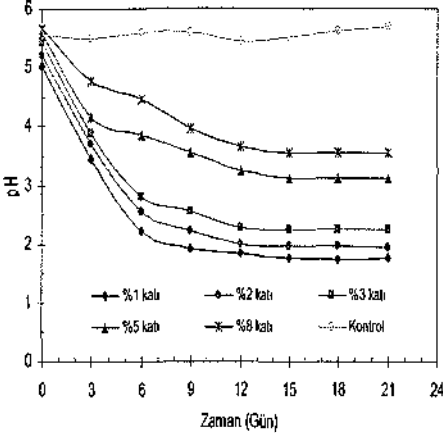
Şekil 4 incelendiğinde ortam pH'ının bakterilerin kuluçka evresinin bitimi olan 6. günden sonra düşmeye başladığı, gelişim ve üreme evreleri boyunca düşüş gösterdiği ve bakterilerin duraklama ve ölüm evresine girmesi ile birlikte pH değerlerinin de sabitlendiği görülmektedir. Deney başlangıcında 2 olan ortam pH'ı zamanla düşerek deney sonunda %1 katı oranı için 1,67'e, %3 katı oranı için 1,73'e ve %5 katı oranı için 1,79'a kadar düşmüştür. Katı oranı arttıkça ortam pH'ındaki düşüş de azalmıştır. Feldspat numunesinin *Acidithiobacillus ferrooxidans* ile yapılan biyoliç deneyinde uygun katı oranının belirlenebilmesi için son olarak AAS cihazı ile numunelerin demir analizleri yapılarak Fe_2O_3 giderim verimleri belirlenmiştir. Farklı katı oranlarında yapılan bu deneyde Fe_2O_3 giderim verimi değerleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. A. *Ferrooxidans* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan biyoliç deneylerinde elde edilen Fe_2O_3 giderimi (Başlangıç pH'ı 2; Bakteri konsantrasyonu %15; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev./dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

Feldspat cevherine A. *Ferrooxidans* kullanılarak en uygun katı oranının belirlenmesi için yapılan biyoliç deneylerinde katı oranı arttıkça demir giderim verimlerinin düştüğü gözlenmektedir. Bunun sebebi katı oranı arttıkça ortamdaki feldspatyoğunluğunun artması ve buna bağlı olarak da biyoliç çözeltisi içerisindeki toksik maddelerin ve bakterilerin ölüm evresinden sonra metabolik atık miktarlarının artmasıdır. Ortamdaki katı oranının artması ile mineral konsantrasyonu da artar ve tanecek toplam yüzeyi artmış olur. Buna bağlı olarak da metal çözünme miktarlarının artması beklenir. Fakat bu durumda ortamdaki feldspat kütlesi de arttığından dolayı belirli bileşiklerin konsantrasyonları da artmıştır ve bunların bazıları bakterilerin üremesi için toksik etki yapar, bundan dolayı metal çözünme verimleri düşer. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi en iyi % Fe_2O_3 giderim verimi %52,10 ile %1 katı oranında gerçekleşmiştir.

Aspergillus niger ile yapılan bakteriyel liç deneylerinde 5 farklı katı-sıvı oranı (%1, %2, %3, %5 ve %8) denenmiştir. Liç çözeltisinden her üç günde bir 5 ml'lik numune alınarak ortam pH'ı ölçülmüştür (Şekil 6).



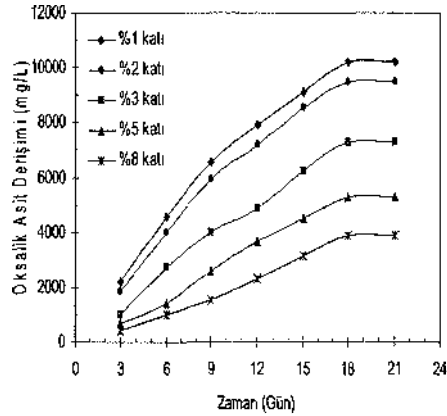
Şekil 6. *Aspergillus niger* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan bakteriyel liç deneylerinde ortam pH'ındaki değişimler (Başlangıç pH'ı 5-5,5; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev/dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

İlk aşamada ortam pH'ı ile katı-sıvı oranı arasındaki ilişki irdelenmiş ve deneyin yapıldığı her bir erlenmayere eşit miktarlarda ilave edilen mantarlar ilk günden itibaren üremeye başlamış ve hızlı bir şekilde devam etmiştir. Şekil 6 incelendiğinde ortamın asidikleştiği ve ortam pH'ının hızla düştüğü görülmektedir. Bu düşüş *Aspergillus niger*'m enzim olarak salgıladıkları organik asitlerden kaynaklanmaktadır. Bu organik asitler deney ortamını asidik hale getirmiş ve böylece ortam pH'ının düşmesine sebep olmuştur. Bu düşüş mantarların üreme evresinin sonuna (15. güne) kadar devam etmiş ve bu saatten sonra sabitleşen pH değerleri deney sonlandırılana kadar

sabit kalmıştır. Ayrıca, ortam sıcaklığı *Aspergillus niger* için en uygun sıcaklık olan 25-30°C aralığında kontrollü bir şekilde tutulmuştur. Ortam pH'ı deney başladığında 5-5,5 civarında iken ortamın salgılanan organik asitlerden dolayı asidik hale dönüşmesiyle birlikte pH'da 2-2,5 civarlarına kadar düşüş göstermiştir.

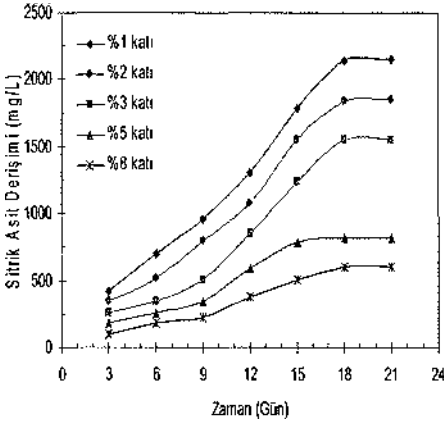
Feldspattaki istenmeyen safsızlıklardan Fe₂O₃'ün çözeltiye alınmasında mantarlar direkt olarak etkili olmamakla birlikte ortama salgıladıkları organik asitler (oksalik ve sitrik asit) Fe₂O₃'ü çözeltiye alarak demir oranının düşmesine yardımcı olmaktadır. Bakteriyel liç deneyleri esnasında ayrıca deney süresince organik asitlerin (oksalik ve sitrik asit) çözeltideki konsantrasyonları da ölçülmüştür (Şekil 7-8).

Şekil 7 ve 8 incelendiğinde mantarların üremesiyle birlikte hızlı bir şekilde ortama oksalik asit salgıladıkları görülmektedir. Bu asit derişimindeki artış



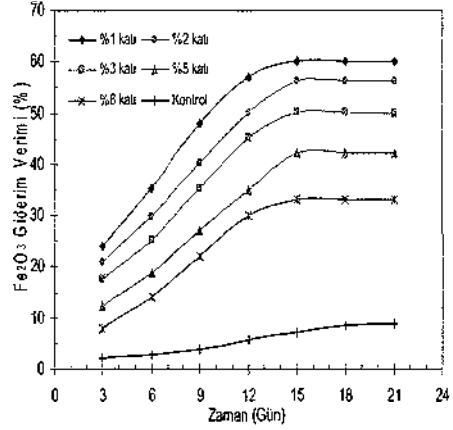
Şekil 7. *Aspergillus niger* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan biyoliç deneylerinde ortamdaki oksalik asit derişimleri (Başlangıç pH'ı 5-5,5; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev/dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

mantarların ölüm evresine kadar devam etmiştir. *Aspergillus niger*'in duraklama ve ölüm evresinin başlangıcı olan 15. günden sonra ortama salgıladıkları oksalik asit derişimi en fazla %1 katı oranında gerçekleşmiş ve yaklaşık 11 g/L olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde sitrik asit derişimi de yine en fazla %1 katı oranında gerçekleşmiş ve yaklaşık 2,3 g/L olarak belirlenmiştir. Katı oranı arttıkça ortamdaki oksalik ve sitrik asit derişimi azalmıştır. Bu durumun en önemli nedeni de katı oranı arttıkça ortamdaki mantarların üreme kabiliyeti ve aktivasyonunun azalmasıdır.



Şekil 8. *Aspergillus niger* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan biyoliç deneylerinde ortamdaki sitrik asit derişimleri (Başlangıç pH'ı 5-5,5; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev./dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

Feldspat cevherine *Aspergillus niger* ile yapılan bakteri liçi deneylerinde çözeltiye geçen demir miktarları Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre (AAS) cihazı ile belirlenmiş ve elde edilen Fe_2O_3 giderim verimi değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. *Aspergillus niger* ile farklı katı-sıvı oranlarında yapılan biyoliç deneylerinde elde edilen Fe_2O_3 giderim verimleri (Başlangıç pH'ı 5-5,5; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev./dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

Aspergillus niger kullanılarak en uygun katı-sıvı oranının belirlenmesi için yapılan bakteri liçi deneylerinde ortamdaki katı madde miktarı arttıkça cevher içerisindeki toksik maddelerde çözeltiye karıştığından mantarın verimli bir şekilde çoğalmasını ve yaşamasını engellemektedir. Bu yüzden katı-sıvı oranı arttıkça demir giderim verimi düşmektedir. Bu deneyde en uygun katı oranı %1 olarak belirlenmiş ve Fe_2O_3 giderimi %60,05 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, feldspattaki demir miktarı (Fe_2O_3) %0,119'dan %0,047'ye düşürülmüştür.

Bakteri liçi deneylerinde uygun değer liç şartları tespit edildikten sonra kinetik değerlendirme aşamasına geçilmiştir. Kinetik değerlendirme en verimli biyoliç sonuçları esas alınarak yapıldığı için *Aspergillus niger* ile yapılan biyoliç deneylerinin sonuçlarına göre yapılmıştır. Çeşitli endüstriyel minerallere uygulanan bakteriyel liç

yöntemlerinde, ağır metallerin çözünme hızları I. derece reaksiyon kinetiği ile ifade edilmekte ve reaksiyon kinetiği formülü Eşitlik 1'de verilmektedir (Chen ve Lin, 2000; Chen ve Lin, 2001; Gomez ve vd., 1999).

$$-\frac{dM}{dt} = k(M_0 - M_1) \quad (1)$$

Bu eşitlikte; k, hız sabitini (gün⁻¹); M₀, cevherdeki başlangıç metal konsantrasyonunu (mg); M₁ ise liç çözeltisindeki metal konsantrasyonunu (mg) ifade etmektedir. Eşitlik 1, M₀=M₁'den M=M'ye ve t=0'dan t=t'ye sınır şartları içinde integre edilirse;

$$\ln\left[\frac{M_0}{M_0 - M_1}\right] = kt \quad (2)$$

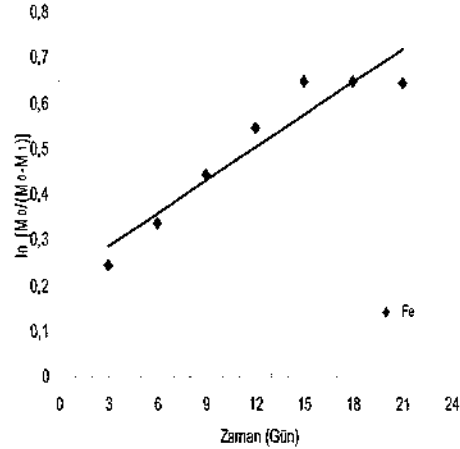
Eşitlik 2 elde edilir. Ln [M₀/(M₀-M₁)] ifadesi zamana karşı (t) grafiğine geçirildiğinde, eğimi k'ya eşit olan bir doğru elde edilir.

Feldspat numunesine optimum bakteri liçi deney şartlarında (%1 katı oranında, 5-5,5 ortam pH'ında, 30°C ortam sıcaklığında, 150 dev/dak. karıştırma hızında, 21 gün liç süresinde ve -63 µm tane boyutunda) elde edilen demir çözünürlüklerinin zamana karşı değişimi Eşitlik 1 ve 2'ye göre incelenmiş ve elde edilen değerler Şekil 10'da verilmiştir.

Yukarıda belirtilen en uygun şartlarda yapılan biyoliç deneylerindeki demir çözünürlüklerine göre çizilen grafikten (Şekil 10) elde edilen hız sabiti (k) ve lincer regresyon katsayısı (R²) değerleri sırası ile 0,024 gün⁻¹ ve 0,9059 olarak tespit edilmiştir.

Son olarak yapılan beyazlık testleri sonucunda ham feldspatın beyazlık değeri %70,10 iken biyoliç sonrası elde

edilen nihai ürünün beyazlık değeri %85,80'e yükselmiştir. Bu değer TS-11325'e göre seramik endüstrisi için uygun değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 10. *Aspergillus niger* ile bakteri liçi deneyinde demir çözünme hızının zamana karşı değişimi (Başlangıç pH'ı: 5-5,5; Sıcaklık 30°C; Karıştırma hızı 150 dev/dk.; Tane boyutu -63 µm; Biyoliç süresi 21 gün).

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenen MMF2003D-14 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney numunelerinin temininde kolaylık sağlayan Kaltun Madencilik A.Ş. yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Billiton, A., 2000. Recent Biocaching Developments: Creating Value Through Innovation, *Biotechnology in Mining*, pp. 1-11.
- Brierley, C.L., 1982. Microbiological Mining, *Journal of Scientific*

- American*, 247, 2, pp. 42-51.
- Cameselle, C., Ricart, M.T., Nunez, M.J., Lema, J.M., 2003. Iron Removal from Kaolin: Comparison Between In Situ and Two-Stage Bioleaching Processes, *Hydrometallurgy*, pp. 97-105.
- Chen, S.Y. and Lin, J.G., 2000. Influence of Solid Content on Bioleaching of Heavy Metals from Contaminated Sediment by *Thiobacillus* spp., *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 75, pp. 649-656.
- Chen, S.Y. and Lin, J.G., 2001. Effect of Substrate Concentration on Bioleaching of Metal-Contaminated Sediment, *Journal of Hazardous Materials*, 82, pp. 77-89.
- Cornelius, S. and Hurlbut, J.R., 1982. *Mineraloji* (Çeviren: İnan, K. ve Tanyolu, E.), Cilt 2, Doyuran Matbaası, 315 s., İstanbul.
- Gomez, C., Blazquez, M.L., Ballaster, A., 1999. Bioleaching of Spanish Complex Sulphide Ore Bulk Concentrate, *Minerals Engineering*, 12, 1, pp. 93-106.
- Haddadin, J., Dagot, C. and Fick, M., 1995. Models of Bacterial Leaching, *Enzyme and Microbial Technology*, 17, pp. 290-305.
- Kırkoğlu, S., 1990. *Endüstriyel Hammaddeler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1. Baskı, Sayı: 1418, 272 s., İstanbul.
- Köktürk, U., 1991. *Endüstriyel Hammaddeler*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 205, 259 s., İzmir.
- Lee, E.Y., Cho, K.S., Ryu, H.W. ve Bac, M., 1997. Effect of Carbon Sources on Biological Removal of Iron Impurities from Kaolinite, *Korean Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 25, pp. 552-559.
- Lee, E.Y., Cho, K.S. and Ryu, H.W., 2002. Microbial Refinement of Kaolin by Iron-Reducing Bacteria, *Applied Clay Science*, 22, pp. 47-53.
- Leveille, S.A., 2000. *Identification of Bacteria Recovered from Acid Mine Environments by Reverse Sample Genom Probing (Thiobacillus Acidophilus, Thiobacillus Thiooxidans, Leptospirillum Ferrooxidans, Thiobacillus Ferrooxidans)* MSc Thesis, 154 pp., Laurentian University of Sudbury, Canada.
- Lundgren, D.G., Valkova, V.M. and Reed, R., 1986. Chemical Reactions Important in Bioleaching and Bioaccumulation *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 16, pp. 7-21.
- Nemati, M. and Harrison, S.T.L., 2000. A Comparative Study on Thermophilic and Mesophilic Biooxidation of Ferrous Iron, *Minerals Engineering*, 13, 1, pp. 19-24.
- Ronald M.A., 1997. *Handbook of Microbiological Media*, 2th edition, New York.
- Sampson, M.I., Phillips, C.V. and Blake, R.C., 2000. Influence of The Attachment of Acidophilic Bacteria During The Oxidation of Mineral Sulfides, *Minerals Engineering*, 13, 4, pp. 373-389.
- Sand, W., Gehrke, T., Jozsa, P.G. and Schippers, A., 2001. Biochemistry of Bacterial Leaching: Direct Versus Indirect Bioleaching, *Hydrometallurgy*, 59, pp. 159-175.
- Saniz, K., Nuhoglu, İ., 1992. *Endüstriyel*

- Hammacde Yatakları ve Madenciliği*, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 62, 452 s., Eskişehir.
- Seifelnasr, A.A.S ve Abouzeid, A.Z.M., 2000. Cevher Hazırlanada Yeni Eğilimler: Bakteriyel Aktivitelerin Kullanımı, *Ore Dressing*, 4, syf. 17-41.
- Telefoncu, A., 1995. *Biyoteknoloji*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, No: 152, 115 s., İzmir.
- TS-11325, 1994. *Feldspat-Seramik Sanayinde Kullanılan Feldspatların Standardı*, 12 s.



Ön Havalandırma ve H₂O₂ İlavesinin Mastra Altın Cevherinin Siyanür Liçine Etkisi

Effects of Pre-Aeration and H₂O₂ Addition on Cyanidation of Mastra Gold Ore

B. Öztürk, K.T. Perek, F. Arslan

İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

ÖZET Bu çalışmada 9,05 g/t Au ve 3 g/t Ag içeren Mastra altın cevherinden siyanür liçi ile altın kazanımında ön havalandırma, H₂O₂ ilavesi ve çözündürme süresinin Au çözünme verimi, siyanür ve CaO tüketimlerine olan etkisi araştırılmıştır. Siyanür liçi öncesi uygulanan ön havalandırma işleminin Au çözünme verimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Çözünme verimi %84'ten 4 saatlik ön havalandırma uygulandığında %64'e düşmüştür. Siyanür liç süresinin Au kazanma verimine etkisini incelemek için yapılan deneyler sonucunda liçde deney süresi arttıkça Au çözünme veriminin arttığı ve 8 saatlik çözündürme sonucunda %84'e ulaştığı gözlemlenmiştir. Peroksit ilavesinin etkisini görmek amacıyla yapılan deneylerde 2 saatlik çözündürme sonunda Au çözünme verimi siyanür liçine H₂O₂ ilavesi yapılmadan önce %48 iken, 5 g/L H₂O₂ ilavesi ile %70 değerine çıkmış ve bu değerden sonra artan peroksit konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Peroksit ilavesiyle (5g/L) siyanürasyon süresinin de önemli derecede düşürülebileceği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda bu cevherden siyanür liçi ile deney süresini artırarak veya bir miktar peroksit katarak yüksek verimlerle Au kazanılabileceği bulunmuştur.

ABSTRACT In this study, Mastra gold ore containing 9.05 g/t Au and 3 g/t Ag was subjected to the experiments carried out for investigating the effects of pre-aeration, addition of H₂O₂ and leaching time on Au leaching recovery cyanide and CaO consumptions. Pre-aeration before cyanidation resulted in decreasing Au leaching efficiencies from 84% to 64% with the application of 4 hour pre-aeration. In the experiments conducted for investigating the effect of leaching time, it was found that Au leaching efficiencies increased with increasing time of leaching and 84% of Au leaching was found at the end of 8 hour leaching. Cyanide and CaO consumptions were also increased with time. In the tests showing the effect of peroxide addition, Au leaching efficiency in 2 hr leaching increased from 48% to 70% with 5 g/L peroxide addition and decreased sharply after that point. It was also found that the peroxide addition up to 5 g/L has decreasing effect on leaching time. This experimental study showed that Au can efficiently be recovered by cyanidation either increasing leach time or adding small amounts of peroxide.

1 GİRİŞ

Mastra altın yatağı, Gümüşhane'nin 9 km kuzeybatısında, Demirkaynak köyünün yakınındaki bir bölgededir. Maden Yatağı, Doğu Pontid Tektonik Kuşağı'nın güney kesiminde yer alır. Pontid Kuşağı, tamamına yayılmış masif sülfür yataklarıyla iyi tanınan bir metalojenik bölgedir. Mastra cevheri ile ilgili yapılan araştırmalarda Mastra cevheri incelenmiş ve altın kazanımı mineralojik yapısı ile ilişkili olarak çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır.

Alp ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptığı çalışmaya göre Mastra (Gümüşhane) altın cevherinin mineralojik yapıları incelenmiş ve siyanür liç deneyleri yapılmıştır. Mastra cevherinde altın tanelerinin boyutlarının genellikle 5-300 mikron arasında değiştiği gözlenmiştir. Altın cevher mineralleri içinde kapanımlar halinde ve kuvars gangi içerisinde düzensiz şekilli taneler halinde bulunmaktadır. 24 saatlik siyanür liçi sonrasında Mastra cevherinden %90 verimle altın çözeltiye alınmıştır. Siyanür sarfiyatını azaltmak için kavurma gibi ön oksidasyon işlemleriyle sülfürlü minerallerin bozundurulması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, Mastra cevherinde altın tane boyutlarının büyük ve bunların kuvars içinde bulunmaları bu cevherin öğütme sonrasında gravite ile ön zenginleştirme yapılabileceğini de göstermiştir (Celep ve arkadaşları, 2003).

Celep ve arkadaşları (2006), Gümüşhane-Mastra altın cevherine yapılan mineralojik incelemelere bağlı olarak Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısını kullanarak altın kazanımı incelemiştir. Mastra cevherinde altın tanelerinin iri olması (ortalama 0,030 mm) nedeniyle siyanür liçi öncesi gravite yöntemi uygun olduğu tespit edilmiş ve bu bağlamda yapılan deneylerde öğütülmüş

cevher (%80'i 0,075 mm) üzerinde Knelson santrifüjlü gravite ayırıcısının cevherdeki altının %47,2' sinin 771,95 g/ton Au tenörlü konsantrasyon olarak alınabileceği sonucunu doğurmuştur. Bu durumda Mastra cevherinin santrifüjlü gravite ayırma yöntemleri ile ön zenginleştirmesinin uygulanabileceğinin mümkün olduğunu göstermiştir. Gönen (1997), Gümüşhane-Mastra altın cevherine tiyoüre liçini uygulamıştır. Çalışmada, tane boyutu, liç süresi, oksitleyici ve çözücü konsantrasyonu, pH ve reaktif tüketimi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda reaktif tüketimine bağlı verim karşılaştırıldığında siyanürle altın üretiminin daha avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmada %78 den daha yüksek altın çözünme verimine ulaşılamamıştır.

Bu çalışmada Mastra altın cevherinden siyanür liçi ile Au kazanımında çözünme verimini arttırmak ve etkilerini gözlemlemek amacıyla ön havalandırmanın, liç süresinin ve H₂O₂ ilavesinin siyanür liçine etkileri incelenmiştir. Literatürde farklı altın ve gümüş cevherlerinin siyanür liçinde peroksit ilavesine yönelik çalışmalar mevcut olup bir miktar peroksit ilavesiyle olumlu sonuçlar gözlenmiştir (Dinçer, 1997; Bilici ve Akyol, 1999; Arslan ve arkadaşları, 1996).

Siyanür liçi tekniğinde, altın ve gümüşün siyanür ile kompleksleri oluşturabilmesi için bir oksitleyicinin var olması gerektiği ortaya konmuş ve bu amaçla havadaki oksijen, basınçlı hava şeklinde pülpe verilmektedir. Uzun yıllar yapılan çalışmalar ve uygulamalar Au ve Ag çözünme derecesinin pülpteki oksijen konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Altın cevherlerinin siyanür liçinde oksitleyici olarak oksijenin ilk defa 1987 yılında G.Afrika'da kullanılmasıyla peroksit

katkılı liç prosesi (PAL) doğmuştur. Bu proses, altın endüstrisinde pülpün havalandırılması için kullanılan basınçlı hava ve/veya oksijen gazı yerine alternatif olarak uygulanmasına başlanmıştır (Loroesch ve arkadaşları, 1989).

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

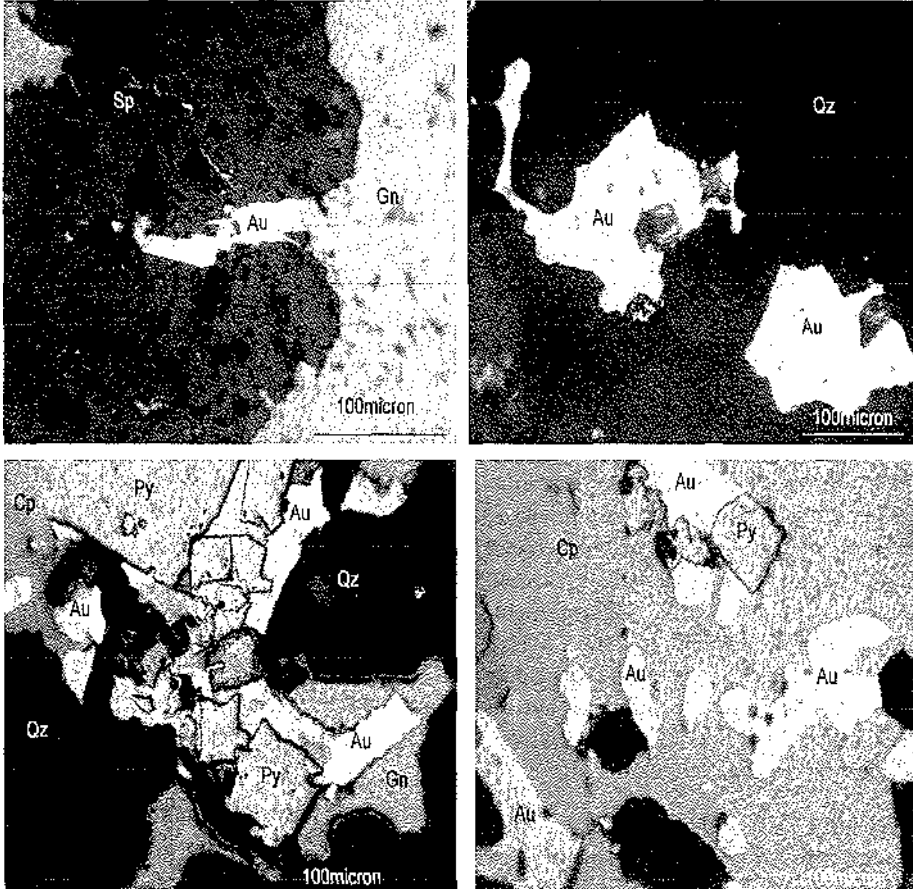
2.1 Malzeme ve Yöntem

Gümüşhane-Mastra altın yatağından alınan 12 karot numune eşit miktarlarda alınarak harmanlanmıştır. Harman numune kırılıp öğütülerek -0,150 mm boyuta indirilmiştir. Siyanür liçi deneyleri bu numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Harman numunenin kimyasal analizi Tablo 1'de ve numunenin boyut dağılımı Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi

Element	İçerik (g/t)	Element	İçerik
Au	9,05	Fe, (%)	1,87
Ag	4,04	Hg, (g/t)	253,0
As	166,75	Mg, (g/t)	0,14
Cd	14,45	Ni, (g/t)	6,06
Co	16,11	Pb, (g/t)	1068,53
Cr	87,90	Sb, (g/t)	2,45
Cu	2438,1	Zn, (g/t)	3856,1



Şekil 1. Cevherin mineralojik yapısını gösteren fotoğraflar (Alp ve arkadaşları, 2003).

Tablo 2. Deneye giren numunenin boyut dağılımı

Boyut Grubu (μm)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
-150+75	13,27	13,27	100,00
-75+53	12,24	25,51	86,73
-53+38	3,06	28,57	74,49
-38	71,43	100,00	71,43
Toplam	100,00		

Daha önce yapılan araştırmalarda cevherin pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen sülfid fazlarını içerdiği belirlenmiştir (Şekil 1). Altın taneleri 1-300 mikron arası boyut aralığında bütün cevher mineralleri ile birlikte ve bazen onların içerisinde kapanımlar halinde bulunmaktadır. Kuvars içerisinde bütün boyutlarda altın taneleri bulunmaktadır. Altın genelde nabıt olarak nadiren elctrum olarak bulunmaktadır. Altın tanelerinin ortalama boyutu 30 μm 'dur. Cevherde bulunan altın tanelerinin yarısinin $\leq 20\mu\text{m}$ olmasına karşın, altının hacimsel dağılımı cevherdeki altının %50'sinin $\leq 150\mu\text{m}$ olduğunu göstermektedir (Celep ve Arkadaşları, 2003).

Siyanür ile Çözündürme deneyleri 1 litrelik beherlerde ve 600 devir/dakika'lık hızla çalışan mekanik karıştırıcılar kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde çözücü olarak NaCN, pH ayarlayıcı olarak CaO ve bir kısım deneyde sıvı oksitleyici olarak H_2O_2 kullanılmıştır. Tüm deneylerde çözelti pH'sı 10,5-11,0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerin sonunda filtreleme ile katı-sıvı ayrımı yapılmış ve Au içeriği tespit edilerek çözünme verimleri hesaplanmıştır.

2. DENEYSEL SONUÇLAR

Mastra altın cevherinin siyanür içinde belirli sabit koşullarda, ön havalandırma, H_2O_2 ilavesi ve liç süresinin altın çözünme

verimi, siyanür ve CaO tüketimine etkisi araştırılmış ve sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir:

Deneylerin Sabit Koşulları

pH : 10,5-11,0

Çözelti Sıcaklığı : $17\pm 2^\circ\text{C}$

Tane Boyutu : -150 μm

P.K.O. : %10

NaCN: 1 g/L

2.2 Ön Havalandırmanın Etkisi

Ön havalandırma etkisinin araştırıldığı deneyler 8 saatlik süre ile yapılmış. Ön havalandırma süresi 0, 1, 1,5, 2 ve 4 saat aralıklarında yapılmıştır. Buna bağlı olarak her deneyde belirli aralıklarda NaCN ve CaO tüketimleri hesaplanmıştır. Tablo 3'te ön havalandırma deneylerine bağlı sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3. Ön havalandırmanın etkisinin incelendiği deney sonuçları.

Ön Havalandırma (saat)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
0	84	4,00	4,20
1	72	3,25	8,81
1,5	77	4,50	8,90
2	55	3,50	6,20
4	64	4,00	4,28

Yapılan kimyasal analizler sonunda Au kazanma veriminin, ön havalandırma yapılmadan siyanür liçinde %84 olduğu; ön havalandırma süresinin artırılması ile düzensiz olarak düştüğü ve hatta 4 saatlik ön havalandırma sonrasında %64 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ön havalandırma süresi arttıkça NaCN tüketimi artmış, CaO tüketimi ise azalmıştır.

2.3 H₂O₂ İlavesinin Etkisi

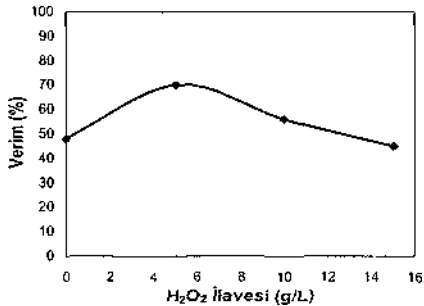
H₂O₂ ilavesinin incelendiği deneylerde ise 0, 5, 10 ve 15 g/L H₂O₂ ilavesi ile 2'şer saatlik deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4 ve Şekil 4'te verilmektedir.

Hidrojen peroksit ilavesinin çözüne verimini arttırdığı ve liç süresini kısalttığı daha önceki yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir (Loroosch ve arkadaşları, 1989; Bilici ve Akyol, 1999, Arslan ve arkadaşları, 1998).

Tablo 4. H₂O₂ ilavesinin etkisinin incelendiği deney sonuçları.

H ₂ O ₂ (g/L)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
0	48	4,25	3,00
5	70	5,00	5,00
10	56	8,50	4,50
15	45	10,00	5,30

Şekil 4 den de görüleceği gibi H₂O₂ ilavesiyle %70 altın çözünme verimine ulaşmak için gereken süre 2 saate inmiştir. Burada siyanür tüketimlerinin artması H₂O₂ in siyanür bozundurmada da kullanılan güçlü bir oksitleyici olması nedeniyle olabilir.



Şekil 4. H₂O₂ ilavesinin Au çözünme verimine etkisi.

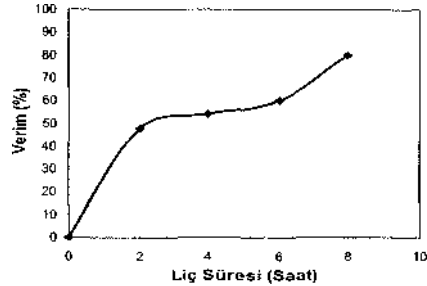
2.4 Liç Süresinin Etkisi

Siyanür liçi deneyleri sürenin etkisini incelemek amacıyla 2, 4, 6 ve 8 saat süreyle ön havalandırma olmaksızın aşağıdaki koşullarda yapılmıştır. Tablo 5 ve Şekil 5'te liç süresinin incelendiği deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. Liç süresinin etkisinin incelendiği deney sonuçları.

Liç Süresi (saat)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
2	48	4,25	3,00
4	54	3,00	2,30
6	60	4,80	2,00
8	84	4,00	4,20

Deneyler sonucunda çözündürme süresinin Au çözünme verimini önemli derecede etkilediği gözlemlenmiştir. Au çözünme verimi 2 saat sonunda % 48 iken 8 saatte % 84'e çıkmıştır. Benzer şekilde NaCN ve CaO tüketimleri de artmıştır.



Şekil 5. Liç süresinin Au çözünme verimine etkisi.

3 SONUÇLAR

Gümüşhane-Mastra yöresi altın cevherinden siyanür liçi ile altın kazanımına yönelik çalışmanın sonuçları aşağıda verilmektedir:

- Gümüşhane-Mastra altın cevherinin 9,05g/t Au, 3g/t Ag içerdiği saptanmıştır.

- Adha önceki araştırmalarda cevherin pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen gibi sülfür fazlarını içerdiği belirlenmiştir. Altın taneleri 1-300 mikron arası boyut aralığında bütün cevher mineralleri ile birlikte ve bazen onların içerisinde kapanımlar halinde bulunmaktadır.
- Siyanür liçi öncesi uygulanan ön havalandırma işleminin Au çözünme verimini olumsuz etkilediği görülmüştür. Çözünme verimi %84'ten 4 saatlik ön havalandırma uygulandığında %64'e düşmüştür.
- Siyanür liçinin Au kazanma verimine etkisini incelemek için yapılan deneyler sonucunda liçte deney süresi arttıkça Au çözünme veriminin arttığı ve 8 saatlik çözündürme sonucunda %84'e ulaştığı gözlenmiştir. Süreye bağlı olarak siyanür ve CaO tüketimleri de artmıştır.
- Peroksit ilavesinin etkisini görmek amacıyla yapılan deneylerde, 2 saatlik çözündürme sonunda Au çözünme verimi siyanür liçinde H_2O_2 ilavesi yapılmadan önce %48 iken; H_2O_2 ilavesi ile (5 g/L ilave yapıldığında) % 70 değerine çıkmış ve bu değerden sonra artan peroksit konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Aynı Au çözünme verimine ulaşmak için 5 g/L peroksit ilavesiyle çözünme süresi 7 saatten 2 saate inmiştir. Bu da peroksit ilavesiyle siyanür liçi süresinin önemli derecede düşürülebileceğini göstermektedir.
- Bu deneysel çalışmalarda görülen ön havalandırmanın olumsuz etkisini yorunlayabilmek için altın dışındaki diğer metal veya bileşiklerin çözünme davranışlarının detaylı bir şekilde incelemesinin gerektiği ortaya çıkmıştır.
- Bu çalışma sonucunda bu cevherden siyanür liçi ile deney süresini artırarak veya bir miktar peroksit katarak yüksek verimlerle Au kazanılabileceği bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Alp İ., Celep O., Tüysüz N., Vıçıl M., Lermi A., 2003. "Mineralojik yapının cevher zenginleştirme işlemine etkisi: Mastra ve Kaletaş (Gümüşhane) altın cevherleri üzerine örnek çalışma", *Türkiye 18. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Trabzon, s.147-153.
- Arslan F., Özdamar D.Y., Dinçer H., Gürkan V., 1996. "Artvin-Cerratepe Yöresi Altın ve Gümüş İçeren Cevherlerin Siyanür ile Çözündürülmesi", *Metallurji*, Cilt 23, s.122.
- Arslan F., Müdüroğlu M., Perek K.T., 1998. "Hydrogen Peroxide Assisted Cyanide Leaching of Artvin-Cerratepe Region Gold and Silver Ores", *Innovations in Mineral and Coal Processing*, Eds: S. Atak, G. Önal, M.S. Çelik, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 567-571.
- Bilici U., Akyol F., 1999. "Hidrojen peroksitin refrakter tip gümüş cevherleri üzerinde siyanür liç verimi üzerindeki etkisi", *Madencilik*, Cilt. 38, s. 1.
- Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M., Yılmaz, T., 2006. "Knelson santrifüj graviteayırıcısıyla mastra (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı", *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, Cilt. 19, s. 175-182.
- Dinçer H., 1997. "Gümüşköy atıklarının değerlendirilmesi ve tesis gümüş kazanma veriminin artırılması", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gönen, N., 1997. "Mastra altın cevherlerinden tiyüre yöntemiyle altın kazanımı", M.T.A. Rapor, No: 1790.
- Loroesch, J., Knorre, H., and Griffiths, A., 1989. "Developments in gold leaching using hydrogen peroxide" *Mining Engineering*, Sept. 1989, pp: 963-965

Kışladağ (Uşak) Altın Cevherinin Siyanür Liçi *Cyanide Leaching of Kışladağ (Uşak) Gold Ores*

F. Arslan, T. Özikinci, K. T. Perek

İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü

ÖZET Kışladağ altın madeni işletilebilir rezervi 132 milyon ton civarında olup ortalama 1,2 g/t Au ve 0,9 g/t Ag içermektedir. Halen Kışladağ'da cevherden altın üretimi yığın liçi ile yapılmaktadır. Bu çalışmada Kışladağ Altın Madeni'nden gelen cevher üzerinde, bilinen en temel altın üretim yöntemi olan, siyanürle çözündürme işleminde; tane boyutu, siyanür konsantrasyonu ve çözündürme süresinin altın çözünme verimine etkisinin incelenmesi araştırılmıştır. Deneilerde iki farklı boyut grubu (-53 µm ve -106 µm), dört farklı siyanür konsantrasyonu (0,5-1,0-1,5-2,0 g/L) ve üç farklı çözündürme süresi (8, 12, 24 saat) kullanılmıştır. Deneiler sonucunda tane boyutunun küçülmesi ile altın kazanma veriminde artış gözlenmiş ancak çözünme süresinde azalma olmuştur. -106 µm boyutundaki malzeme ile yapılan deneilerde NaCN konsantrasyonu arttıkça altın çözünme verimi de artmaktadır. Ancak -53 µm boyutundaki malzeme ile yapılan deneilerde artan NaCN konsantrasyonunun belirgin bir etkisi olmamıştır. Au çözünme verimi her iki durumda da 2 g/L NaCN konsantrasyonunda, %89,5'dir. Her iki boyut grubunda da liç süresi artışıyla birlikte Au çözünme verimi artmasına rağmen, 24 saatlik siyanür liçi sonunda aynı Au çözünme verimine (yaklaşık % 93) ulaşılmış olup, siyanür sarfiyatı 0,68 kg/t ve CaO sarfiyatı ise 6 kg/t civarındadır.

ABSTRACT Kışladağ Gold Mine total reserve is approximately 132 million tons, with the average grade of mine of 1.2 g/t Au and 0.9 g/t Ag. Presently in Kışladağ Mine, gold is produced by heap leaching method. The aim of this research is to investigate the effect of particle size, cyanide concentration and leaching time on cyanide leaching of the gold ore sample supplied by Kışladağ Gold Mine. Two different particle sizes (-53 µm and -106 µm), different cyanide concentrations (0.5-1.0-1.5-2.0 g/L) and three different leaching durations (8, 12, 24 hrs) are used. Cyanide leaching experiments showed that the Au leaching efficiency increased with decreasing particle size resulting in decreasing dissolution time. In the experiments carried out with the ore in -106 µm particle size, gold dissolution efficiency increased with increasing NaCN

concentration. However, in the case of -53 µm particle size, cyanide concentration did not affect the leaching efficiency of gold as mentioned in the literature and maximum gold leaching was observed as 89.5 % when 2 g/L NaCN concentration was used. In both sizes, Au leaching efficiency increased with increasing leaching time and 93% of Au dissolution efficiency was observed at the end of 24 hours leaching in both cases. NaCN and CaO consumptions were found as 0.68 kg/t and 6 kg/t, respectively.

1 GİRİŞ

Altın ve gümüş yatakları, oluşumlarına ve cevherleşme çeşidine göre altı sınıfta incelenmektedir (Öztunalı (1973)):

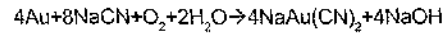
- Altınlı Kuvars Damarlarının Oluşturduğu Yataklar,
- Subvolkanik Altın, Altın-Gümüş ve Gümüş Yatakları,
- Metazomik (İçirimli) Altın Yatakları,
- Altın ve Gümüş İçeren Kurşun, Çinko, Bakır Yatakları,
- Sedimanter Altın ve Gümüş Yatakları

Bu yataklara ilaveten Fosil plaser tipi altın yatakları da bulunmakta, bu tip yataklar geçmiş jeolojik devirlerde oluşan plaserler, konglomeralar şeklinde bulunmaktadır.

Altın madenciliğindeki teknoloji seçimi, cevher içindeki altın taneciklerinin büyüklüğüne ve cevher kayasında bulunan diğer minerallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Cevherdeki altın taneciklerinin mikroskobik boyutta dağılmış olması durumunda kullanılan tek ve etkili yöntem, siyanür ile çözeltiye alma teknolojisi günümüzdeki dünya altın üretiminin %80'den fazlası için uygulanmaktadır.

Siyanür ile çözeltiye alma yöntemi günümüzde cevherden altın üretim teknolojisi olarak kullanılmaktadır. Siyanürle altın üretiminde, pH=11 civarında ve oksijenli ortamda potasyum veya sodyum siyanür ile muamele edilerek çözündürülmektedir. Altın her ne

kadar oksidasyona karşı soy bir davranış gösterse de, CN⁻ gibi kompleks yapıcı reaktifin yardımı ile siyanokompleks (Au(CN)₂⁻) meydana getirerek aşağıdaki reaksiyona göre Au⁺ kationuna indirgenir. Aşağıdaki reaksiyonda altının siyanür liçinde oksijenin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.



Altının siyanür ile çözünmesini etkileyen çeşitli parametreler mevcuttur. Bunlar sırasıyla oksijen miktarı, siyanür konsantrasyonu, pH ve Eh, alkali ilavesi, çözeltideki empürite iyonlar, flotasyon reaktifleri, tane boyutu, sıcaklık, basınç, ön havalandırma ve oksitleyici ilaveleridir (Yannopoulos (1991), Arslan ve Acarkan (2000)).

Liç çözeltilerinden altın ve gümüşün kazanılmasında; çinko ile çöktürme (Merrill-Crowe), aktif karbon, iyon değiştirici reçine ve elektroliz (elektrowining) yöntemleri tek tek veya kombinasyon halinde uygulanmaktadır. Çöktürme yöntemlerinin seçiminde, altın içeren siyanürlü çözeltideki çözünmüş metal konsantrasyonu önemli bir parametre olmaktadır. Genel olarak, karıştırmalı liç sisteminde alınan yüklü çözelti 2-15 mg/L altın içerirken, yığın liçi çözeltisinde altın içeriği 1 mg/L veya daha düşük olmaktadır. Liç sonrasında çözeltide bulunan serbest siyanür iyon konsantrasyonları (CN⁻) ise, 20-200 mg/L arasında değişmektedir.

Kışladağ Altın Madeni, İzmir'in

180 km doğusunda, Uşak İl merkezinin 35 km güney batısında yer almaktadır. Kışladağ Altın Madeni'nde 2006 senesinde yıllık 6,5 milyon ton ile başlayan cevher üretimi bir kaç sene içinde yılda 10 milyon tona ulaşacaktır. İşlenecek cevherin her bir tonunda ortalama 1,2 g altın (Au) ve 0,9 g gümüş (Ag) bulunmaktadır. İşletilebilir rezerv 132 milyon ton civarındadır. Tesiste altın kazanımı yığın liçi ile yapılmaktadır. Liç işlemi için cevher uygun tane boyutuna (%80'i -6.3mm) kırılmaktadır. Daha sonra cevhere kircç eklenerek cevherin pH kontrolü sağlanmaktadır. Kırılmış cevher konveyör bant taşıyıcı sistem aracılığı ile yığın liçi alanına taşınmaktadır. Yığın liç alanı bir katı kil, bir katı jeomembran olmak üzere çift astarla kesin sızdırmazlık sağlanan bir yapıdadır. Hazırlanan seyreltik siyanür çözeltisi, yığınların içine döşenen borular yardımıyla yığma damlatılır. Çözelti, cevher yığınının içinden süzülürken içindeki siyanür, cevherdeki altın ve gümüşü çözerek altın ve gümüşün çözeltiye geçmesini sağlar. Bu işlemi takiben, altın yüklü çözelti, karbon adsorbsiyon kolonlarından geçirilerek altın karbon tanecikleri üzerinde soğurulmaktadır. Daha sonra, yüksek basınç altında karbondan sıyrılıp elektroliz hücrelerinden geçirilir ve elde edilen altın kurutulduktan sonra fırında ergitilerek kalıplara dökülür ve dore külçe elde edilir (www.tuprag.com.tr).

2 DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Numunenin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Deneysel çalışmalar, Kışladağ (Uşak) altın cevheri üzerinde gerçekleştirilmiş olup, numunenin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmektedir.

Au analizleri ALS Laboratory Group (Izmir) tarafından yapılmıştır. Cevher numunesinden seçilen örneklerden yapılan parlak-ince kesitlerin mikroskopik incelemeleri sonucunda kuvars ve feldspattan oluşan asit bileşimli kayaç içerisinde nabit altın, pirit, hematit ve limonit gibi mineraller saptanmıştır (Şekil 1-4). Nabit altın kesitlerde genellikle kuvars içerisinde 1 ile 5µm arasında değişen boyutlarda yuvarlak şekilli taneler halinde buldukları gözlenmiştir.

Tablo 1. Kışladağ Cevheri Kimyasal Analiz Sonuçları.

Element	İçerik	Element	İçerik
Au, g/t	1,2	SiO ₂ , %	59,75
Fe, %	3,89	Al ₂ O ₃ , %	16,41
Zn, %	0,178	CaO, %	1,195
Ba, %	0,48	MgO, %	1,19
Pb, %	0,05	K ₂ O, %	4,22
Ag, g/t	0,9	Na ₂ O, %	2,83

2.2 Yöntem

Kışladağ madeninde kullanılmakta olan yığın liçi yerine, karıştırma liçi yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde tane boyutu ve siyanür konsantrasyonunun altın kazanma verimine etkisi incelenmiştir. Numune, boyut küçültme işlemleri ile tamamı 53 ve 106 µm boyutu altına öğütülmüş ve liç deneyleri bu numuneler ile gerçekleştirilmiştir.

Siyanür konsantrasyonu değerleri 0,5, 1, 1,5 ve 2,0 g/L olarak seçilmiştir. Deneyler, oda sıcaklığında, 1000 mL'lik beherlerde 100 g numune ile karıştırılmalı liç şeklinde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mekanik karıştırıcının hızı 600-800 dev/dak arasında tutulmuştur. Siyanür liçi deneylerinde analiz kalitesinde NaCN ve koruyucu alkali olarak Ca(OH)₂ kullanılmıştır. Koruyucu

alkali tüketimi deney sonuçlarında CaO cinsinden verilmiştir. Deney esnasında özellikle pH değerinin 10,5-11,0 civarında kalmasına dikkat edilmiştir.

Deneylerde sürenin etkisinin incelendiği deneyler hariç 8 saatlik liç süresi sabit tutulmuş ve deney boyunca belli aralıklarla çözülden alikotlar alınmış ve AgNO₃ titrasyonu yardımıyla siyanür konsantrasyonu ve oksalik asit titrasyonu yardımıyla da Ca(OH)₂ miktarı belirlenmiştir.

3 DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

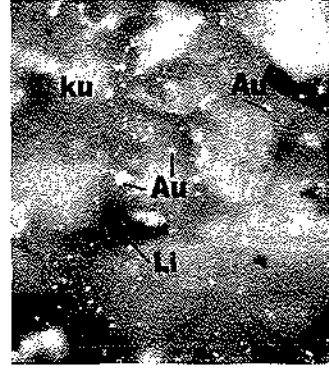
İki grup halinde yapılmış olan deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir:

3.1 Tane Boyutu ve NaCN Konsantrasyonunun Etkisi

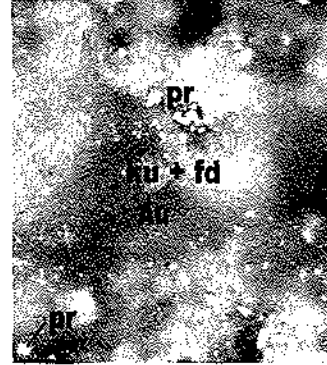
Birinci grup deneylerde; -106 µm boyut grubuna öğütülen numune farklı siyanür konsantrasyonlarında (0,5, 1, 1,5 ve 2 g/L) 8 saat süre ile karıştırmalı liç deneyine tabi tutulmuş, deney sonunda filtre edilerek süzüntüdeki NaCN ve CaO miktarları belirlenerek, deney sırasında harcanan NaCN ve CaO miktarları tespit edilmiştir. Liç kekleri de kurutulmuş ve Au analizleri yapılmış ve buna göre Au çözünme verimleri hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. -106 µm Boyutundaki Numune ile Farklı NaCN Konsantrasyonlarında Yapılan Siyanür Liçi Deneyleri Sonuçları.

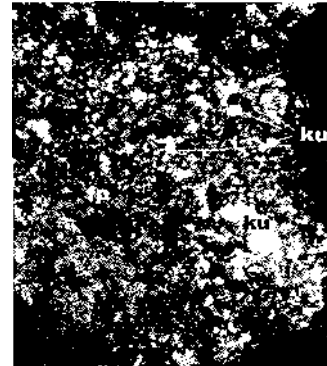
NaCN Konsantr. (g/L)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
0,5	50,7	0,4	4,13
1,0	79,2	0,9	3,45
1,5	86,5	1,3	3,78
2,0	89,5	1,9	6,85



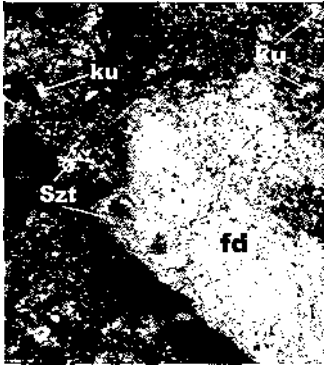
Şekil 1. Kuvars (ku) içerisinde izlenen altın (Au) taneleri (Büyütme x320, 1 cm = 30µm)



Şekil 2. Kuvars (ku) ve Feldspattan (fd) oluşan Kayaç içerisinde izlenen Altın (Au) ve Pirit (pr) taneleri.(Büyütme x320, 1 cm = 30 µm)



Şekil 3. Kuvars (ku) ve Feldspattan (fd) oluşan yan kayaç (Büyütme x100, 1cm = 90 µm)



Şekil 4. Feldspat (fd) ile izlenen Kuvars (Ku) taneleri, Feldspatlar kısmen Ayrışarak Seruzite (Szt) dönüşmüş. (Büyütme x320, 1cm = 30 µm)

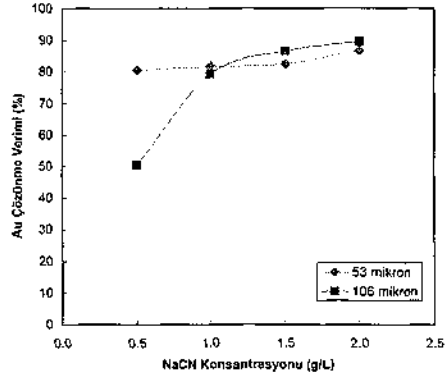
İkinci grup deneylerde; -53 µm boyut grubuna öğütülen numune yine aynı şekilde farklı siyanür konsantrasyonlarında (0,5, 1, 1,5 ve 2 g/L) 8 saat süre ile karıştırmalı liç deneyine tabi tutulmuş olup deney sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. -53 µm Boyut Grubundaki Numune ile Farklı NaCN Konsantrasyonlarında Yapılan Siyanür Liçi Deneyleri Sonuçları.

NaCN Konsantr. (g/L)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
0,5	80,7	0,4	4,45
1,0	81,7	0,9	3,95
1,5	82,5	1,3	4,95
2,0	86,7	1,9	6,20

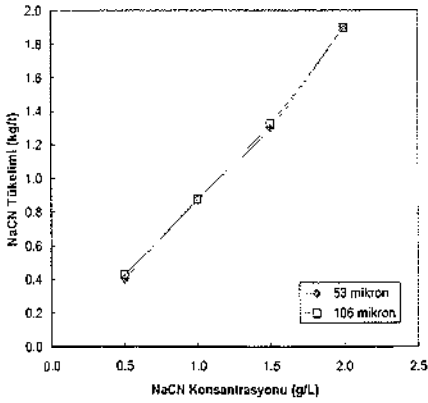
NaCN konsantrasyonu ve tane boyutunun altın çözünme verimine etkisi Şekil 5'te görülmektedir.

-106 µm boyutundaki malzeme ile yapılan deneylerde NaCN konsantrasyonu arttıkça altın çözünme verimi artmaktadır. Ancak -53 µm boyutundaki malzeme ile yapılan



Şekil 5. NaCN konsantrasyonunun ve tane boyutunun Au çözünme verimine etkisi.

deneylerde yani boyut küçüldüğünde literatürde de belirtildiği gibi NaCN konsantrasyonunun belirgin bir etkisi olmamaktadır (Yannopoulos(1991)). Bunun nedeni de atmosferik koşullarda altın çözünme veriminin çözeltideki sabit çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Altının çözünmesini etkileyen en önemli parametrelerden birisi oksijen konsantrasyonudur. Çözünme verimi de bunun değişimiyle değişmektedir. Nitekim her iki boyutta da 1g/L NaCN konsantrasyonu üzerindeki değerlerde benzer altın çözünme verimlerine ulaşılmıştır. Doğal olarak boyut küçüldükçe Au çözünme veriminde bir miktar artış gözlenmekte olup bu düşük NaCN konsantrasyonlarında daha belirgindir. Ancak NaCN konsantrasyonu arttıkça bu farklılık ortadan kalkmaktadır. 1g/L NaCN konsantrasyonundan düşük değerlerde aynı sürede (8 saat) ince boyutta daha yüksek altın çözünme verimine ulaşılmıştır. Örneğin, 0,5g/L NaCN konsantrasyonunda -106 mikron boyutunda Au çözünme verimi %50,72 iken -53 mikron boyutunda bu değer %80,67'ye yükselmiştir.



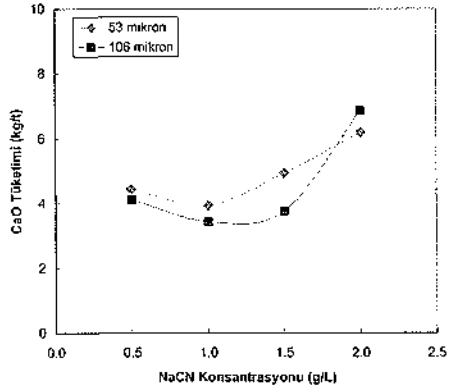
Şekil 6. NaCN konsantrasyonunun ve tane boyutunun NaCN tüketimine etkisi.

Buna neden olarak altının -53 mikron boyutunda yeterince serbestleşme sağlayabildiği gösterilebilir.

Şekil 6'da NaCN konsantrasyonu ve tane boyutunun NaCN tüketimine etkisi görülmektedir. Her iki boyut grubunda yapılan deneylerde Au çözünme verimi farklı olmasına rağmen NaCN tüketimi hemen hemen aynı bulunmuştur.

Yapılan araştırmalarda siyanür liçi sırasında Au çözünmesiyle birlikte cevherde mevcut pirit, protin gibi minerallerin yanı sıra diğer metaller (Cu, Zn gibi baz metaller) ile birlikte As ve Sb minerallerinin de siyanür tüketebilecekleri belirtilmiştir (Yannopoulos (1991)). Bu nedenle siyanür tüketimi altın çözünme verimi ile doğrudan ilişkili değildir. Baz metal iyonları siyanür ile kararlı bileşikler oluşturarak siyanür tüketimi artışına neden olmaktadır. HCN oluşumunu engellemek için siyanür liçi esnasında pH kontrolü dikkatlice yapılmalıdır. Pratikte optimum pH aralığı Au için 10-11.5, Ag için 10.5-12.0 olarak bulunmuştur. Bu deneysel çalışmada da pH 10.5-11 civarında tutulmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla da kireç ilavesi yapılmıştır. NaCN konsantrasyonuna bağlı olarak farklı boyutlarda Au çözünmesi esnasında tüketilen CaO miktarı değişimi Şekil 7'de verilmektedir. Her iki boyut grubunda da CaO tüketimi siyanür konsantrasyonu artışına bağlı olarak bir miktar artmaktadır.



Şekil 7. NaCN konsantrasyonunun ve tane boyutunun CaO tüketimine etkisi.

3.2 Çözündürme Süresinin Etkisi

Süreye bağlı olarak yapılan siyanür liçi deney sonuçları Tablo 4, Tablo 5 ve Şekil 8'de verilmektedir. İki ayrı boyut grubuyla yapılan deneylerde liç süresine bağlı olarak Au kazanma veriminde artış gözlemlenmiş olup, 24 saatlik çözündürme sonucunda her iki boyut grubunda da aynı altın çözünme verimine ulaşılmıştır.

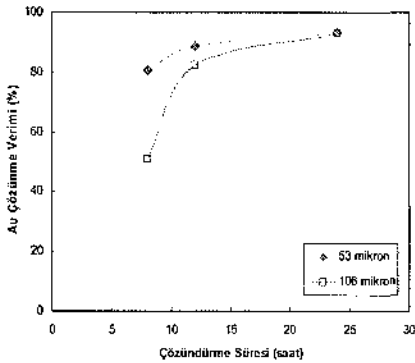
Tablo 4. -106 µm Boyut Grubundaki Numune ile Farklı Sürelerde Yapılan Siyanür Liçi Deneyleri Sonuçları.

Liç Süresi (saat)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
8	50,7	0,425	4,13
12	82,2	0,610	3,90
24	92,9	0,680	6,05

Tablo 5. -53 μm Boyut Grubundaki Numune ile Farklı Sürelerde Yapılan Siyanür Liçi Deneyleri Sonuçları.

Liç Süresi (saat)	Au Çözünme Verimi (%)	Reaktif Tüketimi (kg/t)	
		NaCN	CaO
8	80,7	0,400	4,45
12	88,7	0,625	3,35
24	93,3	0,680	5,60

Altın çözünme verimi artışına bağlı olarak NaCN ve CaO tüketimlerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda numune boyutunun küçültülmesiyle altın çözünme veriminde artış gözlenmiş olup çözünme süresinde azalma olmuştur. Aynı sürede ince boyutlu numunede daha fazla altın çözeltiye geçmiştir. Numunenin boyutu kinetik açıdan önemli olup cevherin değerli metallerin serbestleşme boyutuna kadar öğütülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada -53 mikron boyutuna öğütme yeterli görülmektedir.



Şekil 8. Farklı Boyutlarda Liç Süresinin Au Kazanma Verimine Etkisi.

4 GENEL SONUÇLAR

Kışladağ yöresi cevherinden siyanür liçi yöntemiyle Au kazanımına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- Kimyasal analiz sonucunda, Kışladağ

yöresine ait cevher numunesinin Au içeriğinin 1,2 g/t olduğu saptanmıştır.

- Mikroskopik incelemeler sonucunda cevher bileşiminde; kuvars ve feldspattan oluşan asit bileşimli kayaç içerisinde, nabit altın, pirit, hematit, limonit ve serüzit olduğu saptanmıştır.
- Tane boyutu, siyanür konsantrasyonu ve çözünme süresinin Au çözünme verimi üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde, numune boyutunun küçültülmesiyle altın çözünme veriminde artış gözlenmiş olup çözünme süresinde azalma olmuştur. Aynı sürede ince boyutlu numunede daha fazla altın çözeltiye geçmiştir. -106 mikron boyut grubunda Au çözünme verimleri, sırasıyla 8 saat için %50,7, 12 saat için %82,2, 24 saat için %92,9 iken, -53 mikron grubu için Au çözünme verimleri, 8 saat için %80,7, 12 saat için %88,7 ve 24 saat için %93,3 olarak bulunmuştur.
- Her iki boyut grubunda da CaO tüketimi siyanür konsantrasyonu artışına bağlı olarak bir miktar artmaktadır. 106 mikron boyut grubunda 0,5 g/L siyanür konsantrasyonunda CaO tüketimi 4,13 kg/t, 2,0 siyanür konsantrasyonunda 6,85 kg/t bulunmuştur. -53 mikron boyut grubunda ise CaO tüketimi 0,5 g/L siyanür konsantrasyonunda 4,45 kg/t, 2,0 g/L siyanür konsantrasyonunda 6,20 kg/t olarak bulunmuştur.
- -106 μm boyutundaki malzeme ile yapılan deneylerde NaCN konsantrasyonu arttıkça altın çözünme verimi artmaktadır. Ancak -53 μm boyutundaki malzeme ile yapılan deneylerde NaCN konsantrasyonunun belirgin bir etkisi olmamaktadır. Sonuç olarak her iki boyutta da 2 g/L NaCN konsantrasyonunda 8 saatlik çözüldürme sonucunda % 89,5 Au

çözünme verimine ulaşılmıştır. Bu durumda NaCN tüketimi 1,9 kg/t ve CaO tüketimi yaklaşık 6 kg/t bulunmuştur.

- Her iki boyut grubunda, liç süresi artışına bağlı olarak altın çözünme veriminde artış gözlenmesine rağmen, 24 saatlik çözündürme sonunda yaklaşık olarak aynı Au çözünme verimi (%93) elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Arslan F., Acarkan N., "Altın Ve Gümüş Üretiminde Yenilikler",

Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, Proses-Tesis Tasarımı, Tesis İşletmesi, Denetimi Ve Maliyet Kontrolü Konulu Meslek İçi Eğitim Semineri, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 29-31 Mayıs 2000, İstanbul, 15 Sayfa.

Öztunalı, Ö., 1973, *Maden Yatakları Oluşumları ve Değerlendirilmeleri*. Yayınevi, sayfa sayısı

Yannopoulos J.C. 1991, *The Extractive Metallurgy of Gold*, Van Nostrand Reinhold (VNR), NewYork, USA,.

<http://www.tuprag.com.tr/>

Feldspat Flotasyonunda Nano Boyutlu Empüritelerinin Etkisi

Effect of Surface Nano Impurities on Feldspar Flotation

İ. Gülgönül

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Maden Bölümü, Balıkesir

C. Karagüzel, M. Çınar

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

E. Sabah, S. Özgen

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

M. S. Çelik

İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET: Porselen sanayinde potasyum kaynağı olarak feldspatlar tercih edilmekte olup, önemli K-feldspat mineralleri olan mikroklin ve ortoklaz aynı matris içinde buldukları diğer minerallerden flotasyon tekniği ile ayrılmaktadır. Bu çalışmada iki farklı mikroklin örneğiyle zeta potansiyel ve mikroflotasyon deneyleri yapılmış ve her iki mikroklin numunesinin yüzey özellikleri ve flotasyon davranışlarının farklı olduğu tespit edilmiştir. Flotasyon davranışındaki bu farklılığı ortaya koymak için ESCA yüzey ve SEM/EDS analizleri yapılarak tanelerin yüzeyleri karakterize edilmiştir. SEM görüntülerinden (50-1000 nm) hareketle tane yüzeylerinde benek ve/veya lekeler şeklinde Ba, P, Ca, Cr, Fe ve Ni içeren büyük olasılıkla silikat minerali veya mika türü nano boyutlu empüritelerin varlığı ortaya konmuştur. Farklı mikroklin minerallerinin kırılma yüzeyleri boyunca tespit edilen bu empüritelerin flotasyon davranışlarını ciddi boyutta etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle özellikle feldspat flotasyonunda yaş analizlerinin yeterli olmadığı bunun yanı sıra ESCA yüzey ve SEM/EDS prob analizlerinin de yapılması gerektiği ortaya çıkarılmıştır.

ABSTRACT: K-feldspars are preferred sources of potassium in porcelain industry. Microcline and orthoclase, important K-feldspar minerals, are separated from other minerals by flotation. In this study, a series of systematic zeta potential and microflotation tests were performed with two different microcline samples. Both microcline samples displayed different surface properties and floatation behaviors. Therefore, ESCA surface and SEM/EDS probe analyses were applied to characterize their surfaces. The existence of silicate minerals or mica type of impurities was identified in the form of spots in different sizes sheltering Ba, P, Ca, Cr, Fe and Ni. It is shown that potassium feldspars break along the weak grain zones of both microclines and lead to varying morphologies with different floatation patterns. Consequently, it was determined that ESCA surface and SEM/EDS probe analysis along with chemical analysis should be conducted to understand the mechanism of feldspar flotation.

1 GİRİŞ

Feldspatlar yerkabuğunun yaklaşık olarak %60'ını oluşturmaktadırlar. Ticari mineralleri Na-feldspat (albit) ile K-feldspat (mikroklin-ortoz) olan granitler, siyenitler ve pegmatitlerde önemli miktarlarda bulunmaktadır. Feldspat üretiminin genel olarak % 90-95'i cam ve seramik sektöründe tüketilmektedir. K-feldspat genellikle seramik sanayinde porselen üretiminde kullanılmakta ve feldspatın kalitesi, Na/K oranı ve Fe,Ti gibi renk verici empüritelere varlığı ile değerlendirilmektedir.

Literatürde feldspat zenginleştirilmesi ile ilgili teorik ve pratik çalışmalar genelde feldspat kuvars ayrımı üzerine yoğunlaşmıştır (Klyachin ve ark., 1969; Manser, 1975; El-Salmawy ve ark., 1990 ve 1993; Fucstenau and Raghavan, 1977; Rao and Forssberg, 1985; Vidyadhar ve ark., 2002). Ancak kullanım yerinin teknolojik gereği olarak Na-feldspat ile K-feldspatın birbirinden seçimli olarak ayrılması gerekir. Her iki mineralin benzer mineralojik, kimyasal ve yüzey özelliklerine sahip olması bu seçimli ayrımı zorlaştırmaktadır. Bu konuda birçok çalışma yapılmış fakat uygulamada pek başarılı olunamamıştır. Literatürde iki Rus (Yanis, 1968; Klyachin ve ark., 1969) ve bir Amerikan (Katayanagi, 1974) patenti bulunmaktadır. Yine Manser (1975) K-feldspatın Na-feldspattan selektif olarak ayrılacağını iddia etmiştir. Son yıllarda yapılan detaylı çalışmalarda, Demir ve ark. (2001, 2002, 2003 ve 2004) ve Karagüzel ve ark (2006) hem doğal pH'da hem de HF içeren düşük pH'larda Genamin-TAP varlığında NaCl ve CaCl₂ ile albiti bastırıp buna karşılık mikroklin ve ortoklazı yüzdürmeyi başarmışlardır. Gülgönül ve ark.

(2008) Na ve K feldspatların seçimli ayrılmasının birincil derecede tane yüzeylerinde tespit edilen empüritelere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, farklı yüzey özelliğine ve flotasyon davranışına sahip iki mikroklin mineralinin yüzeylerindeki empüritelere varlığını tespit etmek ve bunların flotasyona olan etkilerini irdelemektir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneyisel çalışmalarda, Aydın-Çine bölgesinden alınan 2 adet saf mikroklin numunesi (M1 ve M2 olarak) kullanılmıştır. Numuneler alırken kristal olmasına dikkat edilmiştir. Numuneler önce çekiçle kırılmış ve daha sonra kademeli olarak agat havanda öğütülerek, -150+53 µm fraksiyonu mikroflotasyon deneyleri ile ESCA yüzey (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) ve SEM/EDS (Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometry) analizlerinde ve -53 mikron boyut grubu da zeta potansiyel deneylerinde kullanılmıştır. Deneylerde katyonik reaktif olarak Genamin-TAP, pH ayarlayıcı olarak da HCl ve H₂SO₄ kullanılmıştır. Bu numunelerin kimyasal ve ESCA yüzey analizleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mikroklin numunelerinin kimyasal ve yüzey analizleri.

	Analiz	M1	M2
Si2p	Yüzey, %	6.37	5.18
SiO ₂	Kimyasal, %	65.04	64.82
Al2p	Yüzey, %	3.97	1.46
Al ₂ O ₃	Kimyasal, %	18.58	19.32

Fe ₂ p ₃	Yüzev, %	18.14	21.16
Fe ₂ O ₃	Kimyasal, %	0.08	0.05
NaIs	Yüzev, %	-	-
Na ₂ O	Kimyasal, %	1.23	2.94
K2p ₃	Yüzev, %	2.53	1.76
K ₂ O	Kimyasal, %	13.24	11.39
-	Yüzev, %	-	-
CaO	Kimyasal, %	0.05	0.26
-	Yüzev, %	-	-
MgO	Kimyasal, %	0.01	0.02
Cr2p ₃	Yüzev, %	6.75	8.97
Cr ₂ O ₃	Kimyasal, %	0.003	0.06
-	Yüzev, %	-	-
P ₂ O ₅	Kimyasal, %	<0.01	0.57
-	Yüzev, %	-	-
TiO ₂	Kimyasal, %	<0.01	<0.01
-	Yüzev, %	-	-
MnO	Kimyasal, %	<0.01	<0.01
Ba3d5	Yüzev, %	4.49	6.58
Ba	Kimyasal, ppm	3255	333
Ni2p ₃	Yüzev, %	3.78	12.31
Ni	Kimyasal, ppm	<20	<20
-	Yüzev, %	-	-
Sr	Kimyasal, ppm	267	110

2.2 Yöntem

Zeta potansiyel ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroelektroforezis yöntemi ile çalışan Zeta Meter 3.0 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerini otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Cihazın numune konulan hücresi akrilik camdan imal edilmiştir. Ölçüm işlerinde gerilim, iletkenliğe bağlı olarak

ayarlanmıştır. 2.5'dan daha düşük ve 11.5'dan daha yüksek pH'larda iletkenlik yüksek olduğundan zeta potansiyel ölçümleri yapılamamıştır. Zeta potansiyel ölçümlerinde 0.4 gr feldspat numunesi 100 ml su içerisinde 10 dakika kıvamlandırıldıktan sonra iri tanelerin çökmesi için 5 dakika bekletilmiştir. Ayrıca deneylerin oda sıcaklığında (25±2 °C) yapılmasına özen gösterilmiştir. Berrak kısımdan alınan numunelerle ortalama 10 ölçüm yapılmış ve elde edilen zeta potansiyel değerlerinin cihaz tarafından belirlenen ortalaması ve standart sapması kaydedilmiştir.

Deneylerde kullanılan flotasyon hücresi cam malzemeden özel olarak yapılmış olup, feldspat flotasyonu otomatik kumandalı bir mikroflotasyon ünitesinde yapılmıştır. Bu hücrede; kondisyonlama, flotasyon süresi ve ortama verilen hava miktarı ayarlanabilmektedir. Hücre içerisinde malzemenin karışması 20x7 mm boyutunda manyetik balık ve karıştırıcı ile temin edilmiştir (Hançer ve Çelik, 1993). Flotasyon deneylerinde gaz fazı olarak, hava içindeki CO₂ gazının çözelti pH'sını değiştirmesini önlemek amacıyla azot gazı 50 cm³/dak. akış hızı ile beslenmiştir. Tüm flotasyon ölçümlerinde verilen azot gazı miktarının sabit olmasını temin etmek için devrede debimetre kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan numunelerin kimyasal analizleri ICP yöntemi ile, yüzeylerin kimyasal analizleri ise XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy), veya ESCA (Electron Spectroscopy For Chemical Analysis) olarak adlandırılan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde X ışınları 1 mm x 1mm'lik mineral yüzeylerine gönderilmekte ve yüzeyin ilk 20 Å kalınlığındaki yaklaşık 7-8 tabakada bulunan tüm elementlerden, her element için farklı olmak üzere

çıkan foto elektronlardan gidilerek bu elementlerin bağlanma enerjileri tespit edilmekte ve pik şiddetine göre de yüzde dağılımları elde edilmektedir. Numunelerin kimyasal ve yüzey analizlerinin yanı sıra taramalı elektron mikroskop (SEM) tane görüntüleri ve yarı kantitatif elementel analizleri (EDS) Jeol JSM-6335F markalı elektron mikroskopunda yaptırılmıştır.

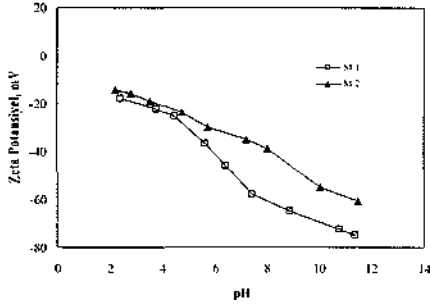
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Feldspatlar genelde, kırma-kapalı devre öğütme takiben renk vericilerin manyetik ayırma ile, manyetik olmayanlar ise şlamsızlaştırılarak flotasyonla zenginleştirilmektedir. Ayrıca flotasyon öncesi ayıklama-yıkama, boyuta göre sınıflandırma, elektrostatik ayırma ve manyetik ayırma ile zenginleştirme yöntemleri az da olsa kullanılmaktadır. Feldspat cevherlerine uygulanan flotasyon yöntemi, mika ve oksitli minerallerin flotasyonu, feldspat-kuvars ayrımı ve Na-feldspat ile K-feldspatı seçimli ayrımı olmak üzere üç grupta toplanabilir. Eğer K-feldspat ile Na-feldspat tercihli olarak kazanılacaksa; öncelikle K-feldspat flotasyonu ve ardından Na-feldspat flotasyonu yapılarak kuvars nihai batan ürün olarak alınmaktadır (Bayraktar ve diğ., 1999). Ancak, her iki mineral grubunun yüzey özelliklerinin benzer olması bu ayrımı zorlaştırmakta ve feldspat minerallerinin kristal kafeslerindeki Na⁺ ve K⁺ iyon farklılıkları mevcut olması bu ayırma olanak sağlamaktadır. Zira çözeltiye tek veya çift değerlikli iyonların eklenmesiyle, kristal yapıdaki iyonlar arasında iyon değiştirme ve/veya iyon adsorpsiyonu meydana gelmektedir. Dolayısıyla albit ile mikroklin veya ortoz yüzeyleri arasında elektriksel yük farklılıkları oluşmakta ve selektif ayırım gerçekleşmektedir. Demir ve ark. (2001)

5.10^{-2} M NaCl ve 0.267 mg/l (40 g/t) G-TAP varlığında albit ile mikroklin arasındaki yüzme farklılığının %75 olduğunu bulmuşlardır. K-feldspatın farklı cevher oluşumlarından kazanıldığı çalışmalarda (Gülsoy ve ark., 2005; Karagüzel ve ark., 2006) Na iyonlarının etkisi net bir şekilde ortaya koyulmuş olup, farklı K-Feldspat oluşumları için bu minerallerin farklı flotasyon özelliği gösterdiği bulunmuştur. Bu çalışmada K-feldspatların farklı yüzme davranışları göstermesi yüzey özellikleri ve mikrofotasyon çalışması ile gösterilirken, bu farklılığın sebepleri ESCA yüzey ve SEM/EDS analizleri ile ortaya konulmuştur.

Şekil 1'de mikroklin numunelerinin pH'ya bağlı zeta potansiyel profilleri verilmektedir. pH=2.5'dan daha düşük ve pH=11.5'dan daha yüksek pH'larda ortamın iletkenliğinin çok yüksek olması nedeniyle zeta potansiyel ölçümleri yapılamamıştır. Dolayısıyla mikroklinler için eş yük noktası yani sıfır yük noktası elde edilememiştir. Ancak ekstrapolasyon ile elde edilecek SYN'ları (pH=1.5 civarında) literatürdeki çalışmalar ile uyumludur (Fuerstenau ve Fuerstenau, 1982; Rao ve Forsberg 1993). Silikat minerallerinin zeta potansiyelinde ortam pH'sı çok önemlidir. Feldspat ve kuvars öğütüldüğü zaman kristal yapılarındaki Si-O ve Al-O bağları kırılmaktadır. Yüzeyde bulunan Na⁺, K⁺ ve Ca²⁺ gibi katyonları sıvı ortama geçerek negatif yüklü yüzeyler bırakmaktadır (Fuerstenau ve Raghavan, 1977; Rao ve Forsberg, 1985).

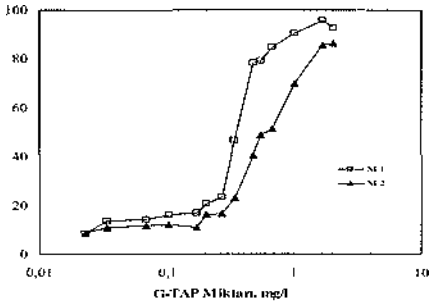
Aydın Çine bölgesinden sağlanan M1 (% 13.24 K₂O ve % 1.23 Na₂O) ve M2 (% 11.39 K₂O ve % 2.94 Na₂O) mikroklin tipi numunelerin sodyum ve potasyum içerikleri arasında sırasıyla % 1.71 ve % 1.85'lik fark vardır. Zira farklı Na₂O ve K₂O içerikli mikroklinlerden ortama geçen Na⁺, K⁺ ve Ca²⁺ gibi iyonların miktarları



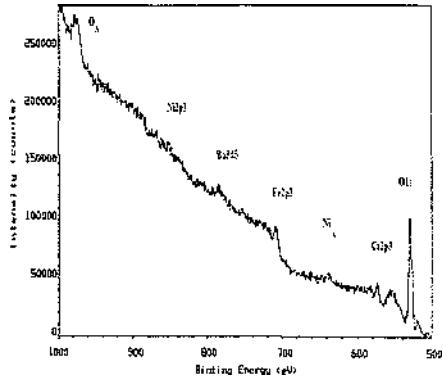
Şekil 1 Mikroklin numunelerinin pH'ya bağlı zeta potansiyel profilleri

ve adsorplanma eğilimleri farklı olup, yüzey yükünü doğrudan etkilemektedir. Ayrıca M1 numunesinin yüzeyi alkali ortamlarda az etkilenmektedir. Çünkü bu numunenin Ba içeriği 3255 ppm olup, diğer numunelere kıyasla çok yüksektir.

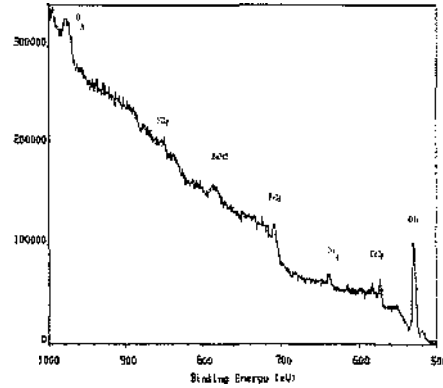
Farklı kimyasal ve mineralojik içeriğe ve aynı zamanda farklı zeta potansiyel profillerine sahip olan mikroklin numuneleri ile yapılan flotasyon deneylerinde flotasyon veriminin G-TAP miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 2'de verilmiştir. G-TAP'ın 0.272 mg/l konsantrasyonuna kadar her iki numunenin verimi önemli ölçüde değişmez iken, 0.34 mg/l'den itibaren aralarındaki fark artmakta ve M1 M2'ye göre daha iyi yüzme verimi sergilemektedir. Verim değerlerindeki bu farklılık yüzey yükleri ile uyumludur. Bu sonuçlar, mineral yüzeylerindeki



Şekil 2 G-TAP miktarının mikroklin flotasyon verimine etkisi



Mikroklin 1



Mikroklin 2

Şekil 3 Mikroklin numunelerine ait ESCA data pikler

iyon kompozisyonunun farklı bir oluşum sergilediği izlenimini vermektedir. Bu nedenle, yüzeylerde biriken iyonların miktarlarını ölçmek için ESCA yüzey analiz yöntemine başvurulmuştur.

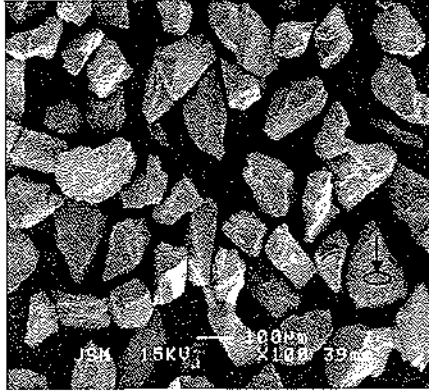
Şekil 3'de ESCA çekimleri yapılan mikroklin numunelerine ait Fe, Ni, Cr ve Ba element pikleri görülmektedir. Fe, Ni, ve Cr gibi elementler mikroklin yüzeylerinde büyük oranlarda (ortalama %20 Fe, %8 Ni ve %8 Cr), olmasına karşın, kimyasal analizlerde ise çok düşük oranlarda (ortalama %0,065 Fe_2O_3 , Ni<20ppm ve %0,032

Cr_2O_3) bulunmuştur. Yine mikroklin numunelerinin kimyasal analizlerine göre Ba içerikleri 3255 ve 333 ppm iken ESCA ile yapılan yüzey analizlerinde Ba içerikleri %4,49 ve %6,58 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).

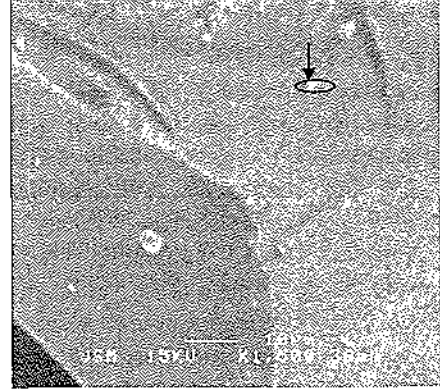
Analiz sonuçlarındaki bu farklılık, öğütmeden gelebilecek metal kirliliğinden kaynaklanmayıp, bu elementlerin bir şekilde tanelerin yüzeyinde veya kristal yapının içinde yer alabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yüzeyde 20Å kalınlığındaki yaklaşık 7-8 tabakanın taraması sonucu, yüzeylerin

tamamen bozunduğu ve yüzeylerde Fe, Ni ve Cr gibi elementlerin varlığı tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bu element ve/veya bileşiklerin dağılımlarındaki farklılaşmayı ve feldspat matrisindeki yoğunlaşma bölgelerini tespit etmek için SEM/EDS analizleri yapılmıştır.

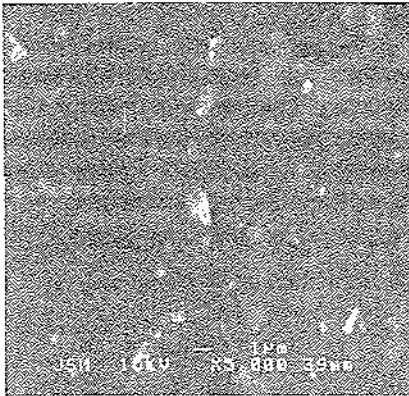
Şekil 4'de Mikroklin numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Mikroklin tanelerinin kristal yapılarının monoklinik ve masifimsi olduğu net olarak görülmekte, ancak tane yüzeylerinde yer alan empürüteler ayırt edilememektedir (Şekil 4a). Tane yüzeylerini daha iyi gözlemleyebilmek için rasgele seçilen



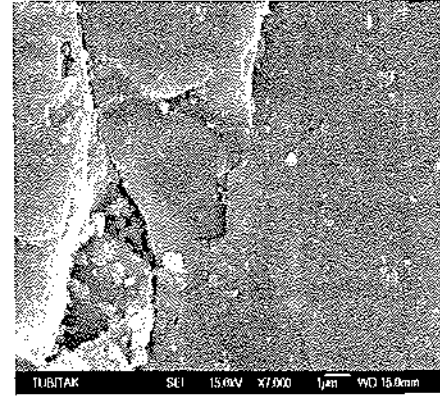
a



b



c



d

Şekil 4 Mikroklin numunelerine ait SEM görüntüleri a) Mikroklin 1 (100 büyütme),

b) Mikroklin 1 (1500 büyütme), c) Mikroklin 1 (5000 büyütme), d) Mikroklin 2 (7000 büyütme)

Çizelge 2 Mikroklin numunelerinin EDS analizleri.

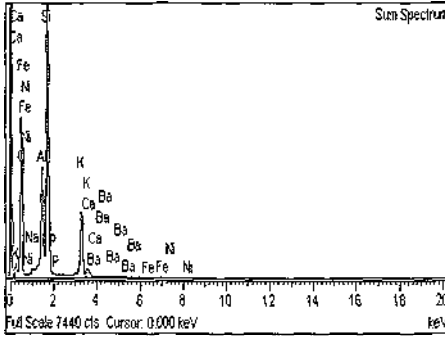
Analiz, %	M1		M2	
	I	II	I	II
Na	0.34	0.69	0.66	0.32
Al	9.25	8.65	9.73	9.26
Si	29.46	25.39	30.63	30.61
K	13.44	9.09	10.73	11.52
Ca	-	0.15	0.04	0.12
Cr	0.11	-	-	-
Mn	-	-	0.11	-
Fe	0.15	0.10	0.01	0.15
Ni	-	0.03	0.27	0.08
Cu	-	-	-	0.37
Sr	-	-	1.08	1.32
P	0.12	0.36	-	-
Ba	0.26	0.12	0.40	0.21
O	46.87	55.43	46.34	46.04

tanenin üzerinden (Şekil 4a ve 4b) görüntüleri alınarak orantılı olarak büyütülüp SEM fotoğrafları çekilmiştir. Söz konusu büyüme oranları M1 için Şekil 4b'de 1500 ve Şekil 4c 5000 iken, M2 numunesi için ise

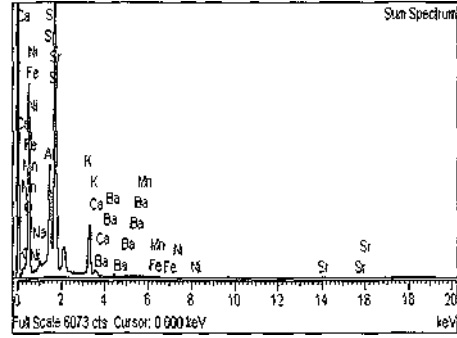
7000 kat (Şekil 4d) olarak alınmıştır. Tanelerin kristal yapıları, büyütmenin fazla olması nedeniyle görülememekte ve yüzeylerde çok ufak boyutlu parçacıklar (benekler, lekeler) görülmektedir. Bu ufak görünümlü olan parçacıkların boyutları orantılı olarak büyütüldüğünde, sanki benek veya lekeler şeklinde olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle benek veya leke şeklinde tanımlanan bu parçacıkların mikroklinin yapı görüntüsünden farklı oldukları net olarak görülmektedir.

Gülgönül ve ark. (2008), mikroklin yüzeyindeki 5000 büyütme sonucu elde edilen bir leke görüntüsünün, 2 kat (10000) ve 10 kat (50000) büyütülmesi durumunda da var olduğunu bildirmektedir. Dolayısıyla lekeler veya benekler üzerinde lekeler veya beneklerin varlığını, bu beneklerin

tane yüzeyinde olduğu ve taneyi çepce çevre sardığı ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, bu farklı görünümdeki beneklerin büyük bir olasılıkla silikat minerali (Ni, Cr, Cu gibi) veya mika türü empürite olabileceği ve bunların boyutlarının da yapılan büyütme göz önüne alındığında çok küçük olabileceği (50-1000 nm) iddiasında bulunmuştur. Bunu ispat etmek amacıyla 2'şer adet mikroklin numunesinin SEM/EDS analizleri yapılmıştır (Çizelge 2). Ayrıca mikroklin numunelerine ait EDS analizi pikleri (5000 büyütme) Şekil 5'de görülmektedir. EDS analiziyle, ESCA yüzey analizlerinde tespit edilen Fe, Ni ve Cr yanında Ca, Mn, Cu, Sr ve P elementlerinin varlığı da tespit edilmiştir. Bu sonuçlar oldukça saf olarak kabul ettiğimiz 150µm altı mikroklin tanelerinin yüzeylerinde çok ince dağılmış empüritelerin varlığını teyit etmektedir. Şekil 4 Mikroklin numunelerine ait SEM görüntüleri a) Mikroklin 1 (100 büyütme), b) Mikroklin 1 (1500 büyütme), c) Mikroklin 1 (5000 büyütme), d) Mikroklin 2 (7000 büyütme)



Mikroclin 1



Mikroclin 2

Şekil 5 Mikroclin numunelerinin EDS analiz pikleri (5000 büyütme)

ICP, ESCA, EDS gibi analizlerle elde edilen farklılıklar, mikroclin tanelerinin yüzeyinde Ba, Cr, P, Cu, Mn, Sr, Ca, Fe ve Ni barındıran lekelerin/beneklerin varlığını ortaya koymuştur. Tanelerin kırılması genellikle zayıf yüzeyler boyunca olduğundan, ortaya çıkan çok küçük boyutlu bu lekelerin varlığı flotasyonu etkilemektedir.

4 SONUÇLAR

- Elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde mikroclin numunelerinin sıfır yük noktalarının $\text{pH}=1.5$ civarında olduğu belirlenmiştir. Farklı Na_2O ve K_2O içerikli mikroclinden ortama geçen Na^- , K^+ ve Ca^{+2} gibi iyonların miktarları ve adsorplanma eğilimleri farklı olduğundan yüzey yükünü doğrudan etkilediği görülmüştür.
- Mikroclin numunelerinin kimyasal içeriklerinde en belirgin değişimin Ba iyonunda olduğu ve bu nedenle Ba iyonlarının feldspat zenginleştirmesinde en belirgin iyonlardan biri olduğu tespit edilmiştir.
- Yüksek amin konsantrasyonlarında M1 M2'ye göre daha iyi flotasyon

verimi göstermektedir.

- ESCA yüzey analizleri sonucu, mikroclin yüzeylerinde büyük oranlarda Fe, Ni, Cr ve Ba gibi elementler (ortalama %20 Fe, %8 Ni, %8 Cr ve %5.5 Ba) tespit edilmiştir.
- SEM çalışmalarında, tane yüzeylerinde çok ufak boyutlu parçacıklar (benekler ve/veya lekeler) tespit edilmiş, SEM/EDS analizleri ile de bu benek ve/veya lekelerin varlığı desteklenmiştir.
- Farklı analizler (ICP, ESCA ve EDS) mikroclin tanelerinin yüzeyinde Ba, Cr, Fe, P, Ca, Cu, Mn, Sr ve Ni barındıran lekelerin/beneklerin varlığını ortaya koymuş, tane kırılmaları genellikle zayıf yüzeyler boyunca olduğundan çok küçük boyutlu bu lekelerin flotasyonu etkilediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda Na ve K feldspatların seçimli ayrımı için yaş analizlerinin yeterli olmadığı, bunun yanında ESCA yüzey ve SEM/EDS analizlerinin de yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekeçi, Z. ve Can, M.,

1999. Temel seramik ve cam hammaddelerimizdeki (Feldspat, Kuvars ve Kaolin) kalite sorunları ve çözüm önerileri, 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 14-15 Ekim, 223-228.
- Demir, C., Abramov, A.A., Çelik, M.S., 2001. Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar by monovalent salts, *Minerals Engineering*, 14, 733-740.
- Demir, C., Gülgönül, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., 2001. Flotation of albite and microcline at natural pH in monovalent salt suspensions, *Proceeding of the 9th Balkan Mineral Processing Congress*, İstanbul, Turkey, 11-13 Eylül, 161-165.
- Demir, C., Gülgönül, İ., Çelik, M. S., 2002. Differential separation of albite from microcline by monovalent salts in HF medium, *SME Annual Meeting*, Preprint No. 02-172, Phoenix, USA.
- Demir, C., Bentli, İ., Gülgönül, İ., Çelik, M.S., 2003. Effect of Bivalent Salts on the Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar, *Minerals Engineering*, 16, 551-554.
- Demir, C., Gülgönül, İ., Bentli, İ., Çelik, M.S., 2003. Differential of albite from microcline by monovalent salts in HF medium, *Minerals & Metallurgical Processing*, 20, 120-124.
- Demir, C., Karagüzel, C., Gülgönül, İ., Çelik, M.S., 2004. Selective separation of sodium and potassium feldspar minerals from orebodies. *Key Engineering Materials* 264-268, 1435-1438.
- El-Salmavy, M.S., Nakahiro, Y. and Wakamatsu T., 1990. Activation of quartz and feldspar with metal ions in flotation, *II. International mineral processing symposium*, İTÜ, İstanbul, 16-18 Eylül, 449-458.
- El-Salmavy, M.S., Nakahiro, Y. and Wakamatsu T., 1993. The role of alkaline earth cations in flotation separation of quartz from feldspar, *Minerals Engineering*, 6, 1231-1243.
- El-Salmavy, M.S., Nakahiro, Y. and Wakamatsu T., 1993. The role of surface silanol groups in flotation separation of quartz from feldspar using nonionic surfactants, *XVIII International Mineral Processing Congress*, Sydney, Australia, 23-28 May, 553-559.
- Fuerstenau, D.V. and Raghavan, S., 1977. *Proc. XII Int. Miner. Process. Congr.*, Nacional Publicacoes e publicidade S/C Ltda., Sao Paula, Brazil, 3-8 Sep., 2, 368-415.
- Fuerstenau, D.V. and Fuerstenau, M.C., 1982. Principles of Flotation, *The Flotation Oxide and Silicate Minerals*, 109-157, Eds. King, R.P., Johannesburg, South Africa.
- Gülgönül, İ., Karagüzel, C., M, Çelik, M.S., 2008. Surface vs. bulk analyses of various feldspars and their significance to flotation. *International Journal of Mineral Processing* 86, 68-74
- Gülsoy, Ö.Y., Can, M., Bayraktar, İ. 2005. Production of potassium feldspar concentrate from a low-grade pegmatitic ore in Turkey, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 114 (2), 80-86.
- Hançer, M. ve Çelik, M.S., 1993. Flotation mechanisms of boron minerals, *Separation Science and Technology*, 28, 1703-1714.
- Karagüzel, C., Gülgönül, İ., Demir, C., Çinar, M, Çelik, M.S., 2006.

- Concentration of K-feldspar from a pegmatitic feldspar ore by flotation. *International Journal of Mineral Processing* 81, 122-132.
- Katayanagi, A., 1974. Flotation separation of feldspar, *United States Patent*, Patent No: 3,844,939, October 1974.
- Klyachin, V.V., Danisova, N.N. and Kropanev, S.I., 1969. Mineral exploration, mining and processing patents, *SSCB Patent*, Patent No: 213.724.
- Manser, R.M., 1975. *Handbook of Silicate Flotation*, Warren Spring Laboratory, Stevenage, England.
- Rao, K. H. and Forsberg, K. S. E., 1985. Feldspar flotation: theory and practice in selected topics in mineral processing, Eds. A. Gash, Pradip, Rekesh Kumar, Baltimore Port City Press, 86-117.
- Rao, K.H. and Forsberg, K.S.E., 1993. Solution chemistry of mixed cationic /anionic collectors and flotation separation of feldspar from quartz. XVIII International Mineral Processing Congress, 23-28 May, 837-844, Sydney-Australia.
- Vidyadhar, A., Hanumantha Rao, K. and Forsberg, K.S.E., 2002. Adsorption of N-Tallow 1,3-Propanediamine-Dioleate collector on albite and quartz minerals, and selective flotation of albite from Greek Stefania Feldspar Ore, *Journal of Colloid and Interference Science*, 248, 19-29.
- Yanis N.A., 1968. Froth flotation procedure for separating potassium feldspar from sodium feldspar, *USSR Patent*, Patent No: 227234.

K-Feldspattan Na-Feldspatın Flotasyonla Seçimli Ayırımında Ba⁺⁺ İyonlarının Etkisi

Effects of Barium Ions on the Flotation Separation of K-Feldspar from Na-Feldspar

İ. Bentli

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampus, Kütahya

İ. Gülgönül

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Yüksek Okulu, Balıkesir

M. S. Çelik

İTÜ, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Müh. Bölümü, Ayazağa-İstanbul

ÖZET Bu çalışmada, BaCl₂ tuzunun, albit (Na-feldspat) ve mikroklinin (K-feldspat) seçimli flotasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yüzey yükü sonuçları tüm Ba⁺² konsantrasyonlarında albitin yüzey yükünün mikroklininden 8-10 mV daha negatif olduğunu göstermiştir. Doğal pH ve HF'siz ortamda amin (G-TAP) kullanılarak yapılan mikroflotasyon sonuçları bu farklılığı destekleyerek, %49.6 olan albit-mikroklin seçimli ayırımını, 10⁻⁴ M Ba⁺² konsantrasyonunda %84'e kadar yükseltmiştir. Bu sonuçlar flotasyonla Na-feldspat K-feldspat seçimli ayırımında Ba⁺² iyonlarının kullanılabilirliğini göstermektedir.

ABSTRACT In this study, selective flotation of albite (Na-feldspar) from microcline (K-feldspar) in the presence of BaCl₂ salt with amine (G-TAP) is investigated at natural pH without HF medium. Microflotation results together with zeta potential measurements are studied to understand the effect of bivalent Ba⁺² salt on differential separation of feldspar minerals. It is found that bivalent Ba⁺² ions preferentially adsorb more on albite than microcline and thus induces a difference of 8-10 mV in zeta potentials. A floatability of %49.6 in the absence of barium salt is increased to %84.1 at 10⁻⁴ M upon Ba⁺² addition indicating that barium ion is effective on the selective separation of albite-microcline.

1 GİRİŞ

Ticari feldspat minerallerinden Na-Feldspat minerali albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) cam sanayinde, K-Feldspat mineralleri mikroklin ve ortoz (KAlSi_3O_8) ise seramik sanayinde tercih edilmektedir. Na-feldspatın ve K-feldspatın ayrı ayrı bulunduğu yatakların kıt olması, istenilen özelliklerde feldspat üretimi için seçimli ayırımı gerekli kılmaktadır. Literatürde flotasyon ile feldspat-kuvars ayırım mekanizmasını açıklayan yeterli bilgiler mevcutken (Rao ve Forssberg 1995, Bayraktar vd 2001, Ütine 1987), seçimli ayırım ile ilgili sadece 1960'lı yıllarda Rus araştırmacılar tarafından kalan bilgiler ve son zamanda inorganik tuzlarla seçimli ayırım mekanizmasını açıklamaya çalışan çalışmalar bulunmaktadır (Bentli vd 2004, Demir vd 2001, Demir vd 2003a, Gülsoy ve Kılavuz 2002).

Çift değerlikli iyonlarla yapılan seçimli ayırım çalışmalarında, El-Salmawy vd (1993) flotasyon mekanizmasını iyon değiştirme ile açıklarken, 1960 ve 1970'li yıllarda Rus araştırmacılar (Dlugosz ve Ociepa 1972, Manser 1975) tek ve çift değerlikli iyonların bastırıcı etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Ruslar araştırmalarında potasyum ve iyon çapları potasyuma yakın iyonların (örneğin Rb, Cs ve Ba) K-feldspatı, sodyum ve iyon çapları sodyuma yakın iyonların (örneğin Ca, Mg ve Sr) da Na-feldspatı bastırıldığını iddia etmektedirler (Kovelenco 1968, Yanis ve Gorelik 1973). Yanis (1968) bu tez ile patent almıştır. HF kullanıldığında ise selektivitenin arttığını ve gerekli tuz konsantrasyonunun azaltıldığını bildirmektedir. Marius ve Laura (1970) eşit Na-K içerikli Voineasa pegmatitleri üzerinde bu durumu test etmiş ve en iyi sonucu NaCl kullanıldığında Na-feldspatı bastırarak elde etmiştir. Ancak Rus araştırmacılar arasında da fikir birliği

bulunmamaktadır. Rus araştırmacıların bazıları alüminyum, demir ve kalsiyum tuzlarının kuvars, feldspat ve sillimanit üzerine canlandırıcı etki yaptığını bildirmektedir (Nikols'kaya ve Skobev 1967, Klyachin vd 1969). Demir vd (2003b) bu açıklamaların çelişkili olduğunu belirtmiştir. Son yapılan araştırmalar, feldspat cevheri yüzeyindeki çok değerli nano boyutlu (Fe, Cr, vb) empüritelerin de flotasyon mekanizmasında etkili olabileceğini göstermektedir (Gülgönül 2004).

Bu çalışmanın amacı HF'siz ve doğal pH'da çift değerlikli tuzlardan BaCl_2 'ün albit-mikroklin seçimli ayırımında kullanılabilirliğini araştırmaktır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune Aydın-Çine yöresinden getirilmiştir. Numunelerin saf alınmasına özen gösterilmiş ve XRD sonuçları da numunelerin saflığını doğrulamaktadır. Numunelerin kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan albit ve mikroklinin kimyasal analizleri.

Bileşi m	Albit (%)	Mikroklin (%)
SiO_2	68.25	64.82
Al_2O_3	19.81	19.32
Fe_2O_3	0.08	0.05
MgO	0.02	0.02
CaO	0.53	0.26
Na_2O	10.51	2.94
K_2O	0.17	11.39
TiO_2	0.01	0.005
P_2O_5	0.12	0.57
Cr_2O_3	0.006	0.06
Ba (ppm)	15	333
Sr (ppm)	125	110

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere numuneler merdaneli kırıcıda kırıldıktan sonra agat değirmende $-150 \mu\text{m}$ 'ye indirilmiştir. $-150+53 \mu\text{m}$ mikrofotasyon deneylerinde kullanılırken, $-53 \mu\text{m}$ ise yüzey yükü deneyleri için $38 \mu\text{m}$ 'nin altına tekrar öğütülmüştür. Katyonik toplayıcı olarak katı halde bulunan Clairant marka Genamin-TAP (G-TAP), $\text{pH}=3$ 'de çözülerek kullanılmıştır. Baryum Klorür ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Fluka-Chemie marka olup %99 saflıktadır. Tüm deneylerde iletkenliği $3 \mu\text{mhos/cm}$ 'den küçük çift deiyonize saf su kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

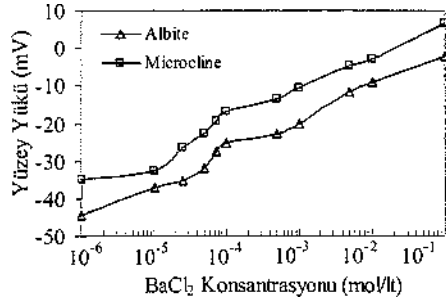
Mikrofotasyon testleri otomatik kumandalı $15 \mu\text{m}$ kalınlığında seramik frit ve manyetik karıştırıcısı olan 150 ml 'lik kolon hücrede ($25 \times 220 \text{ mm}$) gerçekleştirilmiştir (Hançer ve Çelik 1993). 1 gr numune Ba^{+2} derişimi ayarlanmış 150 ml solüsyon içerisinde 10 dk toplayıcı ile karıştırıldıktan sonra akış ölçer ile $50 \text{ cm}^3/\text{dk}$ azot gazı verilerek 1 dk yüzdürülmüştür. Yüzen ve batan kısımlar kurutulmuş, tartılmış ve yüzen kısmın yüzdesi hesaplanmıştır.

Elektrokinetik ölçümler mikroforesis tekniğiyle otomatik olarak yüzey yükünü veren Zeta Metre 3 ile gerçekleştirilmiştir. 0.4 gr numune, Ba^{+2} derişimi ayarlanmış 100 ml çözeltide 10 dk karıştırılmıştır. Çözelti iri tanelerin çökmesi için 5 dk dinlendirilmiş ve ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümler $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ oda sıcaklığında yapılmıştır.

2.3 Yüzey Yükü Ölçümleri

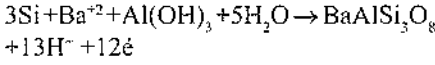
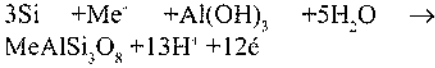
Feldspat minerallerinin yüzey yükleri, birçok mineralde olduğu gibi, çözeltideki katyon ve pH miktarına bağlı olarak değişmektedir. Feldspat minerallerinin benzer yüzey özellikleri göstermesi

seçimli ayırımı zorlaştırırken (Demir 2003b), kristal yapılarında bulunan K^+ ve Na^+ gibi değişebilir iyonlar sayesinde ayırım sağlamaktadır (Gülgönül 2004). Buna göre, albit ve mikroklinin BaCl_2 çözeltisi içindeki yüzey yükleri önem kazanmaktadır (Şekil 1).



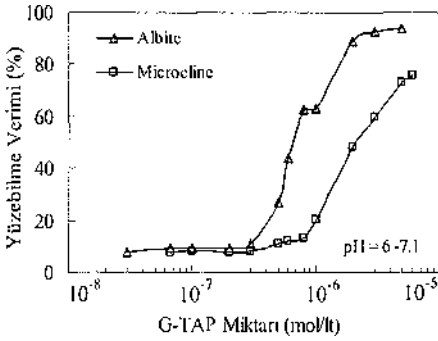
Şekil 1. BaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin yüzey yükü değişimi.

Şekil 1'den görüldüğü gibi Ba^{+2} konsantrasyonunun artışıyla birlikte hem albitin hem de mikroklinin yüzey yükleri mutlak değer olarak azalmaktadır. Bu durum çözeltiliye ilave edilen Ba^{+2} iyonlarının feldspat yüzeyine adsorplandığını göstermektedir. Ancak burada adsorpsiyonun iyon değiştirmeye mi yoksa iyon adsorpsiyonuyla mı olduğu önemlidir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi, albit yüzeyi mikroklinden neredeyse tüm Ba^{+2} konsantrasyonunda $8-10 \text{ mV}$ arasında daha negatiftir. Bu durum Demir (2001)'in çalışmasıyla ters düşerken, Gülgönül (2004)'ün çalışmasıyla uyumludur. Numuneler arasındaki bu yüzey özellik farklılıklarının yüzeylerdeki empüritelerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ba^{+2} iyonlarının feldspat yüzeyinde aşağıdaki denkleme bağlı olarak geliştiği tahmin edilmektedir (Demir vd. 2001).



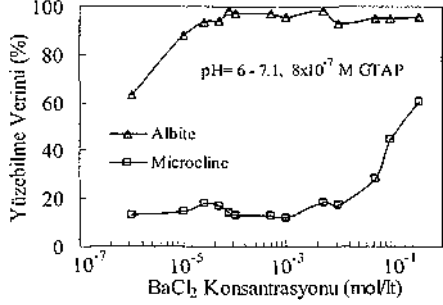
2.4 Yüzey Yükü Ölçümleri

Şekil 2’de doğal pH’da, G-TAP ile yapılan mikroflotasyon sonuçları gösterilmektedir. Mikroflotasyon sonuçları, 8×10^{-7} mol/lt G-TAP’da albit ile mikroklin arasında %49.6 oranında seçimli ayırmanın olduğunu göstermektedir. Bu ayırımı, yüzey yükü sonuçları ile karşılaştırıldığında mümkün görünmektedir. İki mineral arasında negatiflik ne kadar fazla olursa, elektrostatik çekimden dolayı katyonik bir toplayıcı olan G-TAP ile adsorplanma miktarı o derece fazla olacak ve mineralin yüzebilirliği daha fazla olacaktır.

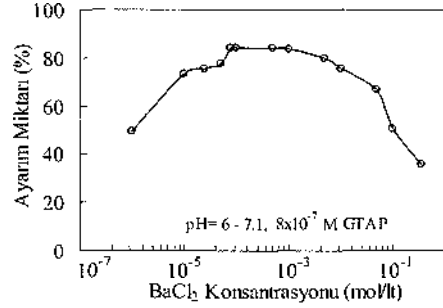


Şekil 2. Doğal pH’da G-TAP miktarına bağlı olarak albit ve mikroklinin yüzebilirliği.

Ayırım miktarını artırabilmek amacıyla 8×10^{-7} mol/lt G-TAP miktarında Ba^{+2} konsantrasyonuna bağlı olarak mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3’de gösterilmektedir. 10^{-4} mol/lt BaCl_2 konsantrasyonuna kadar albitin yüzebilirliği sürekli artarken, mikroklinin yüzebilirliği değişmemektedir.



Şekil 3. Doğal pH’da ve 8×10^{-7} M G-TAP miktarında BaCl_2 konsantrasyonuna bağlı albit ve mikroklinin yüzebilirliği.



Şekil 4. BaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin ayırılabilirlik miktarları.

Şekil 4’de ise BaCl_2 konsantrasyonuna bağlı olarak albit ve mikroklinin ayırılabilirlik oranları gösterilmektedir. 10^{-3} mol/lt BaCl_2 tuz konsantrasyonuna kadar Na-feldspat ile K-feldspat ayırılabilirlik oranları sürekli artarken, bundan sonra azalmaktadır. 10^{-4} mol/lt BaCl_2 tuz konsantrasyonunda %84.17, 10^{-3} mol/lt BaCl_2 ’de %83.92 oranında seçimli bir ayırımı tespit edilmiştir (Şekil 4).

3 SONUÇLAR

• Yüzey yükü sonuçları bütün Ba^{+2} konsantrasyonlarında, albitin mikrokline göre daha negatif yüzey yüküne sahip olduğunu göstermektedir.

• HF'siz ortamda ve doğal pH'da $BaCl_2$ tuzu ve G-TAP kullanılarak yapılan mikroflotasyon çalışmalarında, albit-mikroklin seçimli ayırımının %84 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum flotasyonla seçimli ayırımında Ba^{2+} iyonlarının kullanılabilceğini göstermektedir.

• Feldspat mineralleri arasında seçimli ayırımın mekanizması, birincil olarak iyon değiştirme ikincil olarak da yüzeydeki çok değerlikli metal iyonları barındıran nano boyutlu empüritelerden kaynaklandığı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Orhan, E.C., 2001. Feldspatların zenginleştirilmesi, *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s 97-105.

Bentli, İ., Demir, C., Gülgönül, İ., Çelik, M.S., 2004. Na-Feldspat ve K-Feldspatın Flotasyonla Ayırımında Ca^{++} İyonlarının Etki Mekanizması, *5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s 210-215.

Demir, C., 2001. Sodyum ve Potasyum Feldspatların Flotasyonla Ayırımında İnorganik Tuzların Etki Mekanizması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 164 s.

Demir, C., Abramov, A.A., Çelik, M.S., 2001. Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar by monovalent salts, *Minerals Engineering*, 14, p 733-740.

Demir, C., Gülgönül, İ., Bentli, İ., Çelik, M.S., 2003a. Differential of Separation of Albit from Microcline by Monovalent salts in HF Medium, *Minerals&Metallurgical Processing*, 20, p120-124

Demir, C., Bentli, İ., Gülgönül, İ., Çelik, M.S., 2003b. Effect of Bivalent salts on the Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar, *Minerals Engineering*, 16, p 551-554.

Długosz, W., Ociepa, Z., 1972. Provisinal Investigation on Selectiv Flotation of Feldspar, *Zesz. Neuk. Akad.-Gorn. Hutn.*, Cracow. *Zesz. Spec*, 39, 65-81 (CA 82:5657x).

El-Salmawy, M.S., Nakahiro, Y., Wakamatsu, T., 1993. The Role of Alkaline Earth Cation Flotation Separation of Quartz from Feldspar, *Minerals Engineering*, 6, p 1231-1243.

Gülgönül, İ., 2004. Sodyum ve Potasyum Feldspatların Katyonik Flotasyon Yöntemiyle Ayırımında Tek ve Çift Değerlikli İyonların Etki Mekanizması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 232 s.

Gülsoy, Ö.Y., Kılavuz, F.Ş., 2002. Potasyum Feldspat-Kuvars Flotasyonunda Toplayıcı Olarak Metal Tuzları ile Birlikte Na-Olcet Kullanımı, *Madencilik*, Cilt:41 , S:1 , s 22-34.

Hançer ve Çelik, 1993. Flotation Mechanisms of Boron Minerals, *Separation Science and Technology*, V:28, N:9, p 1703-1714.

Klyachin, V.V., Danisova, N.N., Kropanev, S.I., 1969. Mineral Exploration Mining and Processing Patents, *SSCB Patent No*: 213.724.

Kovalenko, V.I., 1968. Flotation Beneficiation of Feldspathic Raw Material by Using Potassium and Sodium Chlorides, *Obagashch. Rud.*, 12 (1), 8-11.

Manser, R.M., 1975. Handbook of Silicate Flotation, *Warren Spring Lab*, Stevanage, England.

- Marius, C., Laura, H., 1970. Dressing of mica ores and separating potassium feldspars from the sodium ores from pegmatites by flotation, (CA: 74, 102590n), *Cercet-Miniere*, 11, 331 p.
- Nikol'skaya, N.I., Skobev, I.K., 1967. Effect of Salt of Multivalent Cations on the Flotability of Certain Silicate Minerals, *Tr. Irkutsk Politekh. Inst.*, No: 33, p 135-140.
- Rao, H.K., Forssberg, K.S.E., 1995. Feldspar flotation: theory and practice, *Selected Topics in Mineral Proc.*, Port City Pres, Baltimore, p 86-117
- Ütine, T., 1987. Köpüklü Yüzdürme ile Feldspat/Kuvars Ayırımında Yüzey Kimyası, *Madencilik*, C:26, No:4, 7-22.
- Yanis, N.A., 1968. Froth Flotation Procedure for Separation Potassium Feldspar from Sodium Feldspar, *USSR Patent No: 227234*.
- Yanis, N.A., Gorelik, R.I., 1973. Question of the Effect of Selective Repression on the Flotation of the Feldspars, *Tr. Vses. Nsu.-Iss. Proekt. Inst. Mekh. Obrab. Polezn. Iskop.*, 138, 14-20.

Kırmataş Üretiminde Hammadde Tane Boyutunun Kırma-Sınıflandırma Tesisi Üretim Maliyetlerine Etkileri

The Effect of Particle Size Distribution on the Cost of Crushing – Sizing Plant in Quarry Mining

İ.Topal, B.Elevli, H.Akçakoca

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada kırmataş işletmelerinde patlatma ile elde edilen parça boyutunun kırma-sınıflandırma tesisi maliyetlerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla Kütahya’da bir kırmataş ocağının kırma-sınıflandırma tesisine beslenen hammaddenin parça boyut dağılımına yönelik ölçümler değerlendirilmiştir. Bunun için bir taraftan tesisin enerji tüketimi harmonik güç analizatörü ile 15'er saniyelik periyotlarla kaydedilirken, aynı anda kırıcıya giren ve çıkan ürünler kameraya kaydedilmiştir. Kamera kayıtlarından elde edilen görüntüler boyut analizi programı ile incelenmiştir. Alınan bu verilerden yararlanılarak enerji tüketimi ile giren hammaddenin boyut dağılımı, ufalama oranı ve giren hammadde boyutuna bağlı bant doluluk oranı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde kırma – sınıflandırma tesisine beslenen hammaddenin boyut dağılımı arttıkça enerji giderlerinin arttığı, kırıcı çıkışı bant doluluk oranının azaldığı, ufalama oranının artmasıyla da enerji sarfiyatının arttığı görülmüştür.

ABSTRACT In this study, the effect of particle size on the cost of crushing-sizing plant in quarry mining has been investigated. To reach at this aim, the particle size of material feeded to crushing sizing plant in Kutahya were measured and evaluated. The material on the input and output part of crushers were recorded by video while reading electricity consumption of plant with “harmony power analisator” for a period of 15 seconds. Video records were analysed by using image processing program. Then, the relation between the particle size, comminution rate, band-filling ratio and energy consumption were determined. The results indicted that energy consumption increases with particle size, and comminution rate.

1 GİRİŞ

Son yıllarda artan sanayileşmeyle birlikte kırmataş ürünlerine olan talep artarken buna bağlı olarak kırmataş üreten firma

sayısı da artmaktadır. Bu durum bir taraftan üreticiler arasındaki rekabeti artırırken üreticilerin kâr oranlarının da düşmesine neden olmaktadır.

Üreticiler, bu durum karşısında kâr oranlarını yeniden artırabilmek için üretim maliyetlerini azaltma yönüne gitmektedir. Ancak maden mühendisliği disiplininin uzak üretim yöntemlerinin uygulanması, üretim maliyetleri azaltmayı aksine kaynak israfına neden olmaktadır. Ayrıca işletmelerin bu tür yanlış uygulamaları nedeniyle birim üretim maliyetleri artmakta, ürettikleri ürün kaliteleri düşmekte, tükenebilir bir doğal kaynak olan kalsit, kalker, bazalt gibi kırmataş hammaddeleri israf edilmektedir.

Son yıllarda pek çok kırmataş işletmesi kaya gevşetme işlemi olarak uyguladıkları galeri patlatmasından, basamak patlatması sistemine geçmiştir. Ancak işletmelerin uygulama hatalarından kaynaklanan bazı problemler söz konusudur. Bu problemlerin başında, basamak sisteminin en önemli faydalarından biri olan patlatma ile düzenli boyut dağılımının elde edilememesi gelmektedir. Delme-patlatmanın uygun biçimde olmaması nedeniyle ocaktaki basamak düzeni bozulmakta, buna bağlı olarak patlatma sonrası parça dağılımının homojen olmaması ve iri parçaların olması nedeniyle yükleme ve nakliye verimleri düşmekte aynı zamanda kırma sınıflandırma tesisi enerji ve sarf malzeme sarfiyatları artmaktadır. Bunun yanında delme patlatmadaki düzensizlikler sonucu ortaya çıkan iri parçalar hidrolik çekiç ile parçalanmakta bu ise ilave maliyetler oluşturmaktadır.

Bu önemli sorunun temelinde ise patlatma işlemi ile elde edilmesi gereken homojen ve uygun boyut dağılımında parça boyutu elde edilebilecek patlatmaların gerçekleştirilememesi yatmaktadır. Çoğu işletmede formasyonlar kendi içinde farklılıklar göstermesine rağmen uygulanan delik

düzeni tüm formasyonlarda aynı olmaktadır. Bunun sonucunda sürekli iri parça problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu problemin giderilebilmesinin en uygun çözüm yolunun ise formasyona uygun delme-patlatma düzenlerinin uygulanmasıdır.

Boyut küçültme işlemi, işletmelerde önemli bir maliyet parametresidir. Kırma – sınıflandırma tesisinin performansının artırılması işletmenin üretim maliyetleri üzerinde etkili olmaktadır. Kayaçların mekanik özellikleri ve boyutları ile kırma tesisi performansı arasındaki ilişkiler değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Morrell, 2004, Bohloli ve Hoven, 2007, Shi ve Kojovic 2007, Lindqvist , 2008). Bu çalışmalarda öncelikle kayaç özellikleri ile kırıcı enerji tüketimi arasındaki ilişki araştırılmış beslenen parça boyutu arttıkça enerji tüketiminin arttığı tespit edilmiştir

Ayrıca bir çok araştırmacı kırmataş işletmelerindeki maliyetlerin hesaplanması ve bu maliyetlerin azaltılması konusunda çalışmalar yapmışlardır (MacKenzie, 1965, Udy ve Thornley, 1977, Gold, 1987, Lejuge ve Cox, 1995, Eloranta, 1995-2001, Furstenu, 1995, Moody ve diğ., 1996, Paley ve Kojovic, 2001, Adel ve diğ., 2006).

Bu çalışmada kırma – sınıflandırma tesisine beslenen parça boyut dağılımına bağlı olarak kırma sınıflandırma tesisi üretim maliyetleri değişimi incelenmiştir.

Bunun için öncelikle uygulama çalışmalarını yapılan kırmataş işletmesi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca işletmeye ait ocak alanından belli bir sistematikte alınan kayaç numuneleri üzerinde yapılan kaya mekaniksel deney sonuçları verilmiştir. Sonraki bölümde verilerin nasıl oluşturulduğu ve bu veriler

üzerinde yapılan analiz çalışmaları ele alınmıştır. Bir sonraki bölümde ise parça boyutuna bağlı olarak üretim maliyetlerinin nasıl değiştiği üzerinde durulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar derlenerek önerilerde bulunulmuştur.

2 UYGULAMA ÇALIŞMALARI

2.1 Uygulama Çalışmaları Yapılan Kırmataş İşletmesinin Tanıtımı

Kırdar Kırmataş Ocağı Kütahya – Tavşanlı karayolu üzerinde, Dumlupınar Üniversitesi (DPÜ) Merkez Kampüsü sınırları yakınında yer almakta olup, şehir merkezine 14 km mesafededir (Şekil 1).



Şekil 1. Kırdar Kırmataş İşletmesi yer bulduru haritası

Söz konusu işletmede yaklaşık on beş yıldır birçok inşaat için temel dolgu, beton agregaları ve taş kumu ihtiyacı ile karayolları alt yapısı için malzeme üretilmektedir. İşletmede aylık ortalama üretim yaklaşık 75000 ton dur. Ancak bu üretim miktarı bazı durumlarda talebe bağlı olarak (özellikle yaz aylarında) 80000 – 85000 ton/ay olabilmektedir. İşletmenin üretim kapasitesi yaklaşık 800 000 ton/yıldır.

Kırdar kırmataş işletmesindeki hammadde beyaz renkli, şekersi dokulu, orta taneli, zayıf düzlemsel yapıtı rekristalize kireçtaşıdır. Kayma ikizlenmeli ve uzamış orta taneli yeniden kristallenmiş kalsitten oluşur. Mohs ölçeğine göre sertliği 3' dür.

İşletmede üretilen ürün boyut grupları ve genel kullanım alanları Çizelge 1'dedir.

Çizelge 1. Kırmataş Ürün Boyutları ve Kullanım Alanları

Boyut (mm)	Kullanım Alanı
0 – 4	Beton Santralleri
4 – 12	
6 – 12	
12 – 22	
0 – 12	Dolgu Malzemesi (Asfalt Yapımı)
0 – 19	
0 – 25	
0 – 70	
22 – 70	Balast (İnşaat Sektörü) Balast (Demiryolları için)
25 – 70	
22 – 70	Şeker Fabrikası
25 – 70	
70 – 150	
>150	Duvar inşaatı vs.

2.2 Kaya Mekaniksel Özellikler

Çalışma yapılmış olan kayalara ait kaya mekaniği deney sonuçları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Mekaniksel özellikler

	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Gözeneklilik (Porozite) (%)	Ağırlıkça su emme (%)	Schmidt sertliği L (ISRM)
Ortalama	131.19	2.68	0.29	0.11	52
Mak. değer	144	2.78	0.33	0.12	53
Min değer	110	2.51	0.25	0.09	48
Std sapma	7.95	0.07	0.03	0.01	2.2

2.3 Verilerin Toplanması

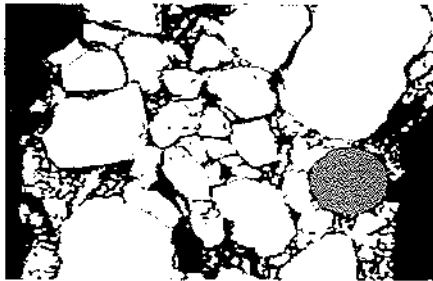
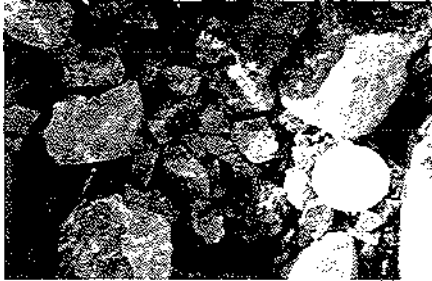
Kırma – eleme tesisinde beslenen hammaddenin parça boyut dağılımına bağlı kırma sınıflandırma tesisi enerji giderlerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

1. Beslenen malzemenin kaya mekaniği özelliklerinin belirlenebilmesi için beslenen ürünlerden numuneler alınmıştır (Şekil 2).

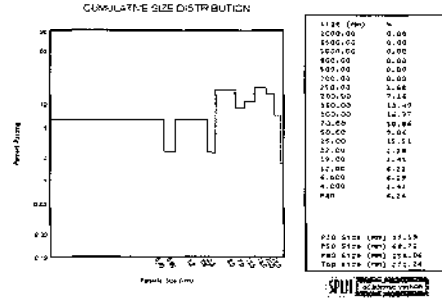


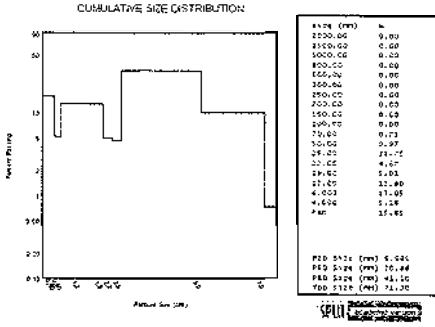
Şekil 2. Kırma sınıflandırma tesisinde alınan numuneler

2. Kırıcı girişindeki ürünler dijital olarak boyutlandırılabilme amacıyla kameraya kaydedilmiştir. Kamera kayıtlarından elde edilen fotoğraflar üzerinde Split – Desktop 2.0 programı ile boyut analizi yapılmıştır. Şekil 3’ de kırıcı girişinden çekilmiş örnek bir resim ve boyutlandırmaya hazır hali görülmektedir.



Şekil 3. Kırıcı girişinde çekilen resim ve Split sonucu





- Eloranta, J.W. 1992, Cap Testing at the Minntac Mine. proceedings of the eighteenth conference of Explosives and Blasting Technique, Orlando, Florida, January 19-23,1992. International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, pp 205-211
- Eloranta, J.W. 1993, Practical Blast Evaluation at The Minntac Mine proceedings of the nineteenth conference of Explosives and Blasting Technique. San Diego. California January 31-February 4, 1993. International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, pp 101-107
- Eloranta, J.W. 1994, Stemming Selection for Large-Diameter Blast Holes. proceedings of the twentieth conference of Explosives and Blasting Technique. Austin, Texas, January 30-February 3,1994. International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, pp 255-272
- Eloranta, J.W. 1995, The Effect of Fragmentation on Downstream Processing Costs. Proceedings of Explo95 Conference, Brisbane, Qld, Australia, Sept. 4-7, 1995 pp 25-28
- Eloranta, J.W. 1996, Geologic Data for Blasting, Proceedings of the twenty-second conference of Explosives and Blasting Technique, Orlando, Florida, February 4-8, 1996. International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, pp 107-117
- Fuerstenau, M. C., Chi, G. and Bradt, R. C., 1995, Optimization of Energy Utilization and Production Costs in Mining and Ore Preparation. XIX International Mineral Processing Congress. San Francisco, California. Oct. pp 161-164
- Gold, R.D., 1987, Kennedy, D.A. and Gray, J.H. A review of drilling and blasting practices at the Fording River Operations. 11th Canadian Institute of Mining and Metallurgy District 6 Meeting, Vancouver. Canada Erguvanlı, K., 1973, Mühendislik jeolojisi, İTÜ. Matbaası Gümüşsuyu/İstanbul.
- Lejuge, G. E. and Cox N., 1995, The impact of explosive performance on quarry fragmentation proceedings of Explo95 Conference, Brisbane, Qld, Australia, Sept. 4 - 7, 1995 pp 445-452
- Lindqvist, M., 2008. Energy considerations in compressive and impact crushing of rock minerals engineering.
- MacKenzie, A. S. 1965. Cost of Explosives - Do You Evaluate It Properly? 1965 American Mining Congress, Las Vegas, Nevada
- Moody, L., Cunningham, C. and Lourens, H. 1996, Measuring the effect of blasting fragmentation on hard rock quarrying operations. Proceedings of FRAGBLAST5, Fragmentation by Blasting pp 353-359, Montreal, Quebec, Canada August 25 - 29, 1996
- Morrell, S., 2004, An alternative energy – size relationship to that proposed by Bond for the design and optimisation of grinding circuits, Int.J.Miner.Pross. 74 (2004) pp 133-141.
- Paley, N., and Kojovic, T., 2001, Adjusting Blasting to Increase SAG Mill Throughput at the Red Dog Mine, Proc of 27th Annual Conf. On Explosives and Blasting Research, Orlando, FL.
- Shi, V., Kojovic, F., 2007, Validation of a model for impact breakage incorporating particle size effect, Int.J. Miner. Process. 82 (2007) 156-163.
- Udy, L.L. and Thornley, G.M. 1977, The Real Cost of Blasting. Skillings Mining Review, Nov. 11, 1978 pp 10-14
- Topal, İ., 2009, Kırmataş işletmelerinde parça boyutları ile ilgili sürecine ve maliyetlere etkileri, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Şubat-2009, Kütahya.

EK 1. Kırma – sınıflandırma tesisinde yapılan ölçüm sonuçları

Ölçüm	GİREN ÜRÜN			ÇIKAN ÜRÜN							E (kWh)
	p50 (mm)	p80 (mm)	Max giren parça (mm)	p50 (mm)	p80 (mm)	Max çıkan parça (mm)	Ufalama oranı p50	Ufalama oranı p80	Ufalama oranı max parça	Bant doluluk oranı	
1	152.94	277.36	415.03	29.00	44.08	60.18	5.3	6.3	6.9	77	0.865572
2	323.51	487.43	640.31	22.90	48.11	57.42	14.1	10.1	11.2	68	1.081422
3	82.3	179.05	279.03	32.63	44.97	106.14	2.5	4.0	2.6	82	0.750168
4	94.78	236.92	363.49	31.60	51.42	94.31	3.0	4.6	3.9	77	0.696255
5	130.84	314.2	490.08	31.01	43.16	104.93	4.2	7.3	4.7	72	0.870475
6	336.99	557.52	740.41	25.43	49.80	63.32	13.3	11.2	11.7	63	1.081582
7	261.45	457.41	648.49	30.11	50.30	61.67	8.7	9.1	10.5	58	0.982222
8	206.23	350.85	500.04	16.67	39.11	71.34	12.4	9.0	7.0	73	0.958691
9	172.56	273.02	409.61	30.13	50.34	91.37	5.7	5.4	4.5	76	0.80199
10	140.89	238.09	371.56	24.38	48.29	83.00	5.8	4.9	4.5	76	0.790716
11	133.19	303.66	461.06	31.38	55.12	89.48	4.2	5.5	5.2	76	0.804658
12	122.15	238.38	390.99	26.99	49.86	97.90	4.5	4.8	4.0	77	0.825254
13	133.95	308.98	491.87	23.85	39.75	76.55	5.6	7.8	6.4	70	0.862435
14	91.85	274.49	430.52	14.01	45.23	82.90	6.6	6.1	5.2	76	0.859939
15	58.74	205.07	395.88	22.93	39.40	94.87	2.6	5.2	4.2	75	0.658921
16	191.27	355.21	514.5	17.18	49.10	61.00	11.1	7.2	8.4	78	0.984582
17	61.56	217.99	371.05	23.95	45.73	98.32	2.6	4.8	3.8	75	0.778262
18	218.53	342.94	515.28	22.60	51.57	89.93	9.7	6.6	5.7	75	0.894518
19	63.09	127.15	233.46	21.37	42.03	81.57	3.0	3.0	2.9	80	0.576452
20	101.05	161.81	256.44	28.33	37.39	81.83	3.6	4.3	3.1	82	0.740162
21	108.27	221.96	371.98	27.53	53.40	83.28	3.9	4.2	4.5	76	0.640211
22	93.13	163.74	287.63	20.21	40.39	75.77	4.6	4.1	3.8	82	0.749989
23	76.78	237.71	398.83	21.83	55.46	82.41	3.5	4.3	4.8	77	0.785844
24	275.61	451.07	617.23	29.37	46.82	81.90	9.4	9.6	7.5	63	0.948867
25	100.68	208.17	323.4	41.87	47.33	77.71	2.4	4.4	4.2	75	0.756792
26	186.67	408.51	590.54	27.90	51.97	87.35	6.7	7.9	6.8	65	0.87852
27	132.58	216.41	323.68	23.85	49.37	85.70	5.6	4.4	3.8	75	0.756254
28	150.26	248.56	425.73	27.59	48.39	84.52	5.4	5.1	5.0	76	0.815019
29	112.01	328.74	479.86	17.18	41.9	86.35	6.5	7.8	5.6	77	0.766803
30	345.57	506.75	686.23	27	47.82	73.42	12.8	10.6	9.3	62	1.059058
31	106.06	186.82	350.55	19.05	42.21	80.66	5.6	4.4	4.3	84	0.736102
32	142.63	245.35	428.74	17.33	41.06	80.23	8.2	6.0	5.3	77	0.761876
33	148.52	340.19	536.42	20.39	38.35	68.8	7.3	8.9	7.8	74	0.893421
34	96.65	152.83	241.82	27.73	46.65	81.65	3.5	3.3	3.0	85	0.731717
35	328.77	533.42	720.01	20.96	42.96	79.73	15.7	12.4	9.0	60	1.068551
36	140.96	221.95	336.3	16.31	33.8	60.29	8.6	6.6	5.6	77	0.757321
37	126.8	266.64	461.16	22.42	43.2	75.91	5.7	6.2	6.1	76	0.839392

EK 2. Kırma – sınıflandırma tesisine beslenen hammaddenin tane boyutuna bağlı üretim maliyetleri

Ölçüm	p50 (%)	p80 (%)	Max giren parça (mm)	Bant doluluk oranı (%)	E (kWh)	Kırılan Malzeme (ton)	Kırma maliyeti (TL/ton)
1	152.94	277.36	415.03	77	0.865572	0.79	0.52
2	323.51	487.43	640.31	68	1.081422	0.71	0.64
3	82.3	179.05	279.03	82	0.750168	0.86	0.46
4	94.78	236.92	363.49	77	0.696255	0.79	0.49
5	130.84	314.2	490.08	72	0.870475	0.73	0.57
6	336.99	557.52	740.41	63	1.081582	0.70	0.65
7	261.45	457.41	648.49	58	0.982222	0.69	0.63
8	206.23	350.85	500.04	73	0.958691	0.74	0.59
9	172.56	273.02	409.61	76	0.80199	0.78	0.52
10	140.89	238.09	371.56	76	0.790716	0.77	0.52
11	133.19	303.66	461.06	76	0.804658	0.78	0.52
12	122.15	238.38	390.99	77	0.825254	0.79	0.51
13	133.95	308.98	491.87	70	0.862435	0.72	0.58
14	91.85	274.49	430.52	76	0.859939	0.78	0.53
15	58.74	205.07	395.88	75	0.658921	0.75	0.50
16	191.27	355.21	514.5	78	0.984582	0.81	0.54
17	61.56	217.99	371.05	75	0.778262	0.75	0.53
18	218.53	342.94	515.28	75	0.894518	0.76	0.55
19	63.09	127.15	233.46	80	0.576452	0.83	0.44
20	101.05	161.81	256.44	82	0.740162	0.85	0.46
21	108.27	221.96	371.98	76	0.640211	0.77	0.49
22	93.13	163.74	287.63	82	0.749989	0.86	0.46
23	76.78	237.71	398.83	77	0.785844	0.79	0.51
24	275.61	451.07	617.23	63	0.948867	0.70	0.61
25	100.68	208.17	323.4	75	0.756792	0.75	0.52
26	186.67	408.51	590.54	65	0.87852	0.70	0.59
27	132.58	216.41	323.68	75	0.756254	0.75	0.52
28	150.26	248.56	425.73	76	0.815019	0.77	0.52
29	112.01	328.74	479.86	77	0.766803	0.80	0.50
30	345.57	506.75	686.23	62	1.059058	0.70	0.65
31	106.06	186.82	350.55	84	0.736102	0.88	0.44
32	142.63	245.35	428.74	77	0.761876	0.79	0.50
33	148.52	340.19	536.42	74	0.893421	0.75	0.56
34	96.65	152.83	241.82	85	0.731717	0.90	0.43
35	328.77	533.42	720.01	60	1.068551	0.69	0.65
36	140.96	221.95	336.3	77	0.757321	0.78	0.50
37	126.8	266.64	461.16	76	0.839392	0.77	0.53

Karmaşık Yapılı (Sülfür+Oksit) Pb-Zn Cevherinden Gravite Esaslı Zenginleştirme İle Pb Konsantresi Üretimi

Lead Concentrate Production from Complex Ore by Using Gravitational Based Separation Methods

A.E.Yüce

İTÜ Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Müh.Bölümü, 34469, Maslak / İstanbul

C. Er

Maden Mühendisi

ÖZET Bu çalışma kapsamında Kayseri-Yahyalı Bölgesinden alınmış karmaşık yapılı Pb-Zn cevherinden gravite esaslı zenginleştirme üniteleri kullanılarak, satılabilir özellikli konsantreler üretilmesi hedeflenmiştir. Gravite esaslı yöntemlerin uygulanması, çeşitli kimyasalların kullanıldığı flotasyon'a kıyasla önemli avantajlara sahiptir.

İri boyutlarda ön zenginleştirme koşullarını incelemeye yönelik olarak, tamamı 9 mm ve 6 mm altına kırılan örneklerle; 1 mm üzeri boyutlarda jig, 1 mm boyutu altında ise sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Ancak, tamamı 1mm altına indirilmiş numunenin masa ile zenginleştirme sonunda, girenin % 14,8 oranında bir galen konsantresinin %59,48 Pb içeriği ve % 66,8 Pb kazanma verimi ile elde edilebileceği belirlenmiştir. Ara ürününün hesabın dağıtılması sonucu toplan metal kazanma verimi %82,7'ler mertebesine ulaşmaktadır. Diğer taraftan karbonatlı yapıda olan çinko mineralleri ise gravite artıkları içerisinde toplandığı, böylece bu üründen kimyasal bir prosesle çinko kazanımının olanaklı olabileceği gözlenmiştir.

ABSTRACT In this study, it is aimed that to produce saleble lead concentrates from complex lead and zinc ores by using gravitational based separation methods. Gravity separation methods have several advantageous comparing with flotation method that has been using different reagents.

In order to determine pre-concentration possibilities on coarser sizes, jiggling concentration on +1 mm and shaking tables on minus 1 mm were carried out on crushed samples to the minus 9 and 6 mm in sizes. However, it is determined that 14,8% of run off-mine as a saleable galena concentrate containing 59,48% Pb was obtained with 66,8% Pb recovery on crushed samples to the minus 1 mm in size. Final metal recovery can be increased up to 82,7% after distrubition of middlings. On the other hand, it is observed that zinc carbonates accumulated in gravity based separation tailings, can be able to recover by chemical treatment methods.

1 GİRİŞ

Kurşun çinko madencilği ve metalurjisi dünya çapında çok büyük bir sanayi kolu olup, toplam kurşun metal üretimi; demir, alüminyum, bakır ve çinkodan sonra beşinci sırada yer almaktadır. Dünya kurşun üretimi, birincil kaynakların yanı sıra, ikincil kaynaklar olarak tanımlanan eski hurdalardan da gerçekleştirilmektedir. Türkiye kurşun-çinko cevher üretimi sülfürlü ve oksitli cevherlerden yapılmaktadır. Cevher üretimi sonrası elde edilen konsantrelerin izabe ve rafınasyonu, ülkemizde bu konuda çalışan tesislerin olmaması nedeniyle yurt dışında geçici ihraç yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Oksit kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirilmesi günümüzde sorun teşkil etmektedir. Özgül ağırlık farkı ve manyetik ayırma ile zenginleştirmede metal kurtarma verimleri flotasyona göre düşük kalmaktadır. Çinkur'un kapanması ile de oksitli cevherlerin değerlendirilme olanakları yok denecek kadar düşmüş, Türkiye önemli miktarda kurşun-çinko ithal eder hale gelmiştir.

1.1 Türkiye Pb-Zn Rezervleri

Türkiye Cu-Pb-Zn yatakları;

1. Kuzey Türkiye bakır, kurşun, çinko kuşağı,
2. Güneydoğu Türkiye ofiyolit kuşağı,
3. Kuzeybatı Türkiye kurşun-çinko kuşağı,
4. Güney Türkiye karbonat tipi çinko-kurşun kuşağı,

olmak üzere 4 metalojeni kuşağında yer almaktadır (Yüce 1998, Güney 1998, Güney ve ark. 2001, Yüce ve Önal 2002).

Son yıllarda sülfürlü cevher rezervlerinin geliştirilmesi, üretilmesi ve konsantre haline dönüştürülmesinde Rize-Çayeli başta olmak üzere

Küre, Şebinkarahisar-Dereköy, Biga yarımadası ve Siirtköy madenlerinin önemli payları olmaktadır. Türkiye Pb ve Zn rezervlerinin metalik bazda dünya rezervleriyle karşılaştırması Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye Pb-Zn Rezervleri ve Dünya Rezervlerine Oranları [Güney 1998]

	Dünya Rezervi x 10 ³ ton metal		Türkiye Rezervi x 10 ³ ton metal			
	Gör.	Toplam	Gör.	%	Toplam	%
Pb	100.885	138.250	887	0,9	3.252	2,4
Zn	169.000	300.000	1.597	2,4	4.088	0,53
Cd	555	970	4,5	0,8	10,7	1,1

Ülkemizde çinko-kurşun yataklarının en önemli özelliği, Çayeli dışında küçük rezervler kategorisinde olmalarıdır. Çayeli ayrı tutulduğunda, oluşum başına düşen ortalama metal içeriği sülfürlü cevherlerde 56 bin ton Zn, 43 bin ton Pb, 5 bin ton Cu dolayındadır (Engin 2002).

Oksitli cevherler Kayseri-Niğde-Adana üçgeninde, Zamanti provensi olarak adlandırılan Orta Toroslarda yer alırlar. Ayrıca Malatya, Konya ve Anamur'da tali zuhurlara rastlanılmaktadır.

Sülfürlü cevherlerin çinko ve bakırca zengin kısmı Doğu Karadeniz, kurşunca zengin kısmı ise Batı Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Sülfürlü yatakların ortalama tenörü %6.24 Zn, %2.66 Pb ve %1.9 Cu dolaylarında olup, rezervi 20,7 milyon tonu görünür olmak üzere toplam 89,74 milyon ton mertebesindedir. Türkiye rezervlerinin miktar olarak %98,4'ü (metal içeriği olarak çinkonun %95,8'i, kurşunun %94,9'u ve bakırın tamamı) sülfürlü cevherler grubundadır (Güney 1998).

1.2 Pb - Zn Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri

Üretilen kurşun-çinko cevherlerinin doğrudan izabe edilmeleri ekonomik olmadığından, bunların önce çeşitli cevher zenginleştirme yöntemleriyle konsantre edilmeleri gerekmektedir. Konsantre eldesinde başlıca 2 yöntem uygulanmaktadır [Güney 1998, Güney ve ark. 2001, Bulut 1991].

1.2.1 Gravite yöntemler

Minerallerin serbestleşme tane boyutunun büyüklüğüne bağlı olarak jig, ağır ortam ayırıcıları, spiral ve sarsıntılı masalar, tek başına veya kombinasyonu şeklinde kullanılır. Gravite yöntemlerinin diğer zenginleştirme yöntemlerine göre, gerek işletme, gerekse yatırım maliyetleri açısından oldukça ucuz olmasına karşılık, metal kazanma verimlerinin düşüklüğü, kaçakların önlenememesi ve selektif ayırmaya tam uyum sağlayamaması dezavantaj olmaktadır. Bu yöntem daha çok ön zenginleştirme amacıyla kullanılmaktadır.

Son yıllarda gravite ayırmasında küçük taneli cevherlerin (-0,5 mm) zenginleştirilmesinde geliştirilmiş Multi Gravite Ayırıcısı'nda (MGS) sarsıntılı masalara bir alternatif olarak yer almaktadır (Önal 1980, Yüce 1994, www.mozley.com).

1.2.2 Flotasyon

Günümüzde düşük tenörlü kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılan ve bütün dünya da başarıyla uygulanan en yaygın yöntem flotasyondur. Özellikle sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinde zenginleştirme hemen hemen tümüyle klasik flotasyon yöntemiyle yapılmaktadır. Diğer yöntemlere oranla daha pahalı ve fazla enerji gerektiren bir yöntem olmasına rağmen düşük tenörlü

cevherlerde bile yüksek metal kazanma verimleriyle, yüksek tenörlü konsantreler elde edilebilmesi, yöntemin yaygın olarak kullanımını sağlamaktadır. Son yıllarda ise kolon flotasyonu uygulaması da giderek önem kazanmaktadır (Wills & Napier-Munn, 2006).

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Çalışma alanı İç Anadolu bölgesinde, Kayseri iline bağlı Yahyalı ilçesinin kuzeydoğusunda yer almakta olup, cevherleşmeler, çoğunlukla karbonatlı cevher minerallerinden oluşmaktadır. Ancak karbonatlı cevherler içerisinde korunmuş halde sülfürlü mineraller de (özellikle galen) gözlenebilmektedir.

Cevherin mineralojik yapısı incelendiğinde, çokluk sırasına göre, simitsonit ($ZnCO_3$), serüzit ($PbCO_3$)-anglezit ($PbSO_4$), galen (PbS), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), hematit (Fe_2O_3), pirit-markasit (FeS_2), sfalerit (ZnS), zinkit (ZnO), pirarjirit ($3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$), kalsit ($CaCO_3$) ve kuvars (SiO_2) minerallerinin bulunduğu saptanmıştır.

DeneySEL çalışmalarında kullanılmak üzere alınan numunenin kimyasal analizini belirlemek üzere, Kanada ACME Laboratuvarlarında kimyasal analizi yaptırılmıştır. Temsili numuneye ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Temsili Numunenin Kimyasal Analiz Sonuçları

Pb,%	Zn,%	Cu,%	Fe,%	Ag (g/t)
13,53	3,48	0,002	34,39	27

2.2 Yöntem

Bu araştırmada, oksit-sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinin mümkün olduğunca iri boyutlarda zenginleştirilmesi amaçlanmıştır

(Er,2004). Ön mineralojik incelemelerle, cevherin 9 mm boyutundan itibaren belirli oranlarda serbestleşmeye ulaşabileceği ve gravite zenginleştirilmesi ile temiz artık ve/veya temiz bir konsantre alınabileceği belirlenmiştir. Diğer yandan, cevher bünyesinde kurşun'un sülfürlü, çinkonun ise daha çok karbonatlı/oksitli yapılarda yığıldığı saptanmış, bu bilgiler ışığında, çalışmalar daha çok kurşunun zenginleştirilmesine yönelik olarak yürütülmüştür. Ekonomik satılabilir kurşun konsantresi içeriği minimum %50 olarak baz alınmıştır. Cevher özelliğine bağlı olarak, galen'in zenginleştirilmesi esasına dayalı deneysel çalışmalarda, laboratuvar tipi jig ve sarsıntılı masa/şlam masası kullanılmıştır. Kimyasal analizler

İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Kimyasal Analiz Laboratuvarı ve ACME Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Jig + S.Masa İle Zenginleştirme

Tamamı 9 ve 6 mm altına kırılmış numuneler ile +1 mm'de sınıflandırılmış boyut gruplarında jig ile; -1 mm'de ise sınıflandırılmış boyut gruplarında sarsıntılı masa deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tamamı 9 mm ve 6 mm altına kırılmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen jig + s.masa deneylerine ait sonuçlar Çizelge 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. 9 mm Boyutu Altında Ünite ve Ürünler Bazında Elde Edilen Sonuçlar

Yöntem	Ürünler	Miktar %	Metal İçeriği %		Verim %	
			Pb	Zn	Pb	Zn
J I G	Konsantre	19,8	28,70	2,79	41,4	8,5
	Ara ürün	21,3	11,41	3,28	17,7	10,3
	Artık	24,5	5,21	3,90	9,3	15,2
	Giren	65,6	14,30	3,37	68,4	34,0
S.MASA	Konsantre	3,7	49,65	1,73	13,4	3,3
	Ara ürün	20,7	10,62	3,64	16,0	43,0
	Artık	10,0	2,93	3,20	2,2	19,7
	Giren	34,4	12,59	3,32	31,6	66,0
T O P L A M		100,0	13,72	3,35	100,0	100,0

Çizelge 4. Ürünler Bazında Hesaben Birleştirilmiş -9 mm Dency Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Metal İçeriği %		Verim %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Konsantre	23,5	32,00	2,63	54,8	18,5
Ara ürün	42,0	11,02	3,46	33,7	43,4
Artık	34,5	4,55	3,70	11,5	38,1
Giren	100,0	13,72	3,35	100,0	100,0

Çizelge 5. 6 mm Boyutu Altında Ünite ve Ürünler Bazında Elde Edilen Sonuçlar

Yöntem	Ürünler	%	Pb	Zn	Pb	Zn
JİG	Konsantre	12,4	38,70	2,94	37,9	9,7
	Ara ürün	39,7	6,85	4,45	21,5	47,0
	Artık	1,9	2,67	3,53	0,4	1,8
	Giren	54,0	14,01	4,07	59,8	58,5
S.MASA	Konsantre	3,4	59,63	1,34	16,0	1,2
	Ara ürün	18,9	12,03	3,86	18,0	19,4
	Artık	23,7	3,29	3,31	6,2	20,9
	Giren	46,0	11,04	3,39	40,2	41,5
TOPLAM		100,0	12,65	3,76	100,0	100,0

Çizelge 6. Ürünler Bazında Hesaben Birleştirilmiş -6 mm Deney Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Metal İçeriği %		Verim %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Konsantre	15,8	43,20	2,60	53,9	10,9
Ara ürün	58,6	8,52	4,26	39,5	66,4
Artık	25,6	3,25	3,32	6,6	22,7
Giren	100,0	12,65	3,76	100,0	100,0

3.2 S.Masa İle Zenginleştirme

Tamamı 9 ve 6 mm altına indirilen numunelerde yapılan gravite zenginleştirilmesi sonuçlarına göre, temiz artık atmaya uygun bir ön konsantrasyon olmadığı gibi, satılabilir nitelikte (> % 50 Pb) uygun konsantrelerin istenilen metal tenörleri ve verimlerle alınmadığı görülmüştür. Bu nedenle tamamı 1 mm altına kırılmış numune, belirli boyut gruplarına sınıflandırılarak (-1+0,5 mm, -0,5+0,2 mm, -0,2 mm) sarsıntılı masa zenginleştirmesine tabi tutulmuştur. Üç ayrı boyut grubunda yapılan sarsıntılı masa deney sonuçları Çizelge 7'de; araürün'ün hesaben birleştirildiği deney sonuçları ise Çizelge 8'de verilmiştir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Yahyalı, Denizobaş bölgesi oksit-sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinin mümkün olduğunca iri boyutlarda zenginleştirilmesi amaçlanmış, sahadan temin edilen temsili numunenin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra, jig ve sarsıntılı masa zenginleştirme kombinasyonları kullanılarak, satılabilir nitelikte konsantreler elde edilmeye çalışılmıştır.

Araştırma konusu bu cevher üzerinde daha önceden yapılmış jeolojik ve mineralojik yapının tanımlandığı çalışmalardan yararlanılmış, zenginleştirme çalışmalarında elde edilen ürünler üzerinde basit mineralojik incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Deneyisel çalışma sistematığı, iri boyutlarda minimum % 50 dolayında Pb+Zn konsantrelerinin satışı esasına

Çizelge 7. 1 mm Boyutu Altında Ünite ve Ürünler Bazında Elde Edilen Sonuçlar

Ürünler	Miktar %	Metal İçeriği %		Verim %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Konsantre	14,8	59,48	1,22	66,8	4,9
Ara ürün	16,4	14,45	3,90	18,0	17,5
Artık	42,3	2,12	3,78	6,8	43,8
Şlam	26,5	4,15	4,65	8,4	33,8
TOPLAM	100,0	13,17	3,65	100,0	100,0

Çizelge 8. Araürün'ün Pb bazında Hesaben Dağıtılması İle Elde Edilen Sonuçlar

Ürünler	Miktar %	Metal İçeriği %		Verim %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
Konsantre	18,3	59,48	1,73	82,7	8,7
Artık	55,2	2,12	3,81	8,9	57,5
Şlam	26,5	4,15	4,65	8,4	33,8
Giren	100,0	13,15	3,65	100,0	100,0

dayalı olarak, belirlenmiş, ancak numunenin galen'in dışında sülfürlü çinko mineralinin (sfalerit) fazla oranda olmaması nedeniyle, sonuçların değerlendirilmesinde % 50 Pb metal içeriği baz alınmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1)Yahyalı Denizovası yöresinden getirilen numunenin kimyasal analiz sonuçlarına göre % 13,53 Pb ve % 3,48 Zn, 27 gr/ton dolayında Ag içerdiği belirlenmiştir. Numunenin bakır içeriği düşük olup, cevher Yahyalı bölgesinin karakteristik oksit-sülfür karışımı Pb-Zn cevherleşmesini temsil etmektedir.

2)Cevher üzerinde yapılan mineralojik incelemelere göre, cevher numunesi kurşun ve çinkonun sülfürlü ve oksitli yapılarını birlikte bulundurmaktadır.

İri boyutlarda zenginleştirme amacına yönelik, ön incelemeler ışığında cevher minerallerinin 9 mm altından itibaren serbestleşebileceği belirlenmiş, bu amaçla tamamı 9 mm ve 6 mm altına kırılan örneklerle; 1 mm üzeri boyutlarda jig, 1 mm boyutu altında ise

sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Bu sonuçlara göre;

3)Tamamı 9 mm altına kırılmış örnekte; -9+1 mm boyut gruplarında jig ile girenin % 19,8 oranında bir konsantre (ağır ürün), % 28,7 Pb içeriği ile, -1 mm boyutunda sarsıntılı masa ile girenin % 3,7 oranında bir konsantre, % 49,65 Pb içeriği ile elde edilebilmiştir. Toplam konsantre bazında hesaben birleştirilmiş sonuçlara göre nihai konsantrenin % 32,00 Pb dolayında kaldığı belirlenmiştir.

4)Tamamı 6 mm altına kırılmış örnekte; -6+1 mm boyut grubunda jig ile girenin % 12,4 oranında bir konsantre, % 38,70 Pb içeriği ile, -1 mm boyutunda sarsıntılı masa ile girenin % 3,4 oranında bir konsantre, % 59,63 Pb içeriği ile elde edilebilmiştir. Toplam konsantre bazında hesaben birleştirilmiş sonuçlara göre nihai konsantrenin % 43,20 Pb dolayında kaldığı belirlenmiştir.

5)Tamamı 1 mm altına indirilen numune üzerinde boyut gruplarında sarsıntılı masa deneyleri gerçekleştirilmiştir. Masa ürünlerin birleştirilmiş sonuçlarına

göre; zenginleştirme sonunda girenin % 14,8 oranında bir galen konsantrasyonunun %59,48 Pb içeriği ve % 66,8 Pb kazanma oranı ile elde edilebileceği belirlenmiştir. Masa ara tırütünün Pb bazında hesaben dağıtılması sonucu ise toplam metal kazanma veriminin %82,7'ler mertebesine ulaşabileceği hesaplanmıştır.

6)S.Masa zenginleştirilmesi sonunda ayrılan artığın Pb (% 2,12) ve çinko (% 3,78) içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum sülfürlü minerallerin dışında cevher yapısında yer alan oksitli çinko ve kurşun minerallerinden kaynaklanmaktadır.

7)Malzemenin 1 mm altına indirilmesi halinde önemli oranda şlam (% 4,15 Pb içeriğiyle) ortaya çıkmaktadır. Bu malzemenin de MGS veya yeni kuşak gravite ayırıcıları ile PbS konsantrasyonu üretimi olanaklı görülmektedir.

8)Cevher bünyesinde çinko mineralinin ağırlıkça oksitli-karbonatlı yapıda olduğu ve zenginleştirmelerde artık içerisinde toplandığı basit mikroskop incelemelerinden ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- Bulut, G., 1991, Bahkesir-Balya Yöresi Kurşun-Çinko Artıklarının Değerlendirilmesi, İTÜ Maden Fakültesi Vakfı, Araştırma Projesi, İstanbul.
- Er, C., 2004, Yahyalı Bölgesi Oksitli-Sülfürlü Cevherinin Gravite Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, Lisans Tezi, Danışman: A.E.Yüce, İTÜ Maden Fakültesi, 60 sayfa, İstanbul.

Engin, A., 2002, Zamantı Yöresi Oksit Kurşun-Çinko Cevherlerinin Zenginleştirilmesi, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güney, A., 1998, Türkiye Çinko Envanteri, İstanbul Maden ve Metal İhracatçıları Birliği Yayını

Güney, A., Yüce, A.E. ve Sirkecioğlu, A.A., 2001, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, İstanbul.

Önal, G., 1980, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışında Zenginleştirme Yöntemleri, İTÜ Yayını, İstanbul.

Wills, B.A., Napier-Munn, T.J., 2006, Wills' Mineral Processing Technology, 7th Edition, Elsevier Ltd. Publication, ISBN: 0-7506-4450-8, U.K.

Yüce, A.E., 1994, "Multi Gravity Separator", Çeviri, Madencilik Dergisi, 33, Sayı 1, s:33-41.

Yüce, A.E., 1998, Türkiye Kurşun Envanteri, İstanbul Maden ve Metal İhracatçıları Birliği Yayını, İstanbul.

Yüce, A.E.,Önal G., 2002, "Doğu Karadeniz Bölgesi Baz Metal Kaynaklarının Ekonomiye Katkısı ve Madencilik Açısından Önemi", Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, pp.75, 23-25 Ekim, Gümüşhane.

<http://www.mozley.com>

Nanomanyetit Kullanarak Sulardan As (V) Uzaklaştırılması

Removing Arsenate (As (V)) from Aqueous Solutions with Nanomagnetite

T. Türk, İ. Alp, İ. Erkan

Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Trabzon

ÖZET Bu çalışmada Nanomanyetit (NM) ile sulu çözeltilerden arsenat (As (V)) uzaklaştırılması incelenmiştir. Nano boyutlu demir oksitler, büyük yüzey alanı ve küçük boyutlarıyla büyük boyutlu manyetitlerden farklı fiziksel ve kimyasal özellik gösterirler. Bu yüzden Nano boyutlu demir oksitler sulardan arsenik uzaklaştırmak için ideal bir adsorbenttir. As(V) adsorpsiyonunda, başlangıç pH etkisi, As(V) konsantrasyonları ve adsorbent dozajları test edilmiştir.

NM için pH_{pzc} değeri 7.1 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada NM yüzeyine arsenat adsorpsiyonu $pH < pH_{pzc}$ olduğu durumda maksimumdur.

Sonuçlar incelendiğinde NM ile As(V) adsorpsiyon miktarının başlangıç pH değeriyle çok az etkili olduğu görülmüştür. Ancak pH 12 değerinde As(V) miktarı azalmıştır. Örneğin başlangıç As(V) konsantrasyonu 300 $\mu\text{g/L}$ olduğu durumda, pH 3'den 12'ye arttığı zaman çözeltide As(V) konsantrasyonu 2,98 $\mu\text{g/L}$ 'den 67,75 $\mu\text{g/L}$ 'ye artmıştır. Deneysel çalışmalarda arsenat adsorpsiyonunun kısa zamanda gerçekleştiği görülmüştür.

Sonuçta pH 9'da NM kullanılarak 300 $\mu\text{g/L}$ arsenat konsantrasyonu 5 $\mu\text{g/L}$ 'den daha az değerlere indirilmiştir.

ABSTRACT In this study removing arsenate (As (V)) from aqueous solutions with Nanomagnetite (NM) was investigated. The nano sized ferrous oxide, shows different physical and chemical properties due to their large surface area and small sizes when compared with coarse sized magnetites. Because of this advantage of nano sized ferrous oxides, they became an ideal adsorbent for removing arsenic from waters. In this study the effect of pH, concentrations of As (V) and dosages of adsorbents were tested.

The pH_{pzc} for NM was determined as 7.1 and the arsenate adsorption was maximum when $pH < pH_{pzc}$.

The adsorption amount of As (V) with NM showed less relation with the beginning pH values according to the results. However the As (V) amount was decreased at pH 12. For example; when pH value increased from 3 to 12, at a initial As (V) concentration as 300 µg/L, the concentration of As (V) at solution was increased from 2,98 µg/L to 67,75 µg/L. The experiments showed that the adsorption of arsenate occurred in a short time.

As a result the arsenate concentration was decreased to from 300 µg/L to less than 5 µg/L at pH 9 using NM.

1 GİRİŞ

Arsenik ve onun bileşiklerinin kullanımı ve üretimlerindeki çevresel kısıtlamalara rağmen, hala metalurji, tarım, orman endüstrisi, elektronik sanayi, eczacılık, cam ve seramik endüstrisinde kullanılmaktadır (Altundoğan vd., 2000).

Arsenik çevrede bazı oksidasyon durumlarında bulunur (+3, -3, 0, +5). Doğal sularda arsenik çoğunlukla As (+3) veya As (+5) şeklinde inorganik formda bulunur. Arsenat, H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ ve AsO_4^{3-} şeklinde 4 türe sahiptir. Arsenit, H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ ve AsO_3^{3-} şeklinde dört türe sahiptir. Oksitlenmiş şartlar altındaki yüzey sularında As (+5) baskındır. İndirgenmiş şartlar altında anoksik suda As (+3) türleri karardır. Nötr pH'da arsenat için $H_2AsO_4^-$ ve $HAsO_4^{2-}$, arsenit için yüksüz H_3AsO_3 baskın türdür (Fujimoto, 2001).

Arseniğin toksikliği onun kimyasal formuyla yakından ilgilidir. Arsenit arsenattan 60 kat daha toksiktir (Kundu vd., 2004). Arseniğin sağlık etkileri, dozajına ve maruz kalma süresine bağlıdır. Diyare ve kramp gibi olmayan gastrointestinal etkiler; anemi ve beyaz kan hücrelerinin sayısındaki azalma gibi hematolojik etkiler ve çevresel nöropati gibi etkiler haftalar veya aylar sonra arseniğin yüksek dozajlarına maruz

kalındığında ortaya çıkabilir (0,04 mg/kg/gün) (Duker vd., 2005).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme ve kullanma sularında 10 µg/L (ppb)'ye kadar arsenik bulunabileceğini, 50 ppb'den daha yüksek miktarlarda arsenik içeren suların ise kesinlikle kullanılmaması gerektiğini bildirmiştir. Bu yüzden içme sularından inorganik arsenik için çok acil uzaklaştırma metotlarının geliştirilmesi gereklidir. Sulardan arsenik uzaklaştırmak için çeşitli prosesler kullanılmaktadır. Çoğu çalışmada, çöktürme (Clara ve Magalhães, 2002), koagülasyon (Wickramasinghe vd., 2004), ters osmos (Mondal vd., 2006; Chan ve Dudeney, 2007), iyon değişimi (Korngold vd., 2001; Anirudhan ve Unnithan, 2007) ve adsorpsiyon (Mohan ve Pittman Jr., 2007) ile sulardan arsenik uzaklaştırılmıştır.

Bu teknikler arasında adsorpsiyon, basitliği ve rejenerasyon potansiyeli ile en yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Zhang vd., 2004). Eğer adsorbent ucuz ve kullanımı kolaysa adsorpsiyon etkili bir teknolojidir. Modifiye kırmızı çamur (Fuhrman vd., 2004; Zhang vd., 2008), yulaf kabuğundan hazırlanmış aktif karbon (Chuang vd., 2005), alümina-modifiye zeolit (Qiu ve Zheng, 2007), doğal demir minerali (Guo vd., 2007), pizolit (Pereira vd., 2007), sentetik götit (Lakshminathiraj vd., 2006), muskovit

ve biyotit mika (Chakraborty vd., 2007), demir(III) fosfat (Lenoble vd., 2005), demir oksit yüklü curuf (Zhang ve Hideaki, 2005), sıfır değerlikli demir (Bang vd., 2005), modifiye aktif karbon (Hong vd., 2008) gibi adsorbentler arsenik uzaklaştırmak için geliştirilmişlerdir.

Nano boyutlu demir oksitler, büyük yüzey alanı ve ince boyutlarıyla iri boyutlu manyetitlerden farklı fiziksel ve kimyasal özellik gösteriler (Cong, 2004). Bu yüzden Nano boyutlu demir oksitler sulardan arsenik uzaklaştırmak için ideal bir adsorbenttir. Ancak bu konu üzerine yapılmış çok az çalışma mevcuttur (Wakui vd., 2002, Cong, 2004, Yean vd., 2005, Mayo vd., 2007, Shipley, 2007).

Shipley, (2007) düşük nanomanyetit katı konsantrasyonlarıyla çözeltilerden arseniğin $>90\%$ 'ını uzaklaştırmayı başarmıştır.

Mayo ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada manyetit (Fe_3O_4) nanopartikülleri ile arsenik adsorpsiyonu gözlenilmiştir. Bu çalışmada As (III) ve As (V)'in adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları üzerine Fe_3O_4 partikül boyutu incelenmiş, parça boyutu 300 nm'den 12 nm'ye azaldığında As (III) ve As (V) için adsorpsiyon kapasitelerinin 200 kat arttığı görülmüştür.

Dixit ve Hering (2003), demir oksit minerallerinin As (III) ve As (V) üzerine adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Onlar HFO (Hidrus Ferrik Oksit) ve götit ile arsenatın adsorpsiyonunun pH 4'den pH 10'a artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. pH 4 için arsenat adsorpsiyonu her iki demir oksit için % 100 iken pH 10'da HFO için % 30 ve götit için % 40'dır. Arsenit için ise HFO ile adsorpsiyon pH ile azaldığı fakat götit ve manyetit ile değişmediğini bulmuşlardır.

Kundu ve Gupta (2007), Demir Oksit

kaplı çimentoyu adsorbent olarak kullanmışlardır. 2 saatte 30 g/L adsorbent ile başlangıç konsantrasyonu 2000 $\mu\text{g/L}$ olan As (V) çözeltilerinden % 95,5 verimle arsenat uzaklaştırılırken, başlangıç konsantrasyonu 1350 $\mu\text{g/L}$ olan As (III) çözeltilerinden ise % 48,9 arsenit uzaklaştırılmıştır.

Bu çalışmada, NM arsenik uzaklaştırabilmesi çalışılmıştır. As(V) adsorpsiyonunda, başlangıç pH etkisi, As(V) konsantrasyonları ve adsorbent dozajları test edilmiştir.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Manyetit (<50 nm), Sigma Aldrich'den alınmıştır. Numunenin X-ışınları difraksiyonu (Rigaku DMax-IIIC) marka x-ışınları difraktometresi kullanılarak yapılmıştır. Çekimler 20° - 65° aralığında, Cu tüp anot kullanılarak jeneratör gerilimi 35 KV, jeneratör akımı 15 mA ve tarama hızı 1°dak.^{-1} olacak şekilde yapılmıştır. NM'in XRD modeli Şekil 1'de gösterilmektedir. Kübik Fe_3O_4 tek bir faz olarak görülmektedir (JCPDS dosya No.19-629). Soldan sağa 220, 311, 400, 422, 511 ve 440 fazlar manyetit karakteristlik fazıyla uyumludur (Cabrera vd., 2008).

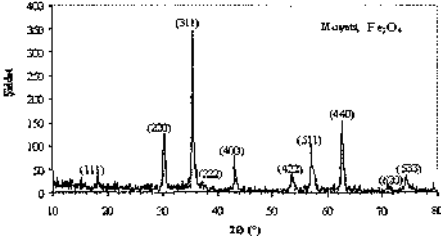
Malzemenin pH_{zpc} değerini bulmak için farklı pH larda (pH 3-4-6-7-8-9-10-11-12) 0,1 M derişime sahip NaCl çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltileri hazırlamakta kullanılan distile su çözülmüş CO_2 yi uzaklaştırmak için kaynatılmış olmalıdır. pH'ı ayarlamak için 0,1 M HCl ve 0,5 M NaOH kullanılmıştır. 100 mg adsorbent 20 ml hacimli farklı pH'lardaki 0,1 M lık NaCl çözeltilerine atılmıştır. 50 ml erlen meyerler 48 saat oda sıcaklığında çalkalanmış ve adsorbentin dibe

çökmesi için beklenmiştir. Ve son pH ölçülmüştür.

NaCl çözeltisinin pH'ının adsorbentle temasından sonra hiç değişmediği nokta olan pH_{pzc} belirlenmiştir.

2.2 Adsorpsiyon Deneyleri

1000 mg/L konsantrasyonlu As (V) stok çözeltisi hazırlamak için $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$, $60^\circ C$ 'de 30 dakika kurutulmuştur. 0,4164 gr $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$ tuzu 100 ml saf suda çözülerek saf su ile 1 litreye tamamlanmıştır. Test çözeltilerinin pH değerleri hidroklorik asit ve sodyum hidroksit ile ayarlanmış ve dijital pH metre ile (Thermo Orion 5 Star) ölçülmüştür.



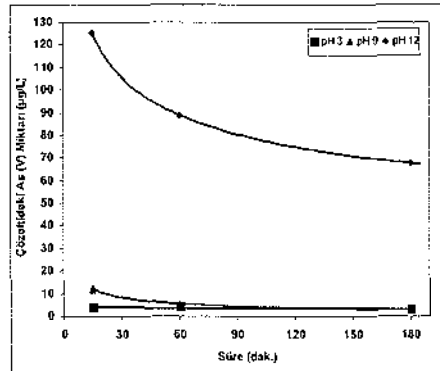
Şekil 1. Numunenin XRD analizi

Adsorpsiyon deneyleri, sıcaklık kontrollü bir çalkalayıcıda (Wiggen Hauser SI-100T), 200 dev./dak. hızda ve oda sıcaklığında (298 K) gerçekleştirilmiştir. As (V) adsorpsiyonunda; başlangıç metal iyon konsantrasyonu (100-2000 $\mu g/L$), adsorpsiyon zamanı (15-180 dak.), adsorbent dozajı (0.05-5 g/L) ve çözelti pH (3-12) test edilmiştir. Örnekler biriktirilmiş ve daha sonra 4000 dev./dak. hızda 15 dak. santrifüjlenmiştir. Arsenik konsantrasyonları hidrür sistemli atomik adsorpsiyon spektrometresinde (Perkin Elmer AAnalyst 400) analiz edilmiştir.

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 pH Etkisi

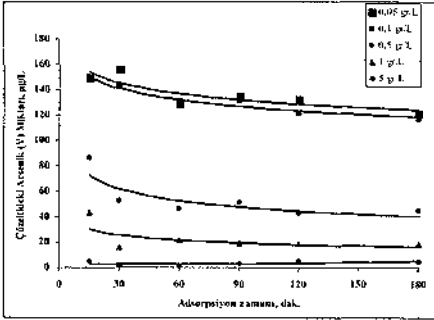
Şekil 2'de NM ile As(V) adsorpsiyonunun üzerine başlangıç pH değerlerinin etkisi görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde NM ile As (V) adsorpsiyon miktarının başlangıç pH değeriyle çok az etkili olduğu görülmüştür. Ancak pH 12 değerinde uzaklaştırılan As (V) miktarı azalmıştır. pH artmasıyla adsorbent yüzeyindeki pozitif yük yoğunluğu azalır ve As (V) adsorpsiyonu elektrostatik çekim kuvvetinin azalmasından dolayı azalır (Manna ve Ghosh, 2007). Örneğin başlangıç As (V) konsantrasyonu 300 $\mu g/L$ olduğu durumda, pH 3'den 12'ye arttığı zaman çözeltide As (V) konsantrasyonu 2,98 $\mu g/L$ 'den 67,75 $\mu g/L$ 'ye artmıştır. NM için pH_{pzc} değeri 7.1 olarak belirlenmiştir. Bu yüzden $pH < pH_{pzc}$ 'de NM yüzeyi pozitif yüklüdür ve $pH > pH_{pzc}$ 'de negatif yüklüdür. NM yüzeyine As (V) adsorpsiyonu pH 3-9 arasında pH 'dan bağımsızdır. $pH > 9$ olduğu durumlarda, pozitif yüklü bölgeler azalırken negatif arsenik türlerinin miktarı artar. Şekil 2'de görüldüğü gibi, NM yüzeyine arsenat adsorpsiyonu $pH < pH_{pzc}$ olduğu durumda maksimumdur.



Şekil 2. NM ile As(V) uzaklaştırılması üzerine pH etkisi (T : $25^\circ C$, Co : 300 $\mu g/L$, D : 5 g/L).

3.2 Adsorbent Dozaj Etkisi

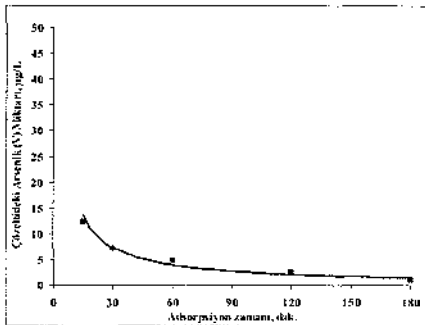
As(V) uzaklaştırılmasında NM dozajının etkisi Şekil 3'de gösterilmektedir. Arsenik uzaklaştırma etkinliği NM dozajı arttıkça artmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda adsorbent dozajı 5 g/L olarak kullanılmıştır. NM ile 300 µg/L olan başlangıç arsenat konsantrasyonu 4,71 µg/L'ye düşürülmüştür.



Şekil 3. NM ile As(V) uzaklaştırılması üzerine adsorbent dozajı etkisi (T:25°C, Co:300 µg/L, pH: 9).

3.3 Adsorpsiyon Zamanı Etkisi

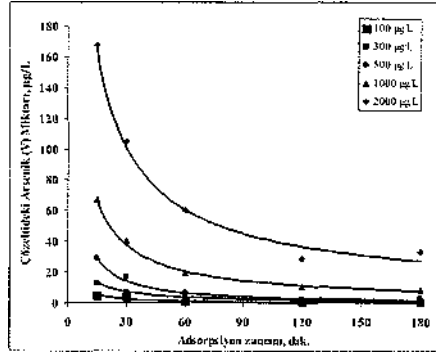
Çalkalama süresi, adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Şekil 4'de, arsenik uzaklaştırmak için optimum sürenin 60 dakika olduğu görülmektedir.



Şekil 4. NM ile As(V) uzaklaştırılmasının zamana göre değişimi (T: 25°C, pH: 9, D: 5 g/L, Co: 362 µg/L).

3.4 Metal Konsantrasyonu Etkisi

Farklı arsenik konsantrasyonlarındaki arsenik uzaklaştırma etkinliği, 100-2000 µg/L arasındaki metal konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. pH 9, D: 5 g/L, 25°C'de NM üzerine arsenat adsorpsiyonu ve 100-2000 µg/L başlangıç arsenat konsantrasyonları.

4 SONUÇLAR

NM için pH_{pzc} değeri 7.1 olarak belirlenmiştir. $pH < pH_{pzc}$ 'de NM yüzeyi pozitif yüklü ve $pH > pH_{pzc}$ 'de negatif yüklüdür. $pH > 9$ olduğu durumlarda, pozitif yüklü siteler azalırken negatif arsenik türlerinin miktarı artar. Bu çalışmada NM yüzeyine arsenat adsorpsiyonu $pH < pH_{pzc}$ olduğu durumda maksimumdur.

NM yüksek arsenat uzaklaştırma etkinliğine sahiptir ve ~300 µg/L başlangıç konsantrasyonunu <5 µg/L değerine indirebilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde NM ile As(V) adsorpsiyon miktarının başlangıç pH değeriyle çok az etkili olduğu görülmüştür. Ancak pH 12 değerinde As (V) miktarı azalmıştır. Örneğin başlangıç As (V) konsantrasyonu 300 µg/L olduğu durumda, pH 3'den 12'ye arttığı zaman çözeltide As (V)

konsantrasyonu 2,98 $\mu\text{g/L}$ 'den 67,75 $\mu\text{g/L}$ 'ye artmıştır. Deneysel çalışmalarda arsenik adsorpsiyonunun 60 dakikalık zamanda gerçekleştiği görülmüştür.

Sonuçta pH 9'da NM kullanılarak 300 $\mu\text{g/L}$ arsenat konsantrasyonu 5 $\mu\text{g/L}$ 'den daha az değerlere düşürülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Altundoğan, H.S., Altundoğan, S., Tümen F., Bildik, M., 2000. Arsenic removal from aqueous by adsorption on red mud. *Waste Management*, 20, 761-767.
- Anirudhan, T.S., Unnithan, M.R., 2007. Arsenic (V) removal from aqueous solutions using an anion exchanger derived from coconut coir pith and its recovery, *Chemosphere*, 66, 60-66.
- Bang, S., Korfiatis, G.P., Meng, X., 2005. Removal of arsenic from water by zero-valent iron, *Journal of Hazardous Materials*, 121, 61-67.
- Cabrera, L., Gutierrez, S., Menendez, N., Morales, M.P., Herrasti, P., 2008. Magnetite nanoparticles: Electrochemical synthesis and characterization, *Electrochimica Acta*, 53, 3436-3441.
- Chakraborty, S., Wolthers, M., Chatterjee, D., Charlet, L., 2007. Adsorption of arsenite and arsenate onto muscovite and biotite mica, *Journal of Colloid and Interface Science*, 309, 392-401.
- Chan, B.K.C., Dudency, A.W.L., 2008. Reverse osmosis removal of arsenic residues from bioleaching of refractory gold concentrates, *Minerals Engineering*, 21, 272-278.
- Chuang, C.L., Fan, M., Xu, M., Brown, R.C., Sung, S., Saha, B., Huang, C.P., 2005. Adsorption of arsenic(V) by activated carbon prepared from oat hulls, *Chemosphere*, 61, 478-483.
- Clara, M., Magalhães, F., 2002. Arsenic: An environmental problem limited by solubility, *Pure Appl. Chem.*, 74, 1843-1850.
- Cong, L., 2004. Sorption/Desorption of arsenic to Nanometer Scale Magnetite, Rice University, PhD Thesis.
- Dixit, S., Hering, J. G., 2003. Comparison of Arsenic(V) and Arsenic(III) Sorption onto Iron Oxide Minerals: Implications for Arsenic Mobility, *Environ. Sci. Technol.*, 37, 4182-4189.
- Duker, A.A., Carranza, E.J.M., Hale, M., 2005. Arsenic geochemistry and health, *Environment International*, 31, 631-641.
- Fujimoto, M., 2001. The removal of Arsenic from drinking water by carbon adsorption. Michigan State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Msc. Thesis.
- Fuhrman, H., Tjell, J. C., McConchie, D., 2004. Increasing the arsenate adsorption capacity of neutralized red mud (Bauxsol), *Journal of Colloid and Interface Science*, 271, 313-320.
- Guo, H., Stüben, D., Berner, Z., 2007. Removal of arsenic from aqueous solution by natural siderite and hematite, *Applied Geochemistry*, 22, 1039-1051.
- Hong, H.J., Kim, H., Baek, K., Yang, J.W., 2008. Removal of arsenate, chromate and ferricyanide by cationic surfactant modified powdered activated carbon, *Desalination*, 223, 221-228.
- Korngold, E., Belayev, N., Aronov, L., 2001. Removal of arsenic from drinking water by anion exchangers, *Desalination*, 141, 81-84.

- Kundu, S., Kavalakatt, S.S., Pal, A., Ghosh, S.K., Mandal, M., Pal, T., 2004. Removal of arsenic using hardened paste of Portland cement: batch adsorption and column study, *Water Research*, 38, 3780-3790.
- Lakshminathiraj, P., Narasimhan, B.R.V., Prabhakar, S., Bhaskar Raju, S.G., 2006. Adsorption of arsenate on synthetic goethite from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, B136, 281-287.
- Lenoble, V., Laclautre, C., Deluchat, V., Serpaud, B., Bollinger, J.C., 2005. Arsenic removal by adsorption on iron(III) phosphate, *Journal of Hazardous Materials*, B123, 262-268.
- Mayo, J.T., Yavuz, C.T., Yean, S., Cong, L., Shipley, H., Yu, W., Falkner, J., Kan, A., Tomson, M., Colvin, V.L., 2007. The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal, *Science and Technology of Advanced Materials*, 8, 71-75.
- Manna, B., Ghosh, U.C., 2007. Adsorption of arsenic from aqueous solution on synthetic hydrous stannic oxide, *Journal of Hazardous Materials*, 144, 522-531.
- Mohan, D., Pittman, C. U., 2007. Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-A critical review, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 1-53
- Mondal, P., Majumder, C.B., Mohanty, B., 2006. Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments, *Journal of Hazardous Materials*, B137, 464-479.
- Percira, P.A.L., Dutra, A.J.B., Martin, A.H., 2007. Adsorptive removal of arsenic from river waters using pisolite, *Minerals Engineering*, 20, 52-59.
- Qiu, W., Zheng, Y., 2007. Arsenate removal from water by an alumina-modified zeolite recovered from fly ash, *Journal of Hazardous Materials*, 148, 721-726.
- Shipley, H.J., 2007. Magnetite Nanoparticles for Removal of Arsenic from Drinking Water, Rice University, PhD Thesis.
- Wakui, Y., Ebina, T., Matsunaga, H., and Suzuki, T., 2002. Solvent Extraction of As (V) with Dispersed Ultrafine Magnetite Particles, *Analytical Sciences*, 18, 793-798.
- Wickramasinghe, S.R., Han, B., Zimbron, J., Shen, Z., Karim, M.N., 2004. Arsenic removal by coagulation and filtration: comparison of groundwaters from the United States and Bangladesh, *Desalination*, 169, 231-244.
- Yean, S., Cong, L., Yavuz, C.T., Mayo, J.T., Yu, W., Kan, A.T., Colvin, V.L., Tomson, M., 2005. Focus Section: Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate, *Materials Research*, 20, 3255-3264.
- Zhang, F., Hideaki, I., 2005. Iron oxide-loaded slag for arsenic removal from aqueous system, *Chemosphere*, 60, 319-325.
- Zhang, S., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Ren, H., Wang, J., 2008. Arsenate removal from aqueous solutions using modified red mud, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 486-492.
- Zhang, W., Singh, P., Paling, E., Delides, S., 2004. Arsenic removal from contaminated water by natural iron ores, *Minerals Engineering*, 17, 517-524.

Afyon Bölgesi Kilinin Karakterizasyonu ve Seramik Yer Karosu Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması

Characterization of the Clay in the Region of Afyon and Investigation of its Utilization in Ceramic Floor Tile Bodies

H. Çelik

Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Uşak

Ö. Ertürk, N. Day

Hitit Seramik ve Sanayi Tic. AŞ., Uşak

ÖZET Bu çalışmada öncelikle İscehisar, Afyon civarındaki kilin karakterizasyonu, seramik yer karosu bünyelerinde kullanılabilirliğinin belirlenmesine yönelik olarak mineralojik ve kimyasal analizler, TG-DTA analizleri ve dilatometre analizleri vb. ile saptanmıştır. Sonrasında kil değişen oranlarda Hitit Seramik ve Sanayi Tic. AŞ.'nin üretimde kullanmakta olduğu hammaddelerden İstanbul-Şile kili, albit ve altere gnays ile karıştırılmış ve preslenerek şekillendirilmiştir. Numuneler fabrika ortamında fırınlarda pişirildikten sonra fiziksel ve mekaniksel testler yapılarak en uygun karışım oranı belirlenmiştir. Sonuç olarak İscehisar, Afyon bölgesi kilinin seramik yer karosu bünyelerinde rahatlıkla kullanılabilir özelliklerde olduğu tespit edilmiştir.

ABSTRACT In this study, firstly the characterization of the clay in the region of İscehisar, Afyon were determined with mineralogical and chemical analysis, TG-DTA analysis and dilatometry etc. to establish its utilization in ceramic floor tile bodies. Then, the clay was mixed with the raw materials, the clay from İstanbul-Şile, albite and altered gnays at different proportions, which are used for manufacturing by Hitit Ceramic and Industry Trade IC and shaped with uniaxial pressing. After the compacted samples were sintered in roller kilns at plant, the optimum mixture ratio was specified with physical and mechanical tests. As a result, the clay obtained from İscehisar, Afyon was found to be usable properties in the floor tile bodies.

1 GİRİŞ

En genel anlamda seramik, inorganik maddelerin herhangi bir yöntem ile şekillendirilip pişirilmesi ile meydana

gelen ürünlere denir. Seramik kaplama malzemeleri (SKM); kil, kaolen, feldspat, kuvars gibi inorganik hammaddelerin reçeteye bağlı olarak belirli oranlarda

karıştırılıp öğütüldükten sonra, yaklaşık olarak %5-6 nem oranına kurutulup plaka halinde şekillendirildikten sonra, sırlı veya sırsız, bir veya birden fazla pişirilerek sertleştirilmesi suretiyle elde edilen; yer ve duvar kaplamasında kullanılan malzemelerdir.

Türkiye SKM üretiminde Avrupa'da ve dünyada söz sahibi durumundadır. Şöyle ki; Ülkemiz 2006 yılında 280 milyon m² üretim değeri ile dünya SKM üretiminin %3.64'ünü gerçekleştirmiş ve 6. sırada yer almıştır. Günümüzde Türkiye'de 25 firma SKM üretimi gerçekleştirmekte olup bu firmaların kurulu kapasiteleri toplam 360 milyon m²'dir (Anon-a 2008). Türkiye'nin 2006 yılında üretiminin %33.2'sini oluşturan 93 milyon m² ihracat miktarı ile dünya ihracatındaki payı %5.07'dir. Ülkemiz dünyanın en çok SKM ihracatı yapan ülkeler sıralamasında 5. sırada yer almaktadır (Anon-b 2007). Sektörün 400 milyon \$ düzeyindeki ihracatı için yapılan ithalat sadece 40 milyon \$ civarındadır. Dolayısıyla sektör ihracatının yarattığı katma değer 360 milyon \$ seviyesinde olup, Seramik sanayi yarattığı "Katma Değer" ile Türkiye'de stratejik bir önem taşımaktadır. Türk seramik kaplama malzemeleri sektörünün doğrudan istihdamı 13.500 kişi olup, sektöre hizmet veren yan sektörler ile birlikte toplam istihdam 50.000 kişi düzeyindedir (Anon-c 2008). Seramik sektörünün ihtiyaç duyduğu hammaddeler önemli oranda yurtiçi mevcut hammadde sahalarından sağlanmaktadır ve SKM sektörü ülkemizin dünya ile rekabet etme gücü en yüksek sektörlerinden biridir. Sektör ülkemize iş olanağı ve döviz girdisi sağlamakta, ülke ekonomisine etkin ve önemli katkılar sağlamaktadır.

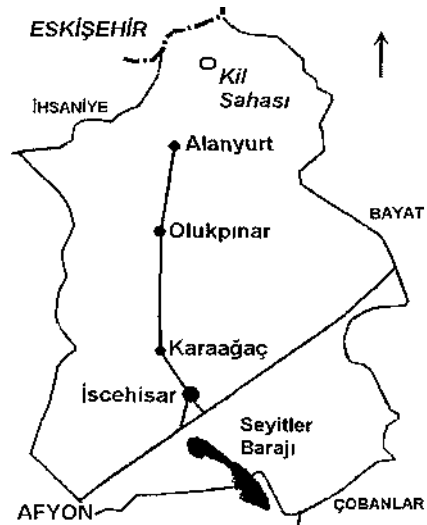
Ülkemizin seramik ve refrakter malzemeler üretimine uygun kil rezervi yaklaşık olarak 354 milyon

ton'dur (görünür+muhtemel). Seramik malzemeler üretiminde önemli yeri olan kaolen rezervimiz ise 89 milyon ton (%15-37 Al₂O₃) civarındadır (görünür+muhtemel) (Anon-d 2008).

Bu çalışmada öncelikle Afyon İli sınırlarında bulunan kilin karakterizasyon çalışması yapılmış, sonrasında incelenen kilin masseye belirli oranlarda katılmasıyla üretilen 5cm çapındaki karo örnekleri üzerinde, seramik yer karosu üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesine yönelik olarak standart fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Afyon kilinin Ülkemiz SKM sektörünün hammadde kaynağı ihtiyacına alternatif olabileceğini ve yer karosu bünyelerinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

2 KİL SAHASININ COĞRAFİK KONUMU VE REZERV DURUMU

İncelenen kil sahası Afyon İli, İscehisar İlçesi, Alanyurt Beldesi sınırları içerisinde bulunmakta olup, beldeye 5 Km uzaklıktadır. Harita üzerinde



Şekil 1. Kil sahasının coğrafik yeri

yapılan rezerv belirleme çalışmalarına göre kil sahası 50.000.000 ton görünür, 150.000.000 ton görünür+muhtemel rezerve sahiptir. Bölgede yapılan ilk jeolojik çalışmalarda neojen yaşlı volkanizma ürünü olan riyolit, riyodasit, dasit, tuf ve aglomeralar geniş yüzeyler görülmüştür. Araştırılan seramik kili volkanik kökenli riyolit ve riyodasitlerin ayrışması ile oluşmuştur.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Karakterizasyon Çalışmaları

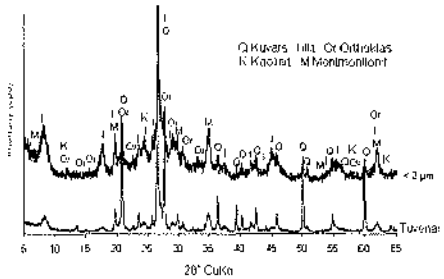
Kil sahasından alınan ocak özelliklerini yansıtır nitelikteki örnekler üzerinde kilin karakterizasyonunu belirlemek üzere yapılan kimyasal analiz (Spectro IQ marka X-Ray Floresans (XRF) cihazı ile) ve mineralojik analize ait (Rigaku marka Rint-2200 model X-Ray Difraktometre (XRD) cihazı ile) sonuçlar Çizelge 1.'de verilmiştir. Şekil 2.'de verilen XRD analizi numunenin illit, montmorillonit ve kaolinit kil minerallerini; orthoklas ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) ve kuvars (SiO_2) minerallerini içerdiğini açıkça göstermektedir. Çizelge 1.'den görüldüğü üzere Afyon kili içerdiği kil mineralleri, orthoklas ve kuvars nedeniyle yaklaşık %92 oranında SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşmaktadır. Toprak alkali oksit yüzdelерinin (CaO ve MgO) oldukça düşük oluşu kilin karbonatlı mineraller içeriğinin çok az olduğunu göstergesidir. Pişirilen seramik ürünlerine kırmızı renk veren Fe_2O_3 oranının düşük oluşu Afyon kiline avantaj sağlamaktadır. İllit ve orthoklas içeriğine bağlı olarak K_2O oranı yüksektir (%4.01).

Tüvenan kil numuneleri için yapılan XRD analizi sonucunda kuvars fazının çok baskın olduğu gözlenmiştir. Kil minerallerinin piklerinin net olarak elde edilmesi amacıyla $-2 \mu m$ 'luk kil fraksiyonu kuvarstan ayrılmıştır.

Bu ayırma işleminde kil numuneleri su içinde tamamen çözülene kadar karıştırılmış, daha sonra numunelerin iri fraksiyonlarının çökmesi için bekletilmiştir. Kilin su içinde süspansiyon halinde kalan kısmı vakumlanarak alınmış, kil partikülleri santrifüjleme işlemi ile sudan ayrıldıktan sonra etüvde $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutulan numunelerin XRD analizi yapılmıştır. XRD grafiğinden görüldüğü üzere Afyon kili $-2 \mu m$ fraksiyonunda orthoklas ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) da içermektedir.

Çizelge 1. Afyon kilinin kimyasal ve mineralojik bileşimi

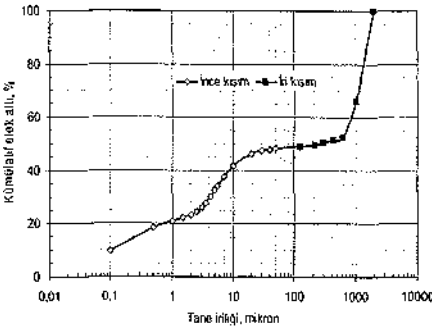
Kimyasal Bileşim					
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO
77.66	13.76	1.04	0.06	0.17	0.17
Na_2O	K_2O	SO_3	K.K	Toplam, %	
0.10	4.01	0.23	2.80	100.00	
Mineralojik Bileşim					
illit, montmorillonit, kaolinit, orthoklas, kuvars					



Şekil 2. Afyon kiline ait XRD grafiği

Afyon kilinin tane boyut dağılımı Şekil 3.'de verilmiştir. Numune önce $125 \mu m$ 'lik elekte elenerek iri kısımlar ayrılmıştır (elek üstü %51.1). İri kısmın tane boyut dağılımı sulu elek analizi ile belirlenirken, $125 \mu m$ elek altı fraksiyonunun tane boyut ölçümü Mikromeritics SediGraph 5120 cihazı ile X-ışınları sedigrafı tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. % 0.5 kalgon (sodyum hexametafosfat) içeren suda numune ölçüm öncesinde deflokülyasyon

tabii tutulmuş, bu numuneden yaklaşık 3 gr alınıp 50 ml kalgonlu suda tamamen açılana kadar karıştırıldıktan sonra ölçüm gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2.'de verilen fraksiyonel tane boyut dağılımına göre killeri için kabul edilen tane iriliği olan $-2 \mu\text{m}$ fraksiyonundaki malzeme miktarı %23.3' dür. Elde edilen tane boyut dağılımı sonuçlarına göre Afyon kilinin iri ve ince iki kısımdan oluştuğu söylenebilir.



Şekil 3. Tane boyut dağılımı grafiği

Çizelge 2. Fraksiyonel tane boyut dağılımı

μm	%
125-2000	51.1
20-125	2.7
2-20	22.9
0-2	23.3
Toplam	100.0

Çizelge 3.'de Afyon kilinin tespit edilen diğer karakteristik özellikleri toplu olarak verilmiştir.

Quantachrome Autosorb-1C cihazı ile gerçekleştirilen üç noktalı BET yüzey alanı ölçümünde azot adsorpsiyon gazı olarak kullanılmış, numuneler 300°C 'de bir saat ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra aktif yüzey alanı ölçülmüştür.

Çizelge 3. Afyon kilin karakteristik değerleri

Özellik	Değer
Yüzey alanı	38.52 m^2/gr
Plastik Limit	%42.51
Kütle yoğunluğu	2.68 gr/cm^3
Litre ağırlığı:	1550 gr/lt :23 sn
Viskozite	
Pişme Rengi (L:a:b)	83.01:3.70:14.72

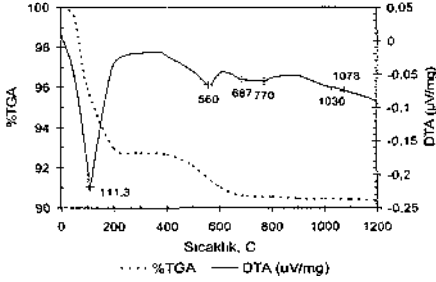
Afyon kilinin plastisite değerinin tespitinde pfefferkorn yöntemi kullanılmıştır. Aletin düşme yüksekliği 186mm ve ağırlığı 1192gr'dır. Deneylerde belirli miktarda su ile plastikleşen dört adet kil silindiri ayrı ayrı ezilmiş, ezilme yükseklikleri kumpasla ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Ölçüm yapılan numunelerden alınan örneklerin nem miktarı etüvde kurutmadan sonra belirlenmiştir. 10-15 ml su ilavesinden sonra tekrar alette ezme gerçekleştirilmiş, aynı işlemler tekrarlanmıştır. Bu işlemler dört kez tekrarlanmış, elde edilen değerler grafiğe aktarılmış ve 24 mm'lik yüksekliğe karşılık gelen nem miktarları okunarak kilin plastikliği için ideal su miktarı % olarak belirlenmiştir. Afyon kilinin montmorillonit içeriğine bağlı olarak plastisite değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Afyon kilinin kütle yoğunluk değeri helyum piknometresi ile ölçülmüştür.

Alumina bilyalı jet değirmende sulu olarak 8 dakika öğütülerek $-180 \mu\text{m}$ 'ye indirilen numunenin litre ağırlığı ve viskozite değerleri (ford-cup-100 ml) belirlenmiştir.

Gabrielli Titan marka manuel preste $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$ basınç altında 50mm çapında ve 6mm yüksekliğinde tabletler halinde preslenen kil numuneleri, 1190°C 'de toplam pişme süresi 33 dakika olan işletme roller fırınlarında pişirilmiştir ve renk ölçümleri Konica Minolta renk ölçme cihazı ile yapılmıştır. L değerinden görüldüğü üzere Afyon kilinin pişme rengi açık renklidir.

Kil numunesinin termik karakteristik özelliklerinden olan diferansiyel termal

analiz (DTA) ve termogravimetrik analizi (TGA) Netzsch STA 409 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (ısıtma hızı 10 °C/dakika, maksimum sıcaklık 1200°C (10 dak.), referans madde kalsine alümina) (Şek. 4). Grafiklerde görülmekte olan piklerin yorumu ise Çizelge 4.'de özetlenmiştir.



Şekil 4. Afyon kiline ait DTA/TGA grafikleri

Çizelge 4.'e ilave olarak 800-1200 °C aralığında görülen çok düşük orandaki

(%0.2) kütle kaybının ise sülfat türlü bileşiklerin dekompozisyonuna bağlı olduğu düşünülmektedir.

Kaolinitin karakteristik pikleri olan 500-600 °C'de gözlenen kuvvetli endotermik pikin ve özellikle 900-1000 °C'de gözlenen kuvvetli eksotermik pikin (Sazcı 2001; Grim ve Rowland 2009; Karakaya 2006) Afyon kilinde görülmemesi, mineralojik olarak tespit edilen kaolinit mineralinin bileşimde az miktarda olduğunu göstermektedir.

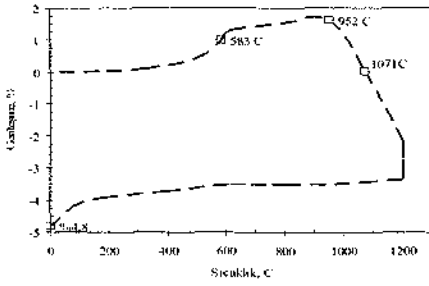
Numunenin sıcaklığa bağlı olarak termik genleşme ve küçülme karakteristiğinin belirlenmesi amacıyla etüvde kurutmadan sonra Misura 3.32 ODHT-HSM 1600/80 dilatometre cihazı ile gerçekleştirilen ölçümlerin sonucu Şekil 5.'de verilmiştir. Isıtma hızı 1100 °C'ye kadar 50 °C/dakika, 1100-1200 °C arasında 30 °C/dakika ve 1200 °C'de 10 dakika bekleyecek şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 4. Sıcaklığa bağlı olarak gözlenen tepkimeler ve buna bağlı kütle kayıpları

DTA			TGA	
Pik °C	Tepkime	Açıklama	Sıcaklık Aralığı	Kütle Kaybı %
111.3	endotermik	dehidratasyon (adsorbe su kaybı)	0-200 °C	7
200-400	eksotermik	organiklerin yanması	200-400 °C	0.3
560	endotermik	dehidroksilasyon (kil minerallerinin (kaolinit ve illit) kristal kafes sularının kaybı)		
687	endotermik	dehidroksilasyon (montmorillonit kristal kafes suyu kaybı)	400-800 °C	2.2
770	endotermik	bünyede bulunması muhtemel karbonat minerallerinin dekompozisyonu		
1030	eksotermik	spinel tip (Al-Si spinel) arafazı oluşumu*		
1078	endotermik	mullit (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂) oluşumu**		

* (Brindley ve Nakahira 1959; Khalifaoui ve diğ. 2006; Grim ve Rowland 2009)

** (Araujo ve diğ. 2004; Baccour ve diğ. 2008; Grim ve Rowland 2009)



Şekil 5. Numuneye ait dilatometre analizi sonucu

Şekil 5.'den görüldüğü gibi Afyon kili 500 °C'ye kadar %0.5 genleşme gösterirken, 500-600 °C aralığında α -kuvars β -kuvars dönüşümünden kaynaklanan hızlı bir genleşme kaydedilmiştir (%0.75). Genleşme hızının maksimum olduğu nokta 583 °C'dir. Üçüncü genleşme aralığı 600-952 °C'de görülürken, 952 °C'ye kadar saptanan toplam genleşme miktarı %1.6'dır. 952 °C'den sonra camsı fazların oluşumuna ve taneciklerin sinterlenmesine bağlı olarak kuvvetli bir küçülme eğrisi elde edilmiştir. Kilin yüksek olan K_2O ve Fe_2O_3 içeriği camsı faz oluşumunu hızlandırmaktadır (Baccour ve diğ. 2008). Küçülme hızının maksimum olduğu nokta 1071 °C'dir. Numunenin tepe sıcaklığı olan 1200 °C'de 10 dakika tutulduktan sonraki küçülmesi %3.3'dür. Bünyenin soğuma sonrasında ise toplamda %4.8 oranında küçülme gösterdiği belirlenmiştir.

3.2 Afyon Kilinin Seramik Yer Karosu Bünyelerinde Kullanımı

Afyon kilinin seramik yer karosu üretiminde kullanılabilirliğinin tespiti için bünye oluşturulmasında kullanılan yardımcı hammaddeler; Şile-İstanbul kili, albit ve altere gnaysdır. Çizelge 5.'de bu hammaddelerin kimyasal analizleri verilmiştir.

Çizelge 5. Deneylerde kullanılan diğer hammaddelerin kimyasal bileşimi

İstanbul-Şile Kili					
Albit					
Altere Gnays					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
55.85	26.46	3.23	1.21	0.34	0.58
68.32	18.36	0.31	0.29	0.91	0.54
77.16	13.39	0.77	0.16	1.00	0.42
Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cr ₂ O ₃	K.K
0.11	2.00	0.12	0.22	-	10.00
10.03	0.47	0.25	-	-	0.53
4.42	0.77	0.10	-	0.06	1.76

Afyon kili, bünye reçetelerine Çizelge 6.'da belirtilen oranlarda karıştırılmıştır. Çizelge 6.'da Hitit Seramik Fabrikasının yer karosu bünye reçetesinde kullandığı standart reçeteye (R-ST) ait karışım değerleri de görülmektedir.

Çizelge 6. Afyon kili ile oluşturulan yer karosu reçeteleri (%)

	R-ST	R-1	R-2	R-3	R-4
İstanbul kili	32	16	-	20	22
Albit	32	32	32	40	28
A.gnays	36	36	36	-	-
Afyon kili	-	16	32	40	50

Elde edilen karışımlar jet değirmende sulu olarak 8 dakika öğütülerek -180 μ m ye

Elde edilen karışımlar jet değirmende sulu olarak 8 dakika öğütülerek -180 μ m ye indirilmiştir. Öğütme sonucu elde edilen çamurlar -180 μ m'lük elekten elenip elek üstü bakiyeleri kaydedilmiştir. Litre ağırlıkları ve viskozitelerinin ölçülmesinden sonra etüvde gerçekleştirilen kurutmanın ardından numune agat havanlı öğütücüde elle öğütülmüş ve %5 nem oranında nemlendirilmiştir. Gabrielli Titan marka manuel preste 300 kg/cm² basınç altında 50mm çapında ve 6mm yüksekliğinde tabletler halinde preslenen yaklaşık 23gr malzeme, 105 °C etüvde kurutulmuş ve kuru mukavemet değerleri ölçülmüştür. Kurutulmuş numuneler maksimum sıcaklık değerinin 1190 °C ve toplam

pişirme süresinin 33 dakika olduğu fabrika ortamında roller fırınında pişirilmiştir. Pişen numunelerin su emme, mukavemet (Nanetti marka) ve pişme küçülmesi değerleri tespit edilmiş ve Konica Minolta renk ölçme cihazı ile renk ölçümleri yapılmıştır. Farklı yer karosu bünyelerinin TS EN ISO 10545 standartlarına uygun olarak belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelgeden görüleceği üzere standart bünye reçetesinde (R.ST) İstanbul kili oranı azaltılıp, yerine Afyon kilinin kullandığı reçetelerde (R.1 ve R.2) kuru ve pişme mukavemeti değerlerinde azalma, su emme ve viskozite değerinde ise az miktarda yükselme gözlenmiştir. Ancak bu değerlerin işletme şartlarını olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Altere gnaysın bünye reçetesinde kullanılmadığı formülasyonlarda ise (R.3 ve R.4) özellikle kuru mukavemet değerlerinde yükselme saptanmış ve R.1 ve R.2 reçetelerine göre daha düşük su emme

oranı ve pişme küçülmesi elde edilmiştir. Pişme mukavemeti değerlerinde ise bir miktar azalma gerçekleşmiştir. R.3 ve R.4 kodlu reçete ile elde edilen bünyenin feldspat içeriğinin (Afyon kilinin de potasyum feldspat içerdiği düşünülürse) R.1 ve R.2'ye göre fazla oluşu, sinterleşme sırasında bünyede camsı faz oluşumunu yükseltmekte; buna bağlı olarak bünyenin porozitesi ve dolayısıyla su emme oranı düşmektedir. R.3 ve R.4 kodlu reçetelere ait viskozite değerlerinde görülen artışın nedeni bünyedeki toplam kil oranının yükselmesidir. Viskozitede saptanan bu artışın işletmenin sprej dryer (püskürtmeli kurutucu) maliyetini yükselteceği düşünülmektedir. Bünyelerin renk değerlerinde belirgin bir farklılık görülmemekle birlikte, R.2 kodlu bünyenin daha açık renkli piştiği saptanmıştır. Pişme küçülmesi değerleri birbirine yakın değerler olan %7.44-7.95 aralığında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak R.2 kodlu bünye ile en uygun seramik değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 7. Yer karosu reçetelerine ait reolojik ve kuru/pişme özellikleri *kg/cm²

	R.ST	R.1	R.2	R.3	R.4
Reolojik Özellikler					
Litre ağırlığı (gr/lt)	1690	1684	1680	1680	1680
Viskozite, sn	16	18	22	30	44
Elek bakiye, %	2,80	2,85	2,85	2.90	3,00
Kuruma Özellikleri					
Kuru küçülme, %	-0,2	+0,0	+0,2	+0,3	+0,4
*Kuru mukavemet	19,84	19,01	18,22	24,85	28,54
Pişme Özellikleri					
Su emme, %	3.32	3.70	3.85	3.33	3.50
Pişme küçülmesi %	7.56	7.77	7.95	7.56	7.44
*Pişme mukavemeti	360	350	340	340	330
Renk Değerleri					
L	58.70	59.91	60.22	59.25	58.40
a	4.27	4.46	4.73	4.55	4.69
b	16.45	15.33	15.01	14.66	13.46

*kg/cm²

4 SONUÇ

Bu çalışma ile Afyon İli İncehisar İlçesi'nde bulunan kilin karakteristik özellikleri; kimyasal, mineralojik ve termik analiz yöntemleri ile belirlenmiştir. Mineralojik olarak illit, montmorillonit, kaolinit, orthoklas ve kuvars mineralleri içeren kilin karakteristik özellikleri, hammaddenin yer karosu üretimine uygun nitelikler taşıdığını ve gerçekleştirilen çalışmalar ile hammaddenin bünye reçetelerinde rahatlıkla kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Türk SKM sektörüne hammadde sağlayan önemli bölgelerden biri olan İstanbul-Şile Bölgesi kili ile hazırlanan bünye reçeteleri ile Afyon kili ile elde edilen bünyenin (R.2) seramik özellikleri karşılaştırıldığında, birbirine oldukça yakın değerler elde edilebildiği görülmüştür. Afyon kilinin $-2\mu\text{m}$ fraksiyonunda orthoklas ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) içermesi bünyenin sinterleşme kabiliyetine avantaj sağladığı düşünülmektedir. Kil sahasının konumunun İstanbul ile karşılaştırıldığında özellikle Kütahya, Eskişehir, Uşak ve İzmir İllerine yakın olması nedeniyle, bu illerde bulunan SKM üretici firmalara hammaddenin nakliyesinden kaynaklanan avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

Afyon kilinin porselen seramik bünyelerde kullanımı ve farklı pişirim derecelerinin bünyenin sinterleşmesine olan etkileri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anon-a, 2008. Seramik Federasyonu, <http://www.serfed.com>
- Anon-b, 2007. *Ceramic World Review*, Sayı:73, Temmuz-Eylül 2007.
- Anon-c, 2008. *Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt.2*, Devlet Planlama Teşkilatı, DPT:2773, Ankara.
- Anon-d, 2008. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Türkiye Maden Rezervleri. <http://www.mta.gov.tr>
- Araujo, J.H., Silva, N.F., Acchar, W., and Gomes, U.U. 2004. Thermal decomposition of illite, *Materials Research*, Vol.7, No.2, p.359-361.
- Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F. and Mhiri, T. 2008. Influence of firing temperature on the ceramic properties of Triassic clays from Tunisia, *J. of Materials Processing Technology*, Article in press.
- Brindley, G.W., and Nakahira, M., 1959. The kaolinite-mullite reaction series: II. Metakolin. *J. Am. Ceram. Soc.*, 42 (7), p.314-318.
- Khalfaoi, A., Kacim, S. and Hajjaji, M. 2006. Sintering mechanism and ceramic phases of an illitic-chloritic raw clay, *J. of the European Ceramic Society*, 26, s.161-167.
- Sazcı, H. 2001. Seramikte Kullanılan Killerin Tanımı. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Grim, R.E. and Rowland, A. R., 2009. Differential thermal analysis of clay minerals and other hydrous materials, Part 1., *Mineralogical Society of America*. <http://www.minsocam.org>
- Karakaya, M. Ç. 2006. *Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri*, Bizim Büro Basımevi, Ankara.

Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Macun Dolguda Bağlayıcı Olarak Kullanılabilirliği

Potential use of Alkali Activated Slag As A Binder In Paste Backfill

F. Cihangir, A. Turan, B. Erçikdi, A. Kesimal, H. Deveci

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Cevher zenginleştirme faaliyetleri sonucu açığa çıkan tesis atıklarının yeraltında maden üretimi yapılan boşluklara çimentolu macun dolgu şeklinde depolanması son yıllarda çevresel açıdan büyük önem kazanmıştır. Macun dolguyu oluşturan bileşenler tesis atıkları, su ve çimentodur. Çimento, macun dolgunun dayanımı, duraylılığı ve ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada; sülfürlü (piritli) atıkların macun dolgu şeklinde depolanmasında bağlayıcı olarak Portland çimentosu (CEM I 42.5) yerine, alkali bileşiklerle aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufunun (AAS) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, AAS kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin CEM I 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelere kıyasla yakın veya daha yüksek (%7'den yüksek bağlayıcı oranında) dayanım ürettiği görülmüştür. Buna göre AAS'nin çevresel açıdan potansiyel olarak zararlı sülfürlü maden atıklarının macun dolgu şeklinde yeraltına depolanmasında çimentoya alternatif bağlayıcı olarak kullanılma potansiyeli bulunmaktadır.

ABSTRACT The disposal of mill tailings as cemented paste backfill (CPB) into the underground openings created due to the ore extraction has gained a vital importance in recent years on account of environmental benefits. CPB is a mixture of mill tailings, water and a hydraulic binder. The latter is the most important one since it profoundly affects the paste backfill strength, durability and operating costs of backfill plant. In this study, in cemented paste backfill of pyritic tailings, the use of alkali activated blast furnace slag (AAS) as an alternative binder to ordinary Portland cement (CEM I 42.5) was investigated. Experimental studies revealed that, the performance of AAS was comparable, and also at higher binder dosage of 7%, the CPB samples of AAS produced higher strength values than those of CEM I 42.5. The findings suggest that AAS has a great potential as an alternative binder to CEM I 42.5 in CPB of sulphide rich tailings.

1 GİRİŞ

Macun dolgu, tesis atıkları (ağırlıkça %78-85 katı oranında), bağlayıcı (ağırlıkça %3-9 oranında) ve karışım suyundan oluşmaktadır (Benzaazoua

vd., 2002; Yılmaz vd., 2003). Macun dolguyu oluşturan bileşenlerin her birinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliği dolgu performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Macun dolgu yöntemi yeryüzü atık sahalarına,

atık barajlarına, derelere (Şekil 1), denizlere vb. gönderilen çevresel açıdan zararlı (sülfürlü, siyanürlü vb.) tesis atıklarının, yeraltı üretim boşluklarında depolanmasını mümkün kılmaktadır. Macun dolgu yönteminin başlıca faydaları; i) yerüstü çevresel problemleri (asidik maden suyu oluşumu vb.) azaltması, ii) tahkimat sağlaması, iii) yeraltında güvenli çalışma koşullarını tesis etmesi, iv) yüzeyde oluşabilecek oturmaları (sübsidans) önlemesi ve v) cevher üretim miktarını artırmasıdır (Brackebusch, 1994; Archibald, 1999; Benzaazoua vd., 1999).



Şekil 1. Tesis atığının dere ile taşınması

Bağlayıcıların sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mineralojik bileşim dolgu dayanım ve duraylılığı açısından oldukça önemlidir. Macun dolguda bağlayıcı olarak yaygın şekilde normal Portland çimentosu kullanılmasına rağmen, bu tür kalsiyumca zengin bağlayıcıların asit ve sülfat etkisine karşı direncinin düşük olduğu belirtilmektedir (Benzaazoua vd., 2002; Tariq ve Nehdi, 2007; Erçikdi vd., 2009). Bununla birlikte macun dolguda kullanılan bağlayıcı (ağırlıkça %3-9), dolgu işletme maliyetlerinin önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Ayrıca Portland çimentosunun üretimi, atmosferin ısınmasına ve hava kirliliğine yol açan CO₂ emisyonu miktarını artırmaktadır (Ehrenberg, 2005; Flower ve Sanjayan, 2007). Bu nedenle beton ve dolguda

bağlayıcı olarak Portland çimentosu yerine belirli oranlarda puzolanik ve bağlayıcı özelliğe sahip mineral katkı maddelerinin kullanılabilirliğine yönelik araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir (Tariq ve Nehdi, 2007; Erçikdi vd., 2008a,b). Ayrıca betonda çimento yerine bağlayıcı olarak, alkali kimyasallarla aktive edilmiş uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kullanılabilmesi belirtilmiştir (Jimenez vd., 1999; Roy, 1999; Atiş vd., 2009; Yang vd., 2008). Puzolanların aktive edilmesinde genellikle sıvı sodyum silikat, sodyum metasilikat, sodyum hidroksit, sodyum karbonat gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Jimenez vd. (1999), puzolanların aktive edilmesinde kimyasal tipinin, konsantrasyonunun, kür sıcaklığının ve cürufözgül yüzey alanının etkili olduğunu ifade etmiştir. Dolguda ise aktive edilmiş bağlayıcıların kullanımına yönelik çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Razavi ve Hassani, 2007).

Bu tür aktive edilmiş bağlayıcıların kullanımı; asit ve sülfat etkisi nedeniyle oluşan dayanım ve duraylılık kaybını engellemekte, enerji maliyetlerini ve CO₂ emisyonunu azaltmakta, çimentoya kıyasla daha hızlı ve yüksek dayanım kazanımı sağlamaktadır (Roy, 1999; Bakharev, 2002, 2003; Ehrenberg, 2005; Zivika 2007; Flower ve Sanjayan, 2007).

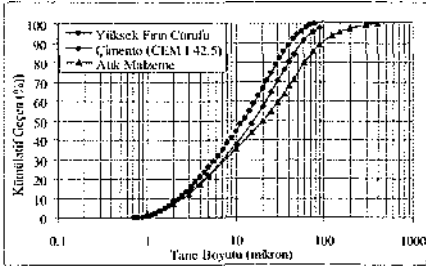
Bu çalışmada macun dolguda bağlayıcı olarak Portland çimentosu (CEM I 42.5) yerine aktive edilmiş yüksek fırın cürufunun (AAS) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı bağlayıcı oranı, kimyasal tipi, dozajı ve modül oranında hazırlanan macun dolgu numunelerinin 14-90 günlük kür süresi sonunda dayanım testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Atık ve Bağlayıcı Malzemeler

Atık örneği Çayeli Bakır İşletmeleri macun dolgu tesisi disk filtre çıkışından alınarak laboratuvara getirilmiş ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Yapılan tane boyut dağılımı analizine göre (Şekil 2) atığın 20 mikron altı malzeme içeriği %50 oranında olup, orta boyutlu macun dolgu malzemesi sınıfına girmektedir (Landriault, 1995). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nde yapılan kimyasal ve mineralojik analizinden atığın yaklaşık %75 oranında pirit içerdiği görülmektedir.

Bağlayıcı olarak CEM I 42.5 ve aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu (AAS) kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu (YFC), laboratuvarında önce bilyalı değirmende öğütülerek belirli bir inceliğe getirilmiş ve TS EN 196-2 ve TS EN 196-6'ya göre fiziksel ve kimyasal karakterizasyona tabi tutulmuştur (Şekil 2, Çizelge 1).



Şekil 2. Atık ve bağlayıcıların tane boyu dağılımı

Çizelge 1. Kullanılan bağlayıcılar ve atığın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri.

Kimyasal Bileşim	CEM I	YFC	Atık	Fiziksel Özellikler	CEM I	YFC,
	42.5, (%)				42.5, (%)	(%)
SiO ₂	20,31	40,80	12,85	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,01	2,86
Al ₂ O ₃	5,93	14,55	4,87	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4345	4300
Fe ₂ O ₃	2,82	0,83	48,68	+90 µm (%)	2,16	0,18
CaO	61,02	31,86	1,34	+45 µm (%)	15,84	8,02
Serbest CaO	1,14	-	-	+32 µm (%)	26,5	16,5
MgO	1,15	7,46	0,99			
SO ₃	2,95	2,38	1,43			
Na ₂ O	0,32	0,60	0,30			
K ₂ O	1,14	0,70	0,61			
TiO ₂	-	0,93	0,37			
Kızdırma Kaybı	3,78	<0,01	27,61			

Çalışmada yüksek fırın cürufunun aktifleştirilmesinde Ege Kimya San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen 2 modül, 40 Bomé (20 °C) ve yoğunluğu 1.38 g/cm³ olan sıvı sodyum silikat (LSS; Na₂O.2SiO₂) ile Merck kimyasallarından alınan %99.5 saffıkta granüle sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Aktivasyonda sıvı sodyum silikatın modül oranı (M_s=SiO₂/Na₂O), NaOH ile ayarlanmıştır.

2.2 Macun Dolgu Numunelerinin Hazırlanması

Atık malzeme, musluk suyu ve CEM I 42.5 ya da AAS, ASTM C 143-90'a göre belirlenen 7" slamp kıvam için belirli oranlarda karıştırılarak çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm olan plastik silindir numune kalıplara dökülmüş ve kür işlemi yaklaşık %85 nemli ortamda, 20°C'de gerçekleştirilmiştir. Yeraltına yerleştirilen macun dolgunun kendi stabilitesini sağlayabilmesi için 28 günlük kür süresi sonunda en az 0.7 MPa dayanım kazanması ve uzun dönemde dayanım kaybı istenmediğinden, çalışmada dayanım sınır değeri olarak 0.7 MPa esas alınmıştır.

2.3 Dayanım Testlerinin Gerçekleştirilmesi

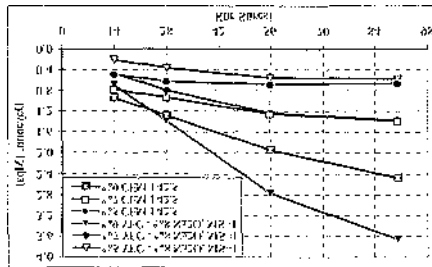
Çalışma kapsamında her bir malzeme grubundan üçer adet CPB numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra 14, 28, 56 ve 90 günlük kür süreleri sonunda, yüklenme

kapasitesi 50 kN olan bilgisayar kontrollü tek eksenli basınç ve deformasyon ölçer ünitesinde 0,5 mm/dk yükleme hızında CPB numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak her numune grubunun ortalama dayanımı hesaplanmıştır.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Bağlayıcı Oranının Etkisi

Şekil 3'te %5-9 bağlayıcı oranında CEM I 42.5 ve AAS kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin 14-90 günlük kür süreleri sonundaki dayanım sonuçları verilmiştir. Genel olarak kür süresi ve bağlayıcı oranının artması ile birlikte dayanım kazanımının da artış gösterdiği görülmüştür. %5-7 bağlayıcı oranında CEM I 42.5 kullanılarak hazırlanan numunelerin bütün kür sürelerinde daha yüksek dayanım ürettiği görülmektedir. Çalışmaya göre %7 bağlayıcı oranında CEM I 42.5 kullanılarak hazırlanan numuneler, AAS ile hazırlanan numunelere kıyasla 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda sırasıyla %18,49 ve %2,05 yüksek dayanım sonucu vermiştir. Ancak bağlayıcı oranının artması (%9 bağlayıcı oranında) ile birlikte AAS kullanılarak hazırlanan numuneler, CEM I 42.5'e göre 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda ortalama %9 ve %48 oranında yüksek dayanım üretmiştir.



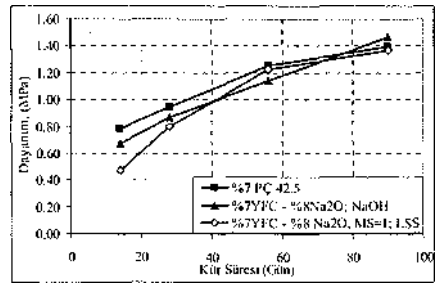
Şekil 3. Bağlayıcı oranının macun dolgu dayanımına etkisi

Bağlayıcı oranının artması ile macun dolgu dayanımının ve sülfat etkisine karşı dolgu duraylılığının arttığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Fall vd. 2008; Erçikdi vd. 2009).

3.2 Kimyasal Tipi ve Dozajının Etkisi

Şekil 4, %7 bağlayıcı oranında, aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (LSS) kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinin 14-90 günlük kür süreleri sonundaki dayanım sonuçlarını göstermektedir.

NaOH ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ile hazırlanan macun dolgu numuneleri, $M_s=1$ için LSS kullanılarak hazırlanan numunelere göre 14, 28 ve 90 günlük kür sürelerinde yüksek, 56 günlük kür süresinde ise düşük sonuç vermiştir. Dayanım artışı NaOH içeren numunelerde yaklaşık olarak lineerdir ve 90 günlük kür süresi sonunda CEM I 42.5 çimento ile hazırlanan numunelerden yüksek dayanım üretmiştir. LSS kullanılarak hazırlanan numunelerde bütün kür sürelerinde dayanım değerleri, CEM I 42.5 ile hazırlanan numunelerden düşüktür.



Şekil 4. Aktivatör tipinin macun dolgu dayanımına etkisi

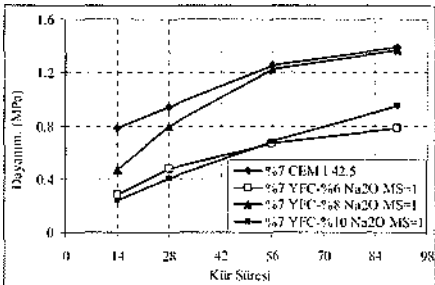
Atiş vd. (2009), puzolanların aktifleştirilmesinde kullanılan kimyasal tipinin önemli olduğunu ve sodyum silikat (LSS: $Na_2O \cdot 2SiO_2$), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum karbonat

(Na_2CO_3) kullanılarak aktiveştirilmiş yüksek fırın cürufunun genel olarak portland çimentosuna kıyasla daha yüksek dayanım ürettiğini belirtmiştir. Ayrıca LSS kullanıldığında diğer kimyasallara (NaOH ve Na_2CO_3) kıyasla yaklaşık 2,4 kat yüksek dayanım elde edildiğini ortaya koymuştur.

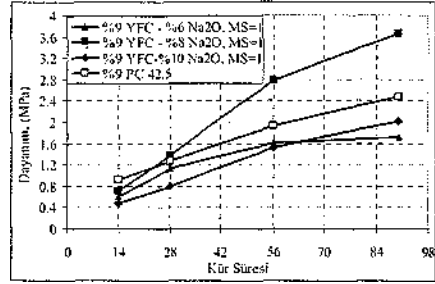
Razavi ve Hassani (2007), kum dolguya yönelik yapmış olduğu çalışmada, Portland çimentosu yerine aktiveştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanımının, 120 günlük kür süresi sonunda yaklaşık 2,5-3 kat daha yüksek dayanım kazanımı sağladığını belirtmiştir.

Bu çalışmada aktivator tipine yönelik yapılan çalışmadan elde edilen dayanım sonuçlarının literatürle örtüşmemesinin nedeni macun dolgu, kum dolgu ve beton sistemlerinin farklılığıdır. Çünkü bu sistemlerin her birinde katı oranı, su-çimento oranı, kullanılan malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile bağlayıcı içerikleri çok büyük farklılıklar arz etmektedir.

Şekil 5 ve Şekil 6, Na_2O içeriğinin yüksek fırın cürufunun bağlayıcılık özelliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Buna göre %7 (Şekil 5) ve %9 (Şekil 6) bağlayıcı oranı için 90 günlük kür süresi sonunda, %8 Na_2O içeriğine göre ($M_s=1$) AAS ile hazırlanan macun dolgu numuneleri %6 ve %10 Na_2O içeriğine göre hazırlananlara göre daha yüksek dayanım sonuçları üretmiştir.



Şekil 5. Na_2O içeriğinin %7 bağlayıcı oranı için etkisi



Şekil 6. Na_2O içeriğinin %9 bağlayıcı oranı için etkisi

%7 bağlayıcı oranında 90 günlük kür süresi sonunda AAS içeren numuneler CEM I 42.5 içeren numunelerden düşük dayanım sonucu üretirken, %9 bağlayıcı oranında AAS içeren numuneler CEM I 42.5 içeren numunelerle kıyaslandığında fark edilir bir dayanım artışı göstermiştir.

Al-Otaibi (2008), yaptığı çalışmada sabit bağlayıcı ve modül oranı için %4 ve %6 Na_2O içeriğine yönelik yaptığı çalışmada %6 Na_2O içeren numunelerde daha yüksek dayanım sonuçları elde etmiştir. Atış vd. (2009)'da yaptığı çalışmada, %4, %6 ve %8 Na_2O içeriği için en yüksek dayanım değerlerini LSS ile %8 Na_2O içeriğinde ($M_s=0,75-1$) hazırlanan numunelerde elde etmiştir.

Caldeira vd. (2003) ve Tagnit-Hamou vd. (2004), yaptıkları çalışmalarda yüksek pH değeri ($\text{pH}>13$) ve ortamda aşırı OH^- iyonları varlığında pirit oksidasyonunun hızlandığını ifade etmişlerdir. Burada da aynı bağlayıcı oranında %10 Na_2O içeren numunelerin %8 Na_2O içeren numunelere göre düşük dayanım üretmesinin, başlangıçta dolgu bünyesinin pH'nın yüksek olması nedeniyle dolgu bünyesinde bulunan pirit minerallerinin oksidasyonundan ve ortamdaki oksidasyon ürünlerinden kaynaklandığı söylenebilir.

4 SONUÇLAR

✓ Bu çalışmada AAS kullanılarak %7 bağlayıcı içeriğinde hazırlanan macun dolgu numuneleri ile eşik değer olan 0,7 MPa'dan daha yüksek dayanım sonuçları üretilmiştir.

✓ %7 ve düşük bağlayıcı oranlarında LSS ile aktifleştirilmiş bağlayıcı ile hazırlanan CPB numuneleri CEM I 42.5 ile hazırlanan numunelere göre 90 günlük kür süresi sonunda düşük dayanım sonuçları vermiştir. Ancak %7'den yüksek bağlayıcı oranında hazırlanan numuneler CEM I 42.5 ile hazırlananlara göre daha yüksek dayanım sonuçları elde edilmiştir.

✓ NaOH ile aktifleştirilmiş bağlayıcı ile hazırlanan CPB numuneleri 90 günlük kür süresinde CEM I 42.5 ile hazırlananlardan yüksek dayanım sonucu vermiştir ve dayanım artışı yaklaşık doğrusal bir eğilim göstermiştir.

✓ Na₂O oranı ve modül oranı aktifleştirme derecesinde ve bağlayıcı fazın etkinliğinde önemli etkiye sahiptir. Çalışmaya göre optimum Na₂O dozajı LSS için M_s=1 koşulunda %8 olarak elde edilmiştir.

Çalışmaya göre AAS macun dolguda bağlayıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca asit ve sülfat etkilerine karşı AAS'nin normal Portland çimentoya göre daha dayanıklı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, uzun dönemde macun dolguda görülen dayanım kayıplarının azaltılması potansiyeli bulunmaktadır. Dolayısıyla deneysel çalışmaların uzun dönemde de yapılması ve alkali aktifleştirmede etkili olan faktörlerin detaylı bir şekilde incelenmesi çok büyük önem taşımaktadır.

İnşaat ve madencilik endüstrisinde aktifleştirilmiş bağlayıcıların

kullanılması, doğal kaynaklarımızın ve dünyamızın korunmasına büyük katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Al-Otaibi, S., 2008. Durability of concrete incorporating GGBS activated by water-glass, *Construction and Building Materials*, 22, 10, s. 2059-2067.

Archibald, J. F., 1999. Beneficial Impacts of Paste Tailings on Environmental Hazard Mitigation and Engineering Performance Improvement, *International Mining and Environment Congress*, Peru, s. 537-548.

Atış, C. D., Bilim, C., Çelik, Ö., 2009. Karahan, O., Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar, *Construction and Building Materials*, 23, 1, s. 548-555.

Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 2002. Sulfate attack on alkali-activated slag concrete, *Cement and Concrete Research*, 32, s. 211-216.

Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., 2003. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, *Cement and Concrete Research*, 33, s. 1607- 1611.

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, s. 719-725.

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 Paste Backfill Systems, *Mining Engineering*, 46, 10, s. 1175-1178.

- Caldeira, C. L., Ciminelli, V.S.T., Dias, A., Osseo-Asare, K., 2003. Pyrite oxidation in alkaline solutions: nature of the product layer, *International Journal of Mineral Processing*, 72, s. 373-386.
- Ehrenberg, A., 2005. Cüruf Kullanımına Çevre Açısından Bakış, Granüle Yüksek Fırın Cürufu: CO₂ Emisyonları ve Enerji Tüketimi Yönlerinden Avantajları, *Çimento ve Beton Dünyası, Journal of TÇMB*, ISSN 1301-0859, 10-56, s. 36-51.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., Alp, İ., 2008a. Doğal puzolan özelliklerinin macun dolgunun dayanım ve duraylılığına etkisi, *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 29, 1, s. 25-35.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., 2008b. Atık Cam ve Uçucu Kül Katkılı Macun Dolgunun Dayanım Özellikleri, *IX Ulusal Kaya Mekanik Sempozyumu*, İzmir, s. 484-495.
- Erçikdi, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H., Alp, İ., 2009. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: importance of binder type and dosage, *Cement Concrete Composites*, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.01.008 (in press).
- Fall, M., Benzaazoua, M., Saa, E. G., 2008. Mix proportioning of underground cemented tailings backfill, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, s. 80-90.
- Flower, D. J. M., Sanjayan J. G., 2007. Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12, 5, s. 282-288.
- Jiménez, A. F., Palomo, J. G., Puertas, F., 1999. Alkali-Activated Slag Mortars - Mechanical Strength Behaviour, *Cement and Concrete Research*, 29, s. 1313-1321.
- Landriault, D.A., 1995. Paste Backfill Mix Design for Canadian Underground Hard Rock Mining, *Proceedings of the 97th Annual General Meeting of the CIM Rock Mechanic and Strata Control Session*, Nova Scotia, s. 652-663.
- Razavi, M., Hassani F. P., 2007. Strength Development and Characteristics of Sodium Silicate-fortified Sand Pastefill/The Effect of Binder Content- Sodium Silicate Concentration, and Pulp Density, *Minefill 2007*, Canada.
- Roy, D. M., 1999. Alkali-activated cements - Opportunities and challenges, *Cement and Concrete Research*, 29, s. 249-254.
- Tagnit-Hamou, A., Saric-Coric, M., Rivard, P., 2005. Internal deterioration of concrete by the oxidation of pyrrhotitic aggregates, *Cement and Concrete Research*, 35, s. 99-107.
- Tariq, A., Nehdi, M., 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, s. 155-166.
- Yang, K. H., Song, J. K., Ashour, A. F., Lee, E. T., 2008. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate, *Construction and Building Materials*, 22, 8, s. 1701-1707.
- Yılmaz, E., Kesimal, A., Erçikdi, B., 2003. Macun dolgu dayanımını ve duraylılığını etkileyen faktörler, *Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 28, s. 155-169.
- Zivica, V., 2007. Effects of type and dosage of alkaline activator and temperature on the properties of alkali-activated slag mixtures, *Construction and Building Materials*, 21, s. 1463-1469.

Cevher Hazırlama ve Metal Kazanımında Mikrodalga Enerji Kullanımı

Use of Microwave Energy in Mineral Processing and Metal Recovery

Ö. Y. Toraman
Niğde Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

ÖZET Mikrodalga enerjisi 300 MHz–300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik bir radyasyondur. Bu enerji; öğütme, liç işlemi, kavurma ve ergitme gibi cevher hazırlama ve metal kazanımında ön işlem olarak önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada; cevher hazırlama ve metal kazanımında mikrodalganın kullanımı ile ilgili bazı uygulamalar sunulmaktadır.

ABSTRACT Microwave energy is a nonionizing electromagnetic radiation with frequencies in the range of 300 MHz to 300 GHz. This energy has potential in mineral processing and metallurgical processes such as grinding, leaching, roasting and smelting as a pretreatment method.

This paper presents some applications on the use of microwave in mineral processing and metal recovery processes.

1. GİRİŞ

Mikrodalga, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınım olup, mikrodalga enerjisi 2.450 MHz için yaklaşık %50'lik, 915 MHz için yaklaşık %85'lik bir dönüşüm verimiyle elektrik enerjisinden elde edilmektedir. Başlangıçta gıda, kimya ve kâğıt sanayine yönelik araştırma ve uygulamaları söz konusuysen daha sonraları cevher

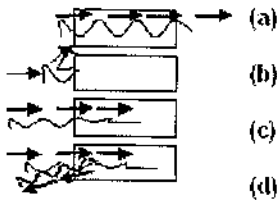
hazırlama ve metalürji sanayinde de mikrodalga kullanılması önerilmeye başlanmıştır (Standish ve Worner, 1990; Kingman ve Rowson, 1998).

Bu çalışmada; mikrodalga ile ısıtmanın temel prensipleri kısaca ele alınmış ve cevher hazırlamadaki uygulamaları (öğütme, ve liç gibi) üzerinde durularak endüstriyel uygulamaları olanakları tartışılmıştır.

2 MİKRODALGA İLE ISITMANIN TEMEL PRENSİPLERİ

Mikrodalgalar, iyonik parçaların göçü ve/veya dipolar parçaların rotasyonu ile moleküler harekete sebep olurlar. Bir malzemeyi mikrodalga ile ısıtma, büyük oranda malzemenin tüketme faktörüne bağlıdır. Bu faktör malzemenin dielektrik sabitine, dielektrik kaybının oranı olarak ifade edilir. Dielektrik sabiti, malzemenin mikrodalga enerji içinden geçmesi esnasında alıkoyma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise malzemenin enerjiyi tüketme kabiliyetinin bir göstergesidir. Diğer bir ifade ile "kayıp faktörü" giren mikrodalga enerjisinin malzeme içinde ısı olarak tükenmesiyle kayıp olma miktarını vermektedir. Bu nedenle, yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerji ile kolaylıkla ısıtılabilir.

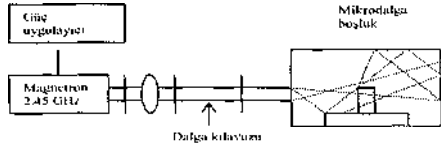
Mikrodalgalar yüzeyden yansıma yaparlar ve bu nedenle metalleri ısıtmazlar. Genelde metaller yüksek iletkenliğe sahiptirler ve iletken olarak sınıflandırılırlar. İletkenler mikrodalgalar için sık sık dalga rehberi olarak kullanılırlar. Mikrodalgalara karşı geçirimsiz olan malzemeler yalıtkan olarak sınıflandırılırlar. Yalıtkanlar mikrodalga fırınlarında malzemenin ısıtılmasını desteklemek için kullanılırlar. Mikrodalga enerjisi mükemmel soğurucu (absorbe edici) olan malzemeler kolaylıkla ısıtılırlar ve dielektrikler olarak sınıflandırılırlar. Şekil 1'de bu



Şekil 1. Malzeme ile mikrodalganın etkileşimi a) geçirimsiz b) iletken c) soğurucu d) karna.

Mikrodalga ısıtma sistemi dört temel bileşen ile yapılmaktadır. Bunlar;

1-Güç Uygulayıcı 2-Magnetron 3-hedef malzemenin ısıtılması için Boşluk (Kaviti) (örn. Fırın) ve 4-jeneratörden gelen mikrodalgaları fırına ileten Dalga-Kılavuzu'dur. Şekil 2'de mikrodalga ısıtma sisteminin şematik gösterimi sunulmaktadır.



Şekil 2. Mikrodalga ile ısıtma sisteminin şematik gösterimi.

3 MİKRODALGA ISITMANIN CEVHER HAZIRLAMADA KULLANIMI

Mikrodalga ile ısıtmanın, cevher hazırlama ve ekstraktif metalürji endüstrisinde gün geçtikçe artan kullanım için teşvik edilmesinin nedenleri şunlardır (Kingman ve Rowson, 1998):

- Temassız ısıtma
- Enerji transferi
- Hızlı ısınma
- Seçimli ısınma
- Volumetrik ısınma
- Hızlı çalıştırma ve durdurma
- Mineral/cevherin içerisinden başlayan ısıtma
- Yüksek güvenlik ve otomasyon

Mikrodalga ile ısıtma cevher hazırlamada bir işlem olarak şu şekilde uygulanabilmektedir (Haq, 1999):

- Cevherlerin öğütülmesi
- Liç öncesi işlemler
- Diğer

Aşağıda öncelikle cevher/minerallerin mikrodalga ile ısınma özellikleri belirtilecek daha sonra potansiyel uygulama alanlarına dönük yapılan çalışmalara yer verilecektir.

3.1 Cevherlerin Mikrodalga ile Isıtılması

İlk olarak, 1967 yılında Ford ve Pei (1967) tarafından oksitli ve sülfürlü mineral bileşiklerin ısıtılmasında mikrodalga uygulanmış, 2.450 MHz'de yapılan deneysel çalışmalara göre, koyu renkli bileşiklerin açık renkli bileşiklere kıyasla daha yüksek sıcaklığa eriştiği (1000°C) ve koyu renkli bileşiklerin ısınma hızlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Daha sonra ise bazı metal oksitlerin mikrodalga ile ısınma davranışı Wong (1975) ve Tinga (1989) tarafından araştırılmış ve malzemelerin;

- Hiper aktif
- Aktif
- Isıtılması zor
- Aktif olmayan

şeklinde dört gruba ayrılabilceği (Çiz. 1) belirtilmiş, mikrodalga enerjisinin minerallerin ve inorganik bileşiklerin ısıtılmasında etkin olabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 1. Bazı mineral ve inorganik bileşenlerin mikrodalga ısınma hızı.

Malzeme Sınıflaması	Bileşim	Isınma Hızı ~°C/sn.	Sıc. (°C)
a. Hiper aktif	UO ₂	200	1.100
	MoS ₂	150	900
	C	100	1.000
	Fe ₃ O ₄	20	500-1.000
	FuS ₂	20	500
	CuCl	20	450
b. Aktif *	Ni ₂ O ₃	400	1.300
	Co	300	900
	CuO	200	800
	Fe ₂ O ₃	170	1.000
	FeS	135	800
	CuS	120	600
c. Isıtılması zor *	Al ₂ O ₃	80	1.900
	PbO	70	900
	MgO	33	1.300
	ZnO	25	1.100
	MoO ₃	15	750
d. Aktif olmayan *	CaO	5	200
	CaCO ₃	5	130
	SiO ₂	2-5	70

* Isınma hızları ~°C/dak.

Yine, Chen vd. (1984) tarafından 40 mineral üzerinde ayrı ayrı yapılan mikrodalga (2.450 MHz) ile ısıtma testleri sonucunda;

1-Çok az ısının oluştuğu (ya da hiç oluşmadığı) ve mineral özelliklerinin değişmediği,

2-Isının oluştuğu ve minerallerin termal olarak stabil kaldığı veya hızla farklı bir ürüne dönüştüğü,

iki temel mineral gruplaması yapılmıştır.

Elde edilen bu sonuçlara göre; Çoğu silikat, karbonat, sülfat ve bazı oksitli ve sülfürlü minerallerin mikrodalgayı geçirimli 1.grupta (Çiz. 2), Hematit, manyetit ve kasiterit gibi bazı metal oksitler ile çoğu sülfidler, sülfotuzları ve arsenidlerin ısınmanın hızla gerçekleştiği 2.grupta (Çiz. 3) yer aldığı, tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Mikrodalga ısınma karşı geçirimli mineraller (Chen vd., 1984).

Mineral Sınıflaması	Mineraller / Bileşikler
Karbonatlar	Aragonit, kalsit, dolomit, siderit
Silikatlar	Almandin, allanit, anortit, gadolinit, muskovit, potasyum feldispat, kuvars, titanit, zirkon
Sülfatlar	Barit, jips
Diğerleri	Fergusonit, monazit, sfalerit, stibnit

(2450 MHz, 150 W, 5 dak. maruz kalma süresi)

Çizelge 3. Çeşitli cevher mineralleri için mikrodalga ısıtma analiz sonuçları (Chen vd., 1984).

Mineral	Güç(W)	Isınma	Ürün
Kasiterit	40	Hızla ısınır	Değişmez
Hematit	50	Hızla ısınır	Değişmez
Manyetit	30	Hızla ısınır	Değişmez
Bornit	20	Hızla ısınır	Bazen değişir
Kalkopirit	15	Hızla ısınır	Cu-Fe sülfür, S dumanı
Galen	30	Hızla ısınır	Sinterleşme
Arsenopirit	80	Isınır	S ve As dumanı
Pirit	30	Hızla ısınır	Pirotit ve S dumanı
Pirotit	50	Hızla ısınır	Etkilenmez

(2.450 MHz, 3-5 dak. uygulama süresi)

Walkiewicz vd, (1988) tarafından *US Breau of Mines* (ABD) adına yapılan deneysel çalışmalarda ise;

i-En yüksek sıcaklıkların manyetit, pirit, kalkopirit gibi oksitli ve sülfürlü minerallerde elde edildiği,

ii-Kuvars, kalsit ve feldspat gibi gang minerallerinin ısınmadığı,

iii-Mikrodalgaya karşı geçirimli fazda mineral bağ yapıları boyunca mikro-çatlak oluşturmak için yeterli büyüklükte bir termal gerilme oluştuğu,

iv-Bu tür mikro-çatlamaların gerek liç verimini gerekse öğütülebilirliği artırma potansiyeline sahip olduğu,

sonuçlarına ulaşılmıştır.

Chunpeng vd, (1990) bazı oksitli, sülfürlü ve karbonatlı minerallere mikrodalga ısıtma uygulamış, toz haline getirilmiş numuneler (-75 µm) ile yapılan testlerden Çizelge 4'te belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, oksitli ve sülfürlü minerallerin çoğunun mikrodalga ile iyi ısındığını göstermektedir.

Çizelge 4. Mikrodalga ısıtmanın çeşitli minerallerin ısınmasına etkisi.

Mineraller	Kimyasal Bileşim	Erişilen Sıcaklık, (°C)
Hematit	Fe ₂ O ₃	>980
Kasiterit	SnO ₂	>900
Bornit	Cu ₃ FeS ₄	>700
Manyetit	Fe ₃ O ₄	>700
Galen	PbS	>650
Molibdenit	MoS ₂	>510
Kalkopirit	CuFeS ₂	>400
Pirotit	Fe ₂₋₃ S	>380
Serpantin	Mg(Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)	>200
Serüzit	PbCO ₃	>180
Sfalerit	ZnS	>160
Siderit	FeCO ₃	>160
Limonit	mFeCO ₃ .nH ₂ O	>130
Smitsonit	ZnCO ₃	>48
Stibnit	Sb ₂ S ₃	Oda sic.
Rutil	TiO ₂	Oda sic.

(2450 MHz, 500 W, 4 dk. maruz kalma süresi)

Yine, McGill vd, (1988) tarafından

yapılan çalışma sonuçları, uygulanan güç seviyesinin artmasıyla birlikte düşük kayıp faktörlü minerallerin (SiO₂, CaCO₃) aksine yüksek kayıplı minerallerin (PbS, Fe₃O₄) ısınma hızının da hızla arttığını göstermektedir (Çiz. 5).

Çizelge 5. Bazı minerallerin uygulanan mikrodalga güç seviyesine göre ısınma hızları.

Mineral	Uygulanan Güç			
	0,5 kW	1 kW	1,5 kW	2 kW
Erişilen sıcaklık, °C				
Manyetit	1.118	1.114	1.123	905
Galen	984	992	-	-
Kalkopirit	908	930	1.500	1.200
Pirit	698	800	700	375
Sfalerit	139	236	1.200	1.200
Kromit	110	1.200	1.200	1.200
Zinkit	87	128	184	301
Rutil	67	109	150	228
Kuvars	33	44	55	73
Kalsit	32	42	51	55

3.2 Cevherlerin Öğütülmesinde Mikrodalga Kullanımı

Mikrodalga enerjinin cevher hazırlamadaki en önemli uygulaması, ufalama (kıırma ve öğütme) enerjisini düşürecek cevher minerallerindeki termo-mekanik gerilmeler oluşturarak kayaç mukavemetinin azaltılması ve dolayısıyla öğütülebilirliğin artırılmasıdır. Oldukça enerji-yoğun bir faaliyet olan boyut küçültme işlemlerinin, cevher hazırlama/zenginleştirme maliyetlerinin yaklaşık %50-70'ine karşılık geldiği (Walkiewicz vd, 1988) düşünüldüğünde konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Cevher içerisindeki farklı mineraller elektromanyetik alana yerleştirildiklerinde farklı özellikler gösterir. Belirli bir güç seviyesi, frekans ve sürede mikrodalgaya maruz bırakılan cevher içerisindeki bazı mineraller diğerlerinden (geçirimli minerallerden) daha hızlı ısınır. Bu farklı ısınma hızları ile oluşan farklı termal gradyanlar malzemede belirgin gerilmeler

oluşturmaktadır. Mikrodalga ısıtma destekli boyut küçültme işlemi, özellikle cevher yapısında mikrodalgayı absorbe eden kıymetli mineralin geçirimli gang mineralinin içinde bulunduğu durumlarda artan termal gerilmeler dolayısıyla çok daha etkin olabilmektedir. Oluşan bu termal gerilmeler, mineral tane doku sınırları boyunca kayacı zayıflatan mikro çatlaklara sebep olmaktadır (Kingman vd, 1999). Bu şekilde, cevherlerin fiziksel özelliklerinin değiştirilmesiyle ufalama enerjisinde önemli düşüşler elde etmek mümkündür. Mikrodalga ısıtma ile öğütme enerjisinde elde edilecek düşüşlerin yanı sıra;

- Öğütme kapasitesinde artış ve değirmen astar aşınmalarında azalma,

Çizelge 6. Çeşitli cevherler üzerinde uygulanan mikrodalga destekli öğütme çalışmaları.

Cevher	Mikrodalga uygulama şartları	Elde edilen sonuçlar	Kaynak
Demir cevheri	3 kW	İş İndeksinde %10-24 azalma	Walkiewicz vd.,1991
Masif ilmenit cevheri (Norveç)	2.6 kW, 30 sn.	İş İndeksinde %90 azalma	Kingman vd., 1999
Masif sülfürlü bakır cevheri (Portekiz)	2.6 kW, 10-240 sn.	Öğütülebilirlikte %70 artış	Vorster vd., 2001
Kurşun-çinko cevheri (İsviçre)	1) 5-15 kW, 1-10 sn. 2) 5-10 kW, 0.1-1 sn.	Basınç dayanımında (nokta yük) %50, özgül kırılma enerjisinde %60 azalma	Kingman vd., 2004a
Karbonatlı bakır cevheri (Güney Afrika)	5-15 kW, 0.1-1 sn.	Basınç dayanımında %30 ve özgül kırılma enerjisinde %40 azalma, tane serbestleşmesinde %100 artış	Kingman vd., 2004b
Karbonatlı bakır cevheri (Palabora-G. Afrika)	3-15 kW, 0.5 sn.	İş indeksinde %73-83 azalma, tane serbestleşmesinde %120 artış	Sahyoun vd., 2004
Kurşun-çinko cevheri (Türkiye)	0.8 kW, 60 s.	Basınç dayanımında %50 azalma, öğütülebilirlikte artış	Toraman ve Çayırh, 2008

3.3 Liç Proseslerinde Mikrodalga Kullanımı

Liç teknolojileri günümüzde konvansiyonel ergitme tekniklerine alternatif oluşturmaktadır. Liç prosesinde metal kazanımını artırmak ve aktivasyon enerjisini azaltmak üzere mikrodalga enerji

▪ Değirmen ürün boyutunun daha iyi kontrolü ve tane serbestleşmesinde artış (dolayısıyla artan metal kazanma verimi),

- Şlam oluşumunda azalma,
- Daha az su tüketimi (daha az öğütme gerektiğinden),
- Öğütülmüş ürünlerin fiziko-kimyasal özelliklerinin değişikliğe uğraması,

gibi pek çok avantaj elde etmek mümkündür (Whittless vd, 2003; Kingman vd, 2004b). Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları Çizelge 6'da kısaca özetlenmektedir.

uygulaması gittikçe ilgi uyandırmaktadır. Pirometalürjinin en önemli uygulaması olan bakır konsantreleri için ferrik sülfat liçi henüz laboratuvar ölçeğinde uygulanmaktadır. Çok düşük reaksiyon hızı, uzun maruz kalma süreleri ve düşük bakır kazanımı gibi problemlere karşın bakır konsantrelerinden bu yöntemle yüksek saflıkta bakır kazanımı

mümkün olabilmektedir. Mikrodalga ile ısıtmanın konvansiyonel ısıtmadan farkı ise yüksek ısıtma hızı ve daha yüksek çözünme hızı elde edilebilmesidir. Bu konuda yapılan belli başlı çalışmalar Çizelge 7'de özetlenmektedir.

3.3.1 Refrakter Altın Konsantrelerinde Mikrodalga Kullanımı

Bilindiği gibi; altın soy elementtir ve bu yüzden doğada çoğunlukla saf metalik formda bulunur. Siyanür liçi

ile altın kazanımının mümkün olduğu cevherler önce uygun boyuta (-30 μm) öğütülmektedir. Daha sonra su ile karıştırılarak mekanik veya hava karıştırılmalı tanklarda siyanürle muamele edilmektedir. Nihai olarak çözeltiden altın, karbon adsorpsiyonu veya çinko çöktürülmesi yöntemleri ile kazanılmaktadır. Ancak, refrakter altın cevherlerinde bu yöntemle altın kazanımı mümkün değildir.

Çizelge 7. Mikrodalga destekli bazı liç çalışmaları ve elde edilen sonuçlar.

Cevher	Uygulama	Mikrodalga şartları	Elde edilen sonuçlar	Kaynak
Oksitli ve sülfürlü bakır cevheri (%1.6 Cu)	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeCl}_2$ liçi	0.6 kW, 10 dk.	%86 bakır kazanımı	Krusei ve Frahm, 1982
Bakır cevheri (%24 Cu)	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ liçi	1 kW, 10 dk.	%30 bakır kazanımı	Walkiewicz vd, 1988
Pentlandit konsantresi	Ferrik klorür liçi	0.5 kW, 14-17 dk.	~%99 nikel kazanımı	Chunpeng vd, 1990
Çinko (sfalerit) cevheri	Asidik ferrik klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot \text{HCl}$) liçi	0.65 kW, 1 saat	%90 çinko kazanımı	Peng ve Liu, 1992
Bakır (kalkopirit) cevheri	Sülfürik asit (H_2SO_4) liçi	7 kW, 915 MHz (pilot ölçekli), 13 dk	%70 bakır kazanımı	Antonucci ve Correa, 1995
Kompleks sülfürlü bakır konsantresi	FeCl_3 liçi	0.7 kW, 45 dk. liç	>%99 bakır kazanımı	Weian, 1997
Molibden konsantresi	H_2SO_4 liçi	0.47-0.85 kW, 15 dk. liç	%95 bakır kazanımı	Yianatos ve Antonucci, 2001
Bakır (kalkopirit) konsantresi	$\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$ liçi	0.9 kW, s saat	%34 bakır kazanımı	Popovicova ve Havlik, 2001
Bulk konsantre (sfalerit ve pirit)	Sülfürik asit liçi	0.36 kW, 6 dak.	>%90 çinko kazanımı	Krishnan vd, 2007

Refrakter altın içeren cevherleşmelerde çoğunlukla pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS) ve pirit ($\text{Fe}_{(x-1)}\text{S}_x$) gibi sülfürlü mineraller bulunur. Genellikle, refrakter altın cevher veya konsantrelerini alkali siyanür liçiyle altın kazanımına hazırlamak için kavurma, O_2 -basınç liçi veya bakteri liçi ön işlemlerine tabi tutulmaktadır (Haque, 1987). Sülfürlü minerallerin

mikrodalga ile kolayca ısıtıldıkları göz önüne alındığında, sülfürlü refrakter altın konsantrelerinin mikrodalga ile ön işlemi avantaj sağlamaktadır. Örneğin, arsenopiritik refrakter altın konsantreleri üzerinde yapılan laboratuvar ölçekli deneylerde 550 °C'de demir hematite (Fe_3O_4) okside olurken, As ve S'nin %80'den fazla kısmı As_2O_3 ve SO_2

olarak buharlaştırılmış, %98 Au ve %60 Ag kazanma verimiyle elde edilmiştir (Haque, 1987).

Yine, karbonatlı altın cevheri, bazı götit içerikli altın atıkları da mikrodalga ısıtma ile kolayca işlenmektedir. Kanada'da EMR firması tarafından çeşitli tipteki refrakter altın cevherleri, konsantre ve atıkları üzerinde pilot ölçekli mikrodalga önışlemleri uygulanmaktadır.

3.4 Diğer Uygulama Alanları

Cevher hazırlamada uygulama alanı bulabilecek mikrodalga destekli diğer bazı araştırma çalışmaları ise şu şekilde özetlenebilir:

- Sülfür konsantrelerini kavurma ve eritme
- Siderit, ilmenit gibi mincrallerin manyetik özelliklerinin modifikasyonu
- Vermikülit ve flogopitin eksfoliyasyonu (genleştirme)
- Flogopitten potasyumun uzaklaştırılması
- Talktaki demir içeriğinin uzaklaştırılması
- Boksit ve talk cevherindeki karbon içerikli safsızlıkların uzaklaştırılması
- Kömürdeki kükürdün giderimi
- Kömürden metalürjik kok üretimi

4 MİKRODALGANIN ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKTE UYGULANABİLİRLİĞİ

1990'lı yılların sonlarında başlayan ve mikrodalğanın malzeme ile nasıl bir etkileşim gösterdiğinin, dielektrik özelliklerin sıcaklık ve malzeme içeriğiyle nasıl değiştiğinin anlaşılması

yönündeki çabalar yoğunlaşırken, mikrodalga enerjisinin endüstriyel uygulamalarına dönük çalışmalar henüz çok yenidir ve bu teknolojiyi uygulamak üzere pek çok ilave araştırmanın yürütülmesi gerekmektedir.

Mikrodalga enerjisinin madencilik sektöründe endüstriyel olarak uygulanabilmesinin önünde aşağıda belirtilen bazı temel zorluklar bulunmaktadır (Kingman, 2006):

- Homojen ısıtma
- Taşıma/besleme sistemleri
- Enerji maliyetleri
- Madenciliğin kendine özgü problemleri (kirliliği ve tozlu ortam, yerleşime uzaklık vs.)

4.1 Homojen Isıtma Zorluğu

Mikrodalga ile muamelenin derecesini doğru tespit etmek için mikrodalga rezonans boşluk (cavity) elektrik alan modelinin optimize edilmesi son derece önemlidir. Çoğu ev tipi mikrodalga fırınlarda olduğu gibi (döner tabla veya karıştırıcılar ile homojen ısıtma sağlanmaktadır) homojenlik, endüstriyel uygulamalar (kırama/ufalama veya altın konsantreleri için kavurma işlemi gibi) için de son derece önemlidir. Kayaçlardaki bünye farklılıkları sebebiyle malzemenin dielektrik özellikleri dakikada pek çok kez değişeceği ve bu sebeple cevher hazırlamada homojen ısınmayı sağlamanın ciddi bir problem oluşturacağı düşünülmektedir. Bunun için fizik, elektrik-elektronik, cevher hazırlama ve kimya mühendisliği gibi farklı disiplinlerin bir araya gelmesiyle çok-disiplinli çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

4.2 Taşıma Sistemleri

Madencilik sektörü açısından konveyör

taşıma sistemlerinin mikrodalga sistemlere uyarlanması zor olmakla birlikte mümkündür (McGill vd, 1988). Cevher, gravite etkisiyle düşey beslenerek ve vibratör konveyörle boşaltma hızı kontrol edilerek besleme kontrolü sağlanabilecektir.

4.3 Yüksek Enerji Maliyetleri

Mikrodalga teknolojisinin madencilikte endüstriyel kullanım olanağı bulabilmesinin önündeki en büyük zorluk şüphesiz gerekli olan enerjinin minimize edilmesidir. Bu özellikle mikrodalga destekli öğütme için çok daha önem arz etmektedir.

Isıtılan fazdan malzemeye doğru ısı transferinin minimize edilmesiyle birlikte, cevher içerisindeki gerilmelerin hızı çok belirgin olacaktır. Pratikte bunu yapmanın en iyi yolu ise çok kısa sürede uygulanacak yüksek elektrik alan gerilimli mikrodalga enerji kullanmak ve mikrodalga enerjii yüksek güç-kısa süre uygulamanın esas yolu ise darbe kullanımından geçmektedir. Darbeli mikrodalga enerji kullanımı oldukça yaygındır (partikül hızlandırıcılar, radar sistemleri ve kanser terapi cihazları gibi). Enerjinin depolanması ve hızla boşaltılmasıyla bu sistemler düşük ortalama güçlerde (100 kW) çok yüksek pik güçler (100 MW) üretebilmektedir (Kingman, 2006).

Toplam enerji tüketimi; mikrodalga gücün, uygulama süresinin ve boşluktaki kütlelerin bir fonksiyonu olduğundan (Eşitlik 1) bütün olarak mikrodalga enerji tüketimi düşük olabilecektir. Cevherler üzerinde darbeli mikrodalga enerji uygulaması şüphesiz bu alandaki gelecek araştırmaları da olumlu etkileyecektir.

$$E = G \times (U/3600) \times (1000/m) \quad (1)$$

- E : Mikrodalga enerji girişi (kWs/ton)
G : Uygulanan güç (kW)
t : Maruz kalma süresi (saniye)
m : Malzemenin kütlesi (kg)

4.4 Madencilğin Kendine Özgü Zorlukları

Şu an için mevcut endüstriyel çaptaki mikrodalga enerji uygulamaları gıda işleme fabrikaları gibi nispeten sorunsuz üretim alanlarında gerçekleştirilmektedir. Madencilikte ise durum oldukça farklıdır ve toz, kirli ve yerleşim alanlarından uzak üretim faaliyetleri dolayısıyla, bu tür bir endüstriden beklenen talepleri karşılamak isteyen mikrodalga ekipman üreticilerinin göz önünde bulundurmaları gereken bir husus olarak değerlendirilmektedir (Kingman, 2006).

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Mikrodalga enerji; ısıtma, kurutma, öğütme, liç, kavurma, eritme ve refrakter altın konsantrasyonlarının ön işleme gibi cevher hazırlama/zenginleştirme ve metal kazanım işlemleri için potansiyel bir yöntem olmaktadır. Mikrodalga enerji, düşük dönüşüm veriminden dolayı (2.450 MHz için %50) elektrik enerjisinden daha pahalıdır. Ancak, mikrodalga ısıtma verimi klasik ısıtma yöntemlerinden çok daha yüksektir ve böylece enerji maliyetinin karşılanabilmesi mümkün olabilmektedir.

Genel olarak, cevher hazırlama tesislerinde günlük tonlarca (birkaç binden 100.000'e kadar) cevher veya konsantrasyon işlenmektedir. Şu an için elde edilebilir en yüksek güç jeneratörü 915 MHz frekansta 75 kW civarındadır. Yüksek kapasitelerde mikrodalga enerjinin kullanımı, birden fazla güç jeneratörü kullanılarak mümkün olabilir. Bu durumda yatırım maliyeti

dezavantajı olmaktadır. Ancak, daha yüksek ürün kazanıma verimi refrakter altın konsantrelerinin ön arıtımı, cevher/konsantreler için uygulanan kavurma ve ergitme gibi klasik proseslerde bir maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca, pülp veya yarı katı karışım formunda (kek kıvamında) mikrodalga enerji uygulamak mümkündür.

Cevher hazırlama dahil günümüz proses endüstrileri artan küresel rekabet, çevre açısından daha sıkı uygulanan yasal düzenlemeler ve artan yüksek maliyetler ile karşı karşıyadır. Bu olumsuzluklar ancak performans ve ürün veriminin artırılması ile ortadan kaldırılabilecektir. Bu nedenle, yakın bir gelecekte mikrodalga enerji esaslı prosesler daha da önem kazanacaktır.

KAYNAKLAR

- Antonucci, V., Correa, C., 1995. *Sulphuric acid leaching of chalcopyrite concentrate assisted by application of microwave energy*, Proceedings of COPPER 95-COPRE 95 International Conference. Electrowinning and Hydrometallurgy of Copper, Vol.3. The Metallurgical Society of CIM, Santiago, Chile, pp.549-557.
- Chen, T.T., Dutrizac, J.E., Haque, K.E., Wyslouzil, W., Kashyap, S., 1984. *The relative transparency of minerals to microwave radiation*, Canadian Metallurgical Quarterly, 23 (3), 349-351.
- Chunpeng, L., Yousheng, X., Yixin, H., 1990. *Application of microwave radiation to extractive metallurgy*, China J. Met.Sci.Techn., 6(2), 121-124.
- Ford, J.D., Pei, D.C.T., 1967. *High temperature chemical process via microwave absorption*, Journal of Microwave Power, 2(2), 61-64.
- Haque, K.E., 1987. *Microwave irradiation pre-treatment of refractory gold concentrate*, Proc. Int. Symposium on Gold Metallurgy, Winnipeg, Canada, pp.327.339.
- Haque, K.E., 1999. *Microwave energy for mineral treatment processes, a brief review*. International Journal of Mineral Processing, 57, pp.1-24.
- Kingman, S.W. and Rowson, N.A., 1998. *Microwave treatment of minerals-a review*. Minerals Engineering, Vol.11, No.11, pp.1081-1087.
- Kingman, S.W., Vorster, W., Rowson, N.A., 1999. *The influence of mineralogy on microwave assisted grinding*, Minerals Engineering, 13 (3), 313-327.
- Kingman, S.W., Jackson, K., Bradshaw, S.M., Rowson, N.A., Greenwood, R., 2004a. *An investigation into the influence of microwave treatment on mineral ore comminution*, Powder technology, 146, 176-184.
- Kingman, S.W., Jackson, K., Cumbane, A., Bradshaw, S.M., Rowson, N.A., Greenwood, R., 2004b. *Recent developments in microwave-assisted comminution*, Int.J.Mineral.Process, 74, 71-83.
- Kingman, S.W., 2006. *Recent developments in microwave processing of minerals*, Int. Materials Reviews, 51 (1).
- Krishnan, K.H., Mohanty, D.B., Sharma, K.D., 2007. *The effect of microwave irradiations on the leaching of zinc from bulk sulphide concentrates produced from Rampura-Agucha tailings*, Hydrometallurgy, 89, 332-336.

- Krusei, P.R., Frahm, V.H., 1982. *Process for the recovery of copper from its ores*, US Patent 4324582.
- McGill S.L., Walkiewicz, J.W., Smyres, G.A., 1988. *The effect of power level on the heating rate of selected chemical and minerals*, Materials Research Society Symposia Proceedings, 124, 247-252.
- Peng, J., Liu, C., 1992. *The kinetics of ferric chloride leaching of sphalerite in the microwave field*, J. Of China Nonferrous Metals, 2(1), 46-49.
- Popovicova, M., Havlik, T., 2001. *Microwave leaching of chalcopyrite*, Acta Metallurgica Slovaca, 7 (1), 27-33.
- Sahyoun, C., Kingman, S.W., Rowson, N.A., 2004. *High powered microwave treatment of carbonate copper ore*, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 4 (3), 175-182.
- Standish, N., and Worner, H., 1990, *Microwave application in the reduction of metal oxides with carbon*, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 25(3), 177-180.
- Tinga, W.R., 1989. *Microwave dielectric constants of metal oxides*, Electromagnetic Energy Reviews, 2(1), 349-351.
- Toraman, Ö.Y., Çayırılı, S., 2008. *Microwave preheating of sulfide lead-zinc ore*, Proceeding of the 11th International Mineral Processing Symposium, 21-23 October 2008, p.191-197, Belek-Antalya.
- Vorster, W., Rowson, N.A., Kingman, S.W., 2001. *The effect of microwave radiation upon the processing of Neves Corvo copper ore*, Int.J.Miner. Process, 63, 29-44.
- Walkiewicz, J.W., Clark, A.E., McGill, S.L., 1991. *Microwave-assisted grinding*, IEEE Transactions on Industry Applications, 27 (2), 239-243.
- Walkiewicz, J.W., Kazonich, G., and McGill, S.L., 1988. *Microwave heating characteristics of selected minerals and compounds*. Minerals and Metallurgical Processing, Feb., 39, 39-42.
- Weian, D., 1997. *Leaching behaviour of complex sulphide concentrate with ferric chloride by microwave irradiation*, Rare Metals, 16 (2), 153-155.
- Whittless, D.N., Kingman, S.W., Reddish, D.J., 2003. *Application of numerical modeling for prediction of the influence of power density on microwave-assisted breakage*, Int.J. Miner. Process., 68, 71-91.
- Wong, D., 1975. *Microwave dielectric constants of metal oxides at high temperatures*, MSc. thesis. Univ. of Alberta, Canada.
- Yianatos, J.B., Antonucci, V., 2001. *Molybdenite concentrate cleaning by copper sulfation activated by microwave*, Minerals Engineering, 14 (11), 1411-1419.

Diğer

Uyum Analizi ile Türkiye Taş Kömürü Kurumu Ocaklarındaki İş Kazalarının İncelenmesi

Investigation of Occupational Accidents in the Mines of Turkish Hardcoal Enterprises by using Homogeneity Analysis

M. Önder, E. Adıgüzel

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Madencilik sektörü, iş kazaları açısından bakıldığında, en riskli iş koileri arasında başta gelmektedir. Meydana gelen iş kazalarını önleyebilmenin önemli bir parçası da, geçmişe yönelik olarak kaza analizi yapmak ve elde edilen bilgiler doğrultusunda önlemler almaktır. Bu çalışmada, Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) müesseselerinde 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazaları incelenmiştir. Kazalar, bölge, yaş grubu, meslek grubu ve kaza nedenlerine göre sınıflandırılmış ve SPSS® 11.5 paket programı ile değerlendirilmiştir. Çalışmada uyum analizi kullanılarak çoklu etkileşimler araştırılmış ve tüm müesseselerde meydana gelmiş olan iş kazalarının en önemli risk faktörleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ölümlü iş kazalarından en çok etkilenen meslek gurubunun üretim işçisi olduğu ve ayrıca, göçük ve metan patlamalarının da ölümlü iş kazalarının oluşumunda en önemli faktörler arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT Coal industry is among one of the riskiest industries when considered in terms of occupational accidents. One way to prevent these occupational accidents is to do a retrospective accident analysis and take precautions using the information. In this study, fatal occupational accidents occurring in Turkish Hardcoal Enterprises between the years 1980-2004 were examined. The accidents were categorized in terms of region, age group, occupation and accident reasons and evaluated using SPSS® 11.5 package program. In the study, multiple interactions were analyzed using homogeneity analysis and the most important risk elements of the occupational accidents in all the enterprises were determined. At the end of this study, it was found that the mostly affected job group by the fatality accidents was the production workers and additionally, the most important factor in creating fatal work accident were the roof collapses and methane explosions.

1 GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliği, dünyada ölüm oranları açısından bakıldığında en başta gelen sektörlerdendir. Ülkemiz madenciliğinde, meydana gelen kazalar teknolojik gelişmelere rağmen devamlılığını sürdürmektedir. Özellikle kömür madenciliğinde, yeraltı ocaklarında meydana gelen göçükler, ocak içindeki gaz emisyonları günümüzde önemli sorunlar yaratmakta ve büyük zararlara neden olmaktadır. Bu yüzden gü-venlik ve sağlık açısından ülke madenci-liğinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Yeraltı ocaklarında meydana gelen iş kazalarının oldukça fazla olması nedeniyle bütün kazaların kayıtlara geçirilmesi ve ayrıntılı olarak analizlerinin yapılması gereklidir. Kaza istatistiklerinin değerlendirilmesiyle varılan bu sonuçlardan, tehlikenin önceden saptanması amacıyla yararlanılmalıdır. Doğru kanılara varabilmek ve iş kazası-nın oluşmasına neden olan tehlikeyi tüm yönleri ile saptayabilmek için kaza analizi-nin erken yapılması büyük önem kazanmaktadır.

İş kazaları üzerine yapılmış olan bilimsel çalışmalara hem ulusal hem de uluslararası literatürde oldukça fazla sayıda rastlanmakla birlikte, özellikle yeraltı kömür madencili-ğini esas alan çalışmalar değerlendirildi-ğinde aşağıda verilen önemli bazı kaza risk faktörlerine ulaşılmıştır.

Yeraltı ocaklarında mekanize çalışmalarla birlikte güvenlik ve verimliliğin klasik yöntemle üretim yapan ocaklardan daha fazla olduğu ve mekanize sistemdeki üretim işçilerinin klasik sisteme göre daha az yaralandığı bulunmuştur. Ayrıca, her iki sistemde de orta yaştaki işçilerin daha fazla kaza

oranına sahip oldukları tespit edilmiştir (Sari, et al., 2004).

Yeraltı kömür madenlerinde patlayıcı kullanımının madenciler için ciddi yaralanma ve ölüm riski teşkil ettiği ve kömür madenlerinde patlayıcı kullanımı ile bağlantılı önemli bir tehlikenin de metan ve/veya kömür tozunun tutuşması olduğu ifade edilmiştir (Verakis, 1992).

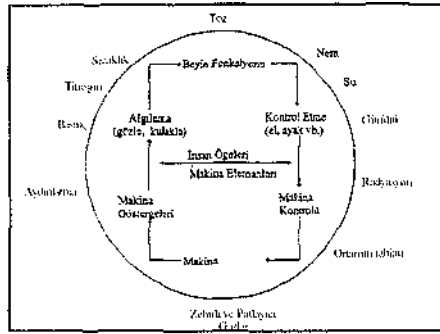
Tavan taşının düşmesi sonucu olan kazalar yeraltı kömür madenlerinde sıklıkla karşılaşılan problemlerdir. Bu kazalar işçiler üzerinde yaralanma, sakatlık veya ölüm şeklinde ve madencilik çalışmalarında kesinti, araç gerecin bozulması gibi nedenlerden dolayı zarar verici etkilere sahip olabilir. Tavan taşı düşme tehlikesi ile ilişkili belirsizliklerin önceden tahmin edilmeleri oldukça zordur. Jeolojik şartlar-dan kaynaklanan bu belirsizlikler yeraltı kömür madenlerindeki tavan taşı düşme tehlikesinin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle tavan taşı düşme tehlikesiyle baş etmek için risk değerlendirme tekniklerinin kullanılması faydalı olacaktır (Duzgun and Einstein, 2004; Duzgun, 2005).

Yeraltı maden işçileri arasındaki mesleki kaza riskini değerlendiren bir başka çalışmada yaralanma riskinin kişisel ve işyeri özellikleri ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Araştırma, madencilerin hem kişisel hem de işyeri özelliklerinin yaralanma riski üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, kişisel değişkenlerden madencilerin yaşı ve tecrübesinin yaralanma riski üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olmadığı yani, tecrübeli işçilerin de tecrübesiz işçilerle aynı düzeyde riske sahip oldukları bulunmuştur (Maiti and Bhattacharjee, 1999). Yapılan diğer bir çalışmada ise, meslek grubunun meydana gelen

kazalar ile oldukça fazla ilişkili olduğu ve 20 yıldan fazla tecrübeye sahip maden işçilerinin yüksek kaza geçirme olasılıkları bulunduğunu ortaya çıkarmıştır (Maiti, et al., 2001).

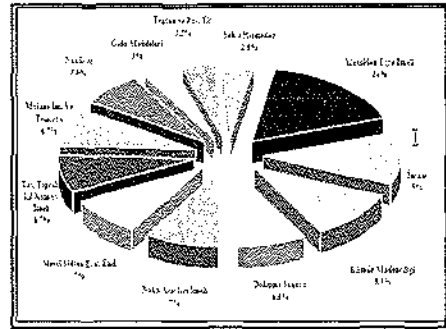
Sanayi ve madencilik alanındaki bütün teknolojik gelişmelere rağmen iş kazaları önlenememektedir. İş kazalarının değerlendirilmesinde kazalara neden olan sebepler belirlenmelidir. İş kazaları için önlem alınabilmesi, nedenlerin bilinmesine bağlıdır. İş kazalarının incelenmesi hem işyerinde benzer türden yeni kazaların önlenmesi, hem de hatalı ve kusurlu noktaların ortaya çıkarılması açısından önemli olmaktadır. İş kazalarını sıfıra indirmek mümkün değildir. Ancak iş kazalarını önlemek için kazaların öncelikle istatistiksel olarak değerlendirilmesi, kaza nedenlerinin belirlenmesi ve bu nedenleri giderecek önlemlerin alınması gerekmektedir. İş kazalarının neden olduğu ekonomik sorunlar sadece iş göremezlik ödenekleri ya da tedavi masrafları olarak değil; aynı zamanda üretim kaybı, üretim programının aksaması, makine vb. üretim ekipmanlarının tahribi açısından da büyük önem taşır. Ancak bütün bunların arasında yerine konulamayacak tek şey insan hayatıdır (Güyağüler vd., 1993; Atılğan, 2007). Madencilik aktiviteleri, malzeme, donanım, insan kaynakları ve oldukça tehlikeli bir çevreden ibarettir. Kazalar, işçiler ve yakınları için oldukça acı ve maliyeti yüksek olaylar olmakla birlikte, işletmeler için de sıkıntılı olaylardır. Bu nedenle, işletmelerin büyük sorunlarından biriside emniyeti iyileştirirken kaza maliyetlerini azaltmaktır (Sarı vd., 2009).

Bir madencilik çalışması sırasında işçi sağlığı ve güvenliğini etkileyen çevresel etkenler Şekil 1'de diyagram olarak verilmiştir.



Şekil 1. İşçi sağlığı ve güvenliğine etki eden çevresel etkenler (Akçın, 1996).

Şekil 2'de ise 2006 yılı SSK istatistiklerine göre iş kazalarının sektörlere göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 2. 2006 yılı SSK istatistiklerine göre iş kazalarının sektörlere göre dağılımı (TUİK, 2007).

2006 yılı SSK istatistiklerine bakıldığında madencilik % 8,5 gibi bir orana birçok sektörün önünde yer almaktadır. Ayrıca Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) tarafından yapılan bir araştırmaya göre de iş kazası geçirenlerin sektörsel dağılımları incelendiğinde; iş kazası geçirenlerin oranının en yüksek olduğu sektörün % 10,1 ile madencilik ve taşocakçılığı olduğu görülmektedir. Bunu % 7,7 ile elektrik, gaz ve su sektörü izlemektedir (TUİK, 2007).

Bu çalışmada Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Zonguldak kömür

havasında faaliyet gösteren 5 farklı ocakta 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazaları incelenmiş ve SPSS* 11.5 paket programı yardımıyla değerlendirilmiştir. İstatistiksel analiz olarak uyum analizi (HOMALS) tekniği kullanılmıştır. Analizlerde, meydana gelmiş olan kazalar müessese, yaş grubu, meslek grubu ve kaza nedeni gibi detaylı bilgiler ile incelenmiştir.

2 UYUM ANALİZİ

Uyum analizi (karşılık getirme analizi), son yıllarda kategorik verilerin analizinde sıklıkla kullanılan popüler yöntemlerden birisidir. Uyum analizi, çapraz tablo biçiminde gösterilen değişkenler arasındaki uyumluluğu ya da bir değişkenin kendi kategorileri arasındaki uyumluluğun analizi için kullanılan bir kategorik veri analiz yöntemidir. Bir diğer ifade ile $R^*C^*M...$ şeklinde iç içe farklı şekillerde çaprazlanmış tablolarda yer alan değişkenlerin alt kategorileri arasındaki birlikteliği ve ilişkileri ortaya koymak için başvurulan grafiksel bir analizdir. Çapraz tablolara, uyum tabloları adı da verilmektedir. Uyum analizi bu tablolarda sıra ve sütunlar arasındaki ilişkileri uzaklıklar cinsinden göstermeye yardımcı olan bir yöntemdir. Çözümler Boyut 1 ve Boyut 2 olarak isimlendirilen iki boyutlu bir koordinat sisteminde gösterilir. Grafik üzerindeki noktalar, özetle, çapraz tablodaki her bir gözün khi-kare değerinin toplam khi-kare değerine bölünmesiyle elde edilen değerlerden hareketle belirlenir (Özdamar, 2004).

Uyum analizi, çok değişkenli bir analiz yöntemi olup kontenjans (olasılık) tablolarının satır ve sütunları arasındaki bağımlılığı çok boyutlu inceleyen ve grafiksel olarak gösterimini veren bir

yöntemdir (Akdağ, 1998). Uyum analizi, uyum tablosunun içerdiği değişken sayısına ve boyut sayısına bağlı olarak "basit uyum analizi" ve "çoklu uyum analizi" şeklinde gerçekleştirilebilir. R^*C olasılık tablolarının analizinde yararlanılan uyum analizine basit uyum analizi, üç ve çok boyutlu ($R^*C^*M...$) olasılık tablolarının analizinde yararlanılan uyum analizine ise çoklu uyum analizi isimleri verilmektedir (Özdamar, 2004).

3 ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARI ANALİZİ

TTK'da 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazalarına uyum analizi yöntemini uygulamak için, öncelikle kazalar bölge (müessese), yaş grubu, meslek grubu ve kaza nedeni olmak üzere gruplandırılmış ve Çizelge 1'de verilen kodlarla isimlendirilmiştir.

Çizelge 1. Analizde kullanılan kodlar.

BÖLGE (MÜESSESE)	A
YAŞ GRUBU	B
MESLEK GRUBU	C
KAZA NEDENİ	D

Uyum analizi yöntemi için oluşturulan kodların her birinin alt birimleri de ayrıca oluşturulmuş ve Çizelge 2'de verilmiştir. TTK Zonguldak kömür havzasında 5 ayrı müessesede faaliyetlerini sürdürmektedir. Bunlar, Amasra, Armutçuk, Karadon, Kozlu ve Üzülmüz'dür. Meydana gelen ölümlü iş kazaları değerlendirildiğinde, yaş grubu olarak 3 ayrı yaş grubu oluşturulmuştur. Bunlar, 20-30, 30-40 ve 40-50'dir. Kazaya maruz kalan meslek grupları ise 5 ana grupta toplanmış ve ateşleyici, elektrikçi, nakli-yatçı, tahkimatçı ve üretim işçisi olarak sınıflandırılmıştır. Ölümlü iş kazasına neden olan kaza türleri ise, 4 grupta, gaz, göçük, grizu ve

Çizelge 2. Gruplanmış verilerin kodlanması.

BÖLGE (A)	Amasra	1
	Armutçuk	2
	Karadon	3
	Kozlu	4
	Üzülmaz	5
YAŞ (B)	20-30	1
	30-40	2
	40-50	3
MESLEK (C)	Ateşleyici	1
	Elektrikçi	2
	Nakliyatçı	3
	Tahkimatçı	4
	Üretim İşçisi	5
KAZA (D)	Gaz	1
	Göçük	2
	Grizu	3
	Nakliyat	4

nakliyat olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 1 ve 2'deki kodlamalar esas alınarak, 1980-2004 yılları arasında TTK'da meydana gelmiş olan her bir ölümlü iş kazasına uygun kodlar verilmiştir. Oluşturulan kodlara uyum analizini uygulamak için elde edilen veriler SPSS® 11.5 paket programına girilmiştir. SPSS veri giriş ekranı Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3. SPSS veri giriş ekranı.

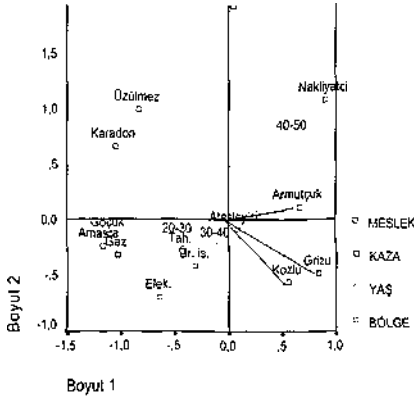
TTK yeraltı ocaklarında 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazalarını analiz etmek amacıyla uygun kodlara dönüştürülen veriler, SPSS paket programına yukarıda ayrıntılı olarak verildiği gibi girilmiştir. elde edilen khi-kare (olasılık oranı

testi) değerlerine bakılarak en önemli etkileşimler tespit edilmiş ve Çizelge 3'te verilmiştir. Khi-kare değeri büyük olan etkileşimlerin gerçekleşme olasılığının diğerlerine göre daha yüksek olduğu söyle-nebilir.

Derece	Etkileşimler	Khi-kare
3	BÖLGE*MESLEK*KAZA	51,84
	BÖLGE*YAŞ*MESLEK	49,15
	BÖLGE*YAŞ*KAZA	29,20
	YAŞ*MESLEK*KAZA	22,33
2	BÖLGE*KAZA	429,64
	MESLEK*KAZA	160,77
	BÖLGE*YAŞ	34,25
	YAŞ*MESLEK	29,71
	BÖLGE*MESLEK	28,46
	YAŞ*KAZA	13,48
Ana	MESLEK	881,91
	KAZA	654,94
	YAŞ	575,18
	BÖLGE	514,38

Çizelge 3'te 3'lü, 2'li ve ana etkileşimler kendi aralarında khi-karelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. 3'lü etkileşimlerde BÖLGE*MESLEK*KAZA etkileşimi en yüksek khi-kare değeriyle oldukça önemli görülmektedir. Benzer şekilde BÖLGE*KAZA 2'li etkileşimi de en önemli olarak bulunmuştur. Diğer etkileşimler ise sırasıyla çizelgede verilmiştir. Ana etkileşimler ise önem sırasına göre MESLEK, KAZA, YAŞ ve BÖLGE olarak bulunmuştur.

Khi-kare analizine göre önemli etkileşimlerin belirlenmesinden sonra, kaza analizini daha da ayrıntılı incelemek amacıyla, 4'lü etkileşimden 2'li etkileşimlere kadar her bir olasılığın ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için uyum analizi yapılmış ve elde edilen önemli sonuçlar 4'lü etkileşimden 2'li etkileşimlere kadar sırasıyla Şekil 4-9'da verilmiştir.



Şekil 4. 4'lü etkileşim analiz sonuçları.

Şekil 4'ü kullanmak için orijinden araştırılmak istenen parametrelere doğru doğrular çizilir. Değişkenlerin doğru ile yaptığı açı dikkate alınır. Açı ne kadar küçük ise değişkenlerin önem derecesi o kadar fazla olur. Örneğin, grizu bakımından Kozlu ve Armutçuk değerlendirildiğinde, Kozlu'nun daha riskli olduğu açığa çıkmaktadır.

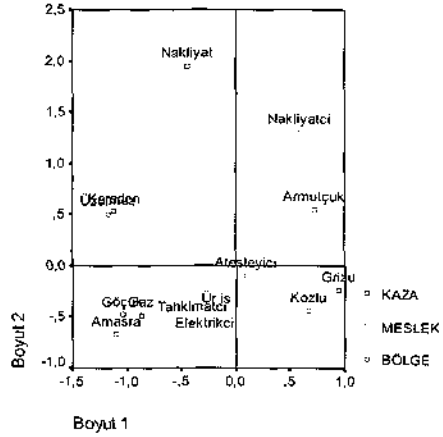
Buna benzer diğer yaklaşım-larda yapılabilir.

Ayrıca, grafik üzerinde yoğunlaşmanın fazla olduğu yerlere bakılarak da kazalar hakkında yorum yapılabilir. Örneğin, Amasra'da göçük ve gazın daha tehlikeli olduğu görülmektedir. 20-30 yaş grubundaki tahkimatçı ve üretim işçilerinin ve ayrıca 30-40 yaş grubundaki ateşleyicilerin daha fazla kaza riski taşıdığı söylenebilir. Benzer şekilde Armutçuk'da 40-50 yaş grubundaki nakliyatçılarındaki yüksek risk taşıdığı görülmektedir.

Khi-kare değerlerine göre en yüksek çoklu etkileşime sahip olan:

- BÖLGE*MESLEK*KAZA,
- BÖLGE*YAŞ*MESLEK,
- BÖLGE*YAŞ*KAZA

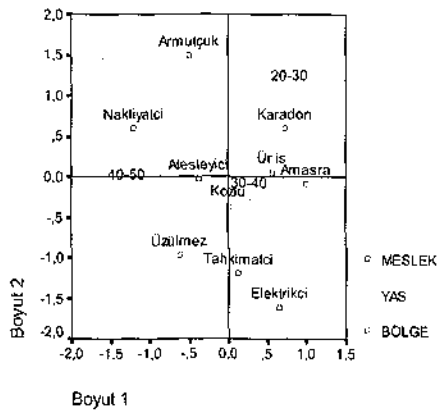
etkileşimleri uyum analizi ile değerlendirilmiş ve elde edilen grafik ve sonuçlar sırasıyla Şekil 5-7'de verilmiştir.



Şekil 5. BÖLGE*MESLEK*KAZA etkileşimi.

BÖLGE*MESLEK*KAZA 3'lü etkileşimi değerlendirildiğinde, Amasra'da göçük ve gazın üretim işçisi ve tahkimatçı gibi meslek gruplarını etkilediği, Kozlu'da ise grizunun üretim işçisi ve ateşleyici meslek gruplarını etkilediği görülmektedir.

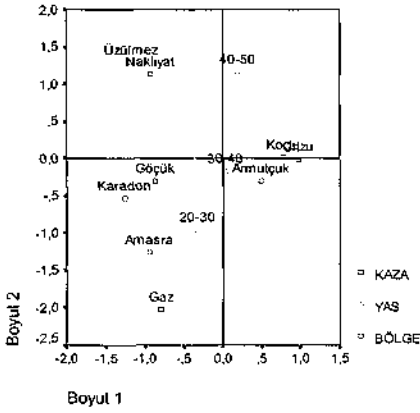
BÖLGE*YAŞ* MESLEK 3'lü etkileşimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. BÖLGE*YAŞ*MESLEK etkileşimi.

BÖLGE*YAŞ*MESLEK 3'ü etkileşimi değerlendirildiğinde, Karadon'da 20-30 yaş grubundaki üretim işçilerinin, Amasra'da 30-40 yaş grubundaki üretim işçilerinin, Kozlu'da 30-40 yaş grubundaki üretim işçilerinin ve 40-50 yaş grubundaki ateş-leyicilerin, Armutçuk'ta 40-50 yaş grubundaki nakliyatçıların ölümlü iş kazalarından daha fazla etkilendikleri görülmektedir.

BÖLGE*YAŞ*KAZA etkileşimi Şekil 7'de verilmiştir.

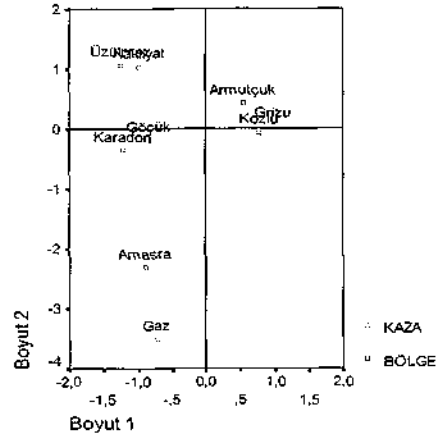


Şekil 7. BÖLGE*YAŞ*KAZA etkileşimi.

BÖLGE*YAŞ*KAZA etkileşimi incelenildiğinde, Üzümlü'de 40-50 yaş grubundaki işçilerin nakliyattan, Karadon'da 20-30 yaş grubundaki işçilerin göçükten, Amasra'da 20-30 yaş grubundaki işçilerin gazdan, Kozlu ve Armutçuk'ta 30-40 yaş grubundaki işçilerin grizudan etkilenme ihtimallerinin yüksek olduğu bulunmuştur.

En yüksek khi-kare değerlerine sahip olan **BÖLGE*KAZA** etkileşimi uyum analizi ile değerlendirilmiş ve elde edilen grafik Şekil 8'de verilmiştir.

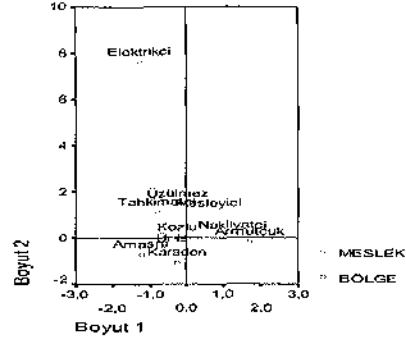
BÖLGE*KAZA 2'li etkileşimi incelendiğinde, Armutçuk ve Kozlu'da grizunun, Üzümlü'de nakliyatın, Karadon'da göçüğün ve Amasra'da



Şekil 8. BÖLGE*KAZA etkileşimi.

gazın en önemli ölüm nedeni olduğu görülmektedir.

Ayrıca TTK'ya bağlı müesseselerde hangi meslek gruplarının daha fazla risk taşıdığını görmek amacıyla Şekil 9'da verilen **BÖLGE*MESLEK** 2'li etkileşimi oluşturulmuştur.



Şekil 9. BÖLGE*MESLEK etkileşimi.

Şekil 9 incelendiğinde, Üzümlü'de tahkimatçı ve ateşleyicilerin, Armutçuk'ta nakliyatçıların, Kozlu, Amasra ve Karadon'da ise üretim işçilerinin ölümlü iş kazalarına maruz kalma olasılıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Elektrikçi grubu adıyla verilen meslek grubunun ise en düşük riske sahip meslek grubu olduğu söylenebilir.

4 SONUÇLAR

İş kazalarının önlenmesi ya da en aza indirilebilmesi, ancak geçmişe dönük olarak kaza analizlerinin yapılması ve bu analizlerin sonuçlarından hareketle önlemlerin alınması ile mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, TTK işletmesinde faali-yet gösteren Amasra, Armutçuk, Karadon, Kozlu ve Üzülmaz işletmelerinde 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazaları incelenmiştir. Kazalar BÖLGE (MÜESSESE), YAŞ GRUBU, MESLEK GRUBU ve KAZA NEDENİ gibi 4 temel bilgi göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Bu kazalara ait veriler uyum analizi yöntemi ve SPSS paket programı ile değerlendirilmiş ve elde edilen en önemli sonuçlar aşağıda verilmiştir.

BÖLGE*KAZA 2'li etkileşiminden;

Armutçuk ve Kozlu'da grizunun, Üzülmaz'de nakliyatın, Karadon'da göçüğün, Amasra'da gazın daha riskli olduğu bulunmuştur.

BÖLGE*MESLEK 2'li etkileşiminden;

Üzülmaz'de tahkimatçı ve elektrikçilerin, Armutçuk'ta nakliyatçıların, Kozlu, Amasra ve Karadon'da üretim işçilerinin kazaya maruz kalma ihtimallerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

BÖLGE*YAŞ*KAZA 3'lü etkileşiminden;

Üzülmaz'de 40-50 yaş grubundaki işçilerin nakliyattan, Karadon'da 20-30 yaş grubundaki işçilerin göçükten, Amasra'da 20-30 yaş grubundaki işçilerin gazdan,

Kozlu ve Armutçuk'ta 30-40 yaş grubundaki işçilerin grizudan etkilenme olasılıklarının yüksek olduğu bulunmuştur.

BÖLGE*YAŞ*MESLEK 3'lü etkileşimi değerlendirildiğinde; Karadon'da 20-30 yaş grubundaki üretim işçilerinin, Amasra'da 30-40 yaş grubundaki üretim işçilerinin, Kozlu'da 30-40 yaş grubundaki üretim işçilerinin ve 40-50 yaş grubundaki ateşleyicilerin, Armutçuk'ta 40-50 yaş grubundaki nakliyatçıların ölümlü iş kazalarından etkilenme olasılıklarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

BÖLGE*MESLEK*KAZA 3'lü etkileşimi değerlendirildiğinde;

Amasra'da göçük ve gazın üretim işçisi ve tahkimatçıyı, Kozlu'da ise grizunun üretim işçisi ve ateşleyici meslek gruplarını daha fazla etkilediği belirlenmiştir.

TTK'ya bağlı müesseselerde meydana gelen ölümlü iş kazaları genel olarak incelendiğinde, en riskli meslek grubunun üretim işçisi olduğu bulunmuştur. Kaza nedeni olarak değerlendirildiğinde ise göçük ve grizunun ölümlü iş kazalarında etken olan en önemli faktörler arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, TTK yeraltı ocaklarında tahkimat sistemlerinin iyileştirilmesi ve metanın drenaj sistemleri ile ocaktan uzaklaştırılması ölümlü iş kazalarının azaltılmasında oldukça etkili olacaktır.

Yeraltı ocaklarında, çalışma koşulları ve üretim yöntemleri dikkate alınarak tehlikeleri ortadan kaldıracak güvenlik önlemleri geliştirilmelidir. İşyeri düzeni, zemin durumu, makine koruyucuları, kişisel koruma araçları, iş makineleri ile işyerilerindeki

aydınlatma, havalandırma, toz, ısı, nem ve gürültü düzeyi yapılan işin niteliğine, sağlık ve güvenliği sağlamaya uygun hale getirilmelidir. Üretim sürecinin gerektirdiği işlemleri yürütecek olanlar aynı zamanda iş güvenliği konusunda da eğitilmelidir. Çalışanların yanlış ve güven-siz hareketlerinin etkileri ve oluşturabileceği tehlikeli durumlar saptanarak, doğru ve güvenli davranışlar belirlenmelidir. Maden-cilikte üretim süreci değişken nitelik taşımaktadır. Uygulamaya konulacak güvenli-lik önlemleri de buna uygun olmalıdır. İş güvenliği önlemlerinin alınmasından sonra da zamanla yeni tehlikeli durumlar oluşabilmektedir. Bu nedenle üretimin her aşamasında kontrol ve denetim aksamadan sürdürülmelidir. Oluşan ya da oluşma olası-lığı bulunan tehlikeli durumlar yapılacak kaza analizleri ile saptanmalı ve geliştirilen güvenlik önlemleri uygulamaya konulmalıdır. Ancak, böyle sistemli, düzenli ve sürekli bir çalışma yöntemi ile iş güven-liğinin sağlanabileceği ve iş kazalarının önlenebileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Akçın, N A, 1996. İş kazalarının nedenleri ve iş kazası raporu önerisi, Türkiye 10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 365-376, Zonguldak.
- Akdağ, B, 1998. Kontenjans tablolarında loglineer analiz ile homojenite analizinin karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Ensti-tüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66 s, Denizli.
- Atılğan, H, 2007. İş kazalarının incelenmesi ve kaza analizi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 193-201, Adana.
- Duzgun, HSB and Einstein, HH, 2004. Assessment and management of roof fall risks in under-ground coal mines, Safety Science, 42, p. 23-41.
- Duzgun, HSB, 2005. Analysis of roof fall hazards and risk assessment for Zonguldak coal basin underground mines, International Journal of Coal Geology, 64, p. 104-115.
- Güyağüler, T, Bozkurt, R ve Önder, ÜY, 1993. Kömür madenciliğinde iş kazalarının istatis-tiksel ve ekonomik analizi, Türkiye 13. Maden-cilik Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 102-113, İstanbul.
- Maiti, J and Bhattacharjee, A, 1999. Evaluation of risk of occupational injuries among underground coal mine workers through multi-nomial logit analysis, Journal of Safety Research, 30, 2, p. 93-101.
- Maiti, J, Bhattacharjee, A and Bangdiwala, SI, 2001. Loglinear model for analysis of c r o s s - tabulated coal mine injury data, Injury Control and Safety Promotion, 8, 4, p. 229-236.
- Özdamar, K, 2004. Paket programlar ile istatistiksel veri analizi-1, Kaan Kitabevi, s. 461-499.
- Sari, M, Duzgun, HSB, Karpuz, C and Selcuk, AS, 2004. Accident analysis of two Turkish underground coal mines, Safety Science, 42, p. 675-690.
- Sari, M, Selcuk, AS, Karpuz, C and Duzgun HSB, 2009. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey, Safety Science, 47, p. 78-87.
- TUİK, 2007. Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=3916>
- Verakis, H C, 1992. An analysis of blasting acci-dents in coal mines, 19th Annual Kentucky Blasting Conference, p.1-10, Lexington, Kentucky.

Koçarlı (Aydın) Demir Cevheri: Jeofizik ve Jeolojik Bulguları

Koçarlı (Aydın) Iron Ore: Geophysical and Geological Evidences

T. Gönenç, E. Timur, M. Utku, , Z. Erhan, C. Sarı

Dokuz Eylül Üniv., Mühendislik Fak., Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca-İzmir.

M. Çolak

Dokuz Eylül Üniv., Mühendislik Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca-İzmir.

ÖZET Aydın-Koçarlı demir oluşumu gnays birimi içerisinde foliasyona paralel olarak gelişmiştir. Demir cevheri zonunda galeri açılarak cevher alımı yapılmıştır. Yol yarmasında gözlenen gnays ve demir cevheri ardalanması, 30°-60° arasında doğuya doğru eğimlidir. Cevherin doğuya doğru yayılımı olup olmadığı, elektrik öz direnç, manyetik, elektromanyetik gibi jeofizik yöntemlerle araştırılmıştır. Elektrik öz direnç ölçümleri, 4 profil üzerinden öz direnç tomografisi ve Schlumberger düşey elektrik sondaj çalışmaları olarak yapılmıştır. Buradan hareketle elektrik alanın yanal ve düşey yöndeki yayılımı kestirilmiştir. Elektromanyetik VLF ölçümleri, 7 profil üzerinden 3 farklı frekansta gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlere uygulanan Fraser sayısal süzgeci ile sahadaki iletken yapı dağılımı çok daha net bir şekilde ortaya konmaktadır. Manyetik yöntem için 7 profilde toplam alan ve gradymetre ölçümleri alınmıştır. Manyetik veriye uygulanan aşağı uzanım ve yukarı uzanım işlemleri ile rejyonal ve rezidüel etkiler ortaya çıkarılarak yapı derinliği kestirilmiştir. Manyetik anomalinin yeri ve geometrisi için kutba indirgeme işlemi uygulanmıştır. Alınan manyetik ölçümler, yapılan veri-işlem ve manyetik verinin değerlendirilmesi sonucunda, elde edilen gradiyent haritası, toplam manyetik alan haritasını destekler nitelikte olup aynı koordinatlarda çok büyük bir manyetik alan değişimini, yani bir manyetik yapı varlığını işaret etmektedir.

Her yöntemden alınan sonuçların birbiriyle ilişkisi karşılaştırılmıştır. Buna göre demir cevherinin, galerinin bulunduğu yerden doğuya doğru devam etmediği görülmektedir. Gnays altında yataklan demir cevherinin alan hesaplaması, veri-işlem sonrası jeofizik anomali haritası esas alınarak yapılmış ve demir cevheri rezervi buna göre kestirilmiştir. Hematit'in yoğunluğu ve tenörü, saha genelinde muhtemelen değişiklik sunacaktır. Sağlıklı yoğunluk ve tenör hesaplamaları, sondajlardan alınacak örneklerle belirlenebilecektir.

ABSTRACT Iron constitution in Aydın-Koçarlı was expanded paralel to the foliation inside gneiss formation. Ore is taken by open galleries into the iron ore. gneiss and iron ore repetition near the road cut has a dip of 60° to the east. Distribution of the ore in the east side of the field is investigated by

using electric resistivity, magnetic and electromagnetic methods. Resistivity studies were carried out along 4 profiles by applying vertical electrical sounding and electrical tomography arrays. According to resistivity studies, vertical and horizontal distribution of electric field is determined. VLF-EM studies were utilized along 7 profiles with 3 different frequencies and electrical horizontal conductivity distribution of the field is acquired for 3 different depths. Magnetic investigations were carried out along 7 profiles and total magnetic field and gradient magnetic data were collected. Upward and downward continuation methods were applied to total magnetic field data to determine regional-residual effects and depth parameter. Also data was reduced to pole to investigate the location of anomaly and structure geometry. Interpretation of all magnetic data proved the existence of a very strong magnetic structure.

All the data collected from different methods were investigated for a correlation between them. According to field data, iron ore continues eastward from the gallery. Field and reserve estimation of iron under gneis formation was determined by considering processed geophysical data. Density and tenor of hematite will probably be different on the various field sites so exact values can be determined by well data.

1 GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanı ve Jeolojisi

Çalışma alanı Aydın ilinin 24 km güneybatısında M19 - a3 paftasında yer alır. Çalışma sahası 63790 / 80370, 64050 / 80160, 63850 / 79990, 63580 / 80010 koordinatları arasında kalan yaklaşık 90.000 m²'lik alandır (Şekil 1-a).

Çalışma alanının temelini gnayslar oluşturmaktadır (Şekil 1-b). Gnaysların üzerine mikaşist ve mermer ardalanım sunan birim gelmektedir. Gnayslar gri-yeşil renkli, sarımsı kahverengi ayrışma renginde kalın düzensiz foliasyon gösteren bantlı gnayslarla temsil olunur. Gnayslar, foliasyonu KD uzanımılı, GD'ya eğimlidir. Eğimler 30 ile 60° arasında değişmektedir. Gnaysların içinde katmansı görünümlü demir oluşumları gözlenmektedir. Ancak, demir oluşumunun kökeni üzerinde kesin bir çalışma bulunmamaktadır.

Cevher mineralleri hematit, çok az manyetit ve spekülirit'ten oluşmaktadır. Yer yer piritin de görüldüğü yataklardaki alterasyon ürünlerini olarak limonit, melanterit ve serbest kükürt bulunmaktadır. Gang mineralleri kuvars ve muskovit'tir. MTA (1994) çalışmalarında ortalama %44.51

Fe tenörünün tesbit edildiği yatakta Fe %54,46'ya kadar ulaştığı, ortalama silisin de %28 olduğu belirtilmektedir. Aynı çalışmalarda iki adet tahkik sondajının da yapıldığı, yatakta kesit yöntemine göre 119000 ton yüksek tenörlü ve 36000 ton düşük tenörlü ve yüksek silisli cevher saptanmıştır.

1.2 Jeofizik Çalışmalar

1.1.1 Kullanılan Yöntemler

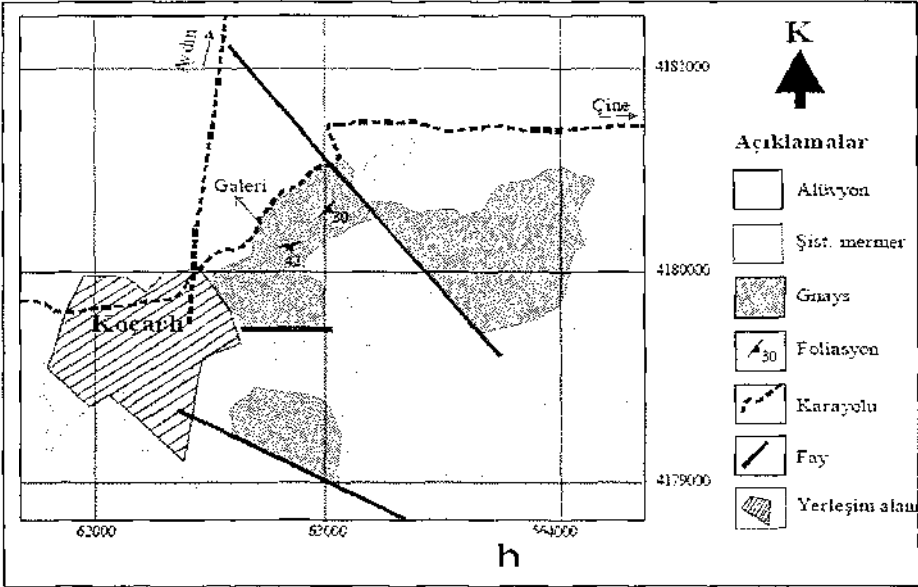
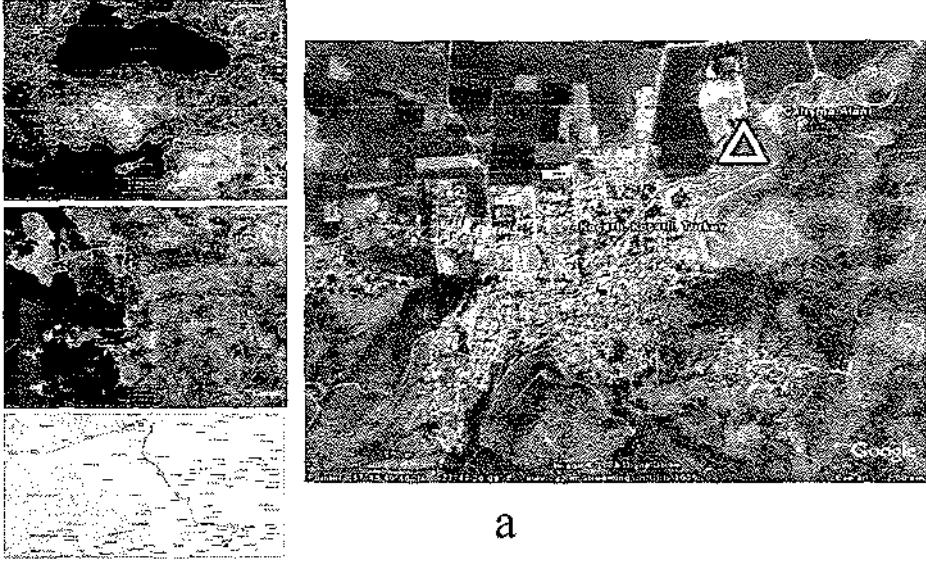
1.1.1.1 Elektrik Özdirenç

Elektrik öz direnç, yer altı problemlerinin çözümünde oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde; yeryüzünde iki nokta arasında oluşturulan gerilim farkı sonucunda oluşan akıma karşı yer altı yapısının davranışına göre problemin çözülmesi esastır. Temel olarak "OHM" yasası çerçevesinde ortamın elektriksel özelliğinin bağlı yorumlanmasına dayalı olarak yer altı modellenir. Bu elektriksel özellik ise iletkenlik veya yalıtkanlık temel tanımlaması üzerinedir.

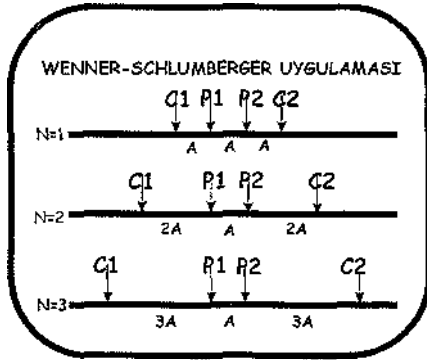
Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber ortamın hem yanal hem de düşey yöndeki öz direnç değişimlerini aynı sistem içinde irdeleyen çalışmalar yapılmaktadır. "Özdirenç Tomografi Yöntemi" olarak tanımlanan bu sistemde düşey elektrik sondaj ve yanal

kaydırma çalışmaları birlikte yapılır. Uygulamada çoğunlukla Wenner-Schlumberger elektrot dizilim sistemi kullanılır. Bu dizilim sisteminde akım elektrotları arasındaki uzaklık, seçilen bir a değerinin 3 katları olacak şekilde

açılarak bir profil boyunca ortam seviyeleri şeklinde yanal ve düşey yönde araştırılmış olur (Şekil 2). Düşey elektrik sondaj verilerinin değerlendirilmesinde de Uchida&Murakami (1990) ve Uchida (1991) 2 Boyutlu ters çözüm algoritması kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer buldurru krokisi (a) ve Jeoloji haritası (Candan ve Dora, 1998) (b)



Şekil 2. Özdirenç Tomografi Yönteminin uygulanması

1.1.1.2 Elektromanyetik-VLF

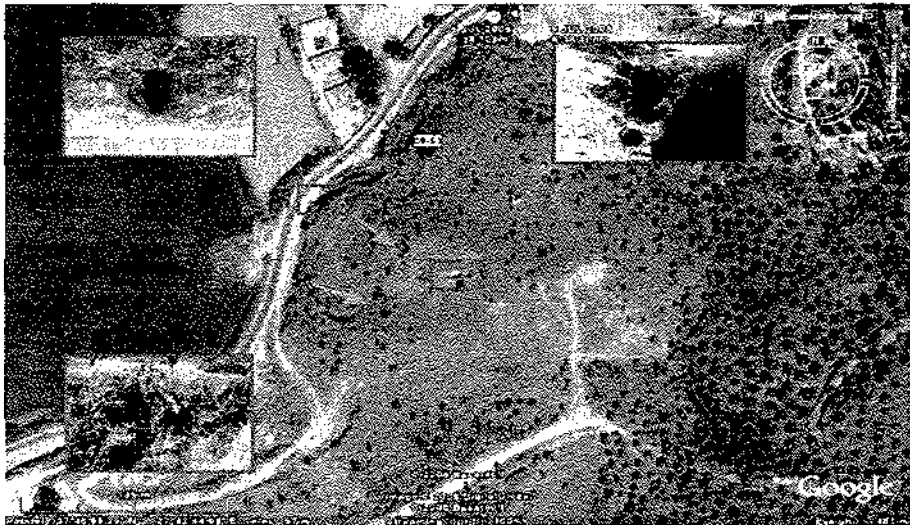
Pasif elektromanyetik bir yöntem olan VLF, dünya üzerinde bulunan ve genelde askeri amaçlarla kurulmuş radyo istasyonlarından gönderilen 15-30 kHz arasında frekansa sahip radyo dalgalarının alıcı bir sistem yardımıyla ölçülmesi temeline dayanır. Bu yöntemde; belirli gönderici istasyonlara yönlendirilen alıcı sistemle alınan kayıtlar yeraltında yüzey yakın ortamların belirlenmesine

olanak sağlar.

1.1.1.3 Manyetik Yöntem

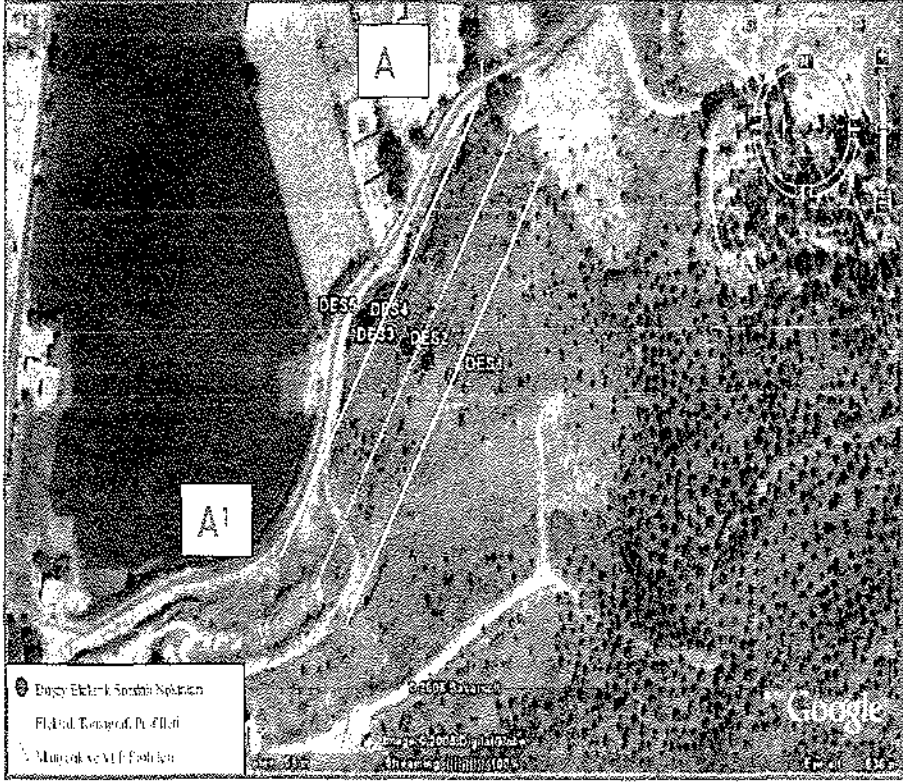
Bu yöntemin temeli, yerin manyetik alanında meydana gelen değişimleri inceler. Manyetik yöntemin kullanıldığı alanlarda aranan maddenin süseptibilitesi çevresine göre farklı olması gerekir. Bu yöntemde maden aramacılığında genelde toplam alan ve düşey alan ölçülür. Bu bileşenlerden herhangi biri veya ikisi birden ölçülerek ve gerekli düzeltmeler yapılarak alan haritaları oluşturulur. Bu haritaları uygun filtre teknikleri ve modelleme ile yeraltındaki

Madenlerin (süseptibilitesi bilindiğinde) geometrisi bulunarak yorumu gidilir. Manyetik yöntemler çevresine göre büyük süseptibilite farkı gösteren bazı madenler; manyetit, pirotin ve ilmenittir. Bu madenlerin aranmasında doğrudan kullanılan bir yöntemdir. Bir de manyetik duyarlılığı az (süseptibilitesi düşük) olan ve çevre kayacı daha büyük süseptibiliteye sahip olan hematit, krom ve sülfürlü maden yataklarının aranmasında yardımcı bir yöntemdir.



→ Galeri Açılma Doğrultuları

Şekil 3. Çalışma Sahasında Gözlenen Galeri Girişleri



Şekil 4. Jeofizik çalışmalarına yönelik profill

2 ARAŞTIRMA PLANI VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

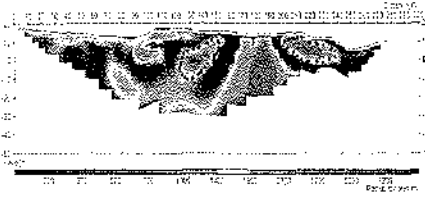
Bir önceki bölümde genel özellikleri tanımlanan jeofizik yöntemler, Koçarlı demir sahasında hematitün geometrisini tanımlayabilmek için kullanılmıştır. Çalışma sahasında var olan ve önceden açılmış olası galeri girişleri Şekil 3' de görülmektedir. Bu doğrultuda; söz konusu alanda 4 ayrı profil üzerinden elektrik özdirenç, 7 profil üzerinden elektromanyetik (VLF) ve manyetik veriler toplanmıştır (Şekil 4). Toplanan jeofizik veriler değerlendirme teknikleri kullanılarak aranan yapının geometrisi bulunmaya çalışılmıştır.

2.1 Ölçüm Hatlarının Yorumu

2.1.1 Elektriksel Yöntemlere Yönelik Çalışmalar

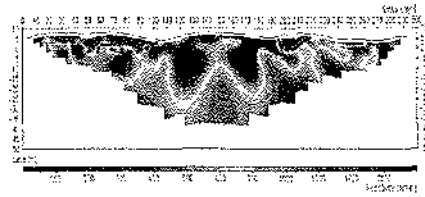
1.1.1.1 Özdirenç Tomografi Çalışmaları

Profil 1 (Şekil 5) özdirenç çalışması yol yarmasından da rahatlıkla görülebilen hematit'li zonun hemen üstünde yapılmıştır (Şekil 4). Bu zonların özdirenç yönteminde nasıl saptandığı ve bu profile paralel yapılacak olan çalışmalara yardımcı olması açısından yapılmıştır. Kesit incelendiğinde yol yarmasından görülen hematitli zonun eğimli yapısı ve geometrisi görüntülenmektedir. Bu zon siyah noktali çizgilerle sınırlanmıştır.



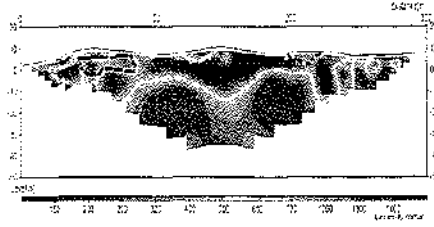
Şekil 5. Elektrik Tomografi 1. No'lu Profil A-A' Hattına ait Kesit

Profil 2 (Şekil 6), Profil 1'nin 15 metre doğusunda, 5 metre kot farkı olan yükseklikte paralel olarak alınmıştır (Şekil 4). Bu profil hematitli zonun dalmı açısı göz önüne alınarak alınmıştır. Kesit incelendiğinde yol yarmasında gözlemlenen zonların devam etmediği görülmektedir. Bununla birlikte profil başlangıcından 90 metre boyunca benzer öz dirençler yer almaktadır. Ancak cevher kalınlıklarının 2-3 metre arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 200-210 metreler arasında görülen galeri girişi de profilede yer almakta, ama yapının dikey yönde devamlılığının olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. Elektrik Tomografi 2. No'lu Profil A-A' Hattına ait Kesit

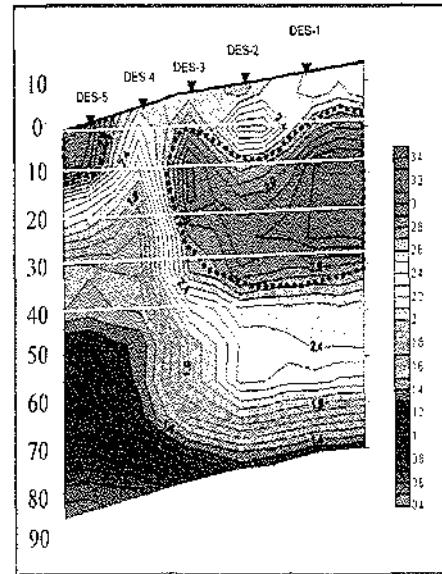
Profil 3 (Şekil 7), profil 2'ye 10 metre mesafede ve 10 metre kot farkıyla yukarıda yer almaktadır (Şekil 4). Bu profilede, profil 2' de 0-100 metre arasında sığda gözlemlenen yapıların bu profilede biraz daha derinde ve parçalı olarak görüntülendiği gözlemlenmektedir (Siyah kesikli çizgiyle işaretlenmiştir). Eski galeri girişinde bulunan etkilerinde daha yüzeyde olduğu saptanmıştır.



Şekil 7 Elektrik Tomografi 3. No'lu Profil A-A' Hattına ait Kesit

1.1.1.2 Düşey Elektrik Sondaj Profil Çalışması (DES).

Bu çalışmada, Schlumberger dizilimi ile ölçüler alınmıştır. Profilin başlangıç noktası yol yarmasında gözlemlenen hematitli zonun hemen üzerinde seçilmiş ve yukarı doğru ölçüler devam ettirilmiştir. Değerlendirmeler esnasında topografya etkisi göz önüne alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda galeri girişinde alınan ölçü, yol yarmasında görülen hematitli zonun yaklaşık 10 metre derinlikte sonlandığı yatayda



Şekil 8 Yol üzeri galeri girişinden doğuya doğru ilerleyen elektrik sondaj kesiti (Kırmızı: Olası Hematitli Alan)

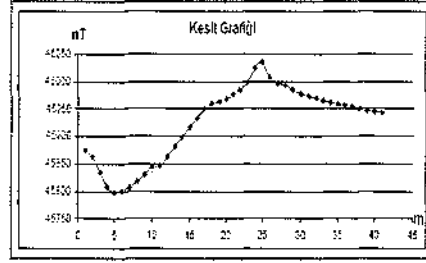
ise yine 15 metreden sonra kaybolduğu gözlemlenmektedir. Şekil 8'de siyah kesikli çizgilerle gösterilen sınırlar yaklaşık sınırlardır.

2.1.2 Manyetik ve VLF Çalışmaları

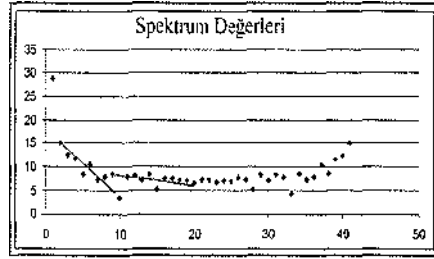
1.1.1.1 Manyetik Çalışmaları

Manyetik arama yöntemi, manyetik duyarlılığı yüksek (ferromanyetik) mineral içeren yapıların veya bu minerallerin aranmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Ferromanyetik özellik gösteren demirin aranmasında manyetik yöntem uygulamaları literatürde kabul gören çalışmalardır. Günlük manyetik değişim etkisini giderilmesi için alandaki bir baz noktasında yapılan ölçümler kullanılarak düzeltilen toplam manyetik alan haritasında, özellikle yol kenarındaki galeri girişinin oluşturduğu çok güçlü bir kutuplaşma gözlenmektedir (Şekil 9).

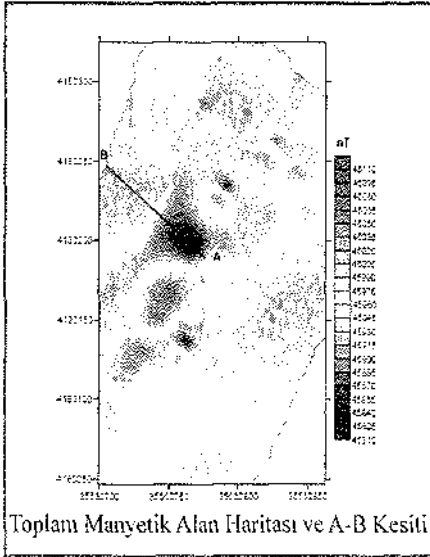
Şekil 9'da gözlenen haritada, baskın kutuplaşma dışında etkin bir manyetik etki saptanamamıştır. Bu kutuplaşma doğrultusunda alınan A-B kesiti ve güç spektrumu aşağıda görülmektedir (Şekil 10a-a-10b).



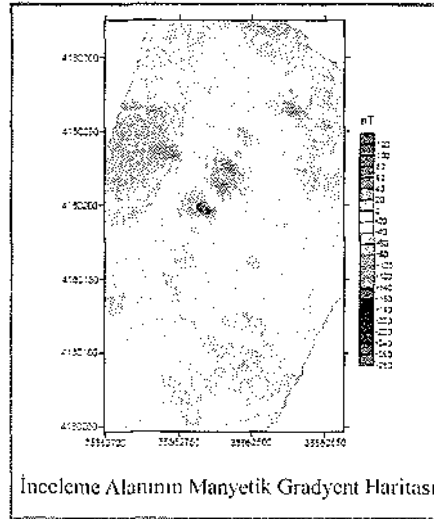
Şekil 10a. A-B kesitinin grafiği.



Şekil 10b. A-B kesitinin güç spektrumu

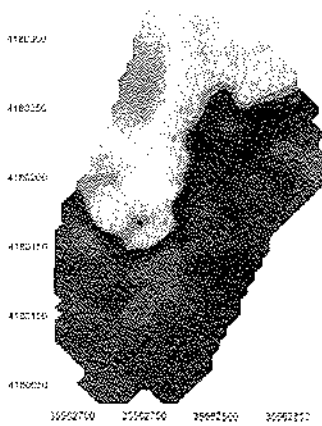


Şekil 9. Toplam Manyetik alan Haritası Alınan A-B Kesiti



Şekil 11. İnceleme alanının manyetik gradyent haritası.

Yapılan çalışmalarda 7 profil üzerinde 5 metre örnekleme aralığı ile ± 0.1 nT duyarlılıklı Proton manyetometresi kullanılarak veriler toplanmıştır. Şekil 10'da görülen veriye (A-B kesiti) yapı derinliği hesaplamasında kullanılan güç spektrumu yöntemi kullanılmıştır. 1. yapı varlığı için yapılan hesaplama sonucunda, yapı derinliği 4.8 metre; 2. yapı varlığı için yapılan hesaplamada ise 1. yapının derinliği 12 metre, 2. yapının derinliği ise 2.6 metre bulunmuştur. Manyetik çalışmalarda rejyonel etki ve rezidüel etkileri görmek için Aşağı Uzanım (downward continuation) ve yukarı uzanım (Upward continuation) işlemleri uygulanmıştır ve yapı derinliği konusunda fikir edinilmiştir. Ayrıca kutba indirgeme işlemi ile de (Reduction to the pole) anomalinin yeri ve geometrisi hakkında fikir edinilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen düşey gradyent haritası (Şekil 11), toplam manyetik alan haritasını (Şekil 9) destekler nitelikte olup aynı koordinatlarda çok büyük bir manyetik alan değişimini, yani bir manyetik yapı varlığını işaret etmektedir.



Şekil 12. Veri işlem sonrası anomali haritası

1.1.1.2 VLF Çalışmaları

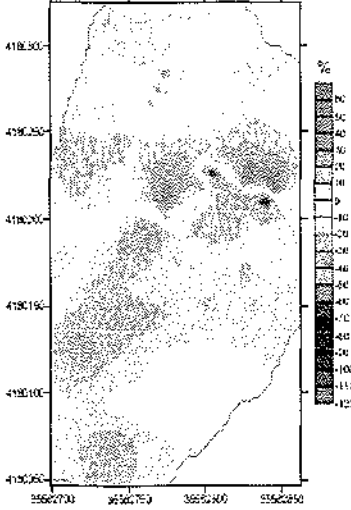
Çalışma alanında yapılan VLF-EM uygulamaları 7 profil üzerinde 3 farklı frekansta ölçümler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan frekanslar, istasyon kodları ve istasyon konumları aşağıda verilmektedir (Timur, 2003);

*23.4 kHz, NPM, **Pearl Harbour**, Hawaii, 21N25-158W09

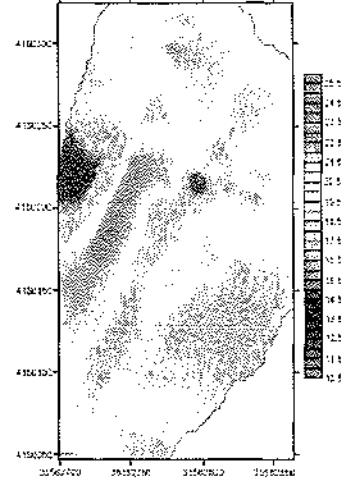
*18.6 kHz, NPN, **Guam**, Guatemala, 13N34-144E50

*16.0 kHz, GBR, **Rugby**, İngiltere, 52N22-001W48

VLF-EM yönteminde hazırlanan haritalarda (Şekil 13 a, b, 14 a, b, 15 a, b) gerçel bileşen haritalarında ölçülen yüksek değerler (kırmızı alanlar) yüksek elektriksel iletkenliği, mavi alanlar ise göreceli olarak daha düşük elektriksel iletkenliği temsil etmektedir. Bu haritalarda teorik olarak sanal bileşen haritaları gerçelin tam tersi olarak gözlenmesi gerekirken pratikte, arazi ölçümlerinde ortamın çok karmaşık elektriksel iletkenlik özellikleri göstermesinden ötürü kötü bir harita elde edilmemektedir. Derece biriminde ölçülen tilt açısı (Şekil 13 d, 14 d, 15 d) değerlerindeki değişim iletken yapının sınırları hakkında bilgi vermektedir. Bu değerler özellikle pozitiften negatife veya negatiften pozitifte değişmesi yapı sınırının kesilmesi olarak değerlendirilmektedir. Bu ölçüm değerlerine uygulanan Fraser (1969) sayısal süzgeci ile iletken yapı dağılımı çok daha net bir şekilde ortaya konmaktadır (Şekil 13 e, 14 e, 15 e).



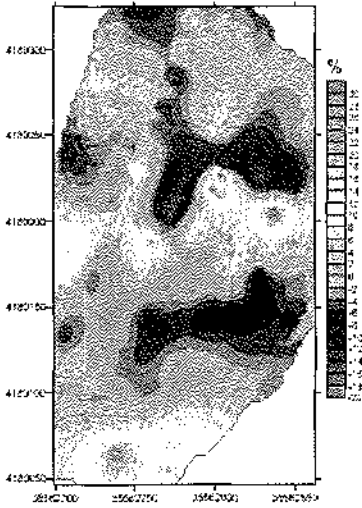
23.4 kHz Gerçek Bileşen Haritası



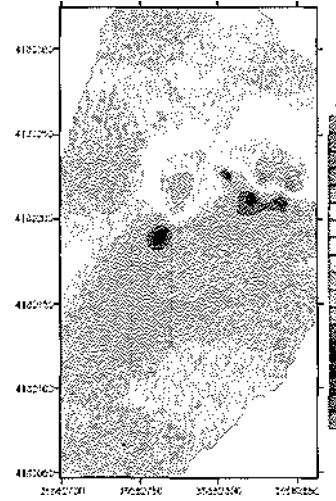
23.4 kHz Toplam Alan Haritası

Şekil 13 a. 23.4 kHz Gerçek Bileşen Haritası

Şekil 13 c. 23.4 kHz Toplam Alan Haritası



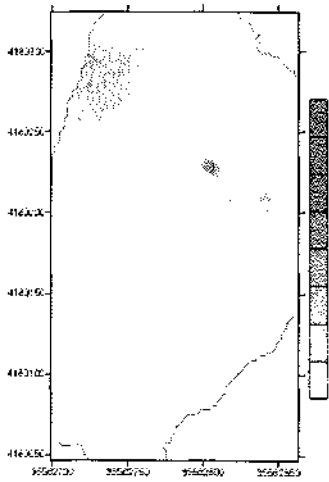
23.4 kHz Sanal Bileşen Haritası



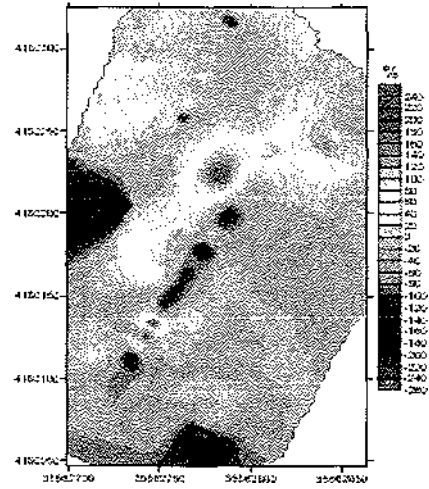
23.4 kHz Tilt Açısı Haritası

Şekil 13 b. 23.4 kHz Sanal Bileşen Haritası

Şekil 13 d. 23.4 kHz Tilt Açısı Haritası



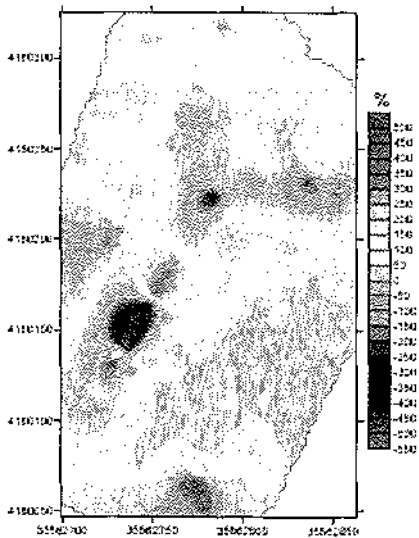
4 kHz Fraser Filtre Uygulanmış Ha



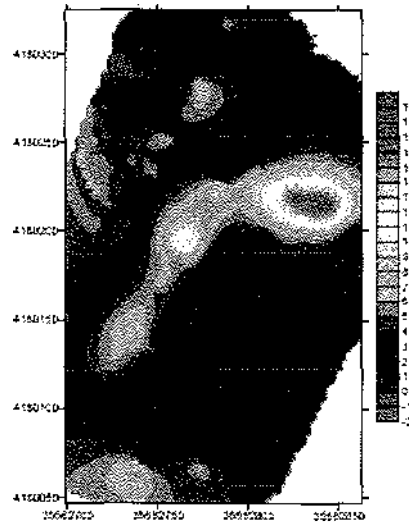
18.6 kHz Sanal Bileşen Haritası

Şekil 13 e. 23.4 kHz Fraser Filtreli Haritası

Şekil 14 b. 18.6 kHz Sanal Bileşen Haritası



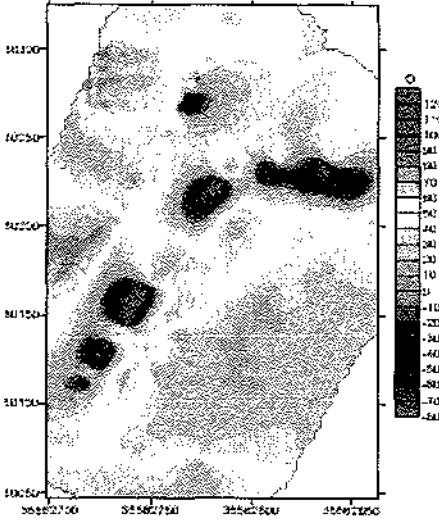
18.6 kHz Gerçek Bileşen Haritası



18.6 kHz Toplam Alan Haritası

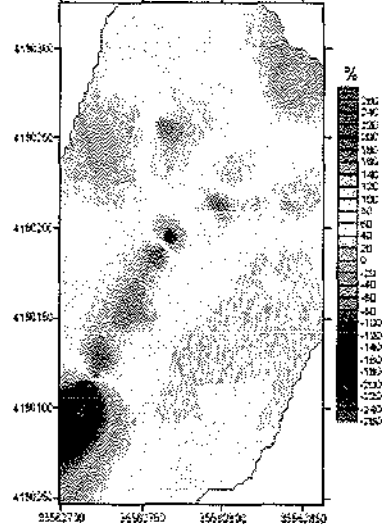
Şekil 14 a. 18.6 kHz Gerçek Bileşen Haritası

Şekil 14 c. 18.6 kHz Toplam Alan



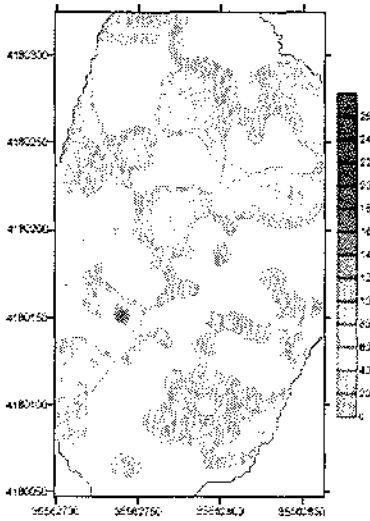
18.6 kHz Tilt Açısı Haritası

Şekil 14 d. 18.6 kHz Tilt Açısı Haritası



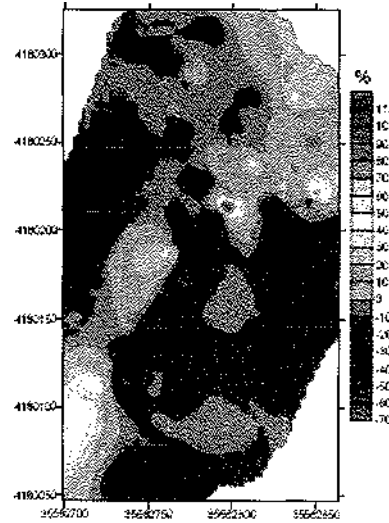
16 kHz Gerçel Bileşen Haritası

Şekil 15 a. 16.0 kHz Gerçel Bileşen Haritası



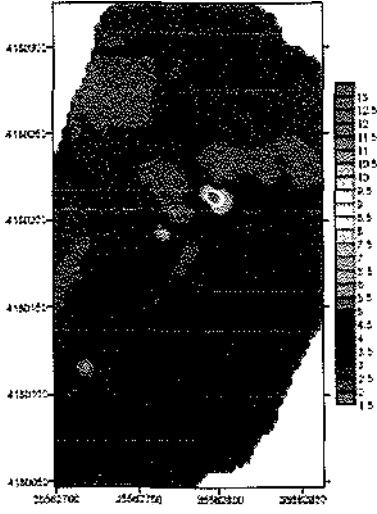
18.6 kHz Fraser Filtre Uygulanmış

Şekil 14 e. 18.6 kHz Fraser Filtreli haritası

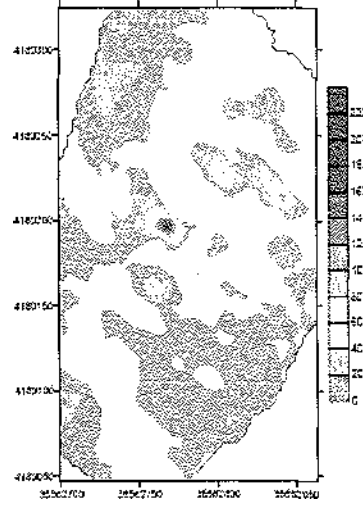


16 kHz Sanal Bileşen Haritası

Şekil 15 b. 16.0 kHz Sanal Bileşen Haritası



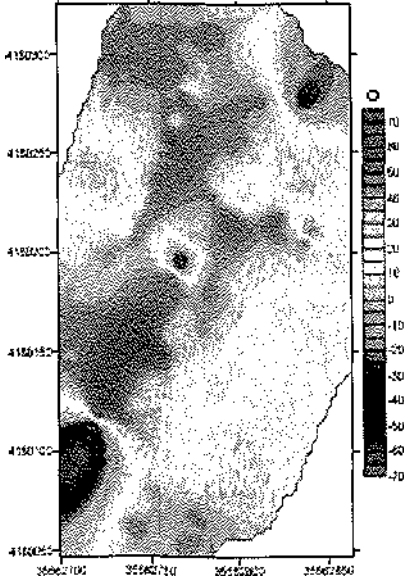
16 kHz Toplam Alan Haritası



6 kHz Fraser Filtre Uygulanmış Harita

Şekil 15 c. 16.0 kHz Toplam Alan Haritası

Şekil 15 e. 16.0 kHz Fraser Filtreli Haritası



16 kHz Tilt Açısı Haritası

Şekil 15 d. 16.0 kHz Tilt Açısı Haritası

3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1- Çalışma alanında uygulanan üç jeofizik yöntemden biri olan öz direnç çalışmalarında öz direnç tomografi çalışmaları ve Schlumberger profil çalışmaları yapılmış ve iki boyutlu kesit elde edilmiştir.

2- Manyetik yöntem ile 7 profilde toplam alan ve gradyometre ölçümleri alınmış ve düzeltmelerden sonra manyetik haritalar hazırlanmıştır.

3- Elektromanyetik yöntem ile 7 profilde 3 farklı frekansta ölçüm alınmış ve haritaları oluşturulmuştur.

4- Yol üzerinden de görülen ve galeri açılmış olan zon öz direnç kesitinde A simgesi ile gösterilmiştir (Şekil 8). Buradaki zon çalışma alanındaki en güçlü belirtileri veren ve tüm yöntemler ile desteklenen bölgedir. Burada belirtiyi veren (Şekil 10) veriye yapı derinliği hesaplamasında kullanılan güç spektrumu

yöntemi kullanılmıştır. Bir yapı varlığı için yapılan 19 hesaplama sonucunda, yapı derinliği 4.8 metre; bulunmuştur. Özdirenç yöntemi ile bu anomalinin derinlikle değişimi araştırılmış ve yapının 10 ve 13. metreler arasında bir görünür kalınlığa sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca buradaki yapının yatay yönde devamlılığı incelendiğinde ise D-GD istikametinde devamlılığının olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılan öz direnç çalışmalarında belirlenen 3 metrelik kalınlıkta bu sonucu destekler niteliktedir (Şekil 6). Bu sonuç MTA (1994) çalışmasındaki kalınlıkla birebir örtüşmektedir.

5-Demirli zonun kalınlığının hesaplanmasında öz direnç kesitinden (Şekil 8), alan hesaplaması ise manyetik anomali haritasından (Şekil 12) yararlanılmıştır. Yapının derinliği hakkında bilgi de güç spektrumu (Şekil 10) yardımıyla elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Candan, O. ve Dora, O.Ö. 1998. Menderes Masifi Gencelleştirilmiş Haritası. (yayınlanmamış)

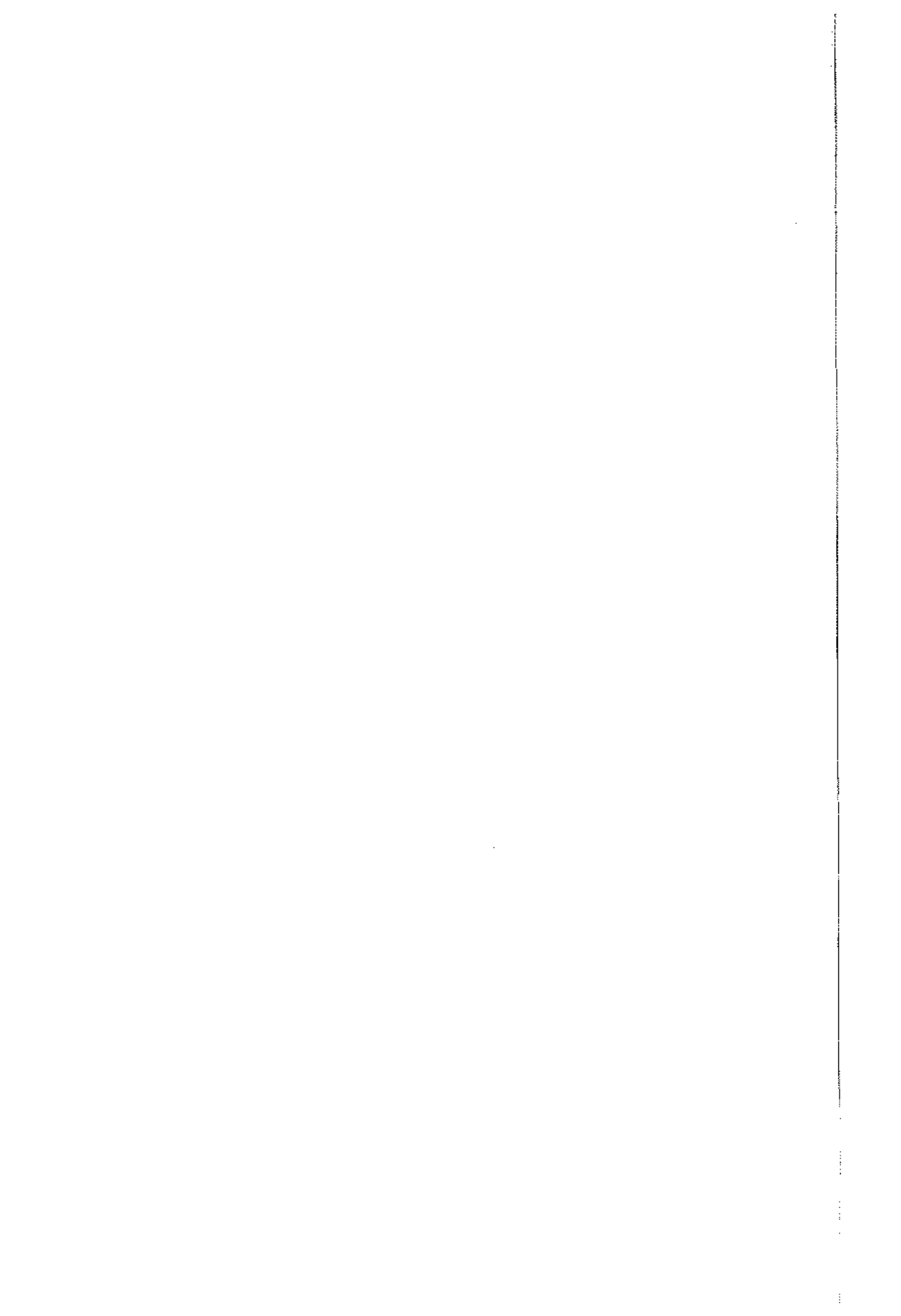
Fraser, D.C., 1969. Countouring of VLF-EM Data. *Geophysics*, Vol.34, pp. 958-967.

MTA Genel Müdürlüğü 1994. Türkiye Demir Envanteri. (Ed. Cihnioglu, M., Ceyhan Ü., Adigüzel, O. ve İşbaşarı O.), MTA Matbaası, Ankara, 408s.

Timur, E., 2003. VLF Yönteminin Arkeolojik Alanlarda Kullanılması. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Uchida, T. and Murakami, Y., 1990. Development of a Fortran code for the two-dimensional Schlumberger inversion, Geological Survey of Japan Open-File Report, No. 150, 50p.

Uchida, T. 1991. Two-dimensional resistivity inversion for Schlumberger sounding, *Geophys. Explor. (Butsuri-Tansa)*, Vol. 44, 1-17.



Mermer Sahalarında Boşlukların, Çatlakların Ve Blok Veriminin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması

Investigation of Cavities, Cracks and Block Productivity in Marbles Fields By Geophysical Methods

M. Ş. Yıldız, E. Gülerdoğan,
PM Prestij Mühendislik Yeraltı Araştırmaları, İstanbul,

F. A. Yüksel
İstanbul Üniv., Müh. Fak., Jeofizik Müh. Böl., İstanbul,

ÖZET İşletilen veya işletmeye açılması planlanan mermer, traverten gibi doğal taş sahalarında blok veriminin artırılması için sahada mevcut erime boşluklarının yeri, dağılımı, derinliği ve yönelimi Jeofizik (GPR, Jeoelektrik, Sismik) araştırma yöntemleri ile belirlenebilir. Bu amaçla Samsun İli, Havza İlçe sınırları içinde işletilen bir mermer sahasında, yeni bir ocak yerini belirlemek için, Yer Radarı (GPR), Jeoelektrik ve Sismik Kırılma yöntemleri kullanılmıştır.

Jeofizik araştırma sonucunda sahada kırık sisteminin yönelimi ve karstifikasyonun yoğunlaştığı bölgeler belirlenmiştir. Sonuç olarak, Jeofizik araştırma yöntemleri blok alımlarının yapılabileceği yerleri ve sahada blok üretim doğrultusunun tespit edilmesinde işletme maliyeti üzerinde önemli ekonomik katkılar sağlayacağı belirlenmiştir.

ABSTRACT The location, distribution, depth and elongation of the cavities within the natural rock quarries such as marble and travertine which are under operation or to be operated can be detected by the geophysical exploration methods (GPR, Geoelectric and Seismic methods). Within this scope, we applied the GPR, geo-electrical and seismic refraction method to investigate a marble production field near the Havza city of Samsun district so as to find a new query site for operation.

As a result of our exploration we determined the quartzite regions and the crack systems along with their elongations. To sum up, the geophysical exploration tools are cost-effective, fast and yield reliable results in detecting the block production direction and their quality.

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Samsun İli Havza İlçe sınırlarında İşletilen Mermer ocağında (MO), kırık çatlak ve gözenekliliğin jeofizik yöntemlerle (JFY) belirlenmesi için yapılmıştır. Çalışmada üç boyutlu yeraltı yapısını belirlemek amacıyla JFY'den jeoradar (GPR), Sismik Kırılma (SK) ve Rezistivite yöntemleri (RY) kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı mevcut ocak işletmesinde blok verimliliğini arttırmaktır. Bu amaçla, ortalama 20 dönüm olan söz konusu sahada, hızlı ve ekonomik olduğundan JFY'in kullanılması tercih edilmiştir (Çağlar, 2001; Keçeli, 1990).

2. JEOFİZİK YÖNTEMLER

Jeoelektrik yöntemlerin kullanılması ile mermer sahalarında yapılan ölçümler; yeraltı jeolojisinin haritalanması, yeraltı kırık, çatlak, erime boşlukları ve alterasyon zonlarının egemen olduğu kesimlerin belirlenmesi, yeraltındaki sağlam temel kayaların bulunduğu derinliğin belirlenmesinde ve örtü kalınlığının saptanmasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada Jeofizik Araştırma yöntemlerinden Jeoradar, Sismik ve elektrik Özdirenç Yöntemleri kullanılmıştır (Öztürk, 1993).

2.1 Jeoradar (GPR – Ground Penetration Radar)

GPR yönteminde temel ilke olarak yüksek frekanslı elektromanyetik (EM) dalgalar kullanılmaktadır. Bu yöntemle (EM) dalgalar bir verici antenle yeraltına gönderilir. Gönderilen bu dalgaların bir kısmı yeraltında farklı dielektrik özelliklerdeki yüzeylerden yansırken, diğer kısmı daha derin ortamlara nüfuz edebilir. Alıcı bir anten ise yansıyan

sinyalleri almaktadır. Alınan sinyal kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift-yol seyahat zamanı nanosaniye olarak kaydedilmektedir. Yansıyan ve iletilen sinyallerin genliği, yansıma katsayısına ve yansıma sınırındaki nesnelere büyüklüklerine bağlıdır.

Yüksek frekanslarda düşey ayrımlılık artarken, penetrasyon derinliği azalmaktadır. Genellikle çalışılan ortamın düşük iletkenlikli olması istenir. Bu tip bir ortamın matematiksel ifadesi $\sigma/\omega\epsilon \ll 1$ olarak verilir. Kum ve granit gibi düşük iletkenlikli ortamlarda jeoradar dalgaları derinlere ulaşabilirken; kil, şeyl gibi iletken ortamlar iletilen sinyalin penetrasyon derinliğinin azalmasına ve soğurulmasına neden olur (Ecevitoglu 2001).

Bu çalışmada Zond 12e GPR kontrol ünitesi, alıcı verici olarak 900 ve 750 MHz anten ve enerji kaynağı olarak akü kullanılmıştır.

Kayıtlar sürekli formda alınmıştır. Profil başlangıç ve bitiş noktaları GPS ile belirlenmiş ve haritalanmıştır.

İncelenen MO içinde açılmış olan kademelerde ve aynanın ilerleme yönünde ölçümler yapılmıştır.



Resim 1. Sahada kullanılan Jeoradar ekipmanı ile yapılan ölçümler

2.2 Rezistivite Yöntemi (RY)

Yöntemin temel ilkesi yere A ve

B gibi noktalardan Elektrik akımı vererek M ve N noktası arasında oluşan potansiyel farkını ölçme esasına dayanmaktadır. Yere verilen elektrik akımının oluşturduğu elektrik alanının kendisinden uzak noktalarda yarattığı potansiyeli ölçülerek, yeraltı katmanların öz direnç ve kalınlıkları hesaplanabilir (Çağlar İ, 2001).

Şematik gösterimde olduğu gibi akım hatları yeraltında küresel olarak yayıldığından AB aralığı arttıkça daha derinden yanıt alınabilir.

$$\rho_a = k (\Delta V / I) \quad (1)$$

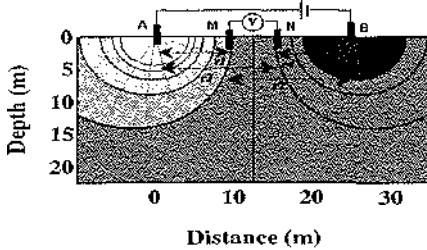
ρ_a : Görünür Öz direnç (ohm.m)

k : Geometrik faktör

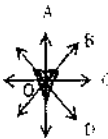
ΔV : ölçülen potansiyel farkı (mVolt)

I : Elektrik akım (mA)

RY ile; yeraltının stratigrafisi, bileşimi, matris yapısı, gözenekliliği, süreksizliği v.b. geometrik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenebilir.



Şekil 1 Rezistivite yönteminde elektrot düzeneği ve akım hatlarının şematik gösterimi (Çağlar, 2005)



Şekil 2. Anizotropik farklılığın tespitinde O merkezli A,B,C,D yönlerinde ölçüm tertibi

Aynı nokta merkezli ve farklı yönlerde alınacak öz direnç ölçümlerinde Anizotropik değişimlerin olup olmadığının belirlenmesi için Şekil 2 de verilen ölçüm düzeneği kullanılmıştır.

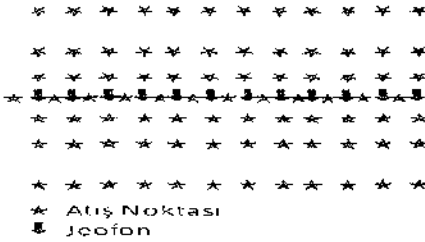
2.3 Sismik Kırılma Yöntemi

Bu yöntemde amaç, bir enerji kaynağı ile oluşturulan bir titreşimin yeraltında farklı özelliklerdeki ortamlardan kırılarak veya yansyarak yüzeye gelen dalgaları belirli aralıklarla serilmiş olan jeofonlar vasıtasıyla algılanır ve kayıt edilir. Her bir jeofona gelen sinyalin varış zamanı okunarak zaman-uzaklık grafiği çizilir. Zaman-uzaklık grafiğinden tabaka hızları ve tabaka kalınlıkları belirlenerek yeraltı tabakalarının geometrileri belirlenir. Dalganın yayılım hızı yeraltındaki formasyonların derinlikleri, tabakaların kalınlıkları, eğimi, kırık gibi düşey ve yatay süreksizlik zonları, yoğunluğu ve elastik parametreleri ile doğrudan ilişkilidir (Öztürk K, 1993).

SK değerlendirme yöntemlerinden biri olan tomografi yöntemi ile farklı atış noktalarından jeofonlara gelen ilk varışlardan hızların hesaplanarak, taranan alan içinde farklı hız değerleri gösteren ortamların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın yapıldığı saha litolojisi kireçtaşıdır. Bundan dolayı seçilen profilde her atış noktasından aynı hız değerleri veya çok az bir hız değişimi elde edilmesi beklenir. Hız değişimlerinin olması bu tür ortamlarda hıza etki eden kırık, boşluk ve fiziksel bozuma (su, hava vb etkilerle) olduğunu yansıtacaktır.

Sahada kırık sistemlerinin ve zayıf zonların belirlenmesi için SK profillerinde 3 m ofset, 3 m Jeofon aralığı, her iki jeofon orta noktasında ve jeofonlara paralel 3 m, 5 m, 10 m mesafelerde jeofonların karşılına

denk gelecek şekilde simetrik atışlar yapılmıştır (Şek. 3).



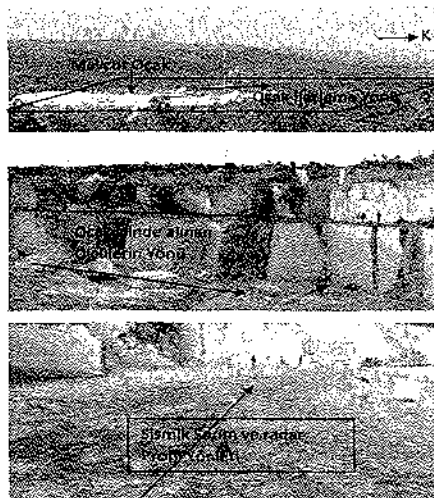
Şekil 3. SK ölçümlerinde Jeofon ve Atış noktalarının konumlarının şematik gösterimi

3. JEOFİZİK UYGULAMALAR

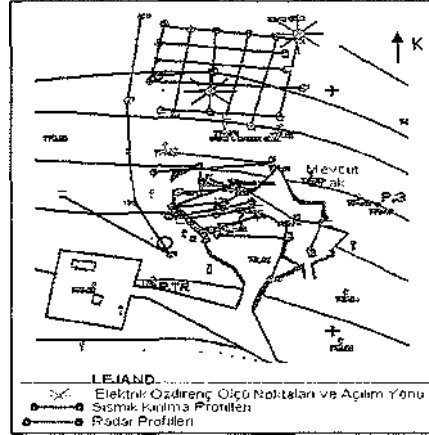
İnceleme alanı iki bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan biri ilerleme yönü olan bölge diğeri ise mevcut ocağın içinde açılan kademelerdir (Foto 2 ve Harita 1).

3.1 Mevcut Ocağın Kuzey Kesimi (İlerleme yönü)

Bu bölgede, GPR çalışması için, 5 profil ocağın ilerleme yönüne paralel ve 6 profil ise ilerleme yönüne dik olarak alınmıştır. Ayrıca, MO'nun batı kesiminde de 6 profilde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm kayıtları sürekli formda alınmıştır. Yine



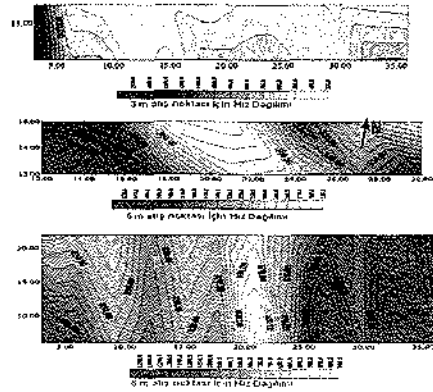
Resim 2. Çalışma Alanı Fotoğrafları



Harita 1. Ölçü Noktaları vaziyet Planı

bu bölgede iki lokasyonda öz direnç tomografi yöntemi ve 1 profilde de 3 ayrı atış kademesinde sismik tomografi ölçümleri alınmıştır.

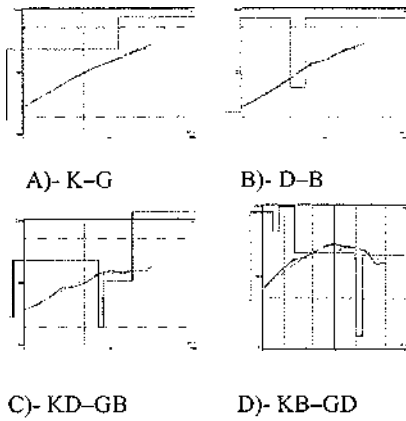
Sismik Hız tomografisinde elde edilen hız dağılımı incelendiğinde yüzeyde V_p hızı 350-500 m/sn arasında değişmektedir. Derinlere doğru bu değer 4000-5000 m/sn Hız değerlerine kadar ulaşabilmektedir. İlk 6 m lik seviyeden sonra Hız değerleri 1000 m/sn mertebelerine varmaktadır. Bu alanda süreksizlik yönelimleri K-G ve kısmen KB-GD yönelimi gösterir (Şek. 4)



Şekil 4 Sismik Kırılma Tomografisi ile elde edilen hız dağılım Haritası.

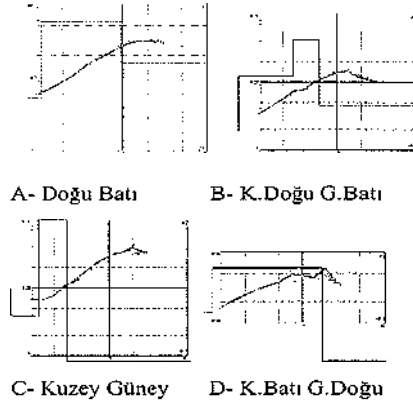
İki ayrı Lokasyonda gerçekleştirilen Düşey Elektrik sondajlarında (DES) açılımlar $AB/2=30$ m. olarak alınmıştır. Her bir lokasyonda K-G, D-B, KD-GB ve KB-GD yönelimlerinde dairesel bir alanda ölçümler yapılmıştır (Şek. 2).

DES-1 Ölçüm noktasında Kuzey Güney yönelimli açılımda herhangi bir süreksizlik gözlenmezken Doğu Batı yöneliminde kısmen 9-10 m ve 20-25 m arasında süreksizlik etkisi belirlenmiştir. KD-GB ve KB-GD yönelimine doğru bu etki giderek fazlalaşmaktadır (Şek. 5).



Şekil 5. DES-1 Ölçü Noktasında Schlumberger elektrot dizilimi Kullanılarak Farklı Yönlerde gerçekleştirilen Düşey Elektrik Sondaj Ölçümleri sonucunda Elde Edilen Özdirenç Grafikleri. Anizotropik değişimler

Homojen ortamlarda her yönde alınan özdirenç değerlerinin aynı olması gerekmektedir. Burada elde edilen farklılıklar ortamdaki süreksizliklerden kaynaklanmaktadır. Ortamın özdirenç değeri ilk 10-15 m için 2269 ohm. m ve alt seviyelerde ise 7177 ohm. m özdirenç değeri hesaplanmıştır.



Şekil 6. DES2 ölçü Noktasında Farklı yönlerde açılım yapılarak ölçülen Düşey Elektrik Sondaj Grafikleri. Anizotropik değişimler

DES-2 Ölçüm noktasında da en fazla süreksizlik etkisi KB-GD yönelimli açılımda izlenmektedir. Süreksizlik etkisinin en fazla olduğu yöne dik yönde süreksizlik yönelimi bulunmaktadır. DES'lerin yapıldığı dairesel alan içerisinde süreksizlik yönelimleri KD-GB yönelimleridir (Şek. 6).

Jeoradar kayıtları incelendiğinde yüzeyde ilk 5-6 m.lik seviyede oldukça fazla kırık, süreksizlik ve erime boşluklarının olduğu görülmektedir (Şek. 7). Süreksizlik ve erime boşluklarının etkilerini radarogramlarda yüksek genlikli yansımalar şeklinde izlemektediriz (Şek. 9).

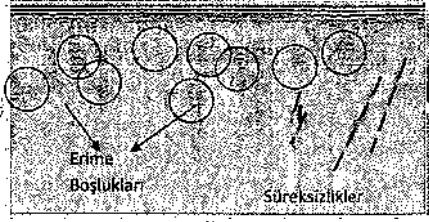


Şekil 7. 750 MHz anten ile alınan radarogram

Saha karelağı yapılarak alınan

ölçümler üç boyutlu programa aktarılmış ve boşlukların dağılımı ve yönelimi belirlenmiştir.

Şekil 8 de verilen radar kaydının alındığı bölgede ise alterasyonun daha yüzeyde kaldığı ilk 6 m derinliğe kadar erime boşluklarının kısmen olduğu görülmektedir. 6 m den sonra blok verimin yer yer alınabilecek ortamların olduğu görülmektedir.



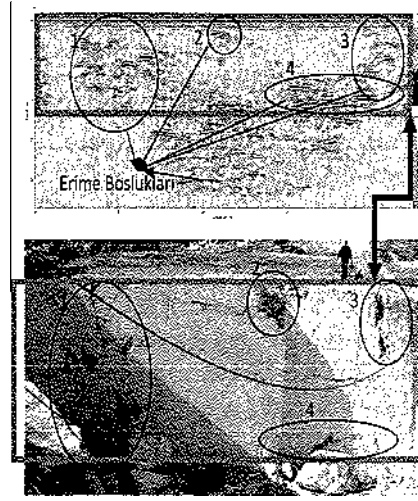
Şekil 8. 750 MHz anten kullanılarak sürekli formda kaydedilen radargram kesitleri

3.2 Mevcut Ocağın İçi

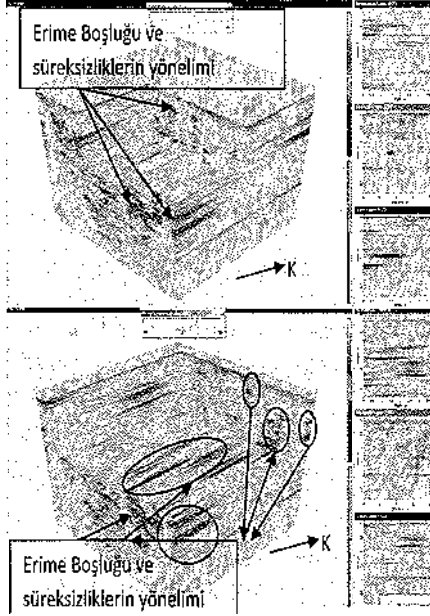
Mevcut ocak 4 kademelidir. 1. kademe yeni açılmaya başlamışlardır. 2 ve 3. kademelerde Jcoradar ölçümleri alınmıştır. Aynı zamanda 2. ve 3. kademede de sismik kırılma tomografisi ölçümleri alınmıştır.

Burada açılan aynaların üzerinde GPR kayıtları alınmış ve ayna fotoğraflanmıştır. Radargram ve ayna fotoğrafı incelenerek karşılaştırılmış ve Jcoradar kesitinin mevcut ayna kesiti ile bire bir örtüştüğü görülmüştür (Şek. 1). Bu uygulama ile hem GPR kayıtları test edilmiş hem de kırık ve çatlakların belirlenmesinde GPR yönteminin ideal bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Üçüncü kademede yapılan SK ölçümünde profile paralel olarak seçilen 0 m, 10 m ve 22 m atışlardan elde edilen izlerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen hız dağılımlarında, düşük hız değerlerinin KB-GD yönelimli olduğu görülmektedir.

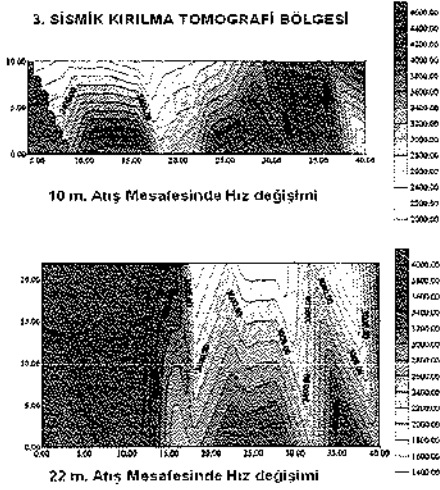


Şekil 9. 3. kademe ayna üzerinde alınan jcoradar kadı ile bu kayda ait aynanın fotoğrafı.



Şekil 10. 3 kademe tabanında alınan sismik hız dağılımı.

Alınan radar kayıtları özel 3D bilgisayarprogramı ile değerlendirilmiştir (Şek. 8).



Şekil 11. MO'da 2. kademede alınan radargramların 3D görüntüleri

Bu program aracılığı ile saha farklı kesitlerde ve açılarda kesilerek kırık ve süreksizliklerin ne yöne gittiği bilgisayar ortamında belirlenmiştir.

SONUÇ

Çalışmanın amacı, mermer sahalarındaki düşey ve yatay süreksizliklerin belirlenmesinde jeofizik yöntemlerin daha ekonomik ve hızlı çözüm ürettiğini ortaya koymaktır. Jeofizik yöntemler 20 dönümlük test alanı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

- Çalışma alanında Jeofizik yöntemlerden; GPR, Elektrik ve Sismik Kırılma yöntemleri kullanılmıştır. Ortalama araştırma derinlikleri GPR ölçümlerinde 8-12 m., Elektrik ölçümlerinde 30 m ve sismik kırılma yönteminde de 10- 15 m arasındadır.
- Elektrik ölçümlerinde aynı noktada farklı yönlerde ölçümler alınarak anizotropi farkı araştırılmıştır. Süreksizlik ve boşlukların yoğun olduğu kesimlerde farklı öz direnç

özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle KB-GD yöneliminde yapılan açılımlarda süreksizliklerin etkisinin en fazla izlendiği gözlenmiştir.

- Jeoradar ölçümlerinde boşluk ve süreksizliklerde, yansıyan dalgalarda maksimum genlikli izler elde edilmiştir. Ayna üzerinde alınan GPR radargramları ile ayna resmi karşılaştırılmış ve elde edilen radar kaydının ayna resmi ile birebir örtüştüğü tespit edilmiştir.
- Her üç yöntemde de inceleme alanı içerisinde yoğun yanal ve düşey süreksizlik etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.
- Yatay ve düşey süreksizliklerin (crime boşlukları, kırık, çatlak, alterasyon v.s.) alt seviyelere doğru kısmen azalmaktadır. Dolayısı ile inceleme sahasında, blok verimi oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.
- Mermer Ocağının işletilmesinde blok veriminin oldukça düşük olacaktır. İlerleme Yönü Kuzeye yakın KB-GD seçilmesi Blok verimi üzerinde pozitif bir etki oluşturacaktır. Bu tür sahalarda işletmenin devam etmesi ve çıkan posanın değerlendirilmesi konusunda Plak üretim tesisi ile birlikte kullanılması daha verimli olacaktır. Geri kalan posanın da bir konkresör aracılığı ile kırılarak bölgenin taşocağı ihtiyacına yönelik olarak değerlendirilmesi işletmeye artı bir değer katacaktır.
- Mermer sahalarında işletme çalışmalarına başlanmadan önce veya işletme esnasında Jeofizik yöntemlerin kullanılması ile sahada yatay ve düşey süreksizliklerin (kırık, boşluk, çatlak, alterasyon v.b.) hızlı ve ekonomik olarak önceden belirlenmesi mümkündür. Kırık ve süreksizliklerin yönelimine bağlı olarak ayna yeri

seçimi ve ilerleme yönü jeofizik yöntemlerle belirlenmesiyle blok verimi artacak ve mermer ocağı çok daha ekonomik işletilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Çağlar, İ, 2001. Jeoelektrik Yöntemler, İ.T.Ü. Ders Notları, İstanbul
- Ecevitoglu, B, 2001. Jeoradar Uygulama Ders Notları İ.T.Ü. İstanbul
- Gökçek, E, 2006. Jeofizik, Jeoteknik

ve Zemin İyileştirme Kurs Notları, JFMO Ankara

- Keçeli, A, 1990. Sismik Yöntemle Taşıma Kapasitesi Saptanması JFMO Yayınları, JFMO ISSN 0259-1472

- Öztürk, K, 1993. Prospeksiyon Jeofiziği İ.Ü. Yayınları ISBN 975-404-274-8,1-162

- www.geop.iyu.edu.tr/~jeotermal/jeoelektrik.hyml#16/20

Çeşitli Kaynaklara Bağlı Olarak Enerji Sektöründen Açığa Çıkan Küresel Metan Emisyonlarının Bölgesel Analizi

The Regional Analyses of Global Methane Emissions from Energy Sector by Different Sources

G. Aydın, İ. Karakurt

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Artan nüfus ile birlikte sanayileşmenin artması sera gazlarının atmosferdeki miktarlarının yükselmesine sebep olmuştur. Sera gazlarının atmosferdeki bu artışı; atmosferin, güneş ısısını tutma ve serbest bırakmasından dolayı bir yalıtkan gibi davranmasına yol açmıştır. Enerji üretimine bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonları; doğal gaz ve petrol sistemleri, kömür madenciliği, fosil yakıtlar ve biyokütlenin yakılması sonucu atmosfere salınmaktadır. Bu çalışmada 2005-2015 yılları arasında enerji üretimine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar bölgesel bazda ele alınmış ve bu dönem için ortalama emisyonlar ve toplam değişimler hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda doğal gaz ve petrol sistemlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının enerji üretimine bağlı olarak açığa çıkan emisyonların büyük bir çoğunluğunu (% 67) oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu emisyonları sırasıyla madencilik faaliyetlerine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar (% 20), biyokütle (% 10) ve fosil yakıt (% 3) yakılması sonucu açığa çıkan emisyonlar takip etmektedir.

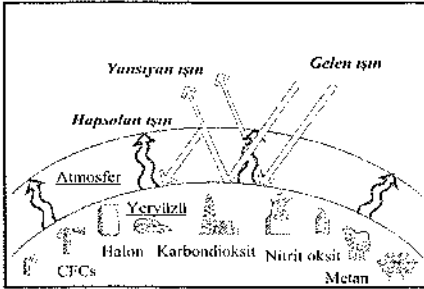
ABSTRACT The increasing of industrialization together with the rising of population has resulted in greenhouse gas increases in the atmosphere. These increases have caused the atmosphere to act as an insulative in adsorption and releasing of the solar heat. The methane emissions related to energy production, are released to the atmosphere as a consequence of natural gas and oil systems, coal mining, fossil and biomass fuel. In this study, the emissions between 2005-2015, released from energy production, have been dealt with as regional and the average emissions and total changing have been estimated for this term. As a result of study, it has been determined that the methane emissions by natural gas and oil systems create the majority of emissions (%67) released from energy production. The other emissions are respectively mining (%20), biomass (%10) and fossil fuel (%3).

1 GİRİŞ

Nüfus yoğunluğunun giderek artmasına bağlı olarak hızla artış gösteren ihtiyaçların tam anlamıyla karşılanabilmesi, sanayileşmenin giderek artmasına neden olmuştur. Bu artışın etkisiyle sera gazlarının atmosfere salımlarının giderek artışı sonucu küresel ısınma belirtileri yavaş yavaş ortaya çıkmıştır ve günümüzde de bu etkiler artarak devam etmektedir.

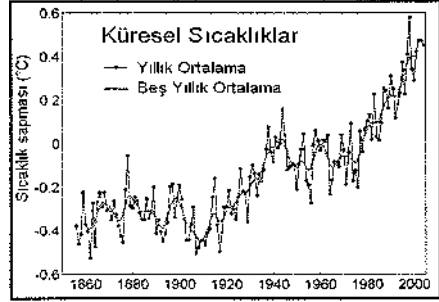
Genel anlamda küresel ısınma; insanların faaliyetleri sonucunda oluşan sera gazlarının atmosferde birikmesiyle dünyadan yansıyan güneş ışınlarının, uzay boşluğuna verilmesi yerine tekrar dünyaya dönmesi sonucu yeryüzü sıcaklığının giderek artmasıdır (Şekil 2). Şekil 1’de sera gazlarının küresel ısınma üzerindeki etkisini göstermektedir.

En önemli sera gazları karbondioksit (CO_2), kloroflorokarbonlar (CFC’ler), metan (CH_4), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O_3) olup bu gazlar toplam sera etkisinin %97’sini teşkil ederler. Kalan % 3 ise su buharı (H_2O) ve diğer gazlardan ibarettir (Aydın ve Karakurt, baskıda).



Şekil 1. Sera etkisi (URL 1, 2008)

Her bir sera gazının antropojenik emisyon miktarlarına olan katkısı Çizelge 1’deki gibidir. Emisyonların büyük bir çoğunluğunu karbondioksit oluştururken onu sırasıyla metan, azot oksitleri ve kloroflorokarbon gazları takip etmektedir.



Şekil 2. 1860–2000 yılları arasında küresel sıcaklıklardaki değişimler (URL 2, 2008)

Çizelge 1 Antropojenik sera gazı emisyonları (Kruger ve Franklin, 2006)

Antropojenik emisyon gazları	Oran
Karbondioksit (CO_2)	74
Metan (CH_4)	16
N_2O	9
CFCs, HFCs, PFCs, SF6’ların tüketimi	1

Karbondioksit: Fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömürlerin ve doğal gazın) sanayide kullanılması sonucunda oluşarak atmosfere karışmaktadır. Atmosfere karışan karbondioksitin % 80-85’i fosil yakıtlardan, %15-20’si de canlıların solunumundan ve mikroskopik canlıların organik maddeleri ayrıştırmasından kaynaklanmaktadır. Küresel ısınmadaki payları %74 oranındadır (Aksay vd., 2005).

Metan: Bu gaz organik atıkların oksijensiz ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) sonucunda meydana gelmektedir. Başlıca kaynakları pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, çöp yığınları ve bataklıklardır. Metan moleküllerinin ömrünün ve miktarının az olması nedeniyle, küresel ısınmadaki etki payı % 16 kadardır (Kruger ve Franklin, 2006). Metan ile ilgili kapsamlı bilgi takip eden bölümde verilecektir.

Azot Oksitleri: Bu sera gazının kaynakları egzoz gazları, fosil yakıtlar ve organik maddelerdir. Küresel ısınmadaki payı % 9'dur (EPA, 2002).

Kloroflorokarbon Gazları (CFC-H): Bu sera gazları için doğal kaynak yoktur. Spreylerdeki püskürtücü gazlar, soğutucu aletlerde kullanılan gazlar, bilgisayar temizleyiciler, bu gazların başlıca yapay kaynaklarıdır. Küresel ısınmadaki payları % 1 oranındadır. (EPA, 2002; Aydın, 2008).

Çizelge 2'de sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri verilmiştir. En yüksek küresel ısınma potansiyele sahip sera gazı HFC'ler iken onu sırasıyla nitrik oksit, metan ve karbondioksit takip etmektedir.

Çizelge 2. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyeli (Aydın, 2008).

Gaz	KIP
Karbondioksit (CO ₂)	1
Metan (CH ₄)	21
Nitrik oksit (N ₂ O)	310
HFC-23	11,7
HFC-32	650
HFC-125	2,8
HFC-134a	1,3
HFC-143a	3,8
HFC-152a	140
HFC-227ca	2,9
HFC-236fa	6,3
HFC-4310mcc	1,3
CF ₄	6,5
C ₂ F ₆	9,2
C ₄ F ₁₀	7
C ₆ F ₁₄	7,4
SF ₆	23,9

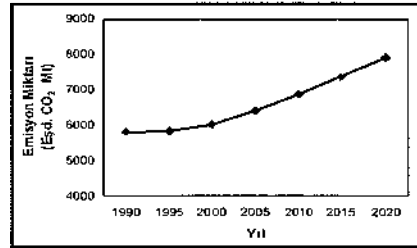
CO₂ dışındaki sera gazlarının 2005-2015 yılları arasında açığa çıkan ve açığa çıkması beklenen miktarları Çizelge 3'teki gibidir.

Metan, nitrik oksit ve yüksek potansiyele sahip gazlar için verilen değerler eşdeğer karbondioksit değerlerine dönüştürülerek hesaplanmıştır

2 METAN

Metan organik artıkların oksijensiz ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) sonucunda meydana gelmektedir. Başlıca kaynakları pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, çöp yığınları ve bataklıklardır. Oranı binlerce yıldan beri değişmemiş olan bu gaz, son birkaç yüzyılda iki katına çıkmış ve 1950'den beri de her yıl %1 oranında artmıştır.

Bu değişiklik CO₂ seviyesindeki artışa göre az olsa da, metanın CO₂'den 21 kat daha kalıcı olması nedeniyle en az CO₂ kadar dünyayı etkilemektedir. 1990-2020 yılları arasında açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyon miktarlarındaki değişim Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3. Yıllara bağlı olarak açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyon miktarları (Aydın, 2008)

Çizelge 3. 2005-2015 yılları arasında açığa çıkan ve çıkması beklenen CO₂ dışındaki sera gazlarının miktarları (Eşd. CO₂ Mt)' (EPA-5, 2006).

Yıllar	2005	2010	2015
Metan	6407,49	6875,14	7358,43
Nitrik Oksit	3285,63	3514,88	3764,03
YPG	503,41	601,50	792,37
Toplam	10196,53	10991,52	11914,83

Antropojenik metan emisyonları küresel metan emisyonunun % 60'ını oluşturmaktadır. Kalan % 40'lık kısım ise doğal kaynaklardan yayılmaktadır.

Çizelge 4'de 2005 yılında çeşitli sektörlerden açığa çıkan küresel metan emisyon miktarları ve her bir faaliyetin toplam emisyonlara katkı oranı gösterilmiştir. Enterik fermantasyon metan emisyonlarının %30'unu oluşturmaktadır. Enterik fermantasyonu %18'lik oranla doğal gaz ve petrol sistemlerinin yol açtığı emisyonlar takip etmektedir. En düşük emisyonlar ise sanayi sektöründen açığa çıkmaktadır. Kömür üretim faaliyetleri sonucu açığa çıkan emisyonlar ise toplam metan emisyonlarının %6'sını oluşturmaktadır.

Çizelge 4. 2005 yılında çeşitli faaliyetlerden kaynaklanan küresel metan emisyonlarının miktarı ve her bir faaliyetin toplam emisyona katkısı (Aydın ve Karakurt, 2009 basımda)

Yıllar	2005	K.O.
Doğal gaz ve petrol	1165,03	18,18
Kömür madenciliği	388,14	6,06
Fosil yakıtlar	63,84	1,00
Biyokütle yanması	186,25	2,91
Sanayi	6,16	0,10
Çöp Dolgusu	747,38	11,66
Atık Suyu	558,11	8,71
Diğer	1,75	0,03
Enterik Fermantasyon	1928,87	30,10
Prinç	671,89	10,49
Gübreleme	234,57	3,66
Diğer Kimyasal	455,51	7,11

3 ENERJİ ÜRETİMİNDEN KAYNAKLANAN METAN EMİSYONLARI

Metan sektörel bazda tarım, enerji, sanayi ve atık sektörlerinden açığa çıkmaktadır. Enerji sektörüne bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonlarına aşağıdaki faaliyetler yol açmaktadır.

- ✓ Doğal gaz ve petrol kaynaklı metan emisyonları
- ✓ Kömür üretiminden kaynaklanan metan emisyonları

✓ Fosil yakıtlardan kaynaklanan metan emisyonları

✓ Biyokütle yakılması nedeniyle ortaya çıkan metan emisyonları.

Bu bölümde bölgesel bazda bu faaliyetlere bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonları değerlendirilecektir.

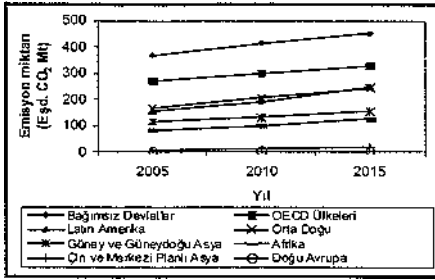
(Bu bölümdeki çizelgeler ve grafikler EPA tarafından 2006 yılında yayınlanan ve 1980-2020 yılları arasında açığa çıkan ve çıkması beklenen karbondioksit haricindeki sera gazlarını konu alan raporun ışığında hazırlanmıştır.)

3.1 Doğal Gaz ve Petrol Kaynaklı Metan Emisyonları

Metan doğal gazın birincil bileşenidir ve doğal gaz üretimi, zenginleştirilmesi, depolanması ve dağıtım süreçlerinde serbest kalmaktadır. Doğal gaz genellikle petrol rezervleriyle aynı anda bulunduğu için dolayı petrol üretim ve prosesleri esnasında da önemli miktarlarda metan salınımları gerçekleşmektedir. Hem petrol hemde doğal gaz sistemlerinde oluşan metan emisyonları sistemlerdeki kaçaklardan meydana gelmektedir. Kaçaklar ekipmanlardan, üretim faaliyetleri

Çizelge 5. Doğal gaz ve petrol kaynaklı metan emisyonlarının 2005-2015 yılları arasındaki ortalama miktarları ve yüzde değişimleri (Eşd. CO₂ Mt.)

Bölge	Ortalama	% Değ.
Bağımsız Devletler	411,16	22,30
OECD Ülkeleri	300,89	21,19
Latin Amerika	197,95	62,34
Orta Doğu	204,33	47,82
Güney ve G. Doğu Asya	132,80	33,30
Afrika	102,66	49,57
Çin ve Merk. Plan. Asya	11,37	160,21
Doğu Avrupa	1,90	31,48
Toplam	1363,06	34,75



Şekil 4. 2005-2015 yılları arasında bölgesel bazda açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyonları

sırasında, ulaştırma hatları boyuca, depolama esnasında ve gaz dağıtım hatlarında meydana gelmektedir (Aydın, 2008).

Çizelge 5 doğal gaz ve petrol üretimine bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonlarının miktarlarını ve ele alınan dönemde bu gazdaki değişimleri göstermektedir. Anlaşılacağı gibi doğal gaz ve petrol üretimine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlarda ilk sırayı Bağımsız Devletler Topluluğu almaktadır. Bağımsız devletler Topluluğu'nu sırasıyla OECD ülkeleri, Latin Amerika, Orta Doğu ve bu ülkelere kıyasla nispeten daha az emisyon yayan ve tabloda belirtilen diğer ülkeler takip etmektedir.

Ele alınan dönemlerde Çin ve Merkezi Planlı Asya'nın emisyon değişimi çok yüksektir. Diğer bölgelerdeki değişimler ise beklenen düzeyde artan enerji taleplerinden kaynaklanmıştır.

Doğal gaz ve petrol sistemlerine bağlı olarak bu dönemde açığa çıkan toplam emisyon miktarı 1363,06 Mt. karbondioksit eşdeğer olup değişim oranı %34,75 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4 ele alınan yıllar arasında petrol ve doğal gaz üretimine bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonlarının yıllar bazında değişimini ifade etmektedir.

Çizelge 6. Kömür üretiminden kaynaklanan metan emisyonlarının 2005-2015 yılları arasındaki ortalama miktarları ve yüzde değişimleri (Eşd. CO₂ Mt.)

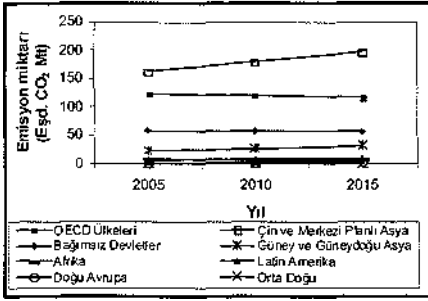
Bölge	Ortalama	% Değ.
OECD Ülkeleri	120,46	-5,24
Çin ve Merkezi Pln. Asya	179,53	21,03
Bağımsız Devletler	58,39	-4,18
Güney ve G. Doğu Asya	28,42	36,49
Afrika	8,29	-2,26
Latin Amerika	8,50	24,47
Doğu Avrupa	3,07	70,87
Orta Doğu	0,42	15,38
Toplam	407,08	9,64

3.2 Kömür Üretiminden Kaynaklanan Metan Emisyonları

Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak yayılan emisyon miktarı iki ana faktörün fonksiyonudur. Bunlar kömür damarının derinliği ve kömürün rankıdır. Rank kömürün karbon içeriğinin bir ölçüsüdür ve artan derinliğe bağlı olarak artış gösterir. Linyit düşük miktarlarda metan ihtiva ederken antrasit ve semiantrasit gibi kömürler yüksek karbon içeriğine sahiptir ve genellikle yüksek miktarlarda metan ihtiva ederler. Derinlikle birlikte basıncın artmasına bağlı olarak kömür damarı içerisinde bulunan metan gazının yüzeye ulaşması engellenmiş olur. Bu nedenle yeraltı madencilik üretimleri yerüstü üretimlere kıyasla daha çok metan emisyonu yaymaktadırlar.

Kömür üretimine bağlı olarak açığa çıkan metan emisyonları Çizelge 6'daki gibidir. Bu kategoride Çin ve Merkezi Planlı Asya ilk sırayı almaktadır. OECD ülkeleri ise ikinci sırada yer alarak yüksek miktarlarda emisyon yaymaktadır. Diğer bölgelerden açığa çıkan emisyonlar nispeten daha düşüktür.

Şekil 5'de ele alınan yıllar arasında kömür üretiminden kaynaklanan metan



Şekil 5. 2005-2015 yılları arasında kömür üretimine bağlı olarak açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyonları

emisyonlarının yıllar bazında değişimini ifade etmektedir.

Çalışma döneminde bazı bölgelerden açığa çıkan metan emisyonları azalırken diğerlerinde artışlar göstermiştir. En yüksek değişim Doğu Avrupa ülkelerinde gözlenmektedir. Kömür üretimine bağlı olarak çalışma döneminde açığa çıkan toplam emisyon miktarı 407,08 Mt. karbondioksit eşdeğer olup değişim oranı %9,64 olarak hesaplanmıştır.

3.3 Fosil Yakıtların Yanmasından Kaynaklanan Metan Emisyonları

Tam olarak gerçekleşmeyen yanmalar sonucunda metan açığa çıkmaktadır.

Çizelge 7. Fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan metan emisyonlarının 2005-2015 yılları arasındaki ortalama miktarları ve yüzde değişimleri (Eşd. CO₂ Mt.)

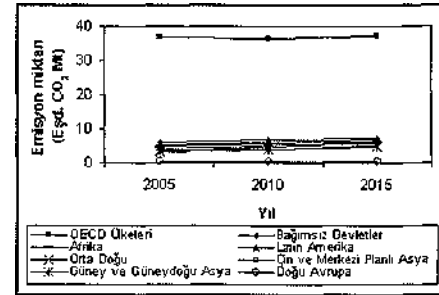
Bölge	Ortalama	% Değ.
OECD Ülkeleri	36,74	1,15
Bağımsız Devletler	6,64	20,40
Afrika	5,53	26,64
Latin Amerika	5,89	28,79
Orta Doğu	4,06	31,44
Çin ve Merkezi Plan. Asya	4,97	50,13
Güney ve G.Doğu Asya	4,11	47,89
Doğu Avrupa	0,38	23,5
Toplam	68,32	14,40

Ancak bu yolla açığa çıkan metan emisyonları toplam emisyonların çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların yakılması sonucu açığa çıkan ortalama metan emisyonları Çizelge 7'de verilmiştir. Açığa çıkan emisyonlar diğer enerji kaynaklarının yol açtığı emisyonlarla kıyaslandığında nispeten daha düşüktür. OECD ülkeleri bu emisyonların büyük bir çoğunluğundan sorumludur.

Şekil 6, ele alınan yıllar arasında fosil yakıtların yanması sonucu oluşan metan emisyonlarının yıllar bazında değişimini ifade etmektedir.

OECD ülkelerinden açığa çıkan emisyonlar yüksek olmasına rağmen çalışma döneminde emisyonlardaki değişimler oldukça düşüktür. Diğer bölgelerden açığa çıkan emisyonlar ise yıllar bazında artışlar göstermiştir. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan ve bu dönemde açığa çıkan toplam metan emisyon miktarı 68,32 Mt. karbondioksit eşdeğer olup değişim oranı %14,40 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. 2005-2015 yılları arasında fosil yakıt yakılmasına bağlı olarak açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyon miktarı

3.4 Biyokütle Yakılması Nedeniyle Ortaya Çıkan Metan Emisyonları

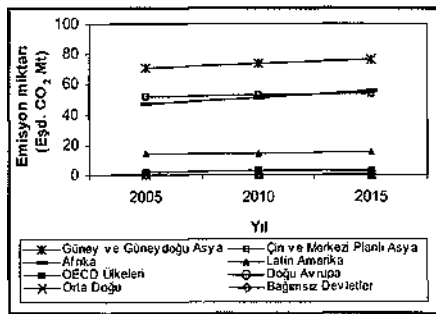
Biyokütle, tükenmez bir kaynak olması her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle

kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Biyokütle yanması sonucu metan açığa çıkmaktadır (Çubuk vd., 2008)

Çizelge 8. Biyokütle yanmasından kaynaklanan metan emisyonlarının 2005-2015 yılları arasındaki ortalama miktarları ve yüzde değişimleri (Eşd. CO₂ Mt.)

Bölge	Ortalama	% Değ.
Güney ve G. Doğu Asya	73,78	7,58
Çin ve Merkezi Pln. Asya	52,82	3,14
Afrika	51,31	19,31
Latin Amerika	14,36	6,55
OECD Ülkeleri	2,60	36,53
Doğu Avrupa	0,16	0,00
Orta Doğu	0,31	53,85
Afrika	0,11	0,00
Toplam	195,45	0,00

Biyokütle yakılmasından kaynaklanan metan emisyonları Çizelge 8'deki gibidir. Açığa çıkan emisyonlar diğer enerji kaynaklarının yol açtığı emisyonlarla kıyaslandığında üçüncü sırada yer almaktadır. Güney ve G. Doğu Asya, Çin ve Merkezi Pln. Asya, Afrika bu kategoride açığa çıkan emisyonların çoğunluğundan sorumludur.



Şekil 7. 2005-2015 yılları arasında biyokütle yakılmasına bağlı olarak açığa çıkan ve çıkması beklenen metan emisyon miktarı

Şekil 7, ele alınan yıllar arasında biyokütle yanmasına bağlı olarak bölgesel bazda açığa çıkan emisyonları göstermektedir. Emisyonlarda çok yüksek değişimler gözlenmemekle beraber en yüksek değişimler Orta doğu ve OECD ülkelerinde gözlenmektedir. Biyokütle yakılmasına bağlı olarak bu dönemde açığa çıkan toplam emisyon miktarı 1363,06 Mt. karbondioksit eşdeğer olup değişim oranı %34,75 olarak hesaplanmıştır.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji sektörü metan emisyonlarından sorumlu ikinci büyük sektördür. Doğal gaz ve petrol sistemleri enerji sektörüne bağlı olarak açığa çıkan emisyonların büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır (%67). Doğal gaz ve petrol sistemlerine bağlı olarak açığa çıkan emisyonları sırasıyla, kömür üretiminden kaynaklanan emisyonlar (%20), biyokütle yakılması sonucu açığa çıkan emisyonlar (%10) ve fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan emisyonlar (%3) takip etmektedir. Emisyonlardaki değişimlere bakıldığında zaman petrol ve doğal gaz sistemlerinde ele alınan dönemde %34,75'lik bir değişim gözlenirken, biyokütle yanmasına bağlı olarak açığa çıkan emisyonlarda bir değişim gözlenmemektedir. Kömür ve fosil yakıtlara bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar ve fosil yakıt yakılmasından kaynaklanan emisyonlardaki değişiklikler nispeten daha küçüktür.

Petrol ve doğal gaz sistemlerinden kaynaklanan emisyonlar çalışma döneminde artışlar göstermiştir ve bölgeler bazında açığa çıkan emisyonlardaki değişimler çok yüksek çıkmıştır. Bağımsız devletler ve OECD ülkelerinden petrol ve doğal gaz sistemlerine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar petrol ve doğal gaz

sistemlerinden kaynaklanan toplam emisyonun büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bahsedilen bölgelerdeki emisyonların yüksek çıkmasının sebebi Rusya ve Amerika'dan açığa çıkan yüksek emisyonlardır.

Kömür madenciliğinden kaynaklanan metan emisyonları çalışma döneminde artış göstermemiştir. Kömür madenciliğinden kaynaklanan metan emisyonların büyük bir çoğunluğundan Çin ve Merkezi Planlı Asya, OECD ülkeleri, Bağımsız Devletler sorumludur. Bahsedilen bölgelerdeki emisyonların yüksek çıkmasının sebebi Çin, Amerika ve Rusya'dan açığa çıkan yüksek emisyonlardır.

Fosil yakıtların ve biyokütle yakılması sonucu açığa çıkan toplam emisyonlar enerji sektörü kaynaklı metan emisyonlarının sadece % 13'ünü oluşturmaktadır.

Petrol ve doğal gaz istemleri ve kömür üretimine bağlı olarak açığa çıkan emisyonların azaltılması mümkündür. Bu amaçla petrol ve doğal gaz üretimine bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar sızıntı oluşturan bileşenlerin değiştirilmesi, düzenli olarak sistemlere bakım yapılması ve rutin havalandırma prosedürlerinin sınırlandırılmasıyla azaltılabilmektedir.

Kömür damarlarında drenaj işlemleri gazın değişik amaçlarda kullanılabilmesine (ısıtma, maden havasının ve tesislerinin ısıtılması, elektrik üretimi vb.) olarak sağlamaktadır. Drenajla birlikte elde edilen metanı atmosfere yaymak yerine yukarıda belirtilen amaçlarda kullanmak, gazın küresel ısınmaya etkisini yaklaşık 20 kata kadar azaltarak iklim değişim oranının yavaşlamasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aksay, C., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L., 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, SÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Dergisi, 25, 29-41.
- Aydın, G. ve Kesimal, A., 2007; 'Kömür Madenciliğinde Metan Drenajının Uygulanabilirliğinin Araştırılması' Madencilik, Cilt 46, Sayı 4, Sayfa 11-20, Aralık 2007
- Aydın, G. ve Karakurt, İ., 2009; 'Yer altı Kömür Damarlarından Üretilen Metanın Kullanım Teknolojileri' PAU, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Baskıda.
- Aydın, G. 2008. 'Kömür Kökenli Metanın Kullanım Teknolojileri ve Enerji Üretiminden Kaynaklanan Antropojenik Metan Emisyonlarının Analizi' KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Çubuk, M., Gülen, J. ve Tepecik A., 2008, 'Kömür ve Biyokütle Karışımının Yakılması Sonucu Oluşacak Sıcaklık Dağılımının Modellenmesi' Fırat Üniv., Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (4), 635-640, 2008
- EPA-1, 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/pdfs/global_emissions.pdf 28 Aralık 2007
- EPA-2. 2002. Greenhouse Gases And Global Warming Potential Values Excerpt From The Inventory Of U.S. Greenhouse Emissions And Sinks: 1990-2000
[http://yosemite.epa.gov/oar/GlobalWarming.nsf/UniqueKeyLookup/SHSU5BUM9T/\\$File/ghg_gwp.pdf](http://yosemite.epa.gov/oar/GlobalWarming.nsf/UniqueKeyLookup/SHSU5BUM9T/$File/ghg_gwp.pdf)
- Kruger, D. ve Franklin, P., 2006. The Methane to Markets Partnership: Opportunities for coal mine methane

utilization, 11th U.S./North American Mine ventilation symposium, June, 3-8.

Türkeş, M. 2003. Sera Gazı Salımlarının Azaltılması İçin Sürdürülebilir Teknolojik ve Davranışsal Seçenekler, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi; Çevre Bilim ve Teknoloji, Küreselleşmenin Yansımaları, Bildiriler Kitabı, 267-285, Ankara.

URL 1 , 2008

http://www.coolmob.org/images/pic_greenhouse_effect.gif

URL 2, 2008

http://emrahunsal.files.wordpress.com/2008/06/sc4b1caki4b1k_kayc4b1tlarc4b1.png

URL 3, 2008 <http://www.epa.gov/methane/sources.html>

Kalecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Jeolojisi ve Jeoteknik Özellikleri

Geology and Geotechnical Properties of Kalecik (Gümüşhane) Travertines

H. Ersoy, A. Özdemir, B. Yalçınalp

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Bu çalışmada Kalecik Köyü'nde (Torul-Gümüşhane) bulunan ve işletilmekte olan travertenlerin oluşum koşulları ve kökeni incelenmiş, ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Morfolojik olarak dom (koni) tipi travertenler grubuna giren ve genel olarak beyazımsı gri renklerde ve sert bir yapıda olan bu travertenler yüzeye yakın yerlerde boşluklu, tabana doğru ise boşluksuz bir yapı göstermektedir. Yüzeysel aşınma ve karbonatlı kayaların çözünmesine bağlı olarak travertenlerin üzerinde uzunlukları yaklaşık 70-80 cm, derinlikleri ise 1-2 m olan kareler gelişmiştir.

Türk ve ASTM Standartlarına göre Kalecik travertenlerinin taşıma ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırıldığında bunların fiziko-mekanik özellikleri bakımından Türk Standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Yaklaşık 200 bin metreküp rezerv sahip olan ve genellikle ihraç edilen bu travertenler bölge ekonomisine büyük katkıda bulunmaktadır.

ABSTRACT In this study, formation condition and origin of operated travertines in Kalecik (Torul-Gümüşhane) was investigated, and physico-mechanical properties of these travertines were determined considering to the economy.

These travertens can grouped as morphological dom type and they are generally white and grey and composed of hard materials, showing poros in places near the surface and nonporos structure in places near the base. Based on the surface erosion and the solution of carbonate rocks, karens were developed on the travertines that are 70-80 cm in lenght and 1-2 metres in depth.

When Kalecik travertine are examined in terms of their usage as a carrying and covering stone according to Turkish and ASTM Standards, it is determined that they are acceptable to Turkish standards in terms of physico-mechanical properties. These travertine having a reserve of about 200 thousand cubic meter make a great contribution to the economy of the district.

1 GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişme, endüstrileşme ve buna bağlı olarak gün geçtikçe yükselen nüfus artışı ve toplumsal talepler, büyük boyutlara ulaşan çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir.

Bununla birlikte, dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeye paralel olarak özellikle 80'li yıllardan itibaren kamu bilinci artmış, bu duyarlılık toplumsal çevre bilinciyle beraber, insanları daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusu ve özlemine yönlendirmiştir. bu anlamda tüketiciler genç olarak yapay ürünleri kullanmak yerine doğal ürünlere doğru yönelmeye başlamışlardır. bu durum özellikle mermer sektöründe, doğal taş üretim ve tüketimini de etkilemiştir. Ülkemizde ise son 10 yıl itibariyle doğal taş sektörü hızla gelişmiş özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde, hem yapılarda hem de topluma açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyanın en zengin doğal taş yatakları Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır. Dünya doğal taş kaynaklarının 15.5 milyar m³ (40.9 milyar ton) civarında olduğu tahmin edilmektedir Türkiye 5.1 milyar m³ (13.9 milyar ton) doğal taş rezervi ile dünya üzerindeki toplam kaynağın % 33'üne sahiptir.

Ülkemizin görünür doğal taş rezervi yaklaşık 7 milyar m³ olarak bilinmektedir ve ülkemiz bu rezervle dünyanın en büyük doğal taş rezervlerine sahip ülkeleri arasına girmektedir (Onargan vd., 2006). 2003 yılı itibariyle dünya doğal taş üretimi 75 milyon tona ulaşmıştır. Ülkemiz ise doğal taş üretiminde 6 milyon tonluk üretim payıyla dünya sıralamasında altıncı, ihracatta ise yedinci sırada yer almaktadır (Çizelge 1).

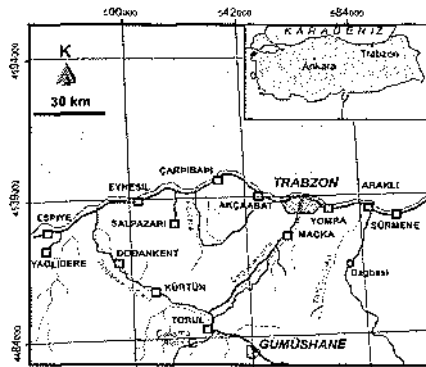
Çizelge 1. Dünya doğal taş üretiminde ilk 10 ülke (milyon ton)

ÜLKELER	2002	2003	2004	2005
Çin	18.0	18.6	20.6	22.0
Hindistan	10.5	11.2	12.5	12.5
İran	9.3	10.0	10.4	10.4
İtalya	10.1	10.8	10.9	10.2
İspanya	7.6	7.6	8.6	8.7
Türkiye	3.2	6.2	7.7	8.3
Brezilya	3.7	6.0	6.4	6.9
Portekiz	2.9	2.8	3.0	3.0
Mısır	1.5	2.0	2.2	2.5
Yunanistan	2.1	2.1	2.1	2.1
Diğer	7.4	8.0	8.3	6.4

Türkiye doğal taş sektöründe son 20 yıllık süreçteki hızlı gelişmesine rağmen günümüz koşullarında gelişmiş olduğu nokta yeterli değildir ve gerek Avrupa gerekse Asya pazarında daha etkin rol oynayabilecek bir konumdadır. Bunun için mermer endüstrisinde yeni teknolojiler ve atılımlar kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu nedenle, ülkemiz gerek teknolojik alanda, gerekse üretim ve pazarlama stratejileri bakımından gelişmeyi hızlı bir şekilde sürdürmek durumundadır.

2 ÇALIŞMA ALANI

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane İli, Torul ilçesine bağlı Kalecik Köyü ve çevresini içeren



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

yaklaşık 20 km²'lik alanı kaplamaktadır (Şekil 1). Zigana ve Giresun Dağları arasında kalan inceleme alanının kuzeyinde Torul, güneyinde Şiran ve doğusunda Gümüşhane bulunmaktadır.

3 GENEL JEOLJİ

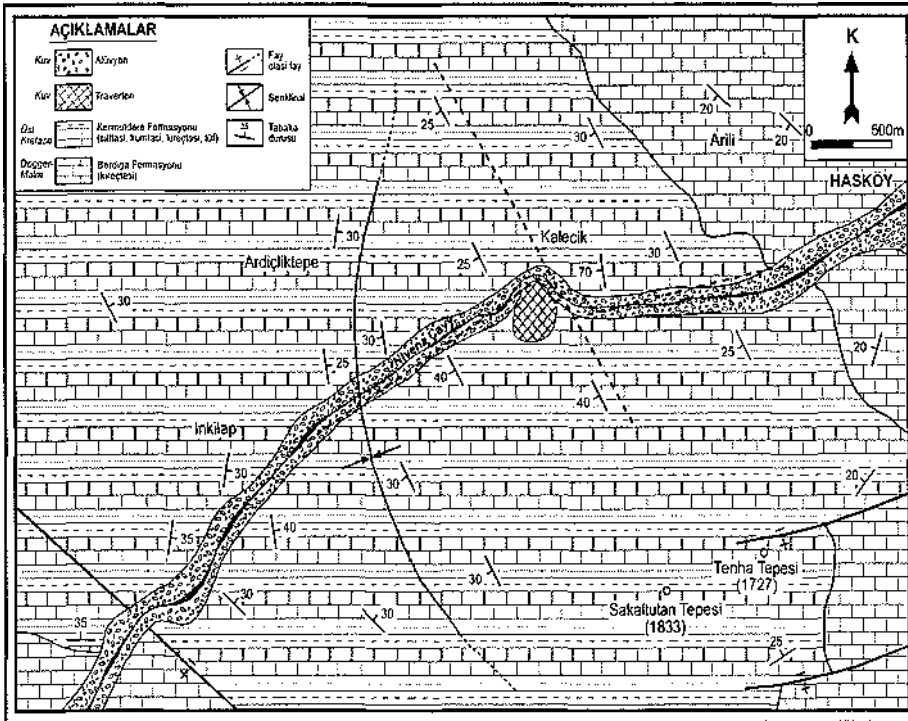
Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru Malm-Dogger yaşlı Berdiga Formasyonu (masif kireçtaşı), Geç Kretase yaşlı Kermtudere Formasyonu (silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı ve tüf), Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlar ayırt edilmiştir (Şekil 2).

4 TRAVERTENLER

İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden travertenlere rastlanmıştır. İşletilmekte olan ve Kalecik Köyü'nde yüzeylenme veren çalışma konusu travertenlerin kalınlığı yaklaşık 50 metre, yanal devamlılığı ise yaklaşık 250 metredir (Ersoy, 2001; Ersoy vd., 2005).

4.1 Travertenlerin Oluşum Koşulları

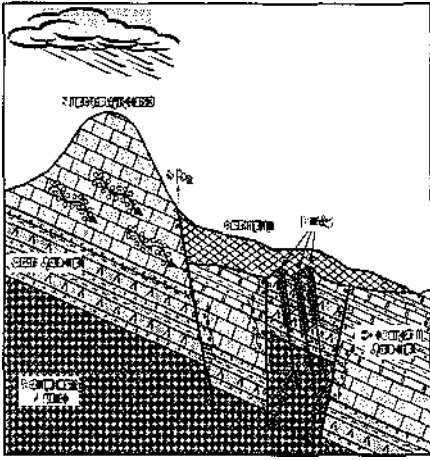
Kalecik travertenini yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Ersoy, 2001; Özdemir, 2009)

birakarak ortama CaCO_3 çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır (Ersoy, 2001) (Şekil 3).

Morfolojik olarak Dom (Koni) tipi travertenler grubuna giren Kalecik travertenleri, yatay veya çevreye göre hafif tümsek yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların çepçevre yayılarak akmasıyla oluşan travertenlerdir.



Şekil 3. Travertenlerin oluşum modeli (Arslan ve diğ., 2005)

Bu tip travertenlerde çökeltmenin ilerleyen evrelerinde, morfolojik yapının durumuna veya çevredeki diğer kaynaklardan çökelen traverten depolarına bağlı olarak, dom yapıları birleşip kaybolabilmektedir. Bunun dışında dom tipi travertenler, çökeltmeyi besleyen su çıkışlarının kesilmesi veya sonradan gelişen kırıklarla farklı kesimlere kayması sonucu aşınarak şekil değişikliğine uğrayabilmektedir (Özdemir, 2009).

4.2 Travertenlerin Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde özellikle

Bayburt, Gümüşhane ve Şiran çevresinde önemli doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Bölgede son 10 yılda doğal taş üretimi artmış, bu rakam 2003 yılı itibarıyla 450 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Bölgede traverten, oniks ve mermer rezervi 1 milyon m^3 'ten, granitik bileşimli doğal taş rezervi ise 1.5 milyon m^3 'ten fazladır. Tüf bileşimli doğal taş rezervi yaklaşık 800 bin m^3 , kayraktaşı rezervi yaklaşık 250 bin m^3 civarındadır. Bu değerlerle bölge yaklaşık 413 milyon dolarlık doğal taş rezervine sahiptir.

Kalecik travertenini 2006 yılında işletilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 200,000 m^3 rezerve sahip yatak, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en büyük yataklarından biridir.

4.2.1 Travertenlerin İşletilmesi

Çalışma alanı ve çevresinde gerek oluşumu tamamlamış gerekse halen oluşmakta olan bir çok traverten yatağı mevcuttur. Travertenlerin en iyi yüzlek verdiği bölge olan Kalecik Köyü mevkiinde Güvencem Mermer Ltd. Şti.'ye ait işletmeye açılmış ocak bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Kalecik traverten ocağı

Üretim açık işletme olarak, basamak yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeye yüzeyde birkaç metrelik bir zonun sınırlanması ile başlanmıştır. Üzeri açılan

mermer tabakaları havalı sondaj makinesi ile önce dik delik ve ardından alt delikler delinmektedir. Bu deliklerden elmaslı tel geçirilerek, tel makinesi vasıtasıyla döndürülmekte, telin aşırısınınmaması için elmas tele su vermek sureti ile kayanın kesimi sağlanmaktadır. Kesimden sonra hidrolik krikolar ve ekskavatör vasıtasıyla mermer bloğu ocak içerisine devrilmekte ve daha sonra sayılanarak istenen ebatlara kesilen blok mermerler stok sahasına nakledilmektedir. Ocak aynasının yüksekliği değişmekle birlikte genel olarak 5-7 metre arasındadır. Üretimle birlikte çıkan pasa boş alanlara dökülmektedir.

Traverten işletme sahasında 5-12 kişilik personel çalışmakla birlikte, 1 ekskavatör, 2 dağ kesim ve 1 adet sondaj makinesi bulunmaktadır. Genel olarak travertenin yatay konumu nedeniyle büyük boyutlarda çatlaklara rastlanmamıştır. Bununla birlikte yer yer blok kalitesini düşüren zayıflık düzlemleri mevcuttur (Şekil 5). Bunların kalınlıkları yere yer 10 cm'ye kadar ulaşmaktadır.



Şekil 5. Travertendeki zayıflık düzlemleri

Sahada, üretim faaliyetleri sonucunda % 60 civarında blok (traverten) % 40 civarında ise moloz ve pasa elde edilmektedir. Elde edilen blok boyutu genel olarak 1.5mx1mx2m civarındadır. Sahadan üretilen bloklar (traverten) işletme tarafından Trabzon'da bulunan mermer fabrikasına getirilmektedir. Mermer fabrikasının getirilen travertenler blok halinde satıldıkları gibi plaka ve fayans haline getirildikten sonra da satışa sunulmaktadır. Sahadan üretilmekte olan travertenin bilinen ve aranan mermer oluşu nedeniyle piyasada oldukça kolay alıcı bulunabilmektedir.

Çizelge 2. Fiziksel özellikler

	Özgül Ağırlık	Birim Hacim Ağırlık		Su İçeriği (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı (%)	Hacimce Su Emme Oranı (%)	Gerçek Porozite (%)
		Kuru (gr/cm ³)	Doğru (gr/cm ³)				
En düşük	2.66	2.240	2.300	0.118	0.735	1.825	5.156
En yüksek	2.68	2.520	2.540	0.408	2.641	5.910	16.040
Ortalama	2.67	2.443	2.471	0.238	1.148	2.783	8.270
Standart sapma	0.009	0.062	0.055	0.072	0.416	0.903	2.327

Çizelge 3. Mekanik özellikler

	Nokta Yüklü Dayanımı (Mpa)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Yüzeysel Aşınma Direnci (cm ³ /50 cm ²)	Eğilme Dayanımı (MPa)
	En düşük	1.37	33.673	5.619	44.492
En yüksek	4.71	64.796	3.504	94.449	11.270
Ortalama	2.38	52.853	4.535	65.448	8.094
Standart sapma	0.62	8.306	0.696	20.538	3.228

4.2.3 Travertenlerin Fiziksel Özellikleri

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir.

Deneye hazır hale getirilen örneklerin su içeriği, su emme özellikleri, porozite, sonik dalga hızı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlığı ISRM (1981), CANMET (1977), ASTM (1992a ve b) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir (Özdemir, 2009).

4.2.4 Travertenlerin Mekanik Özellikleri

Fiziksel özellikleri belirlenen örneklerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler uygulanmış, bu deneyler ISRM (1981) tarafından önerilen standartlara göre yapılmıştır. Bu kapsamda traverten örneklerinin nokta yük direnci, tek eksenli basınç direnci, çekme direnci, eğilme dayanımı ve yüzeysel aşınma direnci değerleri bulunmuştur. Bununla birlikte donma-çözünme ve ıslanma-kuruma deneyleri yapılarak deneyler sonucundaki ağırlık kaybı değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir (Özdemir, 2009).

	Ağırlık Kaybı (%)	
	Islanma Kuruma	Donma Çözünme
En düşük	0.09	0.10
En yüksek	0.87	0.26
Ortalama	0.24	0.14
Standart sapma	0.23	0.06

Çizelge 4. Islanma-kuruma ve donma-çözünme deneyi sonrası ağırlık kaybı değerleri

4.3 Travertenlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin pH İle Değişimi

Bu deney, kayaçların değişen pH koşullarında ki davranışını belirlemek için uygulanmıştır.

Deney için tampon çözeltiler, aşağıda verilen şekilde hazırlanmıştır;

pH 2 Tampon Çözeltisi: 45.5 g Na_2SO_4 ve 34.5 g $\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 100 ml saf suda çözülüp 500 ml'ye seyreltili.

pH 4 Tampon Çözeltisi: 77 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ve 228 ml CH_3COOH 100ml suda çözülüp 500 ml'ye seyreltili.

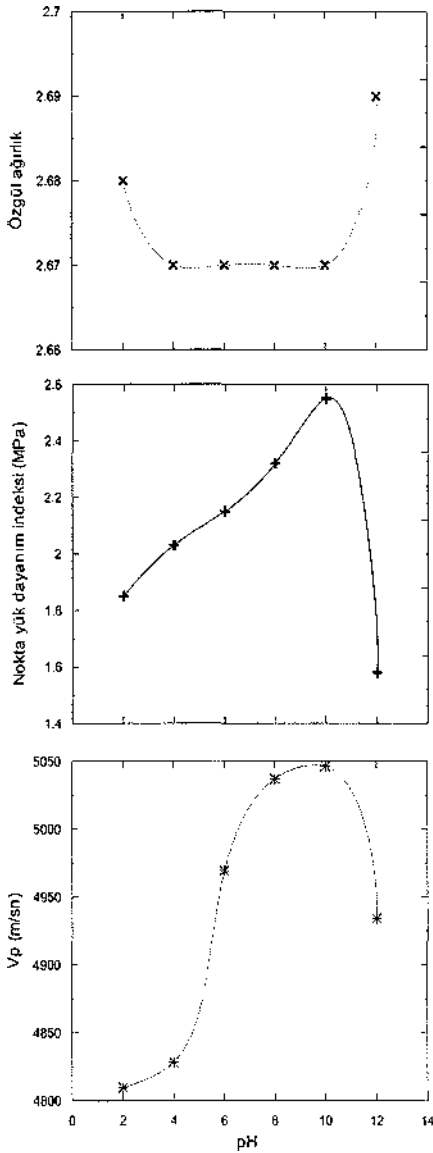
pH 6 Tampon Çözeltisi: 58.5 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ve 2.5 ml CH_3COOH 100 ml saf suda çözülüp 500 ml'ye seyreltili.

pH 8 Tampon Çözeltisi : 4 ml NH_3 ve 53.5 g NH_4Cl 100 ml saf suda çözülüp 500ml'ye seyreltili.

Ph 10 Tampon Çözeltisi : 285 ml NH_3 ve 35 g NH_4Cl 100 ml saf suda çözülüp 500 ml'ye seyreltili.

Ph 12 Tampon Çözeltisi : 23 g NaH_2PO_4 ve 7 g NaOH 250 ml saf suda çözülüp 500 ml'ye seyreltili.

Deney her bir pH değeri için 5 örnek kullanılarak yapılmıştır. Deneyce hazır hale getirilen örnekler 105°C ' de 12 saat kurumaya bırakılmış, kuruyan örneklerin kuru ağırlıkları tartılarak bulunmuştur. Oluşturulan çözeltilere örnekler koyulmuş ve 24 saat bu örnekler çözeltide bırakılmıştır. 24 saat sonra çözeltilerden çıkarılan örneklerin özgül ağırlık, nokta yük direnci ve boyuna dalga hızlarındaki değişim incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Değişen pH koşullarında traverten örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim

5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 2005 yılında işletmeye açılan ve Kalecik (Gümüşhane) travertenleri jeolojik ve jeoteknik açıdan incelenmiştir.

İnceleme alanı ve çevresinde gerek oluşumunu tamamlamış gerekse oluşumu devam eden travertenlere rastlanmıştır. İşletilmekte olan ve Kalecik Köyü'nde yüzeylenme veren çalışma konusu travertenlerin kalınlığı yaklaşık 50 metre, yanal devamlılığı ise yaklaşık 250 metre olup, bu travertenlerin rezervi yaklaşık 200 000 m³ civarındadır.

Kalecik travertenini yağışla yeraltına süzülen suların karbonik asitçe zenginleşmesi, Berdiga kireçtaşlarını çözmesi ve bu çözeltilerin düşey faylara bağlı olarak yüzeye çıkmasıyla beraber bünyelerindeki karbondioksit gazını bırakarak ortama CaCO₃ çökeltmesi sonucunda oluşmuşlardır. Genel olarak beyazımsı gri renklerde ve sert bir yapıda olan bu travertenler yüzeye yakın yerlerde boşluklu, tabana doğru ise boşluksuz bir yapı göstermektedir. Yüzeysel aşınma ve karbonatlı kayaçların çözünmesine bağlı olarak travertenlerin üzerinde kareler gelişmiştir. Genellikle az eğimli yamaçlarda üzerinde gözlenen karelerin uzunlukları yaklaşık 70-80 cm, derinlikleri ise 1-2 mm arasında değişmektedir.

Kalecik travertenleri morfolojik olarak dom (koni) tipi travertenler grubuna girmektedir. Bu tip travertenler, yatay veya çevreye göre hafif tümsek yüzeylerden çıkan kalsiyum bikarbonatlı suların, çepçevre yayılarak akmasıyla oluşan travertenlerdir. Dom tipi travertenlerde çökeltmenin ilerleyen evrelerinde, morfolojik yapının durumuna veya çevredeki diğer kaynaklardan çökelen traverten depolarına bağlı olarak, dom yapıları birleşip kaybolabilmektedir. Bunun dışında dom tipi travertenler, çökeltmeyi besleyen su çıkışlarının kesilmesi veya sonradan gelişen kırıklarla farklı kesimlere kayması sonucu aşınarak şekil değişikliğine uğrayabilmektedir.

Travertenlerin en iyi yüzlek verdiği bölge olan Kalecik Köyü mevkiinde Güvencem Mermer Ltd. Şti.'ye ait işletmeye açılmış ocak bulunmaktadır. Üretim açık işletme olarak, basamak yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeye yüzeyde birkaç metrelik bir zonun sıyırılması ile başlamıştır. Üzeri açılan mermer tabakaları havalı sondaj makinesi ile önce dik delik ve ardından alt delikler delinmektedir. Bu deliklerden elmalı tel geçirilerek, elmalı tel, tel makinesi vasıtasıyla döndürülmekte, bu esnada telin aşırı ısınmaması için elmas tele su vermek sureti ile kayanın kesimi sağlanmaktadır. Kesimden sonra hidrolik krikolar ve ekskavator vasıtasıyla mermer bloğu ocak içerisine devrilmekte ve daha sonra sayılanarak istenen ebatlara kesilen blok mermerler stok sahasına nakledilmektedir. Ocak aynasının yüksekliği değişimle birlikte genel olarak 5-7 metre arasındadır. Üretimle birlikte çıkan pasa boş alanlara dökülmektedir.

Sahada, üretim faaliyetleri sonucunda % 60 civarında blok (traverten) % 40 civarında ise moloz ve pasa elde edilmektedir. Elde edilen blok boyutu genel olarak 1.5 m x 1 m x 2 m civarındadır. Sahadan üretilen bloklar (traverten) işletme tarafından Trabzon'da bulunan mermer fabrikasına getirilmektedir. Mermer fabrikasının getirilen travertenler blok halinde satıldıkları gibi plaka ve fayans haline getirildikten sonra da satışa sunulmaktadır. Sahadan üretilmekte olan travertenin bilinen ve aranan mermer oluşu nedeniyle piyasada oldukça kolay alıcı bulunabilmektedir.

Laboratuarda yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere traverten ocağından blok numuneler alınmıştır. Bu numunelerin alımı sırasında örneklerin sahayı tam olarak temsil etmesine dikkat edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında

travertenlerden alınan blok örnekler kullanılarak silindirik deney örnekleri (karot) hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde ASTM (1987, 1990 ve 1996) ve TS (11443, 11137, 11143, 11144, 1910 ve 2513) Standartlarında belirtilen deneyler yapılmış ve travertenlerin fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir.

Bu deneyler sonucunda, travertenlerin su içerikleri % 0.24, ağırlıkça su emme oranları % 1.15, porozite değerleri % 8,27, don sonrası ağırlık kaybı % 0.14, ıslanma-kuruma sonrası ağırlık kaybı % 0.24, birim hacim ağırlıkları 2.45 g/cm³, eğilme dirençleri 8.09 MPa ve çekme dayanımları 4.54 MPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte tek eksenli basınç dirençleri 52.85 MPa böhme aşınma dirençleri 65.45 cm³/50 cm² olarak belirlenmiştir.

Tüm bu veriler göz önünde bulundurularak Kalecik travertenlerinin taşıma ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliği araştırıldığında, bunların porozite ve böhme aşınma direnci değerleri dışında Türk Standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. ASTM doğal taş standartlarına göre Kalecik travertenlerine ait deney sonuçları incelendiğinde bu travertenlerin birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç ve eğilme direnci değerlerinin standartlara uygun olduğu, buna rağmen ağırlıkça su emme ve böhme aşınma direncinin ise standartlara uygun olmadığı gözlemlenmiştir.

Kalecik travertenleri, genel anlamda değerlendirildiğinde, gerek rezervleri, gerek fiziksel albenileri, gerekse fiziko-mekanik özellikleri açısından standartlarda belirtilen değerlere uygun olmaları nedeniyle, Doğu Karadeniz doğal taş ekonomisine büyük katkıda bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Arslan, M., Kolaylı, H., Temizel, İ., Çiftçi, E., Alp, İ., Yılmaz, A.O., Er, M. 2005. Petrography, geochemistry and formation conditions of Gümüşhane and Bayburt area travertine and onyx deposits, NE Turkey, Procc. Int. Symposium on Travertine Symp., Denizli, Turkey, 171-176
- ASTM (American Society for Testing and aterials), 1987, Standard Test Method for Modulus of Rupture of Dimension Stone, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM (American Society for Testing and materials), 1990, Standard Specification for Limestone Dimension Stone, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1996
- CANMET, 1997. Laboratory Classification Tests. In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-1, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-25, 31 pp.
- Ersoy, H., 2001, Kalecik (Torul-Gümüşhane) Mineralli Sularının Hidrolojisi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 78 s.
- Ersoy, H., Dilek, R., Gültekin, F. and Fırat Ersoy, A., 2005. Relationship Between Karstic Structures and Fault Systems in Kalecik (Torul-Gümüşhane), Proceeding of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, Turkey, 116-121
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Volume: 67, No: 5, 841-875
- Onargan, T., Köse, H., Deliormanlı, A.H., 2006. Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Kozen Ofset, Ankara, 324 s.
- Özdemir, A., 2009. Kalecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi ve Fiziko-Mekanik Özellikleri, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 85 s.
- T.S.E., 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basına Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Deney Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- T.S.E., 1990. Kaya Mekaniği Deneyleri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E. 11443, 1994, Oniks Mermeri Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, TSE, Ankara
- T.S.E. 11137, 1993, Kireçtaşı Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, TSE, Ankara
- T.S.E. 11143, 1993, Traverten Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, TSE, Ankara
- T.S.E. 11444, 1994, Dolomit Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan, TSE, Ankara
- T.S.E. 2513, 1977, Doğal Yapı Taşları, TSE, Ankara

Yazar Dizini

- Adıgüzel, D. 285
 Adıgüzel, E. 697
 Akçakoca, H. 293,545,57
 Akçın, N. A. 175,243
 Akçın, H.477
 Aksoy, M. 285
 Aktaş, T. 293
 Aldas, G.G.U. 261
 Alemdağ, S. 355
 Alp, F. 175
 Alp, İ. 337,423,563
 Alyamaç, K.E. 107
 Arabacı, R. 423
 Arat, E. 493
 Arık, B.175
 Arslan, F. 515,521
 Arslan, V. 433,503
 Ateşok, G. 465
 Aydın, G.347, 628
 Aydın, M. 57
 Aydınler, K. 347
 Babacan, A.E. 123
 Bağcı, M. 145
 Balcı, C. 267
 Başpınar, M. S. 117
 Bayat, O. 503
 Bayram, F. 85
 Bentli, İ. 493, 539
 Beyhan, S. 293
 Bilgiç, A. 457
 Bilgin, N. 267
 Bultan, H. 175
 Bulut, F. 277,355
 Buyurgan, S. 443
 Can, A.Z. 261
 Ceryan, Ş. 313
 Ceylan, H. 383
 Cihangir F., 323,579
 Çakıroğlu, Ö. 493
 Çapık, M. 337
 Çelik, H. 571
 Çelik, M.S. 529,539
 Çınar, M. 529
 Çiçek, T. 451
 Çolak, M. 607
 Çopur, H. 267
 Dağdelen, R.163
 Day, N. 571
 Delibalta, M. S. 405
 Demirbağ C., 477
 Demirel, N. 189
 Demirel, Ş.131
 Demirler, A.H. 163
 Deveci, H. 323,579
 Didari, V. 7
 Doğan, T. 217
 Ecevitoglu, B. 261
 Ediz, N. 493
 Eleveli, B. 545
 Er, B. 433
 Er, C. 555
 Erarlan, K. 293
 Ercins, S.217
 Erçikah, B. 323,579
 Erdem, B. 203,217
 Ergül, T. 477
 Erhan, Z. 607
 Erkan, İ. 563
 Erol, M. 363
 Ersoy, H. 123,355,639
 Ertürk, E. 19
 Ertürk, Ö. 571
 Fişne, A.373
 Gelişli, K. 123
 Gezbul, T.1
 Gölğönül, İ.529, 539
 Gönenç, T. 607
 Güllerdoğan, E. 621
 Gürcan, S. 117
 Hacifazlıoğlu, H. 443
 Kahriman, A.285
 Karaçam, E. 7
 Karadoğan, A.285
 Karagöz, H. 423
 Karagüzel, C. 529
 Karakurt, İ. 347,628
 Karakuş, D. 395
 Karpuz, C. 301
 Karslı, B. 313
 Kavaklı, N. 253
 Kaya, A.277,355
 Kayandan, İ. 477
 Kesimal, A. 323, 579
 Kırşan, İ. H. 19
 Koçal, A.301
 Koçyiğit, A.301
 Konak, G. 395
 Köse, H. 395
 Kulaksız, S. 85,97
 Muslu, A. 337
 Onur, A.H. 395
 Ökten, G. 373
 Önder, M. 597
 Özçelik, Y. 85
 Özdemir, A.639
 Özdoğan, M. 229
 Özer, Ü. 285,363
 Özgen, S. 529
 Özikinci, T. 521
 Özkan, T.163
 Öztürk, B. 515
 Pamukçu, Ç. 395
 Perek, K.T. 515,521
 Sabah, E. 529
 Sar, C.607
 Sarı, S. 423
 Saruışık, A.131
 Saruışık, G. 131
 Sirkeci, A.A. 465
 Su, O. 243
 Şafak, Ş. 49
 Şahiner, M. 19
 Şen, S. 433
 Şensöğüt, C. 57
 Şentürk, B. 477
 Şimşek, A.131
 Tanrıverdi, M. 35, 433, 451
 Tarhan, A.383
 Taştekin, C. 415
 Tatar, İ. 493
 Timur, E. 607
 Topal, İ. 545
 Toraman, Ö.Y. 457,587
 Tufan, T. 71
 Turan, A. 579
 Tutluoğlu, L. 301
 Türk, T. 563
 Uçar, A. 487
 Uçurum, M. 457
 Uludağ, T. 477
 Utku, M. 607
 Uysal, Ö. 293
 Yalçın, E. 395
 Yalçınalp, B. 639
 Yalçınmoğlu, Y. 477
 Yamudi, C. 163
 Yargan, M. 487
 Yaşılı, N. E. 85
 Yavuz, M. 195
 Yerlikaya, İ. M. 155
 Yıldız, A.145
 Yıldız, M.Ş. 621
 Yılmaz, A.O. 337
 Yılmaz, O. 477
 Yoğurtçuoğlu, E. 457
 Yuvka, Ş. 293
 Yüce, A.E. 555
 Yüce, S. 423
 Yüksel, F. A. 621