

TÜRKİYE 22. ULUSLARARASI MADENCİLİK KONGRESİ BİLDİRİLER KİTABI

11-13 MAYIS 2011 / ANKARA



EDİTÖRLER

Nuray DEMİREL

Ömer ERDEM

Mustafa ERKAYAOĞLU



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

Maden Mühendisleri Odası
Kütüphanesi

**TÜRKİYE 22. ULUSLARARASI
MADENCİLİK KONGRESİ
BİLDİRİLER KİTABI**

11-13 MAYIS 2011

ANKARA

**TÜRKİYE 22. ULUSLARARASI
MADENCİLİK KONGRESİ
BİLDİRİLER KİTABI**

**11-13 MAYIS 2011
ANKARA**

Editörler

Nuray DEMİREL

Ömer ERDEM

Mustafa ERKAYAOĞLU



**TMMOB
Maden Mühendisleri Odası**



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

©Tüm hakları saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde çoğaltılamaz.

Baskı : KORZA YAYINCILIK
BASIM SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
Büyük San. 1. Cadde 95/1 İskitler-Ankara
Tel : 0.312 342 22 08 • Fax: 0.312 341 14 27
www.korzabasim.com.tr

İsteme Adresi : TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Cad. 19/4 Kızılay-ANKARA
Tel : 0312 425 10 80 Faks: 0312 417 52 90
İnternet Adresi : www.maden.org.tr
E-Posta : maden@maden.org.tr

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU

Başkan : Mehmet TORUN
II. Başkan : Niyazi KARADENİZ
Sekreter : Nahit ARI
Sayman : İbrahim YILMAZOĞLU
Üyeler : Necmi ERGİN
: Cemalettin SAĞTEKİN
: H. Can DOĞAN

KONGRE YÜRÜTME KURULU

Başkan : Prof. Dr. Tevfik GÜYAGÜLER
II. Başkan : İlker ERTEM
Yazman : Yrd. Doç. Dr. Nuray DEMİREL
Sayman : Nahit ARI
Üyeler : Niyazi KARADENİZ
: Dr. Bülent TOKA
: Ömer ERDEM
: Mustafa ERKAYAOĞLU
: Esin PEKPAK

BİLİM KURULU

Dr.	Najdat Aziz	Dr.	Halit Ziya Kuyumcu
Dr.	Ernest Baafi	Dr.	Uğur Özbek
Dr.	Jani Bakallbashi	Dr.	Levent Özdemir
	Tomo Benovic	Dr.	George N.Panagiotou
Dr.	Raimondo Ciccu	Dr.	Hasan Sevim
Dr.	Doru Cioclea	Dr.	Raj Singhai
Dr.	Kadri Dağdelen	Dr.	Tzolo Voutov
Dr.	Katerina Demnerova	Dr.	Slobodan Vujic
Dr.	Carsten Drebensted	Dr.	Tuncel Yegülalp
Dr.	Şevket Durucan	Dr.	Stojan Zdravev
Dr.	Samuel Frimpong	Dr.	Nuri Ali Akçin
	Emanouel Frogoudakis	Dr.	Mesut Anıl
Dr.	Miodrag Gomilanovic	Dr.	Ergin Arıoğlu
Dr.	Güner Gürtunca	Dr.	Ali İhsan Arol
	Marjan Hudej	Dr.	Ümit Atalay

Dr.	Yusuf Aydın	Dr.	Ayhan Kesimal
Dr.	İrfan Bayraktar	Dr.	Adnan Konuk
Dr.	H. Aydın Bilgin	Dr.	Halil Köse
Dr.	Nuh Bilgin	Dr.	Seyfi Külaksız
Dr.	Naci Bölükbaşı	Dr.	Orhan Kural
Dr.	Mehmet Canbazoğlu	Dr.	Yadigar V. Müftüoğlu
Dr.	Atilla Ceylanoğlu	Dr.	Ahmet Hakan Onur
Dr.	İlknur Cöcen	Dr.	Güner Önce
Dr.	Neş'e Çelebi	Dr.	Gülhan Özbayoğlu
Dr.	Ahmet Demirci	Dr.	Hüseyin Özdağ
Dr.	Nuray Demirel	Dr.	Metin Özdoğan
Dr.	Halim Demirel	Dr.	Abdurrahim Özgenoğlu
Dr.	Vedat Didari	Dr.	Şafak G. Özkan
Dr.	H. Şebnem Düzgün	Dr.	Mesut Öztürk
Dr.	İ. Göktay Ediz	Dr.	Hasan Öztürk
Dr.	Zafır Ekmekçi	Dr.	Günhan Paşamehmetoğlu
Dr.	Kaan Eraslan	Dr.	M.Saim Saraç
Dr.	Şinasi Eskikaya	Dr.	Cem Saraç
Dr.	Hasan Gerçek	Dr.	Cem Şensöğüt
Dr.	İsmail Girgin	Dr.	Nejat Tamzok
Dr.	M.kemal Gökay	Dr.	A.Erhan Tercan
Dr.	Nilgün Güleç	Dr.	Bülent Toka
Dr.	Oğuz Gündoğdu	Dr.	Levent Tutluoğlu
Dr.	Lütfullah Gündüz		Veli Ünal
Dr.	Cenk Güray	Dr.	Bahtiyar Ünver
Dr.	Özcan Gürsoy		Ömer Ünver
Dr.	Tevfik Güyagüler	Dr.	Mahir Vardar
Dr.	Cahit Hiçyılmaz	Dr.	Ercüment Yalçın
Dr.	Mehmet Ali Hindistan		Ömer Yenel
Dr.	Çetin Hoşten		Levent Yener
Dr.	Fikri Kahraman		Fehmi Yıldırım
Dr.	Celal Karpuz		Necati Yıldız
Dr.	Mehmet Kayadelen	Dr.	A. Ekrem Yüce
Dr.	Mevlüt Kemal		

SUNUŞ

Madenler; insanlığın ortak değerleri olup, toplumların refahının ve yaşam kalitesinin yükseltilmesi amaçları doğrultusunda üretilmelidir. Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren temel sektörlerden biri olmuştur. Özellikle, sanayi devriminden bu yana insanlığın gelişim sürecinin son iki yüz yılındaki baş döndürücü ilerlemede kömür ve demirin önemini yadsımak mümkün değildir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda da, madencilik faaliyetleri olmaksızın insan yaşamının refah içinde sürdürülebilmesi olası değildir. Kendi kaynaklarını yok sayan, kaynaklarını kullanmayan bir ülkenin kalkınması mümkün değildir. Madenler, kalkınmanın temel unsurlarından en önemlisidir. Ülkelerin kalkınmaları ve yaşam seviyelerinin belirleyicisi olarak kabul edilen sanayi ve enerji sektörlerinin temellerini de madencilik oluşturmaktadır. Son yıllarda uygulanan yanlış ekonomik politikalardan en fazla zarar gören sektörlerin başında madencilik sektörü gelmektedir. Sanayi sektörleri yerine hizmetler sektörünün genişlemesi, sanayi sektörlerine hammadde sağlayan madencilik sektörünü de zor durumda bırakmuştır. Madencilik sektörünün ülke kalkınmasındaki kritik önemi, sadece fazla miktarlarda üretilip yurt dışına satılarak döviz elde edilmesinde değil, yerli sanayiye düşük maliyette ve kaliteli girdi sağlamasındadır. Bu anlamda, madencilik ve sanayi sektörleri karşılıklı olarak birbirlerini besleyen sektörlerdir. Entegrasyonları sağlandığı ölçüde büyürler. Dolayısıyla, ülke sanayisinin gelişmemesi madencilik sektörünü de olumsuz etkilemekte, bu sektöre yapılabilecek yatırımlar, hızla hizmetler sektörüne aktarılmakta ve madencilik sektörünün ülke ekonomisine katkısı giderek düşmektedir.

Odamız, Türkiye Madencilik Kongresi'nin 22. sini düzenlemenin mutluluğunu yaşamaktadır. Söz konusu Kongre, ülkemizin ve tüm madencilik camiasının etkinliği olup, buradan çıkan bilimsel ve teknik sonuçlar yine ülkemizin ve sektörün yararına değerlendirilmektedir. Bu anlamda uzun yıllardır aksamadan sürdürülen bu Kongre sektörün tüm bileşenleri tarafından desteklenmiştir. Odamız, bugüne kadar olduğu gibi bundan sonra da ülkemizin ve sektörümüzün yararına olan çalışmaları yapmaya devam edecektir.

Bu düşüncelerle Kongreye destek veren tüm kurum, kuruluş ve kişilere teşekkür ederiz.

Saygılarımızla

YÖNETİM KURULU

*Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi bildiriler kitabının basımı
DEMİR EXPORT AŞ. 'nin desteğiyle gerçekleştirilmiştir.*

ÖNSÖZ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası tarafından düzenlenen 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi 11-13 Mayıs tarihleri arasında Ankara'da gerçekleştirilmiştir. 1969 yılından beri her iki yılda bir düzenlenen kongrenin temel amacı maden mühendisliği ile ilgili alanlarda üretilen bilimsel bilginin ve teknolojik gelişmelerin paylaşılması, güncel sorunlara çözüm önerileri üretilmesi, ayrıca sergi yoluyla kongreye katılan sektör temsilcileri ile bilim camiasını bir araya getirerek sinerji oluşturulmasıdır.

Bu yıl 10 ayrı ülkeden gelen toplam 350 katılımcı 5 kamu kurumu, 12 firma, 23 ulusal ve 18 uluslararası üniversiteyi temsil etmişlerdir. Teknik program kapsamında açık işletme ve yer altı madenciliği, cevher hazırlama, enerji ekonomisi, maden havalandırma ve iş güvenliği konularındaki güncel bilimsel bilgi ve teknolojik gelişmeler, 81 sözlü 20 poster sunumu ile 20 ayrı oturumda sunulmuştur. Kongre ayrıca seçkin davetli konuşmacılar tarafından verilen 2 temel sunumu içeren özel bir oturumu da kapsamaktadır.

Katılımınız ile kongre ve serginin madencilik sektöründeki endüstriyel uygulamalar, yeni teknolojiler ve güncel bilimsel bilginin meslektaşlarımız tarafından paylaşıldığı olağanüstü bir fırsat olarak devam edeceğini umut ediyoruz.

Bu etkinliğin düzenlenmesi sırasında zaman harcayan ve emeği geçen herkese teşekkür etmek istiyoruz.

Tebliğ ve sunum hazırlayarak kongreye katkıda bulunan, özellikle bilgi birikimlerini paylaşmak için yurt dışından Ankara'ya gelen tüm yazarlar,

Bilimsel niteliği yüksek bir kongre kitabı hazırlanması için zamanlarını harcayarak tebliğleri değerlendiren tüm bilimsel kurul üyelerine,

Oturumların verimli ve ilginç geçmesini sağlayacak olan oturum başkanlarına ve Kongreye maddi destek sağlayan tüm kurum ve firmalara teşekkür ederiz.

Ayrıca kongrenin başarılı geçmesi için aylardır zaman ve emek harcayan kongre düzenleme kurulu, yürütme kurulu ve bilimsel komite üyelerine çok değerli katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Tevfik Güyagüler

Kongre Yürütme Kurulu Başkanı



İÇİNDEKİLER

MADENCİLİK POLİTİKALARI VE HUKUK

Sürdürülebilir Kalkınmada AB - Türkiye Enerji ve Çevre Politikalarının Rolü <i>Delibalta M.S.</i>	3
Endüstriyel Minerallerin Geleceği <i>Bayraktar İ.</i>	11
Türkiye Krom Madenciliğinde Güncel Eğilimler ve Yeni Arayışlar <i>S. Karahan, Y.Z. Özkan</i>	17
Dünyada ve Türkiye’de Kömür <i>Güyağüler T., Güler M.</i>	29
Yerli Kömür İle Çalışan Kömür Santrallerinin Kömür Rezervleri İle Birlikte Değerlendirilmesi <i>Güler M., Güyağüler T.</i>	41

ÜRETİM PLANLAMASI

Karbonatlı Kayaçlarda Blok Verimini Etkileyen Mühendislik Parametrelerinde Yeni Yaklaşımlar <i>Küçük K., Onargan T.</i>	53
Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Açık Ocak Kamyonu Seçimi <i>Yavuz M.</i>	63
Bir Dolomit Açık İşletmesinde Üç Boyutlu Modelleme İle Üretim Kalitesinin Kontrolü <i>Bascetin A., Sertabipoglu Z., Aydın S.</i>	73

KAYA MEKANİĞİ

Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Sertlik Tayini Değerlendirme Yöntemlerinin İncelenmesi <i>Karaman K., Erçikdi B., Cihangir F., Kesimal A.</i>	87
--	----

Ayrık Elemanlar Yöntemi Prensibinde Çalışan PFC3D Sayısal Modelleme Programında Kayaç Verilerinin Önceden Tahmini <i>Yaşutlu N. E., Bayram F., Ünver B., Özçelik Y.</i>	95
Karbonatlı Kayaçların Kırılabilirlik Değerini Kullanarak Fiziko-Mekanik Özelliklerin Tahmin Edilmesi <i>Ekincioglu G., Şengün N., Altındağ R.</i>	103
Kozyatağı-Kadıköy Tünel Kazısında Kullanılan Epb Tünel Açma Makinaları Kazı Parametrelerinin Analizi <i>Acaroğlu Ö., Bayram O.</i>	111
Kırmataş İşletmelerinde Patlatma Delik Düzeni Değişiminin Kayaç Parçalanmasına Etkisi <i>Topal İ., Eevli B., Akçakoca H., Oğul K.</i>	125
Kaya Yapısı Durumunun Darbeli Kırıcı Performansına Etkisinin İncelenmesi <i>V.Özacar, S.C.Özer, C.O.Aksoy, S.Gürgen</i>	133

MADEN İŞLETME

Bakım-Onarım Etkinliği Göstergeleri ve Elektrikli Yerkazı Araçlarında Güvenilgenlik <i>Özdoğan M., Taksuk M.</i>	143
İşgücü Verimliliği Modeli; WPMR Sisteminin Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Açık Ocak Dekapaj Bölümü için Uygulanması <i>Yağar H., Taksuk M., Erarşlan K.,</i>	153
Yeraltı Ocak Sularının Macun Dolguda Kullanımı Ve Dayanım Üzerine Etkilerinin İncelenmesi <i>Çavuşoğlu İ., Çapık M., Yılmaz A. O., Zengin T.</i>	163
Gelik İşletmesi'nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansına Etki Eden Etkenlerin Araştırılması <i>Akçın N. A., Akkaş E.</i>	171
Türkiye Yer Altı Kömür Madenlerinde Kullanılan Patlayıcı Maddeler Ve Yaşanan Kazalardaki Olası Etkileri <i>Erdil M.</i>	181

TH (Geçme) Çelik Galeri Bağlarının Çalışma Performanslarının İncelenmesi <i>T. Ünlü, Ö. Yılmaz</i>	189
Farklı Kömürleşme Derecesine Sahip Kömürlerde Düşük Sıcaklık Oksidasyonu <i>Bariş K., Didari V.</i>	201
TKİ-ELİ Eynez Panosu Dekapaj Nakliyatı İçin Alternatif Yöntem: Bant Nakliyatı <i>Uysal Ö., Ağdağ M.S.</i>	209

MERMER VE DOĞALTAŞ

Pandül Deney Donanımıyla Doğaltaşlarda Kayma Emniyeti Analizi <i>Saruşık A., Akdaş H., Saruşık G., Çoşkun G.</i>	221
Çubuk Yöresi Agatlarının Karakterizasyonu ve Süstaşı Olarak İşlenebilirliğinin Araştırılması <i>Dağcı P. Ş., Saruşık G., Alpaslan M.</i>	235
Adana ve Mersin Bölgesinde Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılan, Bazı Doğal taş Türlerinin, Radyoaktivite İçeriklerinin Kimyasal ve Mineralojik Açıdan Değerlendirilmesi <i>Kılıç A. M., Aykamış A. S.</i>	247
Kalsiyum Karbonatlı Kayaçların Standart Özelliklerinin İncelenmesi <i>A. Teymen, A. Kılıç, Z. F. Türkmenoğlu</i>	259
Dairesel Testerele Kesim Makineleriyle Kireçtaşı Kesiminde Farklı Kesim Koşullarının Çamur Tane Boyuna Etkisinin İncelenmesi <i>Özçelik Y., Bayram F., Yaşıtılı N.E., Yılmazkaya E., Başyığıt M.</i>	271
Kireçtaşlarının Petrografik ve Mineralojik Özellikleri ile Fizikomekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Kılıç Ö.</i>	279
Kireçtaşı ve Dolomitlerin Fiziksel Özelliklerinin Termal Özelliklerine Etkisi <i>Ö. Kılıç</i>	285

CEVHER HAZIRLAMA

Traverten İşleme Tesisi Atıksularının Koagülasyonu <i>Önen V. Yel E. Beyazyüz P.</i>	295
---	-----

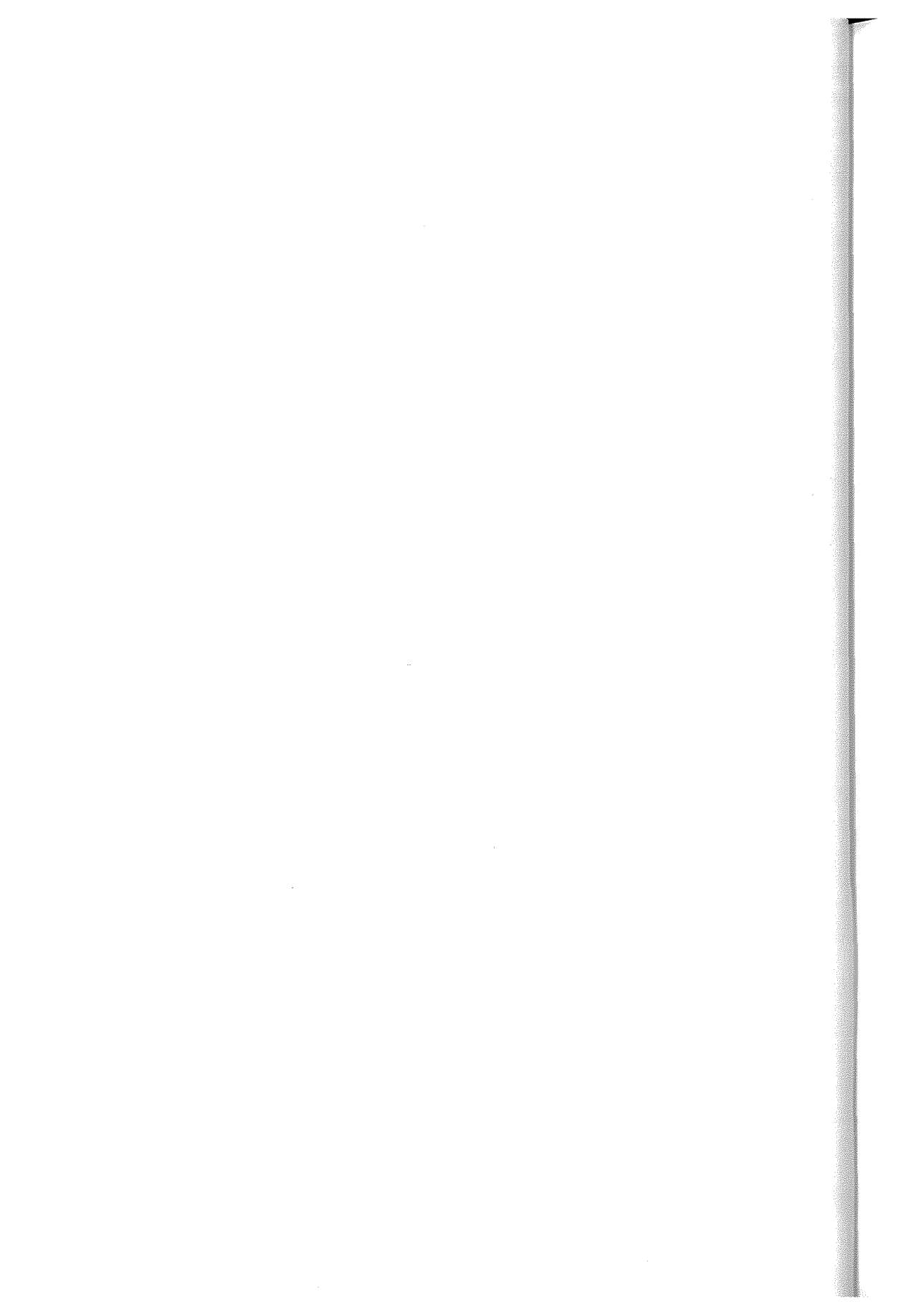
Kırka Bor İşletmesi Katı Atıklarının Seramik Üretimine Yönelik Karakterizasyonu <i>H. Çelik</i>	303
Box-Behnken Deneş Tasarımıyla Doğaltaş İşleme Tesisi Atıksularından Flokülasyon İşleminin Değerlendirilmesi <i>Taşdemir T., Taşdemir A., Kakabayev H.</i>	309
Edirne Ve Çankırı Bentonitlerinin Reolojik Ve Filtrasyon Özellikleri Üzerine Polimerlerin Etkisi <i>Toka B., Arol A. İ., Özbayoğlu M. E.</i>	317
NaOH ile Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufu Çimentosunun Sülfürce Zengin Atıklardan Hazırlanan Macun Dolguda Kullanılması ve Durabilite Değerlendirmeleri <i>F. Cihangir, Turan A., Erçıkdı B., Kesimal A., Deveci H.</i>	329
Toz Boyutlu Kömürün Aglomerasyon ile Temizlenmesinde Ayçiçeği Yağının Kullanılabilirliği <i>Şahinoğlu E., Uslu T.</i>	341
Gördes (Manisa) Zeolit Mineralinin Kırılma ve Öğütölme Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Bilgin Ö., Kalkan E., Dilmaç M. K.</i>	347
Zenginleştirme Sonrası İnce Barit Konsantresi Üzerine Susuzlandırma Proseslerinin Uygulanması <i>Deniz V., Umucu Y.</i>	357
Kömür Yıkama Tesis Dizaynında Ön Araştırmanın Önemi Ve Modelleme Yaklaşımalarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar <i>Arslan V.</i>	365
Değişik Toplayıcıların Kolemanit Flotasyonuna Etkisi <i>Uçar A., Toka B., Yargan M.</i>	375
Piroklastik Kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Dayanıklılık İndeksinin Yoğunluk ve Poroziteden Tahmini <i>Kahraman S., Günaydın O., Fener M.</i>	381
Tiyöüre Yöntemiyle Altın Özütlemesinde Cevher Tane Boyutu İle Liç Ve Kavurma Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi <i>Gönen N., Komaç O., Ölçer T., Kabasakal S., Selengil U.</i>	387

İŞ GÜVENLİĞİ

Madencilik Sektöründe Meydana Gelen Kazaların Risk Matrisi Yöntem İle Değerlendirilmesi <i>Önder S., Suner N., Önder M.</i>	399
Dairesel Testereli Kesimde Gürültü Seviyesinin Kesim Parametreleriyle İlişkileri <i>Bayram F., Yaşıtılı N.E., Kulaksız S., Özçelik Y.</i>	407
Orta ve Yüksek Gerilim Madencilik Kablolarında Koruyucu Ekran Kullanım Gerekliliği <i>Tokuç O.H.</i>	415
Madencilikte Meslek İçi Eğitimin Önemi: Çayırhan Örneği <i>Kahraman E., Erdem H.H., Doğan O.E.</i>	419

MADENCİLİK VE ÇEVRE

Türkiye’de Bazı Eski Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları <i>Kulaksız S., Tombol M., Akın y., Elbir H., Atay N.</i>	429
Geleceğin Madenleri: E-Atıklar <i>Yazıcı E. Y., Deveci H.</i>	441
Türkiye’nin Gerçekleştirdiği Metan Emisyonları: Madencilik Faaliyetlerinin Payı <i>Karakurt İ., Aydın G., Aydın K.</i>	449
Kömür Yakan Santrallerden Yayılan Karbondioksit Emisyonlarının Azaltımına Yönelik Uygulanabilecek Stratejilerin Değerlendirilmesi <i>Aydın G., Karakurt İ., Aydın K.</i>	455
Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Alanların Rehabilitasyonu <i>Geyikçi F., Çoruh S.</i>	461



1. BÖLÜM

*MADENCİLİK POLİTİKALARI
VE HUKUK*

Sürdürülebilir Kalkınmada AB - Türkiye Enerji ve Çevre Politikalarının Rolü

The Role of EU - Turkey Energy and Environmental Policies in the Sustainable Development

M.S. Delibalta

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 51245 Niğde/TR

ÖZET Enerji ve çevre konusundaki öncelik ve gereksinimler ülkeden ülkeye değişse de, ulusal gündemlerin ve yönelişlerin gitgide daha çok uluslararası politikalar tarafından belirlendiği dikkati çekmektedir. Özellikle son yıllarda ülkeler iklim değişikliği ve buna yol açan fosil yakıtları tartışmaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin yürüttüğü çalışmalara göre, 2030 yılına kadar bugünkü dünya enerji tüketiminde %50, CO₂ emisyonlarında yaklaşık %55'lik bir artış, fosil kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin maksimum noktasına ulaşarak azalmaya başlayacağı, buna karşın yenilenebilir enerji kaynakları payının giderek artacağı öngörülmektedir. "Enerji ve çevre endüstrisi 21. yüzyıla yön verecek sektörler" diye dile getiriyor, Roland Berger Danışmanlık şirketinin şefi Burkhard Schwenker'a göre küresel çevre endüstrisi bütçesi, 2020 yılına kadar iki katından fazlasına çıkarak 3,1 trilyon Avro'ya ulaşacaktır. Bu kapsamda; enerji kaynaklarının özellikleri üzerinde durularak, gelişmeleri önündeki engeller, birbirlerine karşı maliyet, emisyon, verimlilik gibi sürdürülebilir kalkınma parametreleri açısından avantaj ve dezavantajları ortaya konulmaktadır. Ülkemiz, Avrupa Birliği'ne üye olma sürecindedir. Bu maksatla araştırmada; AB ve Türkiye enerji ve çevre politikaları incelenerek, detaylı bilgiler ve ileriye dönük çözüm önerileri verilmektedir.

ABSTRACT Although energy and environmental priorities and needs may differ from one country to another, international policies seem to increasingly play a crucial role in determining public and national opinions. In recent years, the effect of fossil fuels on climate change is hotly debated. According to conclusions of World Energy Council researches, by the year of 2030 50% of current world energy consumption, CO₂ emissions increased by approximately 55%, electric energy generation by using of fossil fuels will be reached maximum point and will start to decrease, but share of renewable energy sources will gradually increase. "Environmental and energy technology will be the leading sectors of the 21st century" says Burkhard Schwenker, CEO of Roland Berger Strategy Consultants. The turnovers of the global environmental industry will more than double by 2020 to a total of 3,1 billion euros. In this context, specifications, advantages and disadvantages of above mentioned energy sources are examined. Turkey is trying to become a member of the European Union. More specifically, in this study a comparison of EU and Turkey's handling of energy and environmental policies, along with proposals for the future problems will be discussed.

1 GİRİŞ

Enerji sektörü başta sosyo-ekonomik gelişim ve insanların yaşam standartlarının yükseltilmesi bağlamında, ulusal ve uluslararası ekonomiler için büyük bir öneme sahiptir. Fakat; artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılık, enerji teknolojileri alanındaki yeni gelişmelerin artan talebi karşılayabilecek nitelikten henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji arz güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır.

Enerji sadece ülke gelişimini etkileyen bir unsur olmanın ötesinde, dünya barışı için de çok önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council- WEC) "insanlar için enerji, barış için enerji (energy for people, energy for peace)" anlayışı ile hareket edilmesi kararı almıştır. Bu nedenle enerji, stratejik özelliği olan bir sektördür.

Günümüzde yaşanan tüm ekonomik ve sosyal krizlere rağmen, Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency- IEA) verileri, mevcut enerji politikaların devam etmesi halinde 2030 yılına kadar dünya enerji talebinin ortalama yıllık %1,8'lik artışla, bugüne göre %50 daha fazla olacağına işaret etmektedir. Bu talep artışının sürdürülebilir koşullarda karşılanabilmesi için, enerji sektöründe yaklaşık 22 trilyon ABD Doları (\$) değerinde yatırımın yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (EÜAŞ 2008, Örüçü 2008).

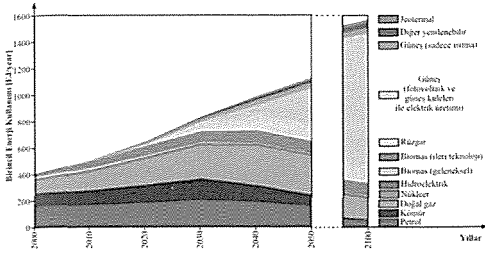
Ülkemizin girmeye aday olduğu Avrupa Birliği (AB), günümüzde en büyük üçüncü enerji tüketicisi konumundadır. AB genelinde birincil enerji arzında 2006 yılı verilerine göre %54 düzeyinde olan ithalat bağımlılığı, 2030 yılına kadar olan dönemde %70'e ulaşması beklenmektedir. Doğal gaz arzında ithalat bağımlılığının %61 düzeyinden %81'e, petrolde ise %82'den %88'e çıkacağı öngörülmektedir. Ayrıca, enerji tüketiminin %79'u fosil kaynaklardan karşılanmaktadır (Wodopia, 2009).

Avrupa Birliği'nde olduğu gibi, ülkemizde de enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılması ve enerji arz güvenliğinin sağlanması ile birlikte enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının yaygınlaştırılması ve çevrenin korunması temellerine dayalı rekabetçi bir serbest piyasa ekonomisi oluşturulması hedeflenmektedir. Bu hedeflere ulaşmak için, gerek AB'de gerekse ülkemizde izlenen enerji ve çevre politikaları aşağıda detaylı olarak verilmektedir.

2 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE ENERJİ

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yapılan tanıma göre; sürdürülebilir kalkınma, "gelecek nesillerin ihtiyaçlarını sağlayabilme yeteneklerini tehlikeye atmadan, günümüz dünyasının ihtiyaçlarını karşılayabilmektir". Bu ifadeye göre; yapılacak tüm üretim faaliyetlerinde, dünyanın tükenebilir kaynaklarını mümkün olan en iyi düzeyde değerlendirme gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Ersöz ve Onat, 2009).

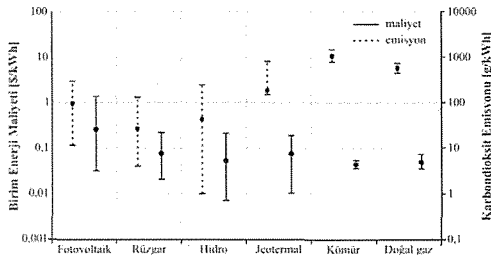
Enerji üretim teknolojilerinin sürdürülebilirlik analizinde, dikkate alınması gereken oldukça önemli pek çok parametre mevcuttur. Enerji üretiminin etkileri sadece geleneksel şekliyle çevresel ve iklimsel sonuçlar olarak ele alınmamalıdır. Toplumun sosyal ve ekonomik yapısı da üretim metodunun seçimini önemli ölçüde etkilemektedir. Dünya genelinde artan iletişim ve bilgi paylaşımı nedeniyle, günümüzde toplumların çevresel ve iklimsel değişimlere duyarlılığının hızla arttığı görülmektedir. Bu duyarlılık her alanda olduğu gibi enerji üretimi alanında da kendini göstermektedir. Dünya Enerji Konseyi'nin yaptığı analiz çalışmalarına göre, 2030 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı hızla artarak, 2100'lü yıllarda dünya enerji pazarında çok büyük bir paya sahip olması beklenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. 21. Yüzyılda birincil enerji kullanımının değişim tahmini (WEC, 2007)

Uluslararası enerji kuruluşları tarafından yapılan yayınlarda, elektrik enerjisi üretim teknolojisinin sürdürülebilir olabilmesi için 3A prensibine uygun olması gerektiği belirtilmektedir. 3A prensibi *kolay erişilebilirlik* (Accessibility), *bulunabilirlik* (Availability) ve *kabul edilebilirlik* (Acceptability) kavramlarını içermektedir.

Birim enerji maliyeti ve karbondioksit emisyon miktarlarının değişim aralıklarını gösteren grafik Şekil 2'de görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının durumunu kıyaslayabilmek amacıyla doğal gaz ve kömür için de değerler verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin nispeten yüksek maliyetli olduğu, ancak geleneksel sistemlere göre karbondioksit emisyonu çok daha düşük düzeylerde bulunan, sürdürülebilir enerji kaynakları olduğu görülmektedir.

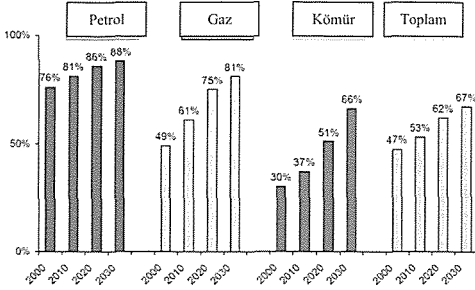


Şekil 2. Birincil enerji kaynaklarının birim maliyet ve emisyon miktarları (Evans vd., 2009).

Günümüzde enerji kaynaklarının en önemli sürdürülebilirlik göstergelerinden biri de sosyal etkileridir. Özellikle fosil yakıt açısından zengin kaynaklara sahip olmayan ülkeler için yenilenebilir kaynaklar, dışa bağımlılığı azaltarak, üretilen enerjinin fiyat dalgalanmaları en alt seviyeye indirilebilir. Fotovoltaik sistemler bu açıdan en avantajlı enerji dönüşüm santralleridir. Rüzgâr santralleri için en önemli dezavantaj olarak, gürültü kirliliği ve kuşların doğal yaşamına verdiği zararlar ön plana çıkmaktadır. Jeotermal sistemlerin koku ve gürültü kirliliği ve sismik aktiviteleri etkileme olasılığı önemli sosyal etkileridir. Özellikle son yıllarda, büyük güçlü hidroelektrik sistemlerin toplum tarafından kabul edilebilirliği giderek azalmaktadır. Baraj göllerinin iklim, canlı yaşamı ve insan toplulukları üzerinde yaptığı olumsuz etkiler, tarihi ve doğal güzelliklere zarar verdiği algısı giderek yayılmaktadır.

3 AB ENERJİ VE ÇEVRE POLİTİKASI

AB'nin temelini oluşturan Avrupa Kömür Çelik Topluluğu'nu (AKÇT) kuran Paris Antlaşması (1952) ve Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu'nu (Euratom) kuran Roma Antlaşması (1957) ile topluluğun kömür ve nükleer enerji politikaları belirlenmiştir. Son yıllarda doğal gaz ve petrol fiyatlarının ani yükselmesi, özellikle Rusya'dan doğal gaz temininde yaşanan kesinti sorunları, iklim değişikliği konusunda acil önlemler alınması gerekliliği, fosil kaynaklar bakımından fakir ve enerjide %54 dışa bağımlı olan Avrupa Birliğini başta enerji güvenliği olmak üzere, enerji çeşitliliği konularına daha ciddi eğilmeye, mevcut politikalarını gözden geçirip yeni bir enerji politikası oluşturmaya yöneltmiştir (Şekil 3). Bu amaçla; Avrupa Komisyonu, Avrupa Konseyi ve Parlamentosuna düzenli olarak sunulmak üzere "Stratejik AB Enerji Gözden Geçirmesi" bildirimleri hazırlamaya başlamıştır.

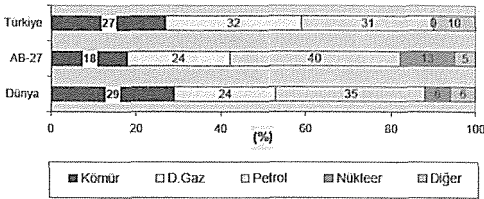


Şekil 3. Kaynak türlerine göre AB'nin enerji ithalatı süreci (Wodopia, 2009)

3.1 AB Enerji Politikası

Mart 2007 tarihinde Avrupa Konseyi tarafından onaylanan AB yeni enerji ve çevre politikası, birliğin temel enerji hedefleri arasında yer alan sürdürülebilirlik, rekabet ve arz güvenliğine ilişkin uzun vadeli bir siyasi gündem oluşturmayı amaçlamıştır. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için, AB üyesi ülkeler “20-20-20” olarak adlandırılan önlemleri alma konusunda hemfikir olmuşlardır.

Fakat AB'nde uzun yıllar sonra, enerji güvenliği tehdidinin etkisi ve doğal gaz ve petrole karşı sahip olduğu üç avantajıyla kömür “coal is back” sloganı ile geri dönmüştür. Bu avantajlar; birim enerji başına daha düşük maliyet, rezervlerin farklı jeopolitik bölgelere dağılmış olması, yüksek istihdam ve rezerv-üretim oranına sahip olmasıdır (Şekil 4).



Şekil 4. 2007 Yılı birincil enerji tüketiminde kaynakların payı (Ersoy, 2009).

Avrupa Komisyonu tarafından hazırlanan “İkinci Stratejik Enerji Gözden Geçirmesi” çerçevesinde “AB Enerji Güvenliği ve Dayanışma Eylem Planı” başlıklı bildirimde kömürün halen Avrupa'nın yerli enerji

arzında önemli bileşen olduğu, hatta AB'nin bazı bölgelerinden çıkarılan bitümlü şist ve turba kömürünün enerji güvenliğine katkı sağlayacağı, Avrupa ve diğer ülkelerde kömürün iklim değişikliği sorunu ile uyumlu olarak uzun vadeli kullanımının “Karbon Tutma ve Depolama- Carbon Capture and Storage- CCS” teknolojisinin yaygın bir şekilde erişilebilir olmasıyla mümkün olacağı, CCS'in gelişiminin de ilgili düzenlemelere ve karbon fiyatları ile yeni teknoloji ve süreçlerin mevcudiyetine bağlı olduğu belirtilmektedir.

3.2 AB İklim ve Çevre Koruma Stratejileri

İklim ve çevre koruma 21. yüzyılın küresel ölçekte en önemli meselelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre konularının merkezinde ise enerji ve iklim politikaları yatmaktadır. Küresel ısınmanın tetiklediği iklim değişikliği, yaşanan pek çok doğal afetin kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu maksatla, son yıllarda ülkeler temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir (Wille 2007, Delibalta 2009).

Enerji ve çevre arasındaki uyum, AB'nin temel amaçlarından biridir. Özellikle enerji arz güvenliği ile çevre koruma arasında denge kurulması esas alınmaktadır. Kyoto Protokolüne göre, AB üye devletleri 2008-2012 yılları boyunca sera gazı emisyonlarını 1990 seviyesine göre %8 oranında azaltmayı taahhüt etmişlerdir. Bu bağlamda, yeni ve mevcut enerji santrallerinde izin verilen maksimum emisyon limitlerini belirleyen yönergeler çıkartılmış, Avrupa iklim değişikliği programı başlatılmıştır. Bu amaçla, temiz kömür teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesi konusunda çerçeve programlar, Kömür Çelik Araştırma Fonu, Enerji Teknoloji Platformları (örneğin Sıfır Emisyonlu Fosil Yakıtlı Termik Santraller-ZEP), Emisyon Ticareti Sistemi (ETS) ve Temiz Kalkınma Mekanizması (TKM) gibi belli başlı mekanizmalar oluşturulmuştur (Ersoy 2009, Şafak 2009).

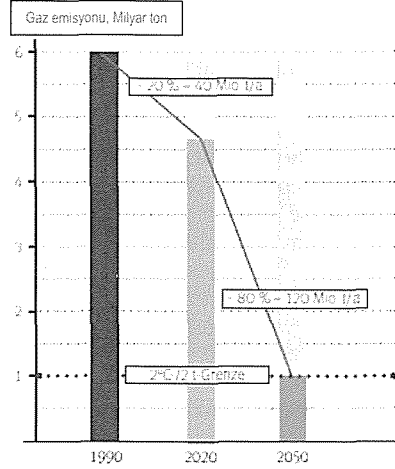
Ayrıca, AB üyesi ülkeler için 2020 yılına kadar aşağıdaki hedefler belirlenmiştir.

- Enerji tüketiminde %20 tasarruf,
- Enerji verimliliğinde %20 iyileştirme,
- Toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynakları payını %20'ye yükseltmek,
- Gıda güvenliğini korumak koşuluyla akaryakıt tüketiminde Biyoyakıtın payını en az %10'a yükseltmek,
- Sera gazı emisyonlarında en az %20 azaltım,
- Tüm kurumların ve vatandaşların etkin yararlanabileceği bir enerji ortak pazarın yaratılması,
- Tarım ve ticarete olduğu gibi AB enerji politikası alanında da daha iyi ilişkiler,
- Uluslararası işbirliğinin geliştirilmesidir.

Yukarıda sözü edilen hedefleri gerçekleştirebilmek için, 23 Ocak 2008 tarihinde AB Komisyonu aşağıda sıralanan yasal düzenlemeleri kapsayan "AB İklim ve Enerji Paketini" hazırlamıştır.

- Karbon Tutma ve Depolama- Carbon Capture and Storage- CCS Direktifi,
- Çevresel koruma için devlet teşviki kılavuzu,
- AB gaz emisyon ticaretinin geleceği direktifi,
- Sera gazı emisyonlarını azaltma ve yenilenebilir enerji payını artırma teknolojilerini paylaşma,
- Fosil yakıtlardan sürdürülebilir enerji üretimi için demonstrasyon tesislerinin erken devreye alınmasını destekleme konusunda işbirliği.

AB 1970'li yılların başından beri çevre ve iklim korunmasında politik olarak baskın görevler üstlenmiş ve üstlenmeye de devam etmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen AB'nin asıl hedefi, 2050 yılına kadar sanayi ve konut için gerekli elektrik enerjisinin %50'den fazlasını karbonsuz kaynaklardan, yani fosil olmayan kaynaklardan üretmek ve gaz emisyonunu %80 azaltmaktır (Liebing ve Schulz, 2008) (Şekil 5).



Şekil 5. 2050 Yılına kadar AB'de iklim değişim süreci (DEBRIV, 2009)

4 TÜRKİYE ENERJİ VE ÇEVRE POLİTİKASI

Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi; ekonomik büyüme ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde zamanında, güvenilir ve yeterli miktarda enerjiyi, çevre korumaya yönelik önlemlerle beraber, ekonomik koşullarda tüketime sunmaktır. Bu bağlamda, ülkemizin enerji politikasının ana öğelerinden bazıları;

- Kaynak çeşitliliğini ve enerji güvenliğini artırmak,
- Sektörde gerekli reform çalışmalarını sürdürmek,
- Çevresel etkileri de gözönüne alarak enerji sektörünün tüm alanlarında yatırımların artmasını sağlamak,
- "Enerji koridoru ve terminali" kavramı çerçevesinde hidrokarbonların taşınması ve ticaretinde aktif rol üstlenmektir.

Ülkemiz; kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, toplumsal refahı artırma ve sanayi sektörünü uluslararası alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarma çabası içerisindedir. Bu durum, enerji talebinde uzun yıllardır hızlı bir artışı beraberinde getirmiştir. Önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam etmesi beklenmektedir. 2007 yılında 106 Milyon ton petrol (Mtep)

eşdeğerini geçen yıllık enerji tüketiminin, 2010 yılında 126 Mtep, 2020 yılında ise 223 Mtep düzeyine ulaşacağı beklenmektedir. Bu değerler enerji talebinin yılda yaklaşık %6 düzeyinde artış göstereceğine işaret etmektedir. Enerji tüketiminde %32 ile doğal gaz en büyük payı alırken, bunu %31 ile petrol, %27 ile kömür izlemiş, geri kalan %10'luk bölüm ise hidrolik dahil olmak üzere diğer yenilenebilir kaynaklar tarafından karşılanmıştır (bkz. Şekil 4). Ancak; enerji sektörünün mevcut talebi karşılaması için, 2020 yılına kadar olan yatırım ihtiyacının 120 milyar ABD Doları (\$) olacağı hesaplanmaktadır (EÜAŞ 2008, TKİ 2008).

Türkiye, zengin enerji kaynakları potansiyeline rağmen (Çizelge 1), arz bakımından net ithalatçı bir ülke konumundadır. Zira yerli kaynakların talebi karşılamada yetersiz kullanımı nedeniyle, 2007 yılında enerji arzının petrolde %93, doğal gazda %97, kömürde ise %20 oranında olmak üzere toplam %74'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır. Ülkemiz ciddi bir enerji arz güvenliği ile karşı karşıyadır. Dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla, yerli kömürle çalışan termik santral ve hidroelektrik santrallere öncelik verilmesi, kaynak çeşitliliği ve enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir (Karadeniz 2008, Şensöğüt vd. 2009).

Çizelge 1. Türkiye'nin yerli enerji kaynakları potansiyeli (EÜAŞ, 2008).

Kaynak	Potansiyel
Linyit	10,4 milyar ton
Taşkömürü	1,3 milyar ton
Asfaltit	82,0 milyon ton
Petrol	6,7 milyar varil
Hidrolik	130,0 milyar kWh/yıl
Doğalgaz	21,9 milyar m ³
Rüzgâr	Çok verimli: 8000 MW Orta verimli: 40000 MW
Jeotermal	31500 MWt (1500 MW'ı elektrik üretimine elverişli)
Biyokütle	16,9 Mtep
Güneş Enerjisi	80,0 Mtep (380 milyar kWh/yıl elektrik)

4.1 Türkiye İklim ve Çevre Koruma Politikaları

AB'nin 17 Aralık 2004 tarihinde Türkiye ile müzakerelerin başlatılmasına ilişkin kararının ardından, çevre korumayla ilgili aşağıda sıralanan başlıca çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Çevre mevzuatımızın AB çevre mevzuatı ile uyumlaştırılması, uygulanması ve denetlenmesine dair 2006 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB) koordinasyonunda 2007-2023 yılları AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi (UÇES) yayımlanmıştır. Yapılan çalışmalara göre çevre alanında 59 milyar €'luk yatırım ihtiyacı ortaya konulmuştur.
- Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine 2004 yılında katılmış ve 13 Mayıs 2009 tarihinde de Kyoto Protokolünü imzalamıştır. Türkiye, Kyoto Protokolün ülkelerin emisyon azaltım ve finansman taahhütlerinin bulunduğu Ek-II listesinde yer almadığı için, 2008-2012 döneminde herhangi bir yükümlülüğü bulunmadığı gibi Kyoto Protokolü ile getirilen esnek mekanizmaların uygulanmasında da yer almayacaktır. Ancak; Türkiye'nin 2012 yılı sonrası dönemde kendi koşullarını dikkate alarak, sürece katılması büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin 2006 yılı kişi başı sera gazı emisyonu değeri 4,55 ton CO₂ eşdeğeri iken, aynı yıl AB-27 ortalamasının 10,4 ton CO₂ olduğu gözönünde tutulmalıdır (ETKB 2006, Sanlı 2008, ÇOB 2010).
- Tarama süreci 2006 yılında tamamlanan çevre başlığında, kömür sektörünü yakından ilgilendiren emisyon sınır değerleri ile ilgili iki direktif bulunmaktadır. Bunlardan biri; kullanılan yakıt türü ne olursa olsun ısı kapasitesi 50 MW'a eşit yada daha fazla olan yakma tesislerinden kaynaklanan toz (partikül madde), Kükürtdioksit (SO₂) ve Azotoksit (NO_x) gibi kirleticileri azalmayı amaçlayan "Büyük Yakma Tesisleri-Large Combustion Plants-LCP"

direktifidir. LCP direktifine yönelik olarak, AB eşleştirme projesi kapsamında uyumlaştırma çalışmaları devam etmekte olup, taslak yönetmelik hazırlanmıştır. Taslak yönetmelikte mevcut tesisler için uyum sürecinin 2017 yılı olarak belirlenmesine karşılık, AB süreç içerisinde direktifte güncellemeye gitmiş, direktifte yer alan parametrelere ilave parametreler getirilmiş ve direktifin kapsamı genişletilmiştir.

- Çevresel izinler için bir sınır oluşturan ve çevrenin korunması için mevcut en iyi tekniklerin uygulanmasını öngören “Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi- Integrated Pollution Prevention and Control- IPPC”dir. 2001 yılında başlatılan direktif ile ilgili uyum çalışmalarına 2006 yılında başlatılan “Türkiye’de IPPC Yönergesinin Uygulanması” projesi ile devam edilmektedir.
- Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Direktifi 22.07.2006 tarih ve 26236 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Direktifi, konuya ilişkin AB mevzuatı ile uyumlu bir şekilde 17.07.2008 tarih ve 26939 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
- Belediye ve Sanayi Atıkları Direktifi’nin mevzuat uyumlaştırma çalışmaları, Atık Eylem Planı (2008-2012) kapsamında devam etmektedir (Çetiner vd. 2006, Ersoy 2009, ÇOB 2010).

Bu stratejiler ile ülkemiz, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesinin temel ilkelerinden bir olan “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” kapsamında küresel iklim değişikliği ile mücadele çabalarına imkânları ölçüsünde katkıda bulunmayı, ulusal azaltım, uyum, teknoloji, finansman ve kapasite oluşturma politikalarını ortaya koymaktadır.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim ve çevre koruma 21. yüzyılın küresel ölçekte en önemli meselelerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre konularının merkezinde ise enerji ve iklim politikaları yatmaktadır. Günümüzde yaşanan tüm ekonomik ve sosyal krizlere rağmen, 2030 yılına kadar bugünkü dünya enerji tüketiminde %50, CO₂ emisyonlarında da yaklaşık %57’lik bir artış beklenmektedir. Küresel ısınmanın tetiklediği iklim değişikliği, yaşanan pek çok doğal afetin kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda ülkeler temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.

Dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, petrol rezervlerinin 41, doğal gaz rezervlerinin 63, kömür rezervlerinin de ortalama 180 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır. Birincil enerji arzında, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunu önümüzdeki yıllarda da devam ettirmesi ve talepteki artışın %84’lük bölümünün bu kaynaklardan karşılanması öngörülmektedir.

Tüketim tarafından bakıldığında ise projeksiyonlar, en hızlı artışın yenilenebilir enerji kaynakları (%2,1) ve kömürde (%2,0) olacağını göstermektedir. 2030 Yılında doğal gaz tüketiminin 2005 yılına göre %52, kömür tüketiminin ise %65 artacağı öngörülmektedir. Şayet yüksek petrol ve doğal gaz fiyatları sürekli hale gelirse, kömüre olan ilginin, özellikle Çin, ABD ve Hindistan gibi zengin kömür yataklarına sahip ülkelerde daha da artacağı düşünülmektedir. Ancak; kömürden elektrik üretimi ile ilgili projeksiyonlar, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik uluslararası anlaşmaların yürürlüğe girmesine göre önemli ölçüde değişebilecektir. Bu maksatla, enerji-çevre ilişkisinde önemli bir yer tutan iklim değişikliği ile mücadelede, enerji sektörünün etkin rol oynaması beklenmektedir.

Enerji ve çevre arasındaki uyum, AB’nin temel amaçlarından biridir. Ancak, dünya enerji tüketiminin %71’i ve sera gazı emisyonları salımının %80’i sanayileşmiş ülkeler tarafından gerçekleştirilmektedir.

AB ile müzakere ve uyum sürecinde bulunan ülkemiz; zengin enerji kaynakları potansiyeline sahip olmasına rağmen, kullanımlar bakımından net ithalatçı bir ülke konumundadır. Zira yerli kaynakların yetersiz kullanımı nedeniyle, 2007 yılında enerji talebinin petrolde %93, doğal gazda %97, kömürde ise %20 olmak üzere toplam %74'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır. Ülkemiz ciddi bir enerji arz güvenliği ile karşı karşıyadır. Enerji'de dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla, yerli kömüre dayalı termik santral ve hidroelektrik santrallerin yapım ve kullanımına öncelik verilmesi, enerji-çevre uyumlu kısa, orta ve uzun vadeli stratejilerle, kaynak çeşitliliği ve enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Çetiner, E.G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Maden Atıkları ile İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, *Madencilik*, Cilt: 45, Sayı:1, Ankara, s.23-34
- ÇOB, 2010. Ulusal iklim değişikliği strateji belgesi 2010-2020, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB), Ankara, 15 s.
- Delibalta, M.S., 2009. AB ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevre Stratejileri, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No: 157, Ankara, s.37-46
- DEBRIV, 2009. *Braunkohle in Deutschland 2009*, Bundesverband Braunkohle (DEBRIV), Max-Planck-Straße 37, 50858, Köln, 72 s.
- Ersoy, M., 2009. Sürdürülebilir Kalkınmada Avrupa Birliği ve Türkiye Kömür Madenciligi, 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No: 157, Ankara, s.27-35
- Ersöz, S. ve Onat, N., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirlik Açısından Karşılaştırılması, *Nuclear&Renewable Energy Resources Conference With International Participation*, Ankara, s.535-540
- ETKB, 2006. *Enerji Sektöründe Sera Gazı Azaltım Çalışma Grubu Raporu*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 40 s.
- EÜAŞ, 2008. 2008 Yılı *Elektrik Üretim Sektör Raporu*, Elektrik Üretim Anonim Şirketi-EÜAŞ, <http://www.euas.gov.tr>, Ankara, 13 s.
- Evans, A., Strezov, V. ve Evans, T.J., 2009. "Assessment of Sustainability Indicators for

- Renewable Energy Technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, s.1082-1088
- Karadeniz, M., 2008. Kyoto Protokolü Üzerine, *Madencilik Bülteni*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Sayı: 86, Ankara, s.52-58
- Liebing, A. ve Schulz, J., 2008. *Umweltpolitik Daten-Zahlen-Fakten*, BMU-Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Nr.11055, Berlin, 23 s.
- Örücü, A.Y., 2008. Enerji Güvenliği ve İklim Değişikliği: AB Perspektifi, *Avrupa Çevre Ajansı "Enerji ve Çevre Senaryoları"*, Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara, 25 s.
- Sanlı, B., 2008. Enerji Projeksiyonları ve Sera Gazı Emisyonları, ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 54 s.
- Şafak, Ş., 2009. Avrupa Birliği ve Türkiye'de Sürdürülebilir Madencilik, *21.Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:155, Antalya, s.49-56
- Şensöğüt, C., Akçakoca, H. ve Aydın, M., 2009. Türkiye'de Kömürün Enerji Üretimindeki Rolü, *21.Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No:155, Antalya, s.57-70
- TKİ, 2008. *Kömür Sektör Raporu (Linyit)*, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara, 20 s.
- Wille, J., 2007. İklim Değişimi: Sorunların En Acili, *Deutschland*, Sayı:3/2007, Frankfurt am Main, s.21-30
- Wodopia, F.J., 2009. Quantitative Methoden zur Messung der Versorgungssicherheit, *Advanced Mining Solutions AMS Online GmbH*, Nr.04/2009, Wurmquellen 13 a, 52066, Aachen, s.13-27
- World Energy Council (WEC), 2007. "2007 Survey of Energy Resources, Chapter:10, *Solar Energy*, London, s.381-382

Endüstriyel Minerallerin Geleceği *Future of Industrial Minerals*

İrfan Bayraktar

Tüfekçioğlu Kauçuk San.ve Tic.Ltd.Şti, Ankara

ÖZET Endüstriyel mineraller neolitik çağdan (M.Ö.8500) beri her toplumun günlük yaşantısının olmazsa olmazıdır. Metaller ve enerji mineralleri ile birlikte modern endüstri toplumlarında da refahın ana bileşenidir.

Endüstriyel mineraller, madencilik denilince genelde hemen akla gelen tüm metaller ve kömürün toplamından hacimce ve kapsam olarak çok daha büyük bir madencilik faaliyetidir. Örneğin, petrol-doğalgaz sondajlarından, bina, yol, köprü, baraj ve liman inşaatlarına demir-çelik üretim sürecinden tarıma, kağıt, plastik, pil, temizlik ve kozmetik ürünlerini de içine alarak yaşamın her alanını kapsar. Bu nedenle, geçmişte olduğu gibi gelecekte de refah ve uygarlık için önemi artarak devam edecek bir madencilik faaliyetidir.

Gelecekte de endüstriyel minerallere talep, artan dünya nüfusu ve şehirleşme ve kalkınma/gelişme olgularına bağlı olarak sürekli artacaktır. Yakın geçmişte sadece yöresel pazara sunulan pek çok endüstriyel mineral, lojistik imkan ve ölçeğin hızla artışı sayesinde bugün küresel pazarlara sunulabilmektedir.

Bu bildiri, endüstriyel minerallerin önemini hatırlattıktan sonra gelecekte talebin hangi minerallerde azalacağını veya artacağını tahmin etmeye çalışmaktadır.

ABSTRACT Industrial minerals have been indispensable to daily life of all societies since neolithic age (B.C.8500). Together with metals and energy minerals they have been the main constituents of wealth of modern industrialized societies.

In the eyes of public, the word of mining evokes metals and coal but in fact industrial minerals mining in terms of volume and extent has always been much larger activity. For example, their use extends in a very wide range from oil-natural gas drilling; construction of buildings, roads, ports, dams, bridges; blast furnaces process to agriculture, paper, plastics, batteries, cleaning supplies and cosmetic products. Thus, as it was in the past, their necessariness for civilization and wealth will also be well appreciated in the future. Surely, demand for industrial minerals will consistently grow owing to the fact that population and urbanisation increase and economic development.

A number of industrial minerals were only for local market in the recent past, but today, because of the fast growing large scale logistic facilities they are now supplied to global markets.

Having overviewed the importance of industrial minerals for wealth, this paper tries to predict diminishing and increasing demand for some commodities.

GİRİŞ

Günümüzde üretilen 50'den fazla mineral, endüstriyel mineral olarak adlandırılmaktadır. Endüstriyel mineraller tüketicinin günlük yaşamına doğrudan veya dolaylı olarak giren, baz metaller ve enerji mineralleri dışındaki tüm minerallerdir. Bazıları herkes tarafından kolayca bilinen, herhangi bir metalurjik değeri olmayan tuz, kum-çakıl, kireçtaşı, alçıtaşı, talk, pomza ve kil gibi minerallerdir. Bunların dışında, metalurjik değeri olan, yani bazı metallerin üretiminde de kullanılan aşağıdaki mineraller de endüstriyel minerallerdir. (1)

- Boksit (Alüminyum metal, alümina, özel çimento için katkı, aşındırıcı malzeme, fırın tuğlaları üretimi).

- Kromit (Krom ve ferrokrom, döküm kumu, kromatlar ve pigment.)

- Rutil (Titanyum metal, beyaz boya, kağıt kaplama, plastiklere katkı.)

- Zirkon (Zirkonyum metal, seramikleri sırlama, cam)

- Mangan (Mangan metal, piller, kimyasallar, pigment.)

- Stibnit (Antimuan metal, antimuan üçoksit olarak yanmaz malzeme üretimi.)

- Kuvars (Silikon metal, cam, seramik)

Ayrıca doğada ya hiç ya da yeterli miktarda olmayan aşağıdaki mineraller de endüstriyel mineraller kapsamındadır.

- Kristobalit (Kalsine kuvars)

- Korund (Kalsine alumina)

- Silikon karbid (Kuvars+Petrol koku)

- Yapay kalsit (Kireç+karbondioksit)

- Spinel (Manyezit+boksit)

- Soda külü (Solvay yöntemi; tuz + kireçtaşı + kömür + amonyum)

Yukarıdaki örneklerden de anlaşılacağı üzere endüstriyel mineraller sadece modern çağların değil neolitik çağdan (M.Ö.8500) beri her toplumun günlük yaşantısının ve refahının olmazsa olmasıdır.

Günlük yaşantımızın vazgeçilmezi minerallerin tüketim miktarı toplumların refahı ile de doğru orantılıdır. Örneğin, en gelişmiş batı toplumlarında mineral tüketimi kişi başına en az 15 ton/yıl iken ülkemizde yaklaşık 10 ton/yıl'dır.

Çizelge-1 de ABD'nin 2009 yılındaki kişi başına endüstriyel mineral tüketimi verilmektedir. (2)

Çizelge-1: ABD'de, 2009 yılında kişi başına Endüstriyel Mineral Tüketimi

	Kg.	%
Çimento	2406	3.3
Killer	70.8	1.0
Fosfat	88.5	1.2
Potas	10.0	0.1
Tuz	185.6	2.6
Kum-çakıl/Agrega	6483.1	89.0
Soda Külü	20.0	0.2
Diğer metalik olmayan mineraller	185.0	2.6
Toplam	7281.6	100.0

2009 yılında ABD de tüm mineral (kömür, demir ve baz metaller) tüketimi kişi başına 17.1 tondur. Hatırlamak gerekir ki 2009 yılı kriz yılı olup tüketim kriz öncesine göre düşüktür.

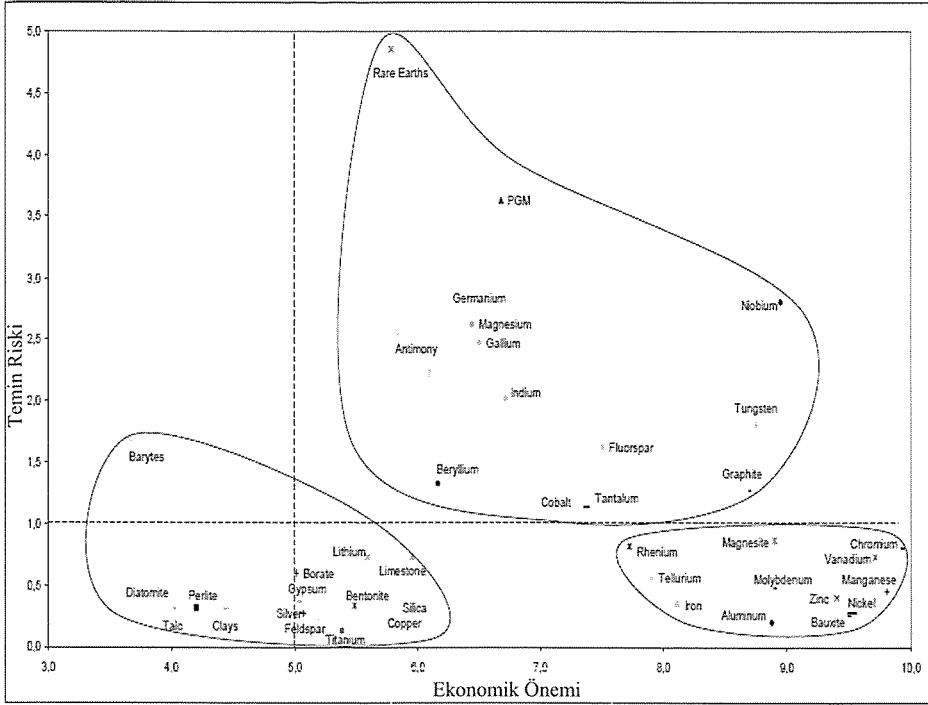
Gelişmiş ülkeler yaşadıkları refahı sürdürülebilmek için minerallerin pek çoğunun stratejik önemini kavrayarak gelecek için mineral temin senaryoları hazırlamaktadır. (3)

Şekil-1 de yıllardır aday üyesi olduğumuz Avrupa Birliği'nin ekonomisi için minerallerin ne kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir.

Yukarıda özetlenmeye çalışılan bilgiler ışığında endüstriyel minerallerin geleceği ile ilgili tümünü kapsayan genel bir tahmin yapmak sağlıklı olamaz. Çünkü binlerce yıldır özü değişmeden üretilen tuğla, kiremit ve cam için 21. asırda da ikamelerinin mümkün olmadığı ve daha iyi fiziksel özellikler kazandırılarak üretimlerinin devam edeceğini söylemek kolaydır. Ancak 30-40 yıl önce bugünkü kadar önemli olmayan, yüksek safılıktaki kuvars, dolomit ve lityum mineralleri ile gelecekte enerji üretimi, kullanımı ve tasarrufunda doğrudan

veya dolaylı ilgisi olan minerallere talebin normalden fazla artacağını söylemek de mümkündür. Özetle, mevcut arz-talep dengesini gelecekte belirleyecek olan nüfus artışı, tüketim artışı, çevresel sorunlar, enerji

üretim vb. gibi etmenler incelenerek, mineral bazında gelecek tahmini yapmak mümkün görünmektedir.



Şekil-1 Avrupa Birliği için ekonomik önemi ve temin riski olan 41 madensel hammadde (2)

1 ENDÜSTRİYEL MİNERALLERİN VAZGEÇİLMEZLİĞİNİ VE GELECEĞİNİ BELİRLEYEN TEMEL OLGU VE TALEPLER

Teknolojik yeniliklerin gereksinimleri dışında, toplumlar mevcut durumlarını korumak için bile nüfus artışı ile ortaya çıkan yeni talepleri karşılamak zorundadır. Ayrıca, her toplum daha iyi bir gelecek için varlığını sürdürür ve en ileri refah toplumu olmaya çalışarak tüketim hızını sürekli artırmaktadır.

1.1 Nüfus ve Şehirleşmenin Artışı

Günümüzde gelişmiş ülkelerde her yıl kişi başına 15-20 ton mineral madde tüketilmektedir. Gelişmiş ülkelerde talep artışı, endüstriyel minerallerde oldukça

kararlı bir biçimde yılda % 2-3 iken gelişmekte olan ülkelerde bu artış hem nüfusun hem de refahın hızlı artışı nedeniyle % 10'lara kadar çıkmaktadır.

Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %50'si şehirlerde yaşamakta iken 2030'lu yıllarda bu oran % 60 civarında olacaktır. En az 50 NewYork, Tokyo veya İstanbul büyüklüğünde şehir mevcut şehirlere ilave olacaktır. Ülkemizde, 1927'de % 24, 1960'da % 33 olan şehirleşme oranı 2009'da % 70lere ulaşmıştır. (4) Şehirde yaşama refaha ortak olma veya şehirleşme oranındaki artış refah artışı olarak algılanmaktadır. Bu da akla ilk önce iyi barınma koşullarını yani ev'i getirir. Ev demek kum-çakıl, çimento, cam, tuğla, kiremit, alçı, boya, seramik vb. demektir.

Buna şehirlerin sahip olması gereken altyapı da eklendiğinde nüfus ve şehirleşme oranı artışının endüstriyel minerallerle nasıl doğrudan ilişkili olduğu kolayca anlaşılmaktadır.

1.2 Enerji Talebi

Gerek nüfus gerekse refah artışı beraberinde daha fazla enerji ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı veya çevreye zararlı ve giderek pahalı oluşu son yıllarda özellikle güneş enerjisinin önemini artırmıştır. Gelişmekte olan güneş enerjisi teknolojisi, yüksek saflıkta, demir (Fe₂O₃) içeriği 100 ppm'den az silis kumu ve dolomit talebini artırmaktadır. Ayrıca üretilen enerjinin depolanması için lityum bazlı pil/akü talebi de çok hızlı artmaktadır. Yakın gelecekte çatılar kiremit yerine güneş panelleri ile örtülecek diğer bir deyişle kiremitler ve pencere camları elektrik üretecektir. Avrupa Birliği'nde güneş enerjisi üretimi, 2007 de 9000 MW iken 2008 de 15000 MW olmuştur. 2030 yılında 1800 GW (1.800.000 MW) olacağı tahmin edilmektedir. Bu da 1,3 milyar gelişmiş ülke nüfusunun tüketimidir. (5)

Enerjinin giderek daha pahalı olması ısı yalıtımının önemini çok artırmıştır. Yeni yapılar için yalıtım özelliği kilden yapılan konvansiyonel tuğlaya göre daha iyi olan gazbeton, izobim vb. yapı malzemeleri tercih edilecektir. Bu da kuvarsit, kireç, çimento, pomza, perlit gibi endüstriyel minerallerin daha fazla talep edileceğine işaretir. Yine yalıtımla ilgili olarak cam/kaya yünü de giderek talebi artan bir meta olacağından, silis kumu, feldispat, soda külü, bazalt gibi mineral ve kayaçların tüketimi de oransal olarak artacaktır.

Enerji sektöründeki gelişmelerin endüstriyel mineral sektörünü nasıl etkilediğine iyi bir örnek de "Frac sand" denilen çatlak kumudur. Özellikle doğalgaz kuyularının verimini arttırmak için kullanılan, köşesiz ve kırılmaya dayanıklı, gaz çıkan çatlakların kapanmasını önleyen silis kumuna talep giderek artmaktadır.

1.3 Yeterli ve Ucuz Gıda Talebi

Dünya nüfusu son 15 yılda bir milyardan fazla artmasına karşın ekilebilir alanlarda (700 milyar dönüm) önemli bir değişiklik olmamıştır. Ancak, 15 yıllık süre içinde tarımsal üretim % 146 artmıştır. (6) Bu artışın ana nedenleri sulama ve iyi tohum ile birlikte gübre tüketiminin artışıdır. Yapay gübre denilince de fosfat kayası (apatit), potas (silvit), kireçtaşı, dolomit, bor gibi endüstriyel mineraller söz konusudur.

1.4 Temiz Çevre Talebi

İkinci Dünya savaşı sonrası hızlı sanayileşme, nüfus ve tüketim artışı daha çok Avrupa ve Kuzey Amerika'da çevre kirliliğine yol açtı. Günümüzde bir yandan eski kirliliğin giderilmesine diğer yandan da yeni üretim süreçlerinde ortaya çıkan kirleticilerin bertarafı ile ilgili olarak milyonlarca ton endüstriyel mineral tüketilmektedir. Örneğin, önemi her geçen yıl artan içilebilir su üretimi için filtrasyon, pH ayarı ve suyu mineralize etmek için silis kumu, diatomit, zeolit, granit kumu, kireçtaşı, soda gibi endüstriyel minerallerin tüketimi hızla artmaktadır.

Şehirlerin daha çok dikine büyümesinden ve/veya eski yapı ve binaların yıkımında ortaya çıkan hafriyat ve moloz gibi inşaat artıklarının şehir dışındaki kırsal kesime taşınması pahalı olmanın ötesinde çevreyi bozması nedeniyle geri dönüşüme sokulmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu eğilim giderek artacak ve metropollerde yeni bir geri dönüşüm sektörü doğuracaktır.

1.5 Tıbbi Bakım ve Hijyen

Evler ve kamu bina/yapıları (Havaalanları, limanlar, garlar, hastaneler, okullar, stadyumlar, AVMler v.b) bakteriyel barındırmayan seramik karolar, tuvalet, banyo, mutfak malzemeleri üretimindeki yeni teknolojik süreçler, örneğin, nanoteknoloji ürünleri yüksek saflıkta mineraller gerektirmektedir.

Evcil hayvan popülasyonu da refah ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Kedi,

köpek kumu olarak bilinen bentonit/sepiyolit minerallerinin tüketimi de bu olgu nedeniyle sürekli artmaktadır.

1.6 Ulaşım ve İletişim

Otomobil, otobüs, uçak, gemi vb. üretimlerinde de ev yapımında olduğu gibi çok çeşitli endüstriyel minerallere ihtiyaç vardır. Örneğin, cam, plastik-poliüretan (kalsit dolgulu), boya, fiber, tekno seramikler vb.

Otomobil üretim sürecinde ise 5 tondan fazla mineral kullanılmaktadır. Önemli bölümünü çelik ve baz metaller oluşturmakla birlikte ciddi miktarda endüstriyel minerallere de (kuvars/silis kumu, feldispat, dolomit, kalsit vb.) ihtiyaç vardır. Dünyada ki otomobil sayısı da hızla artmaktadır. 1985 te 500 milyon adet, 2005 te 900 milyona çıkmış ve 2020 de 1,5 milyar adede ulaşacağı tahmin edilmektedir. (6)

Nüfusun ve şehirleşme oranının artışı ile ulaşım için yeni otoyollar, trenyolları, limanlar ve havaalanları, kum-çakıl, agrega, çimento, cam, seramik, boya vb. malzemelerin dolayısıyla bunların üretildiği minerallere olan talebi de arttırmaktadır.

İletişim için fiber optik kablo üretiminde en önemli girdi olan endüstriyel minerallerin (Silis kumu, feldispat, dolomit, soda külü, bor vb.) olduğu dikkate alındığında gelecekte bu minerallerin de talebinin artacağı açıktır.

2 TALEBİ DARALAN VEYA YOK OLAN MİNERALLER

Tüketim süreci içerisinde bazı endüstriyel mineraller sağlık ve/veya çevre sorunları yaratmaları nedeniyle bazıları da daha bol ve ucuz kaynaktan temin veya ikame edilmelerinden dolayı önemlerini kısmen ya da tamamen yitirmişlerdir. Aşağıdaki Çizelge-2 de günümüzde talep edilmeyen veya talebi daralan bazı endüstriyel mineral örnekleri verilmektedir.

Çizelge-2: Günümüzde ve gelecekte talep sorununa örnek endüstriyel mineraller.

Mineral	Talebi Azaltan / Yokeden Neden(ler)
Asbest	Tozu(5mikrondan küçük) akciğer kanseri yapmaktadır.
Kükürt	Petrol rafinelelerinden, sülfürlü konsantrelerin izabe gazlarından yan ürün olarak üretilmektedir.
Sölestin	LCD ekranlar talebi azaltmıştır.
Zımpara Taşı	Yapay olarak kalsine alüminadan üretiliyor ayrıca çok daha etkin aşındırıcı bor-nitür, karbür, silisyum karbid gibi bileşikler talebi azaltmıştır.

3 GELECEĞİ PARLAK ENDÜSTRİYEL MİNERALLER

Gerek refah artışı ve gerekse teknolojik ihtiyaç nedeniyle aşağıdaki endüstriyel mineraller geleceği parlak olan mineral örnekleridir.

- Yüksek saflıkta kuvars:Çip üretimi
- Yüksek saflıkta silis, dolomit, feldispat: Güneş panelleri üretimi
- Lityum mineralleri:Pil üretimi(Fotovoltaik enerji üretimi ile doğru orantılı talep artışı)
- Fosfat kayası ve Silvit:Gübre üretimi
- Manyezit, spinel, disten, refrakter killer: Refrakter malzeme üretimi
- Silis kumu,kromit,zirkon:Döküm kumu
- Köşesiz silis kumu:Doğalgaz üretiminde çatlak kumu "FracSand"
- Kolemanit:Cam,fiber
- Kireçtaşı, kalsit, alçıtaşı, perlit, vermikülit: İnşaat, dolgu ve yalıtım malzemeleri
- Yüksek Mg'lu bazalt: Yalıtım (Kaya yünü) malzemeleri üretimi
- Rutil,kalsit:Nanoteknolojik ürünler
- Çimento hammadeleri

Böyle bir başlık altına, nadir toprak elementlerini de endüstriyel mineral olup olmadıklarına bakılmaksızın dahil etmek gerekir. Zira, günümüzdeki yeni bilişim ve iletişim teknolojilerinin ürünleri (Bilgisayarlar, cep telefonları vb.) ile sağlık, metalurji, savunma vb. sektörlerde çok

yaygın olarak kullanılmaya başlanan lazer, nadir toprak elementleri ile mümkündür.

4 SONUÇ

Refah artışı ile mineral madde tüketimi ilişkisi tartışılmaz olduğuna göre kalkınma planlarının ciddi şekilde üretim-tüketim projeksiyonları içermesi gerekir. Bu projeksiyonlardan sonra bu minerallerin üretim ve tedariklerinin uzun yıllar güvenli olarak sürdürülebilirliğini sağlamak için stratejik kaynak planlaması yapılmalıdır. Çünkü ülkemiz bazı endüstriyel mineraller bakımından çok zengin (Bor), zengin (Feldispat, manyezit, kalsit, kireçtaşı, dolomit, bentonit, çimento hammaddeleri, zeolit, pomza, perlit vb.) iken bazı endüstriyel minerallerde de fakirdir (Kaolin, kaolinit, seramik killeri, disten, sillimanit, vermikülit, yüksek saflıkta silis kumu). Yakın gelecekte talebi çok artacak Lityum minerallerince de çok fakirdir. Özellikle hatırlamak gerekir ki ülkemiz Dünya cam üretiminde 5. Seramik üretiminde de 6. sıradadır. Bu sektörlerin daha da gelişerek rekabet güçlerini artırabilmesi bol ve ucuz enerji dışında, kaliteli endüstriyel minerallerin uzun yıllar ve risksiz teminine bağlıdır.

KAYNAKLAR

- O'Driscoll, M. 2004, The Economic Importance of Industrial Minerals, IMA-Europe's 10 th. Anni. Conference, Brussels
- USA per Capita Consumption of Minerals of 2010, www.nma.org/pdf/m_consumption.pdf
- Critical Raw Materials for the EU Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials, 2010, European Commission, Enterprise and Industry Version of 30 July 2010 (ec.europa.eu/enterprise/policies/rawmaterials)
- Yüceşahin, M.M. Bayar, R ve Özgür, E.M, 2004, Türkiye'de Şehirleşmenin Mekansal Dağılışı ve Değişimi, M.Murat Yüceşahin, Coğrafi Bilimler Dergisi, 2 (1), 23-29
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA) www.epia.org/solar-pv/the-sun.html
- Goldberg Gary, 2010, A Bright Future for Industrial Minerals
Industrial Minerals Congress, Miami, Florida.

Türkiye Krom Madenciliğinde Güncel Eğilimler ve Yeni Arayışlar

Emerging Trends and New Approaches in Turkey's chromite mining

S.Karahan, Y.Z.Ozkan

DAMA Mühendislik A.Ş., ANKARA

ÖZET USGS'e göre dünya krom kaynakları doğrudan satılabilir/kullanılabilir tenörde 12 milyar ton dolayındadır. Bu kaynaklar birkaç yüzyıl dünya talebini karşılamaya yeterlidir. Dünya kromit kaynaklarının yaklaşık %60'ı Güney Afrika'da, %20'si Kazakistan'da, %10'a yakını da Hindistan'da bulunmaktadır. Krom kaynaklarına sahip diğer ülkeler Türkiye, Umman, İran, Finlandiya Arnavutluk, Brezilya ve Çin'dir.

Türkiye'nin düşük tenörlü keşfedilebilir kaynak potansiyeli yaklaşık 2 Milyar ton mertebesindedir. Türkiye, düşük tenörlü kromlarda büyük potansiyele sahip olmasına karşın, bu potansiyele uygun tekniklerle düşük maliyette ve yüksek verimle işletme imkânlarına yeterince sahip değildir. Bu makalede konu ortaya konmakta ve yapılması gerekenlerle ilgili öneriler geliştirilmektedir.

ABSTRACT USGS estimates world salable chromite potential at 12 Billion tons. It means that for the next few centuries there will be no shortage of chromium in the world. Of total resources, %60 is in South Africa, %20 in Kazakistan and %10 in India. Other countries with chromium resources are Turkey, Umman, Iran, Albania, Brazil and and China.

Turkey's low grade disccoverable resource potential is estimated to be 2 billion tons. However, Turkey lacks the technology and approach to tap this resource. In order to maximize the return from the chromium resources, low cost and high recovery mining and milling has to be addopted. This paper discusses oppurtunities and a road map to the Mining Industry in Turkey.

1. GİRİŞ

Krom madenciliği, krom elementinin 1797'de Fransız kimyacı Nicolas-Louis Vauquelin tarafından bulunuşunun hemen ardından, Ural Dağları (Rusya) ve Maryland'da (Pennsylvania, Virginia) başlamıştır. 1848 yılında Amerikalı jeolog Laurance Smith tarafından Bursa Harmancık

yataklarının tükenmesiyle birlikte 1868 yılında Türkiye'de krom madenciliği başlamıştır.

Bu ilk dönemde (1900'lere kadar) krom başlıca kimya sanayinde (boya pigmenti ve dericilikte sepileme tuzları olarak) kullanılmıştır.

1910'lu yıllarda İngiltere ve Almanya'da paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokromun üretiminin başlamasıyla krom cevheri gittikçe daha fazla metalurji

yöresinde yüksek tenörlü krom yataklarının bulunmasıyla ve 1860'larda Maryland

sanayinde tüketilmeye başlamıştır. Günümüzde üretilen krom cevherinin %95'i metal alaşımları için geri kalan %2'si kimya sanayi, %3'ü refrakter ve döküm sanayilerinde kullanılmaktadır.

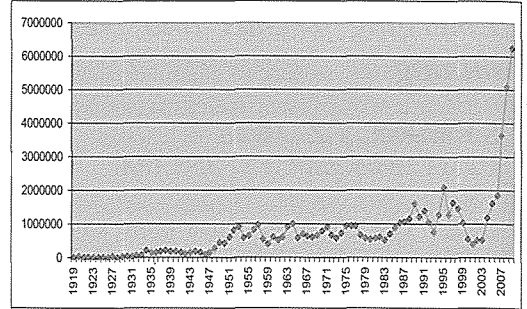
20inci yüzyılın başından itibaren paslanmaz çelik tüketimindeki hızlı büyümeye paralel olarak kromit üretimi de büyük artışlar göstermiştir. Dünya kromit üretimi 1953'deki 3,65 milyon ton düzeyinden, 2009 yılında 19 milyon ton düzeyine ulaşmıştır. Son on yıldır yılda dünya krom alaşımları ve kromit üretimi yıllık ortalama %4,6 oranında büyümeye göstermektedir.

Türkiye krom cevheri üretimi de dünya krom madenciliğindeki gelişmelere ayak uydurarak sürekli büyümeye göstermiştir. 1900'lerin başında yılda birkaç on bin ton mertebesinde olan krom üretimi daha sonra 1934'e kadar yılda 200 bin ton, 1935-1949 arasında 200-300 bin ton, 1950-1985 arasında 500 bin-1 milyon ton, 1986-1999 arasında 1-2 milyon ton arasında gerçekleşmiştir. 2000'li yılların başında yılda 500 bin tonun altına gerilemiş ise de, 2004'ten itibaren hızlı bir artış eğilimine girerek 2008 ve 2009 yıllarında 5 milyon tonu aşmakla birlikte satılabilir parça cevher (lumpy ore) ve konsantre üretimi 1,2-1,5 milyon ton seviyesinde kalmıştır (Şekil 1).

Türkiye, başından itibaren krom üreticisi ülkeler arasında hep ilk sıralarda yer almıştır. 1900 yılına kadar Türkiye, dünya krom cevheri piyasasında hemen hemen tekel konumunda olmuş ve yılda birkaç bin tonu geçmeyen dünya krom cevheri talebi hemen hemen tümüyle Türkiye tarafından karşılanmıştır.

1906 dolayında Hindistan ve Güney Afrika'da krom madenciliği başlayınca kadar Türkiye'nin dünya krom cevheri üretimindeki liderliği devam etmiştir. Bundan sonra Türkiye liderliği kaybetmiştir. 1938 yılında ve 1957 yıllarında dünya krom cevheri üretiminde tekrar liderliğe yükselmiş

ise de genellikle üretici ülkeler sıralamasında 3.ve 6.sıralar arasında yer almıştır.



Şekil 1: Türkiye yıllık krom cevheri üretimi (metrik ton)

Yukarıda da değinildiği gibi Türkiye krom madenciliği 1868 yılında Bursa Harmanlık yöresinde başlamıştır. Daha sonra 1927 yılında Fethiye, 1936 yılında ise Guleman (Alacakaya) yöresinde üretime geçilmiştir. Bunu Eskişehir, Hatay, Aladağlar, Kayseri ve Erzincan bölgelerindeki yataklarının üretime alınması izlemiştir.

İlk dönemde krom madenciliği düşük maliyet ve yüksek karlarla işletilebilen Bursa, Fethiye, Muğla, Denizli gibi limanlara yakın bölgelerde yüksek tenörlü yataklar üzerinde yoğunlaşmış, doğrudan satılabilir cevher üretimine yönelmiştir. 1950'lere kadar derinliği az olan yüksek tenörlü yataklardan genellikle açık ocak ile üretim yapılmış ve cevher zenginleştirme işlemi olarak sadece elle ayıklama uygulanmıştır. Bu dönemde birçok yatağın üst kısımları açık ocakla alınmış ve derin kısımları üretilmeden yatak terk edilmiştir.

1950'lerden itibaren açık ocak ile üretilebilecek yatak sayısı azaldıkça yer altı madenciliğine ve düşük (%20-40 Cr₂O₃) tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesine doğru gelişme olmuştur. Ancak bu gelişme yavaş ilerlemiştir. İstatistikler tam olmamakla birlikte 1980'lere kadar Türkiye toplam kromit üretiminin yaklaşık %85'ini parça kromit, %15'ini de zenginleştirilmiş cevherler (konsantre) oluşturmuştur. Yeraltı

çalışan ocaklarda da büyük işletme kayıplarıyla üretim yapılmıştır. Genellikle oda topuk yöntemi kullanılmış, 1-1,5 m kalınlıktaki cevherler bile ince bulunduğundan işletilmemiş ya da zengin cevherler topuk olarak yerinde bırakılmıştır.

1970'lere kadar metalurji sanayinin (paslanmaz çelik ve diğer alaşım çelik sanayilerinin) talebi, sadece podiform tip yataklardan üretilen yüksek tenörlü ve yüksek Cr/Fe oranlı cevherlerden karşılanmıştır. Stratiform tip yataklardan üretilen düşük (%40-42 Cr₂O₃) tenörlü ve düşük Cr/Fe oranlı olan yüksek demirli cevherler ise, daha çok kimya sanayiinde kullanılabilmiştir.

Ancak 1970'lerde çelik teknolojisindeki yenilikler sayesinde büyük rezervli stratiform tip yatakların yüksek demirli cevherlerinin de metalurji sanayiinde kullanımı mümkün hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak dünya krom cevheri rezervlerinin %90'dan fazlasını oluşturan stratiform tip yataklardan yapılan krom cevheri üretimi 1970'lerden sonra hızla artmaya başlamıştır. Podiform yataklardan üretilen yüksek kromlu cevherlerin metalurji sanayindeki üstünlüğünü kaybetmesiyle krom üreten ülkelerin konumlarında 1970'lerden sonra ciddi değişimler yaşanmıştır. Bu gelişmeler nedeniyle Türkiye önde gelen kromit üreticisi ülke olma durumundan uzaklaşmıştır.

Bunda Türkiye krom madenciliğinin, artık derin ve/veya düşük tenörlü yataklardan gittikçe daha yüksek maliyetle üretim yapabilmesinin de payı büyük olmuştur. Türkiye krom madenciliği artık, dünya pazarlarında düşük fiyatla piyasaya sürülen krom cevherleriyle rekabet edememektedir. Bundan sonra Türkiye krom madenciliği ancak maliyet etkin ve verimli cevher zenginleştirme ve cevher hazırlama süreçleri geliştirebilir ve uygulayabilir ise rekabet gücünü koruyabilecek ve gelişmesini sürdürebilecektir.

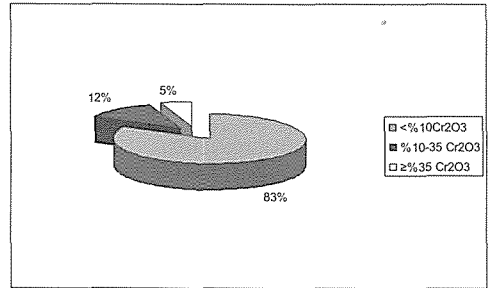
Gerçi dünya kromit üretiminin yaklaşık yarısını veren stratiform yataklar da

çoğunlukla yer altı madenciliğini gerektirdiği ve gittikçe daha derin ve daha ince damarlardan üretim yapılması nedeniyle bu tip yataklardaki üretim maliyetleri de artış göstermektedir ve gösterecektir. Bundan dolayı krom cevheri fiyatlarının artık FOB olarak 300 ABD doları/ton düzeylerinin altına düşmesi pek beklenmemektedir.

Aşağıda bu görüşten hareketle Türkiye düşük tenörlü kromit kaynaklarının etkin şekilde işletilmesi konusunda değerlendirme ve öneriler tartışılmaktadır.

2. TÜRKİYE DÜŞÜK TENÖRLÜ KROMİT KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Krom madenciliğinde 150 yılı aşan geçmişi olan Türkiye'de doğrudan satılabilir nitelikteki yüksek tenörlü ($\geq\%35$ Cr₂O₃) yatakların büyük bölümü tüketilmiştir. Günümüzde artık geçmişte fazla ilgi çekmemiş daha derin ve/veya daha düşük tenörlü yataklarda üretim yapılması zorunlu hale gelmiştir. MTA Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'nin bilinen krom kaynakları (137 yatakta saptanan kaynaklar) toplam 242.341.000 ton dolayındadır. Bu kaynağın %83'ü %10Cr₂O₃'den daha düşük tenörlü yataklardan gelmektedir (*Şekil 2*). Bilinen toplam 242 341000 ton kaynağın sadece %5'i (13087000ton) doğrudan satılabilir tenörlüdür.



Şekil 2: Türkiye krom kaynaklarının tenör sınıflarına göre dağılımı

Öte yandan Türkiye’de düşük tenörlü krom yataklarına yönelik arama çalışmaları yetersizdir. Zenginleştirilmesi gereken düşük (<%10 Cr₂O₃) tenörlü krom kaynakları yakın zamanlara kadar madencilğin ilgisi dışında kalmıştır. Bu yüzden hala *düşük tenörlü yatakların envanteri çıkarılamamış, birçok yatağın kaynak potansiyeli ortaya konamamıştır*. Dolayısıyla bilinen düşük tenörlü kaynaklar Türkiye’nin gerçek potansiyelini yansıtmaktan çok uzaktır. Bu konuda gerçeğe yakın bir kanaate ulaşabilmek için bilinen kaynaklardan (identified resources) ziyade keşfedilebilir kaynak potansiyeline (undiscovered resource potential) bakmak gerekir.

Ne var ki Türkiye keşfedilebilir düşük tenörlü kromit kaynaklarını tahmin konusunda yapılmış bir çalışma mevcut değildir. Bu yüzden Türkiye keşfedilebilir düşük tenörlü kromit kaynakları konusunda şöyle bir yaklaşımda bulunulmuştur:

Türkiye’de ofiyolitlerin yüzeylediği alanlar yaklaşık 20.000 km² dolayındadır. Bunun %63’ünü peridotitlerin oluşturduğu kabul edilebilir. Çünkü beş büyük ofiyolit karmaşığında yüzeyleme alanlarının ortalama %63’ünü ultramafik kayaların oluşturduğu saptanmıştır (Coleman, 1977). Buna göre Türkiye’de krom yataklarının oluşumuna elverişli alanların 12.600 km² büyüklüğünde olabileceği tahmin edilmektedir.

Öte yandan düşük tenörlü kromit kaynakları yönünden Türkiye’de en iyi aranmış olan Aladağ ofiyolitinde %5-6 Cr₂O₃ tenörlü toplam 231.250.000 ton kaynak belirlenmiş durumdadır.

Gerçekte Aladağ ofiyolitinin de bu tür düşük tenörlü kaynaklar yönünden yeterli düzeyde aranmamış olduğu ve yapılacak araamlarla bilinen kaynakların en az iki katına çıkabileceği de beklenmektedir. Bununla birlikte sadece bugün bilinen kaynaklar esas alınır, ultrabazik kayaların 1.600 km² büyüklüğünde bir alanda yüzeylediği Aladağ ofiyolitinde birim alana

düşen düşük tenörlü kaynak (%5-6 Cr₂O₃) yoğunluğu $231.250.000:1.600=144.531$ ton/km² olarak bulunur.

Diğer ofiyolitlerin jeolojik farklılıkları göz ardı edilir ve benzer düşük tenörlü kaynak yoğunluğuna sahip olacakları varsayılırsa, Türkiye’nin keşfedilebilir düşük tenörlü (%5-6 Cr₂O₃) kromit kaynakları potansiyeli yaklaşık 2 milyar ton ($12.600 \times 144.531 = 1.820.700.000$) olarak tahmin edilebilir. Yukarıda belirtilen nedenlerle bu potansiyelin iki katına çıkabilmesi de ihtimal dâhilindedir.

Son yıllarda düşük tenörlü krom kaynaklarına artan bir ilgi gösterilmeye başlanmıştır. DAMA Mühendisliğin Orhaneli, Dursunbey ve Aladağ bölgelerinde 4 sahada yürüttüğü sınırlı arama ve kaynak belirleme çalışmaları toplam 20 milyon tondan fazla bir kaynağın varlığını ortaya koymuştur. Yapılacak arama çalışmalarıyla Türkiye düşük tenörlü krom kaynakları envanterine çok daha büyük katkılar sağlanabilecektir.

Türkiye’de doğrudan satılabilir sınırlı kaynakların hızla tüketimi ve artan kromit talebi projeksiyonları (yılıda 2-3 milyon ton satılabilir cevher) doğrudan satış imkânı olmayan düşük tenörlü krom kaynaklarımızın zenginleştirme ve cevher hazırlama işlemleriyle değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1950’lerden (özellikle de 2000 yılından) sonra birçok yeni krom zenginleştirme tesisi kurulmuş olmakla birlikte, Türkiye’de düşük tenörlü kromitleri zenginleştirme konusunda çabalar yetersiz kalmıştır. Ayrıca mevcut tesislerde verim ve kapasite kullanımı düşüktür. Çoğu tesiste atığa giden cevher kaçağı %6’dan fazladır. Geçmiş yıllarda bu kaçağın bazı tesislerde %19 Cr₂O₃ düzeyine kadar çıktığı bilinmektedir.

Öte yandan çoğu %6 Cr₂O₃’den daha yüksek tenörlü kromit içeren eski konsantr atıkları, bugün önemli bir krom kaynağı seçeneğidir. Bu atıklardaki ince kromitin verimli şekilde kazanılması Türkiye krom

madenciliğindeki cazip fırsatlar olarak görülmektedir. Bununla birlikte bu fırsatların değerlendirilebilmesi, üst düzeyde teknolojik çözümler geliştirilmesine bağlıdır.

Düşük tenörlü yatakların arama ve işletmeye alma, genellikle birkaç bin ton mertebesindeki yüksek tenörlü yataklara göre çok daha fazla yatırım maliyetleriyle gerçekleştirilebilmektedir. Böyle büyük yatırımların güvenceye alınması için, yatağın jeolojisini, cevherin zenginleştirme özelliklerini ortaya koyacak ve cevher niteliğine uygun teknoloji seçilmesini sağlayacak sistemli arama ve fizibilite çalışmaları yapılması gerekmektedir. Günümüzde iyi arama ve teknoloji geliştirme çalışmaları yapılmadan kurulmuş birçok tesiste hüsrana uğranmaktadır.

3. KROM MADENCİLİĞİMİZDE CEVHER HAZIRLAMANIN TARİHSEL GELİŞİMİ

İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanların silah endüstrisi için krom gerekmesi Türk Kromlarının önemini arttırmıştır. Alman – Amerikan rekabeti Türkiye'ye Amerikalıların Maden Yardım komisyonunu göndermesi ile sonuçlanmıştır. Maden Yardım komisyonu'nun sağladığı kaynaklarla 1960'larda, başta krom olmak üzere madencilikte ciddi hamleler gerçekleştirilmiş ve Türk Özel Sektör Yatırımcıları maden kaynaklarını kendileri işletmeye başlamışlardır.

Türk Maadin Şirketi, Kavak Kromlarını bu dönemde işletmeye almıştır. Bu dönemde Maden yardım Komisyonu'nun sağladığı kredilerle alınan maden makinelerinin hurdalarını bugün hala birçok madende görmek mümkündür. Yine, Almanların sağladığı teknolojik imkânlarla Guleman, Kef bölgesinde bir krom konsantratörü kurulmuştur. Bu dönem, madenciliğimizde ilk paradigma değişikliğinin olduğu yıllardır. Türkiye yüzeye yakın yataklardan çıkardığı krom cevherlerini hiçbir işleme tabi

tutmadan satma noktasından Krom Cevher hazırlamasına sıçrama yapmıştır.

Bu dönemde teknolojiyi eline geçirenler, yaygınlaşmasını önlemek için ciddi çabalar içinde olmuşlardır. Krom zenginleştirme teknolojisi, İTÜ Maden Fakültesi'nde kurulan cevher hazırlama laboratuvarı kanalıyla Türkiye'de yaygınlaşmıştır.

3.1. İlk Test Çalışmaları

Türkiye'de 1950'lere işletilen kadar krom madenlerinde doğrudan satılabilir yüksek tenörlü parça cevher (lumpy ore ya da roche) üretilirken, ortalaması %20 Cr₂O₃ civarında olan toz ve düşük tenörlü krom cevherleri atık stoklarında biriktirilmiştir.

Türkiye'de ilk cevher hazırlama testleri, bu cevher atıklarının değerlendirilmesi için, yurt dışında (Almanya'da) yapılmıştır. Proses basittir: *Kırma ve eleme, -1mm'ye çubuklu değirmende öğütme, hidro-sizerle boyutlandırma ve masalarda zenginleştirme, masa ara ürünlerini konide koyulaştırıldıktan sonra aynı değirmende öğütme. Masa yerine Humphrey spiralleri de kullanılmış, ama spiral Türkiye kromlarında bazı nedenlerle başarılı olmamıştır.*

3.2 İlk Kurulan Tesisler

Türkiye'de ilk modern krom zenginleştirme tesisi, prosesi yurt dışında geliştirilmiş olan Türk Maadin Şirketi'ne ait Kavak Kromlarındaki zenginleştirme tesisidir. Bu tesis bazı değişimler geçirmiş olmakla birlikte 1950'lerden beri çalıştırılmaktadır. Benzer bir tesis de Beyağaç kromlarını zenginleştirmek için yine aynı şirket tarafından Beyağaç'ta kurulmuştur. Bu tesisin, Kavak Krom Tesisinin kopyası olduğu düşünülmektedir.

Kavak ve Beyağaç Krom tesisleri konsantratör atıklarında %6-12 Cr₂O₃ içeren krom bulunmaktadır.

Bu döneme eş zamanlı olarak Bursa, Harmancık'ta Hayri Ögelman ve Ege Maden Krom zenginleştirme tesisleri de kurulmuştur.

3.3 Test Laboratuvarları – MTA ve Üniversiteler

İlk cevher hazırlama test laboratuvarı, 1953 yılında, İTÜ Maden Fakültesi'nde kurulmuştur. Bunda, Üniversitede ders veren Alman Hocaların rolünün olduğu tahmin edilmektedir. Krom tesislerinin yaygınlaşması bu laboratuvar kanalıyla gerçekleşmiştir denebilir.

1960'larda MTA Teknoloji Dairesi'nin kurulması ile birlikte, burada da çalışmalar başlatılmış ancak bu laboratuvar daha çok bilimsel çalışmalar için kullanılmıştır.

Bugün 20'ye yakın madencilik eğitimi veren üniversite ve teknik okul bulunmaktadır. Bu kuruluşların tümünde de cevher hazırlama laboratuvarı bulunmaktadır.

3.4. Krom Tesislerinde Kopyalama Dönemi – Son 20 Sene

Krom fiyatlarının 100 ABD Doları eşiğini aşması ile birlikte Türkiye'nin krom bölgelerinde tesis kurma patlaması yaşanmıştır. Kurulan bu tesislerin çoğu herhangi bir test çalışması ve projelendirmeye gerek duyulmaksızın inşa edilmiştir. Birçok tesis de, fabrika için gerekli rezerv aramaları yapılmadan kurulmuştur. Test çalışmaları yapılmış ya da yapılmamış olarak kurulsun, tesislerin ortak karakteri ilk kurulan tesislerle aynı benzerlikleri taşımalarıdır.

Kurulan krom zenginleştirme tesislerinin birçoğunun atık atma barajları bulunmadığından atıklar uygun olmayan şekilde stoklanmış ve sonradan kazanma imkânları pek sağlanmamıştır.

Mevcut krom zenginleştirme tesislerinin çok büyük kısmı, kullandıkları makina ve ekipman performansı yönünden 1950'lerde kurulan tesislerin gerisinde bir teknolojiye sahiptir. Özellikle boyutlandırma, sallantılı masa, konsantre susuzlandırma, su geri dönüşümü, numune alma ve raporlama konularında geriye düşüldüğü kesinlikle söylenebilir.

4. Krom Zenginleştirmenin Ekonomisi – Nereye Kadar?

%48 Cr₂O₃ içeren krom konsantresi 2008 yılında 750 ABD Doları/ton fiyattan değer bulmaya başlamıştır. 2009 yılında tüm hammadde ürünlerinde yaşanan düşüşle birlikte krom konsantresi fiyatları da düşmüş, ancak 2011 yılı başından itibaren normal değerinde satılmaya başlanmıştır. Büyük artış ve düşüşleri dikkate almadan ortalama değer tahmininde bulunmak gerekirse, Türk krom cevherlerinin FOB – Türk Limanları 300 – 350 ABD doları civarında değer bulması olasıdır. Uzun vadede dolar enflasyonunun krom fiyatlarına da yansımaları beklenmelidir.

%48 Cr₂O₃ içeren krom konsantresi tonunun ABD \$ 350'dan değer bulması halinde, krom tenörünün birim fiyatı 7,3 ABD doları civarında olur.

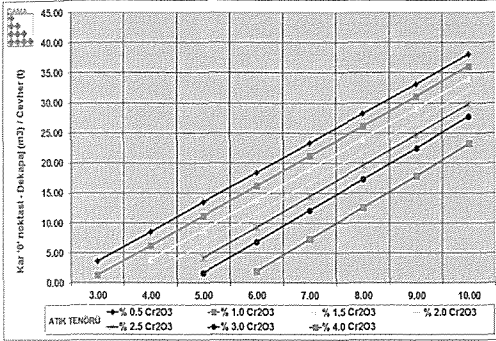
Bu kabul altında cevher tenörü ve konsantrasyon atığı tenörü dikkate alınarak başa baş (kar = 0) noktasında dekapaj miktarı, Çizelge-1'deki gibi hesaplanmıştır. Bu çizelgenin işaret ettiği en ilginç husus, hiç dekapaj yapılmadan cevher üretiminin yapılabilmesi ve konsantratör atık tenörünün 0,5 Cr₂O₃ olması durumunda, %3 Cr₂O₃ içeren bir krom cevherinden ton başına $3,6 \times 1,5 = 5,4$ ABD doları brüt kâr elde etmenin mümkün olduğunu göstermesidir. Aynı senaryoda atık tenörünün %1 Cr₂O₃ olması durumunda, brüt kâr $1,3 \times 1,5 = 1,95$ ABD doları olmaktadır. Atık tenörünün %1,5 Cr₂O₃ olması durumunda ise, işletmeden gelir elde etmek mümkün olamamaktadır.

Bu çizelgede ve Şekil 3'teki grafikte görüleceği gibi, yatırımcının kar iştahına bağlı olmak üzere sınırsız kaynak değerlendirme alternatifleri bulunmaktadır.

Çizelge-1 Cevher ve Atık Tenörleri ile 'Kâr= 0' noktası Dekapaj (m³)/Cevher (ton) ilişkisi

t, % Cr ₂ O ₃	Cevher tenörü, %Cr ₂ O ₃							
	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
	Cevherin Yerinde değeri, S/birim Cr ₂ O ₃							
	7,3							
	'Kâr =0' noktası - Dekapaj (m ³)/Cevher (t)							
0,5	3,60	8,50	13,50	18,40	23,30	28,20	33,10	38,10
1	1,30	6,20	11,20	16,20	21,20	26,10	31,10	36,10
1,5		3,90	9,90	13,90	19,00	24,00	29,00	34,00
2		1,50	6,60	11,60	16,70	21,80	26,90	32,00
2,5			4,20	9,30	14,40	19,60	24,70	29,80
3			1,70	6,90	12,10	17,30	22,50	27,70
4				2,00	7,30	12,60	17,90	23,20

NOT		
Dekapaj	1,5	S/m ³
Cevher	2	S/t
Kapasite	3000	t/g



Şekil 3: Değişik cevher ve atık tenörlerine göre dekapaj başabaş noktası grafiği

5. PARADİGMA DEĞİŞİKLİĞİ Mİ GEREKİYOR?

DAMA Mühendislik, düşük tenörlü krom cevherlerinin değerlendirilmesi konusunda son 6 yıldır değişik bölgelerdeki krom yatakları üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Çalışılan yataklardan biri Adana, Karsanti bölgesinde bulunmaktadır. Bu yatak için kurulan tesiste, %6-9 arasında değişen atık tenörleri %1,75 Cr₂O₃'e çakılabilmektedir. Bunun için, irdelenmeden kabul edilmiş proses tasarım standartlarının dışına çıkmıştır. Krom serbestleşme noktasına

ulaşmak için (P100, -300 mikron) kademeli öğütme, masa ürününün şlamından siklonlanarak temizlenmesi, şlamın ince siklon bataryaları ile koyulaştırılması ve kısmen zenginleştirilmesi ile şlamdan konsantr elde için MGS'lerin kullanılması uygulanan yeni teknikler olmuştur.

Tesiste, spiral uygulaması ise başarılı olamamıştır. -150 mikronda serbestleşen krom için P100, -300 mikron civarında gerçekleşmektedir. Bu boyuttaki ince ürün işin sallantılı masaların daha yüksek verimle çalıştıkları gözlemlenmiştir.

5.1 Krom Yatakları Değişiyor, Testler Değişmiyor.

Hemen tamamı üniversitemizin maden ve cevher hazırlama bölümlerinde bulunan cevher hazırlama test laboratuvarları daha çok bilimsel araştırmalara hizmet verebilecek niteliktedir. Mevcut laboratuvarlarda prosesle ilgili uygunluk (amenability) testleri yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçları endüstriyel boyutta uygulamaya koymak için büyük oranda yorum ve tahminlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Mühendislik uygulamalarına endüstriyel boyutta cevap verebilecek yeterlikte laboratuvarlara ihtiyaç vardır. Graviteye dayalı test çalışmalarının, ilk uyumluluk testlerini takiben endüstriyel boyuttaki zenginleştirme cihazlarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu gerekliliğin anlaşılması için, mühendislik şirketleri tarafından talep edilmesi, yatırımcı ve finans kuruluşlarının bu konuda beklenti içinde olması gerekmektedir.

Paradigma değişikliğine, endüstriyel boyuta uygulanabilir test çalışmalarını yapabilecek laboratuvarların kurulmasına destek olmakla başlamak gerekir. Laboratuvarlarımız, elde etikleri sonuçlar ulusal ve uluslararası yatırımcı ve finans kuruluşlarının beklentilerini karşılama oranda başarılı sayılacaklardır. Özel sektör eliyle kurulması planlanan madencilik sanayiinin teknolojik test ihtiyacını giderme

işini, ürün kalitesi ve maliyet konusunda rekabetçi ortamda çalışan teknoloji laboratuvarlarına bırakmak gerekmektedir.

Farklı Cevhere Uygun Testler; Yapılan değerlendirmelerde, krom cevherlerinin özelliklerinin, bölgeden bölgeye ve çoğu zaman yataktan yatağa farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Yapılacak test çalışmaları ile bu farklılıkların ortaya konması ile avantaja dönüştürülmesi çoğu zaman mümkün olabilmektedir.

Cevher Karakterizasyonu; Mikroskopik analizler cevher karakteristiklerini ortaya koyma yönünden vazgeçilmezdir. Gerek ince kesitler yapmak suretiyle cevher ve yantaşı birlikte incelemek ve gerekse öğütme ve eleme sonucunda elde edilen fraksiyonların serbestleşme boyutlarını ortaya koymak, cevher parçacıkları içine giren unsurları tanımak mümkün olmaktadır. Mikroskopik çalışmalar aynı zamanda atık karakterizasyonu yönünden de önem arz etmektedir.

Yüzme/Batma Testleri; cevher-yantaşıbağlı tane ayırımının keskinliğini ortaya koymak açısından en kestirme yöntemlerdendir. Testlerde rutin olarak kullanılması gerekir. Ara zenginleştirme ve nihai zenginleştirmeyi anlama yönünden önem arz eder. Bu testlerin her boyutta cevher için yapılıyor olması gerekir. Geçmişte kullanılan ağır sıvılar toksik özellikler taşımaları nedeniyle dikkatle kullanılması gerekirken, bugün geliştirilen mineral bazlı ağır sıvılar toksik özellik göstermedikleri gibi 3,1 yoğunluğa kadar ayırım yapabilmektedirler.

SEM, yani Tarayıcı Elektron Mikroskop çalışmaları daha çok krom spinelinde bulunabilecek farklı mineralleri yakalamak için kullanılır. Platin bu elementlerden biridir. Ancak çalışmanın çok dikkatli ve uzman eliyle yapılması gerekir.

Konsantrasyon kriteri belirleme işlemi bir hesap işi olmakla birlikte kullanılan verilerin istatistikî olarak cevher yatağını

temsil yönünden anlamlı seviyede olması gerekir.

5.2 Test Çalışmaları

Yoğunluğa göre üstüste tasnif, akışkan ortam, sallantılı ortam, santrifüj, engelli çökmeye, hava akışkanlı ortam ve ağır mayi ortamı prensibi ile yoğunluk farkını değerlendirerek çalışan sayısız ekipman geliştirilmiş bulunmaktadır. Magnetik ayırmanın da kromlarda işe yaradığı bilinmektedir.

Test çalışmalarının ana unsurlarından biri de kırma, eleme, öğütme ve boyutlandırma. Bu temel çalışmanın iyi yapılmaması halinde daha sonraki safhalarda elde edilecek sonuçlar, her tür gayrate rağmen, hatalı olur.

Ağır mayi ortamı dışındaki diğer ortamlar için yoğunluk farkı büyük öneme sahiptir. Zenginleştirilecek krom cevheri ile gang denilen işe yaramayan mineraller (olivin, serpantin) arasında, ayırımın keskin olmasını sağlayacak bir yoğunluk farkının olması gerekir. Akışkan ortamda malzeme kısmen santrifüj etkisi ile karşı karşıyadır, ancak g yerçekimi ivmesinin etkisi düşüktür.

Yoğunluk farkının etkisini büyütme için santrifüj prensibinden yararlanılır. Bu yoldan malzemeye uygulanan g yer çekimi bileşeni yüzlerce defa büyütülerek ağır malzemenin ayrışması sağlanır. Özellikle 100 mikronun altındaki malzemenin kazanılması konusunda geliştirilen ekipmanlar bulunmaktadır. DAMA mühendislik şirketinin bu konuda ilk uygulaması ince kromların kazanılmasında başarılı olmuş ve örnek teşkil etmektedir.

Kromitlerin kenar ve çatlaklarında gelişen ferrit kromit oluşumu nedeniyle kısmen manyetik bir filmle kaplı olduğu bilinmektedir. Temelde manyetik olmayan kromit, bu özelliğinden yararlanılarak zenginleştirilebilir.

Ağır ortam siklonları ilk olarak Kavak Kromları işletmesinde kullanılmış ve oradan öteye geçememiştir. Halen bu tesiste iri

boyutta ayırım için bir stripa cihazı kullanılmaktadır. Kromda ağır ortam tamburları Finlandiya'da başarı ile kullanılmaktadır. Finlandiya krom yatakları Kef krom yatakları ile benzerlik göstermektedir. Bu tamburlardan satılık parça cevher, ikinci kademe zenginleştirmeye gönderilen ara ürün ve atık elde edilebilmektedir. Krom cevheri tenörlerinde büyük düşüş olduğu ülkemizde bu testlerin rutin testler olarak yapılabilmesi gerekir.

Engelli çöktürme yoluyla kromlarda bir ön-zenginleştirme yapılabildiği bilinmektedir. Ancak bu konuda ülkemizde, bozuk düzen Hidrosizer'in ötesine henüz geçilememiştir.

Test etme, basit bir işlem değildir. Cevher karakterizasyonu yapıldıktan sonra uygulanacak proses kısmen belirlenebilir olmakla birlikte bilinmeyen sayısız parametre geriye kalmaktadır. Laboratuvarlarda bulunan ve endüstriyel boyuttaki cihazların minik kopyaları olan cihazlarla ancak uygunluk tetleri yapılabilir. Bu cihazlardan elde edilen sonuçlar, cevherin zenginleşip zenginleşmeyeceği ile ilgili bir fikir verir. Elde edilen bu sonuçların endüstriyel boyuta yakın cihazlarda test edilmesi gerekir. Bir örnek vermek gerekirse, ülkemizin bütün laboratuvarlarında minik MGS test cihazları bulunmaktadır. Bu cihazlarda 1-2 kg malzeme kullanılarak sayısız tesler yapılmış ve sayısız makaleler yayımlanmıştır. Yapılan mukayeseli çalışmalarda bu cihazlardan bazı sonuçlar elde edilebileceği görülmekle beraber endüstriyel boyutta karar için sonuçların tamamen yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır.

5.3 Proses Tasarımı

Uzmanlar eliyle ve uygun ekipmanlarla yapılan test çalışmalarını takiben, sonuçlarını değerlendirerek ekipman seçimini yapmak ve metallurjik performansları tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Günümüzde, uygun test sonuçlarına bağlı olarak güvenle

kullanılabilen bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu konuda uzmanlardan hizmet almak mümkündür. Bu programlar, yapılan test çalışmalarının doğruluğu oranında güvenilir sonuçlar ortaya koyabilirler.

'Uygun cevhere uygun test' prensibinden hareketle, ülkemizde endüstriyel test uygulamaları konusunda büyük eksiklikler mevcuttur. Başta yatırımcılar, bankalar, mühendislik şirketleri konunun üzerine yoğunlaşmak durumundadırlar. Fizibilitelere temel teşkil eden test çalışmalarının, bu kuruluşlar tarafından kabul edilmeden önce uzman değerlendirmesinden geçmesi şarttır. *Her 'uygundur' diye sunulan test sonuçları uygun ve uygulanabilir olmayabilir. Testi yapanların sırtında yumurta küfesi yok, sonuçlardan da sorumlu tutulamazlar. Verileri uzmanına teyit ettirmek gerekir.*

6 EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Mertebe çalışması, pre-fizibilite, fizibilite ve Bankalarca muteber fizibilite çalışmaları ekonomik değerlendirmenin araçlarıdır. Yapılan bu çalışmalarla yatırım riski azaltılır ve projenin parametreleri sürekli test edilir. Halen işletilmekte olan krom maden ve tesislerinin çok azı için gereği kadar ekonomik değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. Birçok tesis, maden yatağı konusunda gerekli arama çalışmaları yapılmadan inşa edilmiş ve devreye alınmıştır. Bu tesislerin birçoğu cevher yetersizliği nedeniyle çalışmaz durumdadır.

Düşük tenörlü cevherlerin gittikçe önem kazanması, yüksek kapasiteli tesislerin kurulması gereği, ekonomik değerlendirmelerin önemini daha da arttırmaktadır.

Üniversiteler dâhil birçok kişi ve kuruluş kaynak raporları ve fizibilite çalışmaları yapmakta ve bu çalışmalar muteber çalışmalar olarak itibar görmektedir. Uluslararası düzenlemelerde, yapılacak ekonomik değerlendirmelerin bir standarda

bağlı olması yönünde kararlar oluşmuş bulunmaktadır. Yatırımcılar, finans kuruluşları ve bankalar ekonomik değerlendirme raporlarının uzmanlıkları tescil edilmiş uzmanlar tarafından hazırlanmasını şart koşmaktadırlar. Uzmanlık tescil kuruluşları mesleki gönüllü kuruluşlar olup kamuoyuna kabul görmüş kurallara uyacaklarını taahhüt etmektedirler. Dileyen her tür ekonomik değerlendirmeyi yapabilir, ancak güven duyulacak değerlendirmeler için taahhütte bulunmuş ve sorumluluk almaya hazır uzmanlara ihtiyaç vardır.

7 KROM MADENCİLİĞİNİN GELECEĞİ

Ülkemiz temelde bir krom ülkesi midir, tartışılır. Güney Afrika gibi zengin ve kömür gibi oluşmuş krom yataklarımız bulunmamaktadır. Yine, madenciliği gelişmiş bazı Kuzey Amerika ülkelerinde yüksek tenörlü ve yüksek Cr: Fe oranlı büyük (70Mt) krom yataklarının keşfedildiği ifade edilmektedir. Ama ülkemizin mevcut krom yatakları Cr: Fe oranları nedeniyle, G. Afrika kromlarından daha kıymetlidir ve hala düşük karbonlu ferrokrom sanayinde vazgeçilmezdir.

Artık eskisi gibi yüksek tenörlü parça cevher üretimi ve satılması şeklindeki madencilik dönemi sona ermektedir. Bu tür krom cevherleri, derinlerde mevcut olmakla birlikte bulunması zor yataklardır. Kuşkusuz bu yataklar da aranıp bulunacak ve pazara sunulacaktır. Ancak sadece bu tür yataklardan yapılacak madencilik ile mevcut üretim düzeyinin sürdürülebilmesi mümkün değildir.

Krom madenciliğimizin geleceği, milyar tonlar mertebesinde olduğu tahmin edilen ve tenörü %8'in altında olan dissemine ve bantlı krom yataklarında yatmaktadır. Bu yatakların düşük maliyet ve yüksek verimle işletilmesi için büyük kapasitede maden işletmelerine (bir kaç milyon ton/yıl) ve

yüksek teknolojiyle çalışan zenginleştirme tesislerine ihtiyaç olacaktır.

Mevcut işletme ölçekleriyle, maliyetleri düşürmek ve satıştan ciddi boyutta katma değer sağlamak uzun vadede imkân dâhilinde görülmemektedir. Düşük tenörlü cevherlerin işletilmesinde işletme ölçeği, ton cevher başına maliyetlerin aşağı çekilmesi ve dolayısıyla gelirin maksimize edilmesi yönünden büyük önem arz etmektedir. Bu konuda büyük krom konsantresi üreticileri arasında birleşmeler veya saha satın almaları kaçınılmaz görülmektedir.

Krom zenginleştirilmesi konusunda halen teknoloji fakiri bir ülke olduğumuzu kabul etmemiz gerekir. Yüksek kalitede teknolojik talebin yatırımcı, finans kuruluşları ve borsalardan gelmesi halinde karşılanması mümkün olur. Bu konuda yetişmiş eleman olmakla birlikte, rekabet koşullarının devletçe düzenlenmemiş olmasından dolayı, arzu edilen seviyede test çalışmaları yapabilecek kuruluşlar ortaya çıkamamaktadır. Yatırımcı, düşük kalitede ama ucuz test sonuçlarına razı olduğu sürece de ortaya çıkmayacaktır.

Küçük boyutlu krom işletmeciliğinde genellikle 'bakkal defteri' türünden ekonomik değerlendirme yapılarak işe başlanmaktadır. Tesisler de parmakla gösterilen bir yamaca ustalarca kurulmaktadır. Büyük kapasiteli yatırımlarda ciddi ekonomik değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Bu konuda gerek test çalışmalarına ve gerekse mühendislik hizmetlerine ciddi kaynaklar aktarmak gerekir. Ancak bu kaynaklar yerli yerinde kullanılacaksa elde edilecek faydanın küçük bir bölümünü oluşturular. Uygun mühendislik uygulamaları ile zenginleştirme maliyetlerinin ton başına 8-10 dolardan 4-5 dolarlara çekilmesi imkân dâhilinde görülmektedir.

Krom cevherlerimiz, üstün kaliteleri ile rekabet edebilir durumdadır. Ancak uzun vadede rekabet edebilir olmak için, kaynaklarımızı arttırmak, düşük tenörlü krom cevherlerini işleyebilmek için teknolojik

kapasitemizi geliştirmek ve yüksek kaliteli mühendislik hizmetlerini talep etmek durumundayız.

Dünyada ve Türkiye’de Kömür *Coal in the World and Turkey*

M. Güler
Maden Y. Müh.

T. Güyagüler
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

ÖZET Dünya toplam enerji tüketiminin %26’sını oluşturan ve elektrik enerjisi üretiminin %38’inden sorumlu olan kömür geçmişte olduğu gibi gelecekte de önemini korumaya devam edecektir. Artan enerji ve elektrik enerjisi talebini kısıtlı kaynakları ile karşılamada yetersiz kalan Türkiye’de ise kömürün payı giderek azalmaktadır. Bu çalışmada dünyanın genel enerji durumundan bahsettikten sonra kömürün enerji ve elektrik enerjisi içindeki payı detaylı olarak incelenecektir. Yazıda, aynı zamanda ülkemiz genel enerji görünümü ve kömür kaynaklarımızın enerji içindeki yeri irdelenecektir

ABSTRACT Coal constituting 26% of the world global energy consumption and responsible for 38% of the world electricity production will continue to preserve its importance as in the past. The share of coal has been declining in Turkey having limited resources in meeting its increasing energy and electricity demand. In this study, after dealing with world energy outlook, the role of coal in energy and electricity will be scrutinized. Then general energy outlook in Turkey and the importance of coal in the energy and electricity will be evaluated.

1 DÜNYADA ENERJİ

1.1 Dünyada Genel Enerji

2007 yılında 12.043 milyon ton eşdeğer petrol (mtep) olan dünya birincil enerji arzı (TPES) yaklaşık %1,86 artışla 2008 yılında 12.267 mtep değerine ulaşmıştır. Kaynak bazında incelendiğinde, toplamdaki payı %35’den %33’e düşen petrol ile payını %1 artıran kömür (turba dahil) ilk iki sıradaki yerlerini korumuştur.

Bölgesel olarak bakıldığında ise, 1990 yılında %60 ile ilk sırada yer alan OECD’nin payı giderek azalmış ve 2008 yılında %44,2’ye gerilemiştir. Kuzey Amerika toplam OECD’nin %50’sini tüketirken, Asya’daki artışın lokomotifi Çin olmuştur. Dünya petrol ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan Orta Doğu ise dikkat çeken diğer bir bölgedir. 1970’li yıllarda tüm

servetini yöneticileri aracılığıyla Batı’ya ve lüks yaşantıya aktaran Orta Doğu ülkeleri yeni milenyumda artık kendilerine de yatırım yapmaya başlamış, artan yatırımlar ve ekonomik gelişme ile birlikte enerji tüketimleri de artmıştır.

Birincil enerji arzına paralel olarak, dünyamızın nihai enerji tüketimi de %1,7 artarak 8.428 mtep olmuştur. Birincil enerji arzı ve nihai enerji tüketimindeki büyüme hızlarının 2008 yılında %2,64 ve %2,7 olduğu göz önüne alınırsa, ekonomik krizin küresel izleri de rahatlıkla anlaşılır.

Her ne kadar petrol özellikle elektrik enerjisi üretimindeki önemini yitirse de artan ekonomik gelişmenin özellikle ulaştırma sektöründeki yansımalarından dolayı ilk sıradaki payını korumayı başarmıştır. Doğal gaz birincil enerji arzında olduğu gibi hemen hemen aynı oranda tüketilmeye devam

etmektedir. Geçtiğimiz yüzyılım özellikle son çeyreğinde yaşanan insan kaynaklı sera gazlarının olumsuz etkileri, dünyayı yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere alternatif kaynaklara yönelmiştir. Bu gayretler sonucunda özellikle 90'lı yıllardan sonra başta jeotermal, güneş ve rüzgar olmak üzere yenilenebilir enerji kullanımı büyük bir hız kazanmış ancak küresel talebin karşısında payları oldukça küçük kalmaya devam etmiştir. (Güler, 2010)

Sektörel açıdan bakıldığında nihai enerjinin sanayi, ulaştırma ve konut sektörleri tarafından tüketildiği, geriye kalan az bir miktarın ise tarım ve balıkçılık gibi sektörlerle enerji dışı olarak tüketildiği görülmektedir.

1.2 Dünyada Kömür

Kömür farklı kimyasal ve fiziksel özellikli heterojen içeriklerden oluşmuş, kahverenginden siyah renge kadar değişen sedimenter, yanabilir bir kayadır (Korkmaz, 1994)

Kömür sınıflandırma sitemleri genelde bilimsel ve ticari olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Bilimsel sınıflandırmalar büyük oranda kömürün orijini, içeriği ve yapısı ile temel özellikleri ile ilgilenirken, ticari sınıflandırma daha çok kömürün piyasa değeri, kullanım amacı ve teknolojik özellikleri ile ilgilenmektedir.

Kömür ile ilgilenen bilim adamları ve önemli kömür ithalatçıları genellikle iki ana sınıflandırma sistemini dikkate alırlar. Bunlardan ilki Amerikan sistemi olan ASTM, diğeri ise Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Konseyi Ajansı tarafından yapıla sınıflandırmadır. Bunların dışında Japon ve İngiliz sınıflandırma sistemleri de vardır (Karayığit, 1994).

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) ise kömürü niteliklerine göre "taşkömürü ve kahverengi kömür" olmak üzere iki ana grupta sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırmada koklaşabilir ve buhar kömürü taşkömürü altında raporlanırken, yarı bitümlü kömür ve linyit ise kahverengi kömür altında toplanmaktadır.

Daha yüksek bir ısı değere sahip ve metalurjik amaçlara uygun olan taşkömürü uluslararası ticarete ekonomik olarak daha uygundur. Tipine ve nemine göre çok daha az bir ısı değere sahip olan kahverengi kömür ise daha çok çıkarıldığı yerde elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaktadır. (IEA Coal 2010)

1.2.1 Dünya kömür rezervleri

Almanya Federal Jeobilimler ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü (BGR) tarafından yapılan en son çalışmalar göre, 2008 yılı sonu itibariyle toplam görünür kömür rezervlerimiz 997.195 milyon ton olup, bunun 268.759 mton'unu linyit rezervleri oluşturmaktadır. (BGR 2009) Çizelge 1 rezervlerin bölgeler itibariyle dağılımını vermektedir.

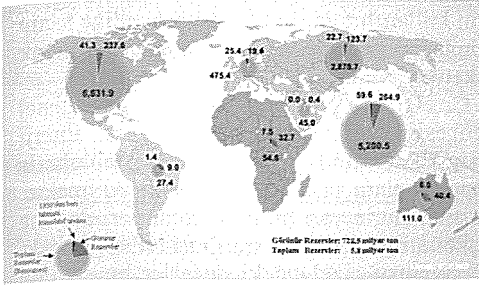
Çizelge 1. Dünya Kömür Rezervleri (mton)

Bölge	Taşkömürü	Linyit
Avrupa	19.614	67.162
Geçiş Ülkeleri	123.691	93.943
Afrika	32.704	9
Orta Doğu	419	n.a.
Avustralya-Asya	305.370	69.236
Kuzey Amerika	237.607	33.336
Latin America	9.032	5.073
OPEC 13	2.839	2.862
OECD	296.983	129.726
AB-27	18.149	53177
Dünya	728.436	268.759

Amerika ve Çin birlikte dünya görünür taşkömürü rezervinin %56'sına sahiptir. Bu iki ülkeyi toplam %20 payla Hindistan ve Çin takip etmektedir.

OECD ülkeleri toplam görünür rezervin %41'ine sahipken, Avustralya ve Asya %42'sine sahiptir. Ekonomisi Geçiş Ülkeleri olarak adlandırılan eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği ülkeleri ise %17 ile önemli bir pay oluşturmaktadır.

Şekil 1, 2008 yılı itibariyle toplam rezervleri(resources), görünür rezervleri ve 1950 yılından bu güne tahmini toplam üretimi göstermektedir (BGR, 2009).

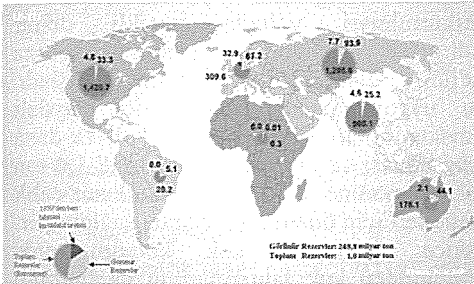


Şekil 1 Taşkömürü rezervlerinin ve üretiminin tahmini dağılımı (Kaynak BGR)

Linyit rezervlerinin bölgesel dağılımına bakıldığında ise, OECD ülkelerinin toplam rezervin %48'ini oluşturduğu görülmektedir. Kalan miktarın %26'sını Avustralya ve Asya, %12,4'ünü de Kuzey Amerika oluşturmaktadır. (BGR 2009)

Rusya ve Almanya dünya rezervlerinin yaklaşık yarısına sahiptirler. Bu iki ülkeyi %13,9 ile Avustralya ve %11,6 ile Amerika takip etmektedir.

Şekil 2 2008 yılı itibariyle toplam linyit rezervlerini (resources), görünür rezervleri ve 1950 yılından bu güne tahmini toplam üretimi göstermektedir.



Şekil 2 Dünya linyit rezervlerinin ve üretiminin tahmini dağılımı (Kaynak BGR)

1.2.2 Dünya kömür üretimi

Dünya taşkömürü üretimi şlam (recovered slurries) dahil 2009 yılında 2008 yılı rakamı olan 5.794 milyon tona (mton) göre %3,4 artarak 5.990 mton'a ulaşmıştır. 2000-2008 döneminde %6,1 ve 2008 yılında %6,5 olarak gerçekleşen dünya taşkömürü üretimi artış hızı, küresel krizin de etkisiyle %3,4'te kalmıştır. 2009 yılı geçici verilerine göre dünya taşkömürü üretiminin yaklaşık %50'sini ve OECD dışı ülkelerin üretiminin

de %65'ini gerçekleştiren Çin bu büyümenin arkasındaki ana etkidir.

1973 yılında üretimin yarısını karşılayan OECD ülkeleri, üretimlerini artırmalarına rağmen toplamdaki payının giderek azaldığı ve 1990'da %42'ye ve son yıllarda %25'lere düştüğü görülmektedir. Buna karşın OECD dışı ülkelerin üretimi, özellikle Çin'in etkisiyle giderek artmıştır. OECD ülkelerinde üretimde ABD başı çekerken, Çin büyük artış hızıyla OECD dışı ülkelerin ana üreticisi konumundadır. (Çiz. 2).

Çizelge 2. Şlam dahil dünya taşkömürü üretimi ve

	1990	2000	2005	2007	2008	2009 (g)
Çin	1.051	1.231	2.159	2.466	2.734	2.971
ABD	854	894	962	982	1.007	919
Hindistan	211	311	404	454	489	526
Avustralya	159	239	300	325	325	335
Rusya	238	153	209	218	222	229
Endonezya	7	63	144	224	235	263
Güney Afrika	175	224	245	248	252	247
Kazakistan	128	75	83	94	106	96
Polonya	148	103	98	88	84	78
Kolombiya	21	38	59	70	74	73
Ukrayna	143	62	60	59	59	55
Vietnam	5	12	32	43	39	42
K. Kore	36	23	27	24	25	29
Kanada	38	34	29	33	33	28
Almanya	77	37	28	24	19	15
Diğer	209	109	91	91	89	83
Dünya	3.497	3.608	4.931	5.441	5.794	5.990
Toplam OECD	1.456	1.395	1.483	1.516	1.532	1.433
Toplam OECD Dışı	2.042	2.213	3.448	3.925	4.262	4.556

önemli üretici ülkeler (mton)

OECD ülkelerindeki %6,4'lük düşüş ve Çin dışı OECD ülkelerindeki toplam 57,3'lük artış göz önüne alındığında, küresel ekonomik krizin Çin'i çok fazla etkilemediği açıkça görülecektir. (IEA Coal 2010)

Hemen hemen tamamı çıkarıldığı yerde elektrik enerjisi üretmek amaçlı tüketilen, çok az bir kısmı imalat sanayisinde briket olarak kullanılan kahverengi kömürün üretimi %4,7'lik bir azalışla 954 mton'dan 919 mton'a gerilemiştir. 2000 yılından beri durağan bir şekilde gerçekleşen üretimin (2002 yılı hariç) 2009 yılında birden düşmesinin ana nedenleri; dünyada kahverengi üretimin yaklaşık %65'inin OECD üyesi ülkeler tarafından yapılması ve küresel krizin bu ülkeleri önemli ölçüde etkilemesi olarak açıklanabilir. (Çiz.3)

Çizelge 3. Dünya kahverengi kömür üretimi ve önemli üreticiler (mton)

	1990	2000	2005	2007	2008	2009 (g)
Almanya	357	168	178	180	175	170
Türkiye	45	61	56	73	77	77
Rusya	134	88	74	71	83	68
ABD	80	78	76	71	69	66
Yunanistan	52	64	69	66	66	65
Avustralya	46	67	67	66	72	64
Polonya	68	59	62	58	60	57
Çek Cumhuriyeti	79	50	49	50	48	45
Sırbistan	46	37	35	37	39	38
Endonezya	4	14	27	37	38	38
Kanada	31	35	36	37	35	35
Hindistan	14	24	30	34	32	35
Romanya	34	29	31	36	36	31
Bulgaristan	32	25	26	29	27	28
Tayland	12	18	21	18	18	18
Diğer	149	90	87	91	91	86
Dünya	1.181	907	924	954	919	919
Toplam OECD	806	614	617	622	616	593
Toplam OECD Dışı	375	293	307	332	249	327

Önemli kahverengi kömür üreticilerinden, Estonya, Bazı eski Yugoslavya ülkeleri, Çek Cumhuriyeti ve Yunanistan elektrik enerjisi üretiminin hemen yarısını kahverengi kömürden karşılarken, Romanya, Polonya, Bulgaristan Slovenya, Almanya, Avustralya ve Macaristan elektrik enerjisi üretiminin önemli bir kısmını linyitten sağlamaktadırlar. (a.g.y.)

1.2.3 Dünya kömür tüketimi

Kömür dünyada pek çok yerde ve rekabete açık bir şekilde bulunmasına rağmen, %76,3'ü Çin, ABD, Hindistan Rusya ve Japonya'dan oluşan beş ülke tarafından tüketilmektedir. Eğer bu listeye ikinci bir beş ülke olan G. Afrika, Almanya, Kore, Avustralya ve Polonya'yı eklersek, bu on ülke dünya kömür tüketiminin %86,2'sini oluşturmaktadır (a.g.y.).

Daha önce de bahsedildiği gibi kahverengi kömür bulunduğu yerde elektrik enerjisi üretmek amaçlı kullanılırken, yüksek ısı değeri, düşük nem ve kül içeriği ve koklaşabilir olmasından dolayı taşkömürü uluslararası ticarete daha uygun olmaktadır.

Antrasit ve diğer bitümlü kömürlerin oluşturduğu buhar kömürü adından da anlaşılacağı üzere buhar veya ısı üretmek

için kullanılırken, koklaşabilir özelliğe sahip kömürler genelde metalürjik amaçlı olarak tüketilmektedir.

Çizelge 4 dünya kömürünün genel dengesini vermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan tablolarda genelde şlam taşkömürüne dahil edilmekte, bazı ülkelerin yarı bitümlü kömürleri de yine taşkömürü içinde gösterilmektedir. Ancak, söz konusu çizelgedeki değerler bu şekilde bir birleşme ya da ayrışma yapılmadan hazırlanmıştır. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere dünyada üretilen kömürün %70'e yakını elektrik ve ısı üretiminde kullanılmaktadır. Bu oran taşkömüründe %60'larda kalırken kahverengi kömürlerde %90'ları geçmektedir. Yine üretilen taşkömürünün yaklaşık %15'i kok fabrikalarında kullanılmaktadır. (Güler, 2010)

Bilindiği üzere demir-çelik sektörü yüksek fırınlarda pik demir üretmek amacıyla kok kömürü kullanılmaktadır. Ancak kok kömürünün elde edilmesindeki zorluklar ve göreceli yüksek fiyatı nedeniyle 1980'li yılların ikinci yarısından sonra, pulverize kömürün doğrudan yüksek fırınlara püskürtülmesi yoluyla gerekli demir indirgeme işleminin sağlanması yoluna gidildi ve giderek de yaygınlaşmaya başladı. Bu uygulama bir çok yönden faydalı olmaktadır. Öncelikle ekonomik olarak daha ucuz olması ve bir tonunun yaklaşık 1,4 ton kok kömürüne denk gelmesi demir-çelik üreticileri için önemli bir avantaj sağlamıştır. Ayrıca daha az kok kömürü elde edildiğinden kok fabrikalarının da ömrünü uzatmıştır.

Dünyadaki pek çok kok fırınının ekonomik ömrünün sonuna gelmekte olduğu ve yerine kurulacak olanların ya da revizyona gidilecek olanların katı çevre koşulları da dahil olmak üzere önemli bir ekonomik yük getireceği hesaba katılırsa bunun önemi daha iyi anlaşılacaktır. (IEA Coal 2010)

Çizelge 4. Dünya kömür dengesi (mton)¹

	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009	Growth Rate (%)	
								1990-2000	2000-2008
Üretim	4.679	4.515	5.855	6.149	6.395	6.759	6.903	-0,36	5,17
Taşkömürü	3.243	3.202	4.455	4.700	4.917	5.256	5.480	-0,13	6,39
Kahverengi Kömür	1.435	1.313	1.400	1.449	1.478	1.503	1.423	-0,89	1,71
Toplam Kömür Tüketimi	4.670	4.636	5.822	6.106	6.365	6.625	6.833	-0,07	4,56
Taşkömürü	3.210	3.307	4.392	4.671	4.889	5.131	5.412	0,30	5,64
Kahverengi Kömür	1.461	1.329	1.430	1.435	1.477	1.494	1.422	-0,94	1,47
Elektrik ve Isı Santralleri	2.720	3.285	3.962	4.208	4.379	4.547	0	1,91	4,15
Taşkömürü	1.567	2.023	2.619	2.870	3.005	3.162	0	2,58	5,74
Kahverengi Kömür	1.153	1.263	1.343	1.338	1.374	1.385	0	0,91	1,16
Kok Fabrikaları	508	464	624	683	735	724	0	-0,90	5,72
Taşkömürü	507	464	623	683	734	723	0	-0,89	5,70
Kahverengi Kömür	0,19	0,10	1	1	1	1	0	-6,50	31,94
Nihai Kömür Tüketimi	1.151	743	901	915	948	1.138	0	-4,28	5,48
Taşkömürü	995	682	843	857	890	1.082	0	-3,70	5,93
Kahverengi Kömür	156	61	58	58	58	57	0	-9,03	-0,83
Sanayi	638	524	655	671	697	835	0	-1,94	5,99
Taşkömürü	554	484	615	632	658	796	0	-1,35	6,42
Kahverengi Kömür	84	41	40	39	39	40	0	-6,96	-0,35
Konut	338	145	147	149	143	174	0	-8,15	2,34
Taşkömürü	289	132	134	136	130	162	0	-7,55	2,62
Kahverengi Kömür	49	13	12	13	13	12	0	-12,60	-0,89
Ulaştırma	27	11	8	7	7	7	0	-8,52	-5,74
Taşkömürü	26	11	8	7	7	7	0	-8,64	-5,90
Kahverengi Kömür	0	0	0	0	0	0	0	-1,92	-0,70
Tarım, Balıkçılık, Diğer	111	44	54	52	61	74	0	-8,89	6,84
Taşkömürü	89	38	49	47	56	70	0	-8,22	7,90
Kahverengi Kömür	22	6	5	5	5	5	0	-12,26	-2,69
Enerji Dışı	37	19	37	36	39	48	0	-6,36	12,01
Taşkömürü	37	19	37	36	39	48	0	-6,55	12,55
Kahverengi Kömür	1	1	0	0	0	0	0	1,01	-28,42
Diğer	292	144	335	299	303	216	0	-6,82	5,20
Taşkömürü	140	138	306	261	260	165	0	-0,14	2,22
Kahverengi Kömür	152	6	28	38	43	51	0	-28,04	31,71

¹ UEA raporlarında üretime şlam miktarlarını da dahil etmekte, üretim ve tüketimde ülkelerden gelen verilere göre bazen yarı bitümlü kömürü taşkömüründe göstermektedir. Ancak bu tabloda herhangi bir ayırıştırma ya da birleştirme bulunmamaktadır.

1.2.4 Dünya kömür ticareti

Tüm dünyada yaygın olarak alınıp satılmakta olan kömür, çok uzak piyasalara dahi deniz yoluyla taşınabilmektedir. Son yirmi yıla bakıldığında, buhar kömürlerinin deniz yolu ile taşınabilirliği her yıl ortalama %7 artarken, koklaşabilir kömürlerde %1,6 oranında artmaktadır.

Uluslararası toplam kömür ticareti 2009 yılında 941 mton'a ulaşmasına rağmen, bu toplam tüketilen kömürün %14'üne karşılık gelmektedir. Kömürün çoğu üretildiği ülkede tüketilmektedir.

Taşıma maliyeti, toplam teslim fiyatının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden buhar kömürünün uluslar arası ticareti iki bölgesel pazar tarafından yürütülmektedir:

- İngiltere, Almanya ve İspanya başta olmak üzere Batı Avrupalı ithalatçı ülkelerin oluşturduğu Atlantik pazarı
- Japonya, Kore ve Chinese Taipei'nin başı çektiği kalkınmakta olan ve OECD üyesi Asyalı ithalatçı ülkelerden oluşan Pasifik Pazarı.

Pasifik pazarı denizyolu buhar kömürü ticaretinin yaklaşık %57'sini oluşturmaktadır.²

2009 yılında 858,8 mton olarak gerçekleşen dünya denizyolu kömür ticaretinin 641,9 mton'unu buhar kömürü, 217 mton'unu ise koklaşabilir kömür oluşturmaktadır. Karayoluyla ticareti yapılan kömür ticaretinin hacmi 2009 yılında 88,6 mton olarak gerçekleşmiş olup, bu toplam ticaretin yalnızca %8.7'sine karşılık gelmektedir (Çiz. 5).

Çizelge 5. Dünya kömür ticareti (m tons)

	Buhar Kömürü		Koklaşabilir Kömür		Taşkömürü	
	Toplam	Denizyolu	Toplam	Denizyolu	Toplam	Denizyolu
1990	299	183	199	155	498	338
2000	421	357	187	171	608	528
2001	454	385	199	181	653	566
2002	464	408	188	172	652	580
2003	513	445	206	191	719	636
2004	557	492	197	180	754	672
2005	595	532	216	197	811	729
2006	646	575	223	204	869	779
2007	679	607	247	226	926	832
2008	676	606	262	243	937	849
2009	709	642	232	217	941	859

² <http://www.worldcoal.org/coal/market-amp-transportation>

Çizelge 6'dan da anlaşılacağı üzere, Avustralya ve Endonezya 2009 yılı dünya taşkömürü ihracatının yarısından fazlasını gerçekleştirmiştir. Rusya'nın bu ülkelere katılmasıyla oran %65'e ulaşmaktadır. Çin'in artan talebini karşılamaya çalışan Rusya'nın ihracatı bir önceki yıla göre %19,2 artış göstermiştir. Artan talebini karşılamak amacıyla ithalatı giderek artan Çin ihracatta düşüş göstererek altıncı sıradan yedinci sıraya inmiştir.

Çizelge 6. Dünya taşkömürü ihracatı (mton)

	2006	2007	2008	2009
Avustralya	231,3	243,6	252,2	261,7
Endonezya	171,4	197	202,6	229,7
Rusya	91,4	98,1	97,5	116,2
Kolombiya	62	64,6	67,8	69,5
G. Afrika	68,7	65,9	60	66,9
ABD	44,9	53,4	73,7	53,4
Kanada	28	30,4	31,5	28,3
Vietnam	21,3	31,9	19,4	25,6
Çin	63,2	53,1	45,3	22,8
Kazakistan	27,4	29,5	42,7	22,7
Diğer	54,7	58,1	50,5	46,8
Toplam	864,3	925,6	943,2	943,6

2009 yılı dünya toplam taşkömürü ithalatı %2,1 artışla 926,5 mton'a ulaşmıştır. Toplam ithalatı yaklaşık 2,4 kat artan Çin bir önceki yıldaki altıncı sıradan ikinci sıraya yerleşmiştir. (Çiz.7)

Çizelge 7. Önemli taşkömürü ithalatçıları (mton)

	2006	2007	2008	2009
Japonya	179,1	187	184,2	164,8
Çin	38,1	51	40,3	137
Kore	79,7	88,3	99,6	103
Hindistan	43,1	49,8	59	67,7
Ç. Taipei	57,1	59,3	58	60,3
Almanya	42,1	46,3	45,4	38,5
İngiltere	50,5	43,4	43,9	38,2
Rusya	25,7	23,4	31	23,5
Türkiye	20,3	22,9	19,5	20,4
ABD	32,7	32,9	30,9	20,4
Hollanda	22,8	26	21,2	19,9
İtalya	24,6	25	25,1	19,4
İspanya	23,7	24,4	21	17
Brezilya	13,4	14,9	15,3	14,9
Tayland		14,14	15,9	14,7
Diğer	180,4	194,6	196,9	166,8
Toplam	853,7	903,3	907,2	926,5

2009 yılında dünya toplam buhar kömürü ithalatı %4,8 artışla 676 mton'dan 708,5 mton'a ulaşmıştır. Taşkömüründe olduğu gibi buhar kömüründe de ilk sıraları aynı ülkeler almaktadırlar. Japonya her ne kadar ithalat miktarını azaltsa da ilk sırada yer almıştır. 2008 yılında ithalatta altıncı sırada olan Çin rekor artışla ikinci sıraya yerleşmiştir.

2009 yılında kokluk kömür ticareti küresel krizin de etkisiyle azalış göstermiştir. İhracatta Avustralya açık ara ile ilk sıradaki yerini korurken, bu ülkeyi, sırasıyla ABD, Endonezya, Kanada ve Rusya takip etmektedir.

Yine Japonya, Çin, Hindistan ve Kore ithalattaki ilk dört ülke olarak yer alırken, Brezilya azalan talebine rağmen beşinci sırada yer almıştır.

2 TÜRKİYEDE ENERJİ

2.1 Türkiye'de Genel Enerji

Ülkemizin enerji üretimi, 1970 yılından günümüze kadar, yıllık ortalama %1,9 artış hızıyla yaklaşık iki kat artmış, ancak toplam tüketiminin yıllık ortalama %4,5 artış hızıyla beş katın üzerinde artması ve yerli kaynaklarımızın kısıtlı olması nedeniyle ithalatı da hızla artmıştır. Bunun sonucunda 1970'li yıllarda toplam ihtiyacının %70'ini yerli kaynaklarıyla karşılayabilen ülkemiz, 2009 yılına geldiğinde ihtiyacının ancak %29'unu kendi kaynaklarıyla karşılayabilmiştir.

1970'li yıllarda toplam üretim içinde %12 payı olan linyit üretimimiz hızla artmış ve 2008 yılı itibarıyla toplam birincil üretimin %50'den fazlasını karşılar duruma gelmiştir. Buna karşın taşkömürü üretimimiz giderek azalmış ve payı %19'lardan %4'lere düşmüştür. (Güler, 2010)

Nihai enerji tüketimimize bakıldığında, büyüme hızının birincil enerji tüketimi ile paralellik arzettiği görülmektedir. Kaynak bazında bakıldığında, 1970 yılında %40 pay ile ilk sırayı alan petrol, payını altı yılda %50'lere çıkarmış ancak sonraki yıllarda %46'lara gerilemiş ve zaman zaman azalarak da olsa payını da 1995 yılına kadar

%49'larda tutmayı başarmıştır. Bu yıllardan sonra özellikle doğal gazın hayatımıza hızla girmesiyle payını azaltmış ve %36'ya kadar düşürmüştür. Buna karşın doğal gazın payı hızla artarak 2005 yılında %18'e gelmiş, son yıllarda yaşanan ekonomik durgunluk nedeniyle de %16'lara gerilemiştir. Ülkemiz hayatına son on yılda hızla giren bir başka kaynak ise ithal taşkömürü olmuştur.

Çizelge 8 üretimden nihai tüketime kadar ülkemiz enerji dengesini özetlemektedir.

2.2 Türkiye'de Kömür

2.2.1 Kömür Rezervleri

Ülkenin en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzası'nda bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1200 m derinliğe kadar tesbit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1.3 milyar ton olup, bunun %40'ı (yaklaşık 535 mton) görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Havzada koklaşabilir rezervler Kozlu, Üzülmöz ve Karadon bölgelerinde yer almaktadır. Havza kömürlerinin kalorifik değeri 5.450-7050 kcal/kg (AID) arasında değişmektedir. (TTK 2010)

Çizelge 9, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından oluşturulan Rezerv Tepit Komisyonu Raporu'na göre 2009 yılı sonu itibarıyla ülkemiz taşkömürü rezervlerini göstermektedir.

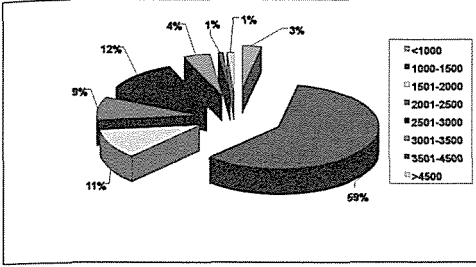
Çizelge 9 Türkiye taşkömürü rezervleri (bin ton)

	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Armutçuk	11.244	15.860	7.883	34.984
Kozlu	72.084	40.539	47.975	160.598
Üzülmöz	139.359	94.342	74.020	307.722
Karadon	139.829	159.162	117.034	416.023
Amasra	172.107	115.052	121.535	408.694
Azdavay		5.593		5.593
Kurcaşile		1.000		1.000
Toplam	534.620	431.548	368.447	1.334.615

Çizelge 8. Türkiye Genel Enerji Dengesi (btep)

	1970	1980	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Üretim	14.516	17.358	25.478	26.047	24.549	26.580	27.454	29.209	30.328
İthalat	4.642	15.031	30.936	56.342	73.065	80.416	87.614	85.477	82.124
İhracat	284	301	2.104	1.584	5.171	6.572	6.926	7.183	6.829
Toplam Tüketim	18.872	31.973	52.987	80.500	91.074	99.642	107.627	106.421	106.138
Çevrim ve Enerji Sektörü	2.031	4.465	11.377	18.945	19.564	22.201	24.879	26.779	25.565
Nihai Enerji Tüketimi	16.841	27.508	41.611	61.556	71.510	77.440	82.748	79.642	80.574
Sanayi Tüketimi	4.122	7.955	14.543	24.501	28.084	30.996	32.466	26.906	25.965
Demir Çelik	974	1.605	2.961	3.433	3.695	3.789	4.197	5.054	5.155
Kimya-Petrokimya	182	532	1.128	1.636	1.953	1.975	1.409	523	872
Petrokimya Feedstock	107	234	1.512	1.540	793	996	810	1.789	1.796
Gübre	280	401	860	267	666	268	22	242	50
Çimento	1.162	1.720	2.383	2.613	4.029	4.134	3.893	4.691	4.426
Şeker	145	425	693	498	549	561	361	145	149
Demir Dışı Metaller	97	309	534	665	1.070	1.257	4.413	325	630
Diğer Sanayi	1.174	2.728	4.470	13.850	15.330	18.015	17.322	14.137	12.888
Ulaştırma	3.208	5.230	8.723	12.008	13.849	14.994	17.284	15.996	15.916
Konut ve Hizmetler	8.656	12.833	15.358	20.058	22.923	23.677	24.623	28.323	29.466
Tarım	510	963	1.956	3.073	3.359	3.610	3.945	5.174	5.073
Enerji Dışı	344	527	1.031	1.915	3.296	4.163	4.430	3.244	4.153

Taşkömürünün aksine linyit ülkenin hemen hemen her yöresine yayılmış halde bulunmaktadır. Jeolojik olarak oldukça genç olan ve genelde düşük ısıl değer ve yüksek nem içeren linyitlerimizin çoğu tüm dünyada da olduğu gibi elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 3'den de anlaşılacağı üzere linyitlerimizin yaklaşık %70'inin ısıl değeri 2000 kcal/kg'ın altındadır. (DEK TMK, 2008, s:3)



Şekil 3. Türkiye linyitlerinin kalorifik dağılımı

Özellikle 2005-2008 yılları arasında Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ) tarafından finanse edilen ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından uygulanan Afşin-Elbistan Linyit Havzası detaylı linyit aramaları ve diğer havzalarda Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından desteklenen ve MTA tarafından yapılan arama çalışmaları ile Türkiye linyit rezervi önemli ölçüde artırılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde Afşin-Elbistan havzasında 1,9 milyar ton, Konya-Karapınar havzasında 1,28 milyar ton, Eskişehir-Alpullu havzasında 275 milyon ton, Trakya havzasında 498 milyon ton ve Soma-Eynez havzasında 170 milyon ton olmak üzere toplam 4,138 milyar ton rezerv artışı sağlanmış olup, bulunan bu rezervlerin sınıflandırılması ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. (DEK TMK 2009, s.24)

Çizelge 10, 2009 yılı sonu itibarıyla kurum bazında linyit rezervlerimizi vermektedir.

Çizelge 10. Türkiye linyit rezervleri (bin ton)

KURUMLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
EÜAŞ	4.718	104		4.822
TKİ	2.239	218	1	2.458
MTA	1.803	685	123	2.611
ÖZEL SEKTÖR	1077	337	138	1.554
TOPLAM	9.837	1344	262	11.445

Taşkömürü üretiminin son 40 yıllık geçmişine bakıldığında, 1974 yılında tavan yapan taşkömürü üretimi giderek azalarak 1999 yılında 1,99 mton üretimle taban yapmış, daha sonra biraz toparlanmış ve son yıllarda redevanslı sahaların üretimiyle 2,9 mton'a ulaşmıştır.

30 Kasım 1990-6 Şubat 1991 tarihleri arasında yaşanan Büyük Madenci Grevi ve Yürüyüşü sonrasında TTK yeniden yapılandırılmış, 1990 öncesinde 40 bin olan çalışan sayısı 2008 yılında on binlere gerilemiştir.

2004 yılından itibaren TTK tarafından işletilemeyen rezervlerin, hukuku TTK uhdesinde kalmak kaydıyla, redevans karşılığı özel firmalara işletirilmesi uygulaması başlatılmıştır. (TTK 2010)

Ancak bu da bir çare olmamış, ülkenin artan talebini karşılamak amacıyla ithalatımız özellikle 1995 yılından sonra hızla artmıştır. Bir başka deyişle 1970'li yıllarda talebimizin hemen hemen tamamını karşılayan ülkemiz günümüzde ancak %10'unu karşılayabilir hale gelmiştir.

Ülkemizde taşkömürü elektrik enerjisi üretimi ve kok kömürü üretimi dışında çimento üretim tesisleri başta olmak üzere sanayi sektöründe ve ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Kok fabrikalarının 70'li yılların başında 1,8 mton olan kok taşkömürü tüketimi giderek artarak 80'li yılların başında 2,6 mton'a, 90'lı yılların başında da 4,7 mton'a ulaşmıştır. Daha sonra giderek azalarak 2000'li yılların ilk çeyreğinde 3,5 mton'a kadar düşmüş, ancak daha sonra hızla toparlanarak 2009 yılında 4,9 mton seviyesine ulaşmıştır. Sektörün artan kok talebini karşılamada kok fırınlarının

kapasitesinin yetersiz kalması sonucu kok ithalatımız da hızla artmıştır. Son yıllarda dünyadaki gelişmelere paralel olarak, hem maliyetleri hem de kok miktarını azaltmak amacıyla, önce Erdemir, sonra da İsdemir pulverize kömür kullanmaya başlamıştır. Her ne kadar kullanılan kömürün çoğu ithal kaynaklı ise de bir miktar yerli kömürümüz de bu amaçla kullanılmaktadır.

Havzada Armutçuk bölgesinde yer alan rezervler; yarı-koklaşma özelliği, yüksek ısı değer ve düşük bünye külü içeriği ile hem koklaşabilir kömürlerle harmanlanarak hem de pulverize enjeksiyon (PCI) kömürü olarak demir-çelik fabrikalarında kullanıma uygun niteliktedir. (TTK 2010) Bu amaçla burada yapılacak Ar-Ge harcamalarının ve buna paralel yatırımların artırılması ülkemiz ithalat bağımlılığının biraz olsun azaltılmasına ve aynı zamanda istihdama katkıda bulunabilecektir.

1970 yılında toplam elektrik enerjisi üretimimizin yaklaşık %20'si yerli taşkömürü ile karşılanmasına rağmen bu oran 80'li yılların başında %4'e, 90'lı yılların başında %1'lere kadar düşmüş, daha sonra toparlanarak 2000'li yılların başında %3'lere kadar çıkmıştır. İSKEN ithal kömür santralının devreye girmesiyle de %8'lere çıkmıştır.

Ülkemiz çimento sektörü tarafından tüketilen kömür miktarı da artan üretime paralel olarak sürekli bir artış göstermiştir. Onar yıllık periyotlar halinde incelendiğinde en yüksek artış hızı ortalama yıllık 23,9 ile 1980-1990 yılları arasında olmuştur. Hemen bir sonraki on yılda (1990-2000 yılları) %2,7'lik bir artış hızına düşmüşse de son dokuz yılda %5,5'lik bir oranı yakalamayı başarmıştır.

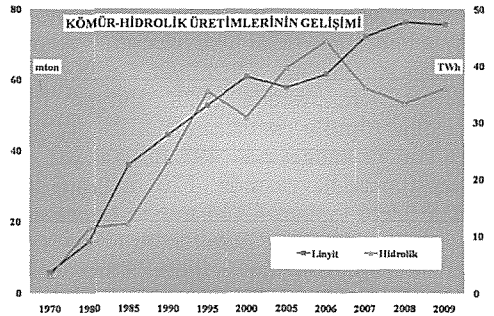
80'li yıllara kadar, ülkemiz taşkömürü ısınma amaçlı olarak daha çok çıkarıldığı yörede kullanılmaktaydı. Bu dönemde her ne kadar taşkömürü ithalatı artış trendi gösterse de 95'li yıllara kadar 5,5 mton civarında kalmıştır. Ancak bu yıllardan sonra hızla artarak son yıllarda 20 mton seviyesine gelmiştir. Bu artışa paralel olarak toplam tüketilen kömürün de yaklaşık %30'u ısınma amaçlı kullanılmaktadır.

2.2.2 Türkiye'de Linyit

1970 yılında 5,7 mton olan linyit üretimimiz, ara ara düşüşler gösterse de sürekli artarak 1980 yılında 14,5 mton'a, 1990 yılında 44,4 mton'a ve 1998 yılında 65 mton'a ulaşmıştır. 2001-2005 arasında keskin bir düşüş seyrettikten sonra tekrar artışa geçerek 2009 yılında 75,5 mton seviyesine gelmiştir. 70-80 ve 80-90 döneminde yıllık ortalama %9,61 ve %11,87 artış gösteren üretim sonraki onar yıllık dönemde sırasıyla %3,2 ve %2,44 artış gösterebilmiştir. Yani 70-90 arası dönemdeki artış hızı sonraki 19 yıllık dönemde üç katından fazla azalmıştır.

Linyit daha önce de bahsedildiği gibi ülkemizde hemen hemen her yörede yaygın olarak bulunan bir enerji kaynağı olup, büyük oranda elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan linyitin toplam tüketim içindeki payı irdelendiğinde, 1970 yılında %20 olan payın, hemen hemen her on yılda bir %20 artarak 2000 yılında %83'e ulaştığı, bu periyotdan sonra çok daha az bir artış hızıyla 2009 yılında %87 olduğu görülmektedir.

Ülkemizde linyite dayalı santrallerin, 2000 yılında özel sektöre devredilen Çayırhan Termik Santrali hariç kamu elinde olması nedeniyle bol yağışlı dönemlerde hidrolik santrallerine ağırlık verildiği ve linyit santrallerinin çok daha az çalıştırıldığı görülmektedir. (Şekil 4)



Şekil 4 Yıllar İtibariyle linyit ve hidrolik enerjisi üretimleri

Çizelge 11. Türkiye taşkömürü dengesi (bin ton)

	1970	1980	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Yerli Üretim	4573	3598	2745	2392	2170	2462	2601	2863
İthalat		945	5557	12990	17360	22946	19489	20364
Toplam Enerji Arzı	4727	4630	8191	15525	19421	25388	22720	23698
Çevrim ve Enerji Sektörü	3075	3610	5444	6282	9517	10539	11769	11440
Elektrik Santralleri	959	765	474	2034	5259	5912	6197	6361
Kok Fabrikaları	1847	2619	4723	4191	4218	4443	5526	4900
Nihai Enerji Tüketimi	1652	1020	2747	9244	9904	14849	10951	12258
Sanayi Tüketimi	440	586	1459	8529	8970	13984	4435	4918
Çimento	41	111	946	1236	1982	2666	2495	2566
Diğer Sanayi	399	475	513	7293	6988	11318	1940	2353
Ulaştırma	826	243	13	1				
Konut ve Hizmetler	386	191	1275	714	935	865	6516	7337

Çizelge 12. Türkiye linyit dengesi (bin ton)

	1970	1980	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Üretim	5782	14469	44407	60854	57708	72121	76171	75577
İthalat			15	11				
Toplam Tüketim	5772	15243	45891	64384	56571	72317	75264	75641
Çevrim ve Enerji Sektörü	1207	6052	30152	53314	48562	60709	65820	62969
Elektrik Santralleri	1130	6032	29884	53312	48319	60536	65685	62894
Nihai Enerji Tüketimi	4565	9191	15739	11070	8009	11608	9444	12672
Sanayi Tüketimi	2060	3485	8470	6144	3202	5006	4553	6142
Gübre	762	582	509	40	0	0	0	0
Çimento	258	772	1980	1283	1747	1513	2199	1565
Şeker	303	548	1425	1113	872	547	66	109
Diğer Sanayi	737	1583	4556	3708	584	2945	2288	4468
Ulaştırma	96	125	22	0	1	0	0	0
Konut ve Hizmetler	2409	5581	7247	4926	4807	6602	4890	6530

Linyit sanayi sektöründe daha çok çimento ve şeker üretim tesislerinde kullanılmaktadır. Çimento sektörü yaklaşık 1,5 mton linyit kullanırken şeker sektöründe linyit kullanımı giderek azalma göstermiştir.

1970'te teshin amaçlı kullanılan linyit toplam tüketimin %42'sini oluştururken, bu oran 1990 yılında %16'ya gerilemiş, doğal gazın hızla hayatımıza girmesi sonucunda da 2000 yılında %8 ve 2009 yılında %6'ya kadar düşmüştür.

Çizelge 10 ve Çizelge 11 Türkiye'nin taşkömürü ve linyit dengesini özetlemektedir.

KAYNAKLAR

- BGR 2009, Annual Report 2009 Reserves, Resources and Availability of Energy Resources, 2008, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (s.22-25, 59, 67)
- DEK TMK 2008, 2007-2008 Türkiye Enerji Raporu, 2008, Dünya Enerji, Konseyi Türk Milli Komitesi (s.3)
- DEK TMK 2009, Türkiye Enerji Raporu 2009, 2008, Dünya Enerji, Konseyi Türk Milli Komitesi (s.24)
- Güler, M., 2010, Evaluation of State Owned Indigenous Coal Fired Power Plants Including Coal Reserves, Master Thesis (s.20, 35-36)
- Karayiğit A.L., 1994, Origin of Coal, Coal (s.45)
- Korkmaz S., 1994, Coal Occurrence in Ancient Sedimentary Environment, Coal (s.16)
- IEA 2010, Coal Information 2010, International Energy Agency, Paris (s.I.32, II.5-12)
- TTK 2010, Taşkömürü Sektör Raporu, 2010, Türkiye Taşkömürü Kurumu (s.25-27)

Yerli Kömür ile Çalışan Kömür Santrallerinin Kömür rezervleri ile Birlikte Değerlendirilmesi

Coal Evaluation of State Owned Indigenous Coal Fired Power Plants Together with Coal Reserves

T. Güyagüler

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

M. Güler

Maden Y. Müh.

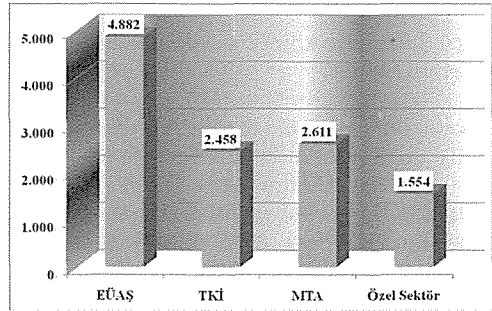
ÖZET Kömür dünya elektrik üretiminde hemen hemen %40 gibi bir paya sahipken ülkemiz elektrik üretiminde kömürün payı giderek azalmıştır. Son yıllardaki elektrik üretimi artışları ise ithal kömüre ve doğalgaza dayalı termik santrallerden kaynaklanmaktadır. Ülkemizde taşkömürü yalnızca Zonguldak ve çevresinde bulunmasına karşılık, linyit kömürü hemen hemen her bölgemizde bulunmaktadır. Bu çalışmada, yerli kömür ile çalışan termik santrallerimizin geçmiş performansları analiz edildikten sonra, varolan rezervlerle birlikte geleceğe yönelik değerlendirmeler yapılmış ve nihayetinde kalan rezervlere yönelik öneriler getirilmiştir.

ABSTRACT Recently, although the share of coal in electricity production has increased to 40% in the world, its share has been declining in Turkey. The increase in electricity production in Turkey is because of the consumption of natural gas and imported coal. Hard coal is only found around Zonguldak District, but lignite can be found almost every region within the country. In this study, after analyzing past performance of existing power plants operating by using Turkish lignites, then, coal reserves and power plants will be evaluated together considering the future of power plants and finally some proposals will be presented for the remaining reserves.

1 TÜRKİYE KÖMÜR REZERVLERİ

2009 yılı sonu itibariyle bakıldığında, Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne (MİGEM) göre toplam 718 linyit sahası için işletme ruhsatı verilmiş durumdadır. Ancak, işletme lisanslarının büyük bir çoğunluğuna sahip olan özel sektör, toplam rezervlerin yalnızca %14'ünü elinde bulundurmaktadır (Şekil 1).

2005 yılında, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından ve Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TKİ) koordinatörlüğünde bir proje başlatılmıştır.

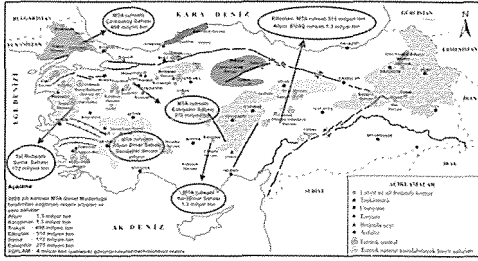


Şekil 1. 2009 yılı sonu itibariyle lisanslı linyit sahaslarının dağılımı. (Kaynak, MİGEM)

“Varolan Mineral ve Jeotermal Rezervlerinin Geliştirilmesi ve Yeni Rezervlerin Aranması” isimli projenin kapsamı sonrasında daha da genişletilmiş ve MTA’nın koordinatörlüğünde “Türkiye Maden ve Jeotermal Kaynak Rezervlerinin Geliştirilmesi ve Yeni Sahaların Bulunması Projesi” olarak değiştirilmiştir.

2005 yılından beri söz konusu proje kapsamında sürdürülen çalışmalar kapsamında 2009 yılı sonu itibariyle Afşin-Elbistan Havzası’nda 1,815 milyar ton, Konya-Karapınar’da 1,28 milyar ton, Manisa-Soma (Eynez) Havzası’nda 172 milyon ton ve Eskişehir-Alpu’da 275 milyon ton linyit rezervi tespit edilmiştir. Bulunan rezervlerin sınıflandırılması çalışmaları sürdürülmektedir. (MTA 2009)

Türkiye’deki tüm taşkömürü sahaları Zonguldak Havzası’nda yer almakta olup, Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) uhdesindedir. TTK, Maden Kanunu’na dayanarak bazı sahalardaki haklarını “redevans” adı altında özel sektörün işletmesine açmıştır.

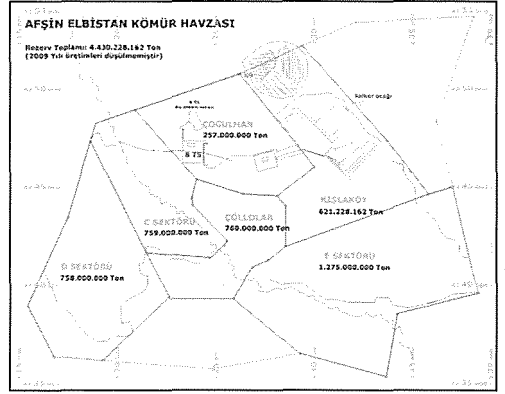


Şekil 2 Türkiye kömür sahaları ve rezervleri (Kaynak, MTA)

Ülkemizin en büyük linyit rezervleri Afşin-Elbistan Havzası’nda bulunmaktadır (Şekil 3). Elektrik Üretim AŞ (EÜAŞ) Genel Müdürlüğü tarafından işletilen altı kömür sahasının her biri bir termik santral ile birlikte projelendirilmiştir. Havzada bulunan Kışlaköy Sektörü Afşin - Elbistan A Termik Santralini (AEATS) beslerken, Çoğulhan Sektörü üzerinde kurulu olan Afşin Elbistan

B Termik Santrali (AEBTS) Çöllolar Sektörü’nden beslenmektedir.

Çöllolar Sahası’na ait yatakların işletilmesi ve AEBTS’nin beslenmesi işi Mart 2007 tarihinde özel sektöre ihale edilmiştir. Kangal Sahası da aynı şekilde uzun zamandır özel sektör tarafından işletilmektedir. Çayırhan Sahası ise 2000 yılında İşletme Hakkının Devri yöntemiyle özelleştirilmiştir.



Şekil 3 Afşin Elbistan Kömür Havzası (2008)

Çizelge 1’de görüldüğü gibi termik santral kurmak üzere tahsis edilmiş linyit rezervlerinin %70’den fazlasının ısı değeri 1500 kcal/kg’dan az olup, aynı zamanda %50 civarında nem içermektedir. Bu, diğer bir deyişle, çevresel ve işletimsel problemler demektir. Kömürün değişken karakteristikleri de göz önüne alınırsa, verimli bir santral işletmesinde stok sahaslarının yönetimi önem kazanmaktadır.

Afşin-Elbistan ve Kangal Havzaları haricindeki kömür sahaları TKİ tarafından işletilse de, stok sahaslarının işletimi ve denetimi EÜAŞ tarafından yapılmaktadır. Bununla birlikte geçmiş deneyimler EÜAŞ’ın stok sahaslarını istenen şekilde yönetemediğini göstermiştir. Termik santrallerde yeterli Maden Mühendisi’nin çalıştırılmaması nedenlerden bir tanesidir.

Çizelge 1. Termik Santrali Besleyen Linyit Sahalarının Rezervleri ve Karakteristikleri

YER	REZERVLER (Milyon Ton)					KİMYASAL ÖZELLİKLERİ				
	Görünür	Mümkün	Muhtemel	Toplam	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Uçucu Madde (%)	Alt Isıl Değeri (kcal/kg)	
K. Maraş-Elbistan Havzası	4,430			4,430	50.2	19.5	2.1	19-21	1145	
Kışlaköy (A Sektörü)	621			621	53.2	19.9	2.5		1031	
Çöllolar (B Sektörü)	760			760	50.3	22.4	2.0		1156	
C Sektörü	759			759	53.6	19.2	2.1		1114	
DSektörü	758			758	52.6	19.2	2.2		1201	
E Sektörü	1,275			1,275	52.3	17.4	1.9		1176	
Çoğulhan	257			257	50.3	22.4	2.0		1156	
Sivas-Kangal Havzası	83.2	-	-	83.2	48-52	19-21	2.8	18-20	1282	
Kalburçayırı	53.3			53.3	50.0	21.0	2.0		1300	
Eyemez	0.6			0.6	49.8	19.0	3.6		1494	
Hamal	29.3			29.3	52.1	20.0	2.7		1207	
Çayırhan Havzası	240	105		345	27.8	30.4	3.0	20-25	2592	
Saha 1	154	19		173	22.2	35.0	3.7		2399	
Saha 2	58	74		132	26.4	25.4	2.8		2839	
Koyunağlı Sahası	28	12		40	25.8	30.9	2.5		2539	
TOPLAM EÜAŞ	4,753	105		4,858						
Manisa-Soma	608	58		666	14.6	35.4	1.2	25.0	2827	
Kütahya-Tavşanlı	283			283	15.0	41.0	1.6	25.0	2560	
Muğla-Milas	278			278	30.1	24.9	3.1	26.7	2167	
Muğla-Yatağan	161			161	30.6	25.6	2.7	27.4	2442	
Kütahya-Seyitömer	153			153	32.6	42.4	1.2	22.1	2058	
Konya-İlgin	101	1		102	45.4	23.8	1.6	21.7	1340	
Bursa-Orhaneli	78	20	2	99	29.5	25.3	2.8	17.9	2279	
Çanakkale-Çan	83			83	23.0	25.0	4.2	30.0	3000	
Diğerleri	507	141	0	648	40.5	24.8	1.7	21.9	1623	
TOPLAM TKİ	2,251	219	2	2,472	27.5	30.6	1.9	24.1	2257	

Kaynak: ETKB 2008

Stok sahalarının tekrar TKİ'ye devredilmesi de zaman zaman gündeme gelmektedir.

2008 başı itibarıyla, TKİ 15 aktif, 10 kiralanmış ve 18 faaliyeti olmayan saha olmak üzere toplam 43 işletim lisansına sahiptir (Turkey, 2009).

TKİ tarafından işletilmeyen yeraltı rezervlerinin ekonomiyi kazandırılması ve yöre halkına iş olanağı sağlanmasına yönelik çalışmalar kapsamında, Soma (Eynez, Geventepe, Darkale, Karanlıkdere) ve Tunçbilek (Büyükdüz) havzalarındaki sahaların özel sektörce işletilmesi sağlanmıştır.

Santral kurmaya elverişli işletilmemiş sahaların özel sektöre devredilmesi politikası sonucunda, Çankırı Orta'da asgari 165 MW, Şırnak Silopi'de 135 MW, Şırnak'da 2x135 MW termik santral kurma şartı ile sahaların ihaleleri yapılmıştır. İhaleyi kazanan firmalar işe başlamış olup, 2013 sonuna kadar projeleri tamamlanarak devreye alınması öngörülmektedir.

Buna ilaveten; 323 milyon ton görünür kömür rezervine sahip Adana Tufanbeyli'deki saha ile ilgili olarak da, elektrik santrali kurma ön şartlı olarak değerlendirilmek üzere çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca, Bingöl Karlıova'da termik santral kurulması şartı ile 2008 yılında çıkarılan ihalelerde teklif alınamamış ancak, bu yönde çalışmalar devam etmektedir.

Diğer yandan, EÜAŞ'ın uhdesinde olan Eskişehir-Mihalıççık sahasının işletilebilir 20 milyon ton rezerv içeren kısmı, en az 100 MW termik santral kurdurmak şartı ile rödovans karşılığı işlettirilmek üzere alınmıştır. Aynı saha mücavirinde kömür sahası bulunan EÜAŞ iştiraki KİAŞ vasıtasıyla her iki saha birlikte değerlendirilmek suretiyle 150 MW gücünde termik santral kurdurulmak üzere ihale edilmiştir. Firma 2x135 MW gücünde termik santral kurmak üzere lisans ve ÇED raporu almış olup, yeraltı hazırlık ve santral kurma çalışmaları devam etmektedir (TKİ, 2009).

Bu projelerin gerçekleşmesi halinde ilave bir 2112 MW Kurulu güç varolan kapasiteye eklenecektir. Bir başka deyişle yaklaşık 14 TWh ilave bir üretim gerçekleşecek, bu da

ithalata olan bağımlılığımızın azalmasına katkıda bulunacaktır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Özel sektöre devredilen ve devredilmesi düşünülen sahalar

	Rezerv (mton)	Kapasite
Bolu-Göynük	39	270
Çankırı Orta	51	372
Koyunağlı-Mihalıççık-Esk.	41	270
Şırnak-Silopi	50	405
Şırnak		270
Tufanbeyli-Adana	323	450
Karlıova-Bingöl	88	75

2 KAMUYA AİT REZERVLERİN ELEKTRİK ÜRETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kömür rezervlerinin elektrik enerjisi açısından değerlendirilmesi için öncelikli olarak santrallerin işletim karakteristikleri göz önüne alınmıştır. Daha sonraki değerlendirme ise üç aşamadan oluşmaktadır:

- İşletme değerlerine göre elektrik üretimi ve gerekli yakıt projeksiyonu,
- Projeksiyonların varolan rezervlerle değerlendirilmesi ve
- Kalan rezervlerin değerlendirilmesi.

2.1. Genel Durum Değerlendirmesi

Teorik olarak bir termik santral yılda 8760 saat çalışabilir. Ancak, bir santral tasarlanırken belli bir süre bakım ve arıza sonucu istenmeyen duraklamalar göz önüne alınmalıdır. Bunun dışında ayrıca işletim süresince belli bir kapasite kullanım faktörü üzerinden çalışacağı tasarlanmalıdır. Bu iki veri santralin maksimum çalışma süresini, maksimum üretim kapasitesini ve dolayısıyla gerekli yakıt miktarının hesaplanmasına yardımcı olacaktır. Santralin kapasite kullanım faktörü, zaman faktörü ve buna bağlı özgül yakıt tüketimi tasarım değerleri olarak hesaplanır. Normalde, problemsiz çalışan bir santralin gelecek yıllar üretebileceği maksimum elektrik enerjisi

miktarı da bu değerler üzerinden rahatlıkla hesaplanabilir.

Ancak sektörün yeniden yapılandırması sonucunda, emeklilikler ve deneyimli çalışanların ayrılmaları beraberinde kurumsal hafızanın kaybına da yol açmıştır. Bu yüzden, işletmede olan santrallerin tasarım değerleri ile ilgili olarak, farklı kaynaklarda farklı veriler ortaya çıkmış, hatta aynı genel müdürlük altında çalışan farklı birimlerin rakamlarında dahi sıkıntılar olmuştur. Raporların çoğu da tozlu raflar altında kalmıştır. Bununla birlikte, kamuya ait santrallerin genelde eski olması yüzünden tasarım değerlerini yakalamak zaten çok zor olacaktır.

Tasarım değerlerini bir kenara bırakırsak, santrallerin geçmiş yıllardaki üretimlerine bakarak ileriye yönelik bir projeksiyon yapmak da mümkündür.

Ya da kurulu kapasite ile ortalama çalışma saatine bakılarak bir üretim planlaması da yapılabilir.

Çalışmada ise öncelikli olarak hem işletim değerleri hem de bulunabildiği kadar tasarım değerleri incelenmiş, daha sonra işletmedeki kapasite faktörü ve tahmini zaman faktörü birlikte kullanılarak bir projeksiyon yapma yoluna gidilmiştir. Birim elektrik üretimi için gerekli olan yakıt miktarını ifade eden özgül yakıt tüketimi de geçmiş deneyimler üzerinden hesaplanmıştır.

Geçmiş deneyimlere bakıldığında kamu santrallerinin 6500 saatten daha az çalıştığı görülmektedir. Yönetimsel ve mekanik sorunların dışında mevsimsel yağış karakteristikleri ve garantili alım anlaşmaları da bu düşük performansın bir başka nedenidir. Uzun yıllar Devlet Planlama Teşkilatı'nın özelleştirme nedeniyle ilave yatırımlara izin vermemesi de bir diğer etken olarak düşünülebilir.

Çizelge 2 geçmiş yıllardaki fiili kapasite (yük) değerlerini ve hesaplamalarda kullanılan ortalama yük değerlerini verirken, Çizelge 3 geçmiş yıllardaki ve hesaplamada kullanılan özgül yakıt tüketimini vermektedir.

Yük değerlerinin ortalaması alınırken, yağışların bol olduğu ve ekonomik krizin etkilerinin hissedildiği yıllar, o yıldaki

gerçek performansı yansıtamayacağı için dikkate alınmamıştır. Özgül yakıt tüketiminde ise böyle bir ayrıma gerek duyulmamıştır.

Çizelgelerde ortalamalar hesaplanırken ekonomik ömrünü tamamlanmış olan Tunçbilek A ve Soma A termik santralleri hesaba katılmamıştır.

2.2. Projeksiyonlar

Elektrik enerjisi üretim projeksiyonlarındaki temel yaklaşımlardan bir tanesi, santrallerin yılda ortalama 6500 saat çalışacağı, bir başka deyişle zaman faktörünün %74 olacağıdır.

Hesaplamalarda kullanılan yük değerleri Çizelge 3'deki ortalama değerlerden, özgül yakıt tüketimleri de Çizelge 4'deki ortalama değerlerden alınmıştır.

Santralin kalan ömrü, toplam 40 yıl olarak öngörülen ekonomik ömürden, çalışma süresinin çıkartılması ile bulunmuş, buna göre de kalan ömrü boyunca yapacağı toplam kümülatif üretim ve toplam kümülatif gerekli yakıt miktarı hesaplanmıştır.

Bunun dışında sahada üretilen kömürün yalnızca enerji amaçlı değil bir kısmının teshin ve sanayi amaçlı olarak kullanıldığı da göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla, üretilecek kömürün Tunçbilek için %60, Zonguldak için %40, Soma için %30 ve diğer bölgelerde %10'u teshin ve sanayi tüketimine ayrılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5'de özetlenmiştir.

Buna göre, kamu santralleri kalan ömürleri de göz önüne alınarak, birlikte yılda toplam 41,18 TWh elektrik üretebilecek ve bu üretimi gerçekleştirmek için 68,4 mton yakıtı ihtiyaç duyacaktır.

2.3. Rezervlerin Elektrik Üretimine Göre Değerlendirilmesi

Çalışmanın ikinci aşamasında elde edilen sonuçlar rezervler ile birlikte değerlendirilmiştir. Burada hatırlatılması gereken husus her bir ton satılabilir üretim başına madencilikten kaynaklanan kayıpların olmasıdır. Genel olarak açık işletmeler için %10, yeraltı işletmeleri için de %30 kayıp normaldir. Bu çalışmada geçmiş deneyimler

de göz önüne alınarak Tunçbilek için %35, Soma ve Zonguldak için %30, diğerleri için ise %10 kayıp alınmıştır.

Çizelge 6 kümülatif kömür talebini. kayıplar dahil çıkarılacak kömürü ve santral ömrü bittiğinde kalacak tahmini rezerv miktarlarını göstermektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere Kangal Havzası hariç diğer tüm santrallerin olduğu bölgelerde hala rezervler kalmaktadır.

2.4. Kalan Rezervlerin Değerlendirilmesi

Çalışmanın son aşamasında kalan rezervlerin yeni üniteler açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Soma ve Tunçbilek bölgesinde santraller bir yandan ekonomik ömürlerini tamamlarken, diğer taraftan madenciliğin de açık işletmeden kapalı işletmeye kayacağı öngörülmüştür.

Tunçbilek bölgesinde şu anda 30 milyon tona yakın rezervin yerüstü madenciliği ile işletilmesi ve daha sonra yeraltı madenciliğine geçilmesi öngörülmektedir. Yani santral ömrünü tamamladığında yerüstü madenciliği de yerini yeraltı madenciliğine bırakmış olacaktır. Bu yüzden %35 kayıp yerine %40 kayıp alınmıştır.

Soma Havzasında, yerüstü madenciliği yapılan Deniz Sahası rezervleri de hemen hemen bitmiş olacaktır. Kalan bölgelerde ise yeraltı madenciliği öngörüldüğünden, burada da %5 daha fazla kayıp olması kaçınılmaz olacaktır. Dolayısı ile %35 kayıp öngörülmüştür.

Yatağan-Yeniköy Havzasında yeraltı madenciliğinin ikinci planlama periyodunda daha baskın olacağı göz önüne alınarak, burası için kayıp %10 kayıp yerine %30 olarak planlanmıştır. Diğer yataklar için ilk periyotta uygulanan kayıplar dikkate alınmıştır. Çan Havzası hariç diğer bölgelerde kurulacak olan santraller için 40 yıllık bir ömür alınırken, Çan'da önerilen yeni santral için kalan rezervlerde göz önüne alınarak 30 yıllık bir ömür öngörülmüştür. Sonuçlar ve önerilen ilave üniteler Çizelge 7'de verilmiştir.

2 SONUÇ VE ÖNERİLER

TKİ tarafından özel sektöre devredilen ve devredilmesi düşünülen sahaların işletmeye girmesiyle yılda ortalama 14 TWh ilave bir elektrik enerjisi üretilecektir. Çalışma sonucu kamu santralleri için önerilen ilave ünitelerle de ayrıca, yıllık ortalama 11 TWh elektrik üretmek mümkün olabilecektir.

EÜAŞ tarafından sürdürülen rehabilitasyon çalışmaları sonucunda da ilave bir 10 TWh üretim artışı umulmaktadır.

Yeni üniteler ve rehabilitasyon çalışmaları ile ülkemiz enerji arz güvenliğine katkıda bulunulacak ve ithalata olan bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olunacaktır.

Çalışmalar 14 yıl içinde Kangal Havzası rezervlerinin tükeneceğini göstermektedir. Ancak Kangal Termik Santrali'nin ilk iki ünitesi 20, üçüncü ünitesi 10 yaşındadır. Buradaki üretim planının gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Eynez ve Deniz sahaları 380 ve 160 milyon ton ile Soma Havzası'nın en büyük sahalarıdır. Eynez Sahası kömürlerinin hemen hemen tamamı ve Deniz Sahası kömürlerinin bir kısmı yıkanmakta ve sonrasında sanayi ve teshin amaçlı olarak satılmaktadır. Yıkama sonucunda oluşan atıklarla birlikte Deniz Sahası kömürlerinin büyük bir kısmı santrale gönderilmektedir. Deniz Sahası'nın öngörülen planlama periyodunda tükeneceği ve kalan rezervlerin daha yüksek bir ısı değere sahip olduğu ve farklı amaçlar için kullanılacağı göz önüne alınırsa, burada kurulması öngörülen yeni ünitenin yıkama sonrası kalan atıklarla beslenecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Soma Havzası gibi Zonguldak ve Tunçbilek Havzaları da ayrı bir biçimde değerlendirilmeli detaylı bir havza planı yapılmalıdır.

Çizelge 3. Geçmiş yılların fiili işletim kapasitesi ve hesaplanan ortalama değerler (MW)

Santraller	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Ortalama
Çatalağzı B	328	278	255	256	283	242	251	261	253	279
Afşin-Elbistan A	1.095	1.152	1.058	1.064	1.027	1.001	959	965	936	1.038
Afşin-Elbistan B							2.075	1.099	1.107	1.103
Çan							424	284	294	289
Kangal	405	464	386	348	370	353	367	369	370	368
Kemerköy	518	512	509	513	468	494	528	516	522	517
Orhaneli	220	198	182	180	176	181	177	179	188	196
Seyitömer	569	577	550	544	550	554	534	529	555	558
Soma B	849	829	845	848	814	779	798	789	812	822
Tunçbilek	285	332	264	273	321	326	333	381	384	377
Yatağan	571	563	530	528	508	529	532	562	590	572
Yeniköy	337	337	328	325	326	322	330	347	349	342
Toplam	4.971	4.612	4.247	4.315	4.621	6.897	6.420	6.083	6.318	6.294

Kaynak: ETKB 2008

Çizelge 4. Geçmiş yılların özgül yakıt tüketimi ve hesaplanan ortalama değerler (gr/kWh)

Santraller	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Ortalama
Çatalağzı B	750	863	789	822	820	856	821	824	869	823.2
Afşin-Elbistan A	2.318	2.348	2.474	2.375	2.575	2.686	2.417	2.473	2.577	2.421.1
Afşin-Elbistan B							1.964	2.139	2.147	2.143.3
Çan							729	767	814	791.3
Kangal	2.201	2.154	2.154	2.242	2.223	2.248	2.284	2.331	2.396	2.230.4
Kemerköy	1.562	1.449	1.527	1.516	1.565	1.461	1.412	1.363	1.444	1.454.3
Orhaneli	1.013	987	950	1.043	1.004	1.003	1.113	1.230	1.114	1.077.4
Seyitömer	1.537	1.558	1.464	1.495	1.491	1.526	1.461	1.516	1.465	1.517.9
Soma B	1.364	1.401	1.385	1.227	1.361	1.484	1.441	1.282	1.284	1.337.9
Tunçbilek	990	1.001	878	958	1.055	959	1.028	839	908	861.0
Yatağan	1.293	1.278	1.377	1.348	1.420	1.298	1.359	1.323	1.260	1.286.9
Yeniköy	1.571	1.551	1.553	1.467	1.437	1.353	1.262	1.140	1.072	1.342.7
Toplam	1.520	1.561	1.519	1.522	1.517	1.619	1.566	1.590	1.583	1.595

Çizelge 5. Kamu santralleri tarafından üretilmesi öngörülen elektrik enerjisi ve tahmini yakıt tüketimleri

Santraller	Kalan Ömür	Elektrik Üretimi (kWh)		Yakıt Tüketimi (ton)		
		Yıllık	Kümülatif	Yıllık Termik	Kümülatif Termik	Kümülatif Diğer
Çatalağzı B	20	1.811.985.830	36.239.716.599	1.490.494	29.809.890	19.873.260
AEATS	18	6.744.502.045	121.401.036.806	17.030.302	306.545.427	34.060.603
AEBTS	36	7.171.440.013	258.171.840.463	15.370.838	553.350.164	61.483.352
Çan	39	1.878.936.256	73.278.514.002	1.486.839	57.986.726	6.442.970
Kangal	14	2.389.250.461	33.449.506.456	4.677.370	65.483.176	7.275.908
Kemerköy	25	3.361.492.921	84.037.323.030	4.951.490	123.787.240	13.754.138
Orhaneli	23	1.273.294.096	29.285.764.213	1.341.465	30.853.692	3.428.188
Seyitömer	20	3.626.416.550	72.528.330.996	5.449.026	68.112.821	7.568.091
Soma	25	5.344.591.737	133.614.793.421	7.249.793	181.244.826	77.676.354
Tunçbilek	10	1.634.422.780	16.344.227.802	1.406.626	14.066.265	9.377.510
Yatağan	15	3.719.443.890	55.791.658.343	4.905.931	73.588.963	8.176.551
Yeniköy	20	2.225.688.046	44.513.760.919	3.060.145	61.202.907	6.800.323
Toplam		41.181.464.625	958.656.473.051	68.420.319	1.566.032.098	255.917.248

Çizelge 6. Kamu santrallerinin ömürleri sonunda kalan rezervler

Kamuya Ait Sahalar	Kümülatif Yakıt Tüketimi	İşletilecek Kümülatif Rezerv	2008 Sonu İtibariyle Rezervler	Santral Ömrü Sonunda Kalan Rezerv
		(ton)	(ton)	(ton)
Zonguldak Havzası	49.683.150	70.975.928	534.620.488	463.644.560
Elbistan Havzası (A ve B)	955.439.546	1.061.599.496	1.381.000.000	319.400.504
Çan Havzası	64.429.695	71.588.550	82.924.000	11.335.450
Kangal Havzası	72.759.085	80.843.428	83.200.000	2.356.572
Orhaneli Havzası	34.281.880	38.090.978	99.401.000	61.310.022
Seyitömer Havzası	75.680.913	84.089.903	152.509.000	68.419.097
Soma Havzası	258.921.181	369.887.401	666.083.000	296.195.599
Tunçbilek-Tavşanlı Havzası	23.443.775	36.067.346	283.017.000	246.949.654
Milas and Yatağan Havzası	287.310.123	319.233.469	438.495.000	119.261.531
Toplam	1.821.949.346	2.132.376.498	3.721.249.488	1.588.872.990

Çizelge 7. Kalan Rezervlerin elektrik enerjisi üretimi açısından değerlendirilmesi

Kamuya Ait Kömür Sahaları	Önerilen İlave Ünitelerin Kapasitesi (MW)	Öngörülen Üretim (kWh)		Öngörülen Yakıt Tüketimi (tons)		İşletilecek Rezervlerin Kümülatif Toplamı (ton)	Projeksiyon Başındaki Rezervler (ton)	Yeni Ünitelerin Ömrü Sonundaki Kalan Rezervler (ton)
		Termik Amaçlı Yıllık Üretim	Termik Amaçlı Kümülatif Üretim	Termik Amaçlı Yıllık Tüketim	Termik Amaçlı Toplam Kümülatif Tüketim			
Zonguldak Havzası	360	2.340.000	93.600.000	1.924.826	128.321.722	183.316.745	463.644.560	280.327.815
Elbistan Havzası (A ve B Sektörü)	460	2.990.000	119.600.000	6.408.588	284.826.139	316.473.488	319.400.504	2.927.017
Çan Havzası	55	357.500	10.725.000	282.897	9.429.892	10.477.658	11.335.450	857.792
Orhaneli Havzası	180	1.170.000	46.800.000	1.232.641	54.784.023	60.871.137	61.310.022	438.886
Seyitömer Havzası	140	910.000	36.400.000	1.367.359	60.771.512	67.523.902	68.419.097	895.195
Soma Havzası	140	910.000	36.400.000	1.336.920	76.395.413	117.531.404	296.195.599	178.664.195
Tunçbilek-Tavşanlı Havzası	160	1.040.000	41.600.000	895.051	89.505.087	149.175.146	246.949.654	97.774.509
Milas and Yatagan Havzası	210	1.365.000	54.600.000	1.876.767	83.411.877	119.159.824	119.261.531	101.706
Toplam	1.705	11.082.500	439.725.000	15.325.048	787.445.665	1.024.529.304	1.588.872.990	564.343.685

Elbistan Havzasındaki Kışlaköy ve Çöllolar sahalarının da yeni bir 460 MW kapasiteyi besleyeceği düşünülmektedir. Ancak yapılan yeni rezerv tespit çalışmaları sonucu bulunan ya da yeniden hesaplanan rezervler de kesin olarak sınıflandırıldıktan sonra sahalardaki sınırların yeniden tespit edilmesi ve burası için yeni bir Havza Planı hazırlanması etkin bir planlama için önemlidir.

Milas-Yatağan Havzası'nda her ne kadar yüksek miktarda rezerv kalacağı düşünülse de, gelecekte yer altı madenciliğine geçileceği ve kayıpların daha fazla olacağı öngörüsüyle yalnızca 210 MW'lık tek ünite düşünülmüştür.

Seyitömer ve Çan bölgeleri için de 180 MW ve 55 MW iki yeni ünite önerilmiştir.

Elbistan, Çan, Orhaneli ve Kangal bölgelerinde yeni üniteler madencilik şartları

da göz önüne alınarak eski ünitelerin ekonomik ömürleri bitmeden yapılabilir.

Diğerlerinin ise detaylı bir Havza Planı dahilinde planlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Elektrik Üretim AŞ Genel Müdürlüğü

Güler, M. 2010, Evaluation of State Owned Indigenous Coal Fired Power Plants Including Coal Reserves. Master Thesis (s.20. 35-36)

MİGEM, Maden İşleri Genel Müdürlüğü,

MTA 2009, Faaliyet Raporu 2009, s.151.

TKİ 2009, 2009 Yılı Faaliyet Raporu

Turkey 2009, Energy Policies of IEA Countries, Turkey 2009 Review, s.93.

2. BÖLÜM

ÜRETİM PLANLAMASI

Karbonatlı Kayaçlarda Blok Verimini Etkileyen Mühendislik Parametrelerinde Yeni Yaklaşımlar

New Approaches on Engineering Parameters Affecting Block Efficiency for Carbonate Rocks

Kerim Küçük, Turgay Onargan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Kimyasal bileşiminde %50'den fazla karbonat (CO₃) minerali içeren kayaçlara karbonatlı kayaçlar denilmektedir. İnsanlık tarihi boyunca, gerçek mermer, kireçtaşı ve traverten gibi karbonatlı kayaçlar, bloklar halinde kesilip işlenerek yaşadığımız her mekanda kullanılmıştır. Ticari boyutta blok alınabilen karbonatlı kayaçlarda amaç, işleme tesislerinin ve müşterinin istediği boyutlarda sağlam bloklar üretmektir. Mermer sahalarından en az kayıpla ticari boyutlarda mermer üretiminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle; jeolojik faktörlerin işletme öncesinde çok iyi etüt edilip; ocak işletme yönü ve üretim kademelerinin, sahada mevcut çatlak ve kırık sistemlerine göre dizayn edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, RMI sınıflama sistemindeki blok hacmi ve hacimsel eklem sayısı değerleri ile ISRM tarafından tanımlanan süreksizlik aralığı, süreksizlik devamlılığı ve hacimsel eklem sayısı parametreleri ele alınmıştır. Yirmiye yakın mermer işletmesinde yapılan süreksizlik ölçüm çalışmaları ve saha deneyimlerinin sonucunda bu parametreler için, blok olarak üretilen karbonatlı kayaçlara özel (gerçek mermer, kireçtaşı, traverten) yeni tanımlamalar geliştirilmiştir.

ABSTRACT The rocks that contain more than 50 % carbonate mineral within their chemical composition are called carbonate rocks. Throughout human history, carbonate rocks such as real marble, limestone and travertine are being cut in blocks, processed and readily used in many places in which we live. The objective in the carbonate rocks, from which the blocks can be taken, is to produce stiff and sound blocks at the dimensions that the processing plant or the customer demands. In order to achieve commercial marble production out of marble sites with the least amount of loss, geological factors should be well studied in priority and then quarry operating direction and production benches should be designed according to the present fracture and crack systems in the field.

In this study, the block volume and volumetric number of joints within the RMI classification system and also the parameters of the discontinuity spacing, discontinuity progression and volumetric number of joints defined by ISRM have been handled. As a consequence of discontinuity measurements at almost twenty marble sites and the experiences, regarding these parameters, new descriptions have been developed for the carbonate rocks (real marble, limestone, and travertine) which could be produced in the form of blocks.

1 GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir potansiyeli olan karbonatlı kayaç rezervlerimizden optimum koşullarda yararlanabilmemiz, mermer sahasının doğal koşulları ve/veya jeolojik parametrelerine uygun olarak doğru işletme şekli ve yönteminin belirlenmesi ile mümkün olabilecektir.

Ticari boyutta blok alınabilen karbonatlı kayaçlarda amaç, işleme tesislerinin ve müşterinin istediği boyutlarda sağlam bloklar üretmektir. Ayrıca üretilen mermerin, fiziksel ve fiziko-mekanik özellikleri açısından standartlara uygun, renk ve desen açısından da aranılan niteliklerde olması esastır.

Mermer sahalarından en az kayıpla ticari boyutlarda mermer üretiminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle; jeolojik faktörlerin işletme öncesinde çok iyi etüt edilip; ocak işletme yönü ve üretim kademelerinin, sahada mevcut çatlak ve kırık sistemlerine göre dizayn edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu nedenle mermer ocaklarından, minimum kayıpla maksimum blok mermer verimi elde etmek, ancak bilimsel ve teknik detay çalışmaların yapılması ve sahadaki jeolojik faktörlerin doğru bir şekilde belirlenerek işletilmesi ile mümkündür.

2 GENEL TANIMLAMALAR

Genellikle kaya kütleleri, homojen olmayan boşluk, çatlak, kırık, dolgu vb. özellikler içeren kütleler olarak tanımlanabilir. Kaya kütleleri içerisinde görülen bu özellikler, kütlelerin bloklar halinde heterojen bir yapı oluşturmasına neden olmaktadır.

Kaya kütlelerindeki bloklaşmanın ana nedeni, tektonizma sebebiyle kütlelerde oluşan kırılma, ezilme, bükülme gibi jeolojik oluşum parametreleridir.

Süreksizlikler şekil ve boyutları, sadece süreksizliklerin geometrik özelliklerinin bir fonksiyonu olmaktadır. Bloklaşmaya neden olan süreksizlik özellikleri, süreksizlikler arası mesafe, süreksizliklerin birbirine göre konumu, süreksizlik takım sayısı ve yine bu takımların birbirine göre konumu, süreksizlik yoğunluğu vb. olarak

sıralanabilir. Mevcut blok şekli ve dağılımı yerüstü ve yeraltı madenciliği ile taş ve mermer işletmeciliğinde, kaya kütlelerinin davranışı üzerinde göz önüne alınması gereken en önemli özellikten birisidir. Blok boyutu ve dağılımı, ocağın verimi üzerinde yapılan çalışmalarda karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca blok şekilleri ve boyut dağılımı ocağın duraylılığı üzerinde de önemli bir etken olarak nitelendirilmektedir. Tüm bu nedenler yüzünden, süreksizlik özellikleri ve ortaya çıkan kaya blok şekil ve dağılımları işletmeye başlanılmadan ortaya konulmalıdır (Turanboy, 2004).

Blok mermer üretimine geçilmiş ve bu amaçla oluşturulmuş olan kaya şevleri üzerinde süreksizlik ölçümlerinin yapılmasıyla, ocağın jeolojik parametreleri belirlenmekte ve dolayısıyla elde edilen bu verilerden yararlanılarak ocaktan elde edilebilecek minimum ve maksimum blok boyutları hesaplanabilmektedir.

Kayaçlarda oluşum sırasında veya tektonizma sonrasında meydana gelen, kayaçların bloklaşmasına sebep olan ve boyutlarını sınırlayan süreksizlik sistemleri, birçok bilim adamı tarafından incelenmiş, özellikle tünel ve yeraltı yapılarının destek dizaynında kullanılan tanımlama ve puanlama sistemleri geliştirilmiştir.

2.1 Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Bilim adamları tarafından geliştirilmiş kaya kütle sınıflama sistemlerine bakıldığında, genel olarak hepsinde kayacın içerdiği yapısal özellikler göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılmaktadır. 1946'dan bu yana değişik araştırmacılar tarafından, değişik kaya kütle sınıflama sistemleri geliştirilmiş ve/veya önerilmiştir. Bu sistemlerin bir bölümü, kendilerinden önce önerilmiş olan sistemlerin, bazı faktörler dikkate alınarak yeniden düzenlenmesi sonucunda ortaya çıkmıştır.

Kaya kütle sınıflama sistemleri doğru bir şekilde kullanıldıkları zaman bu sistemler, üretim öncesi ve sonrasında yararlı birer araç olabilmektedirler.

Mermer madenciliğinde esas olan blok boyutu parametresi, sınıflandırma

sistemlerinde sadece MBR ve RMI sınıflama sistemlerinde ele alınmıştır (Çiz. 1).

Çizelge 1. Farklı sınıflama sistemlerinde kullanılan sayısal parametreler

Parametreler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Blok Boyutu							•						•
Blok eklem oryantasyonu							•						•
Eklem set sayısı			•			•						•	•
Eklem uzunluğu													•
Eklem aralığı	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Eklem dayanımı	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Kaya tipi		•											
Gerilme durumu				•	•		•						
Su durumu		•	•	•	•	•	•	•	•			•	
Sağlam kayanın dayanımı			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Patlatma hasarı					•		•					•	

- 1 → Rock Quality Designation (RQD)
 2 → Rock Structure Rating (RSR)
 3 → Rock Mass Rating (RMR)
 4 → The Rock Mass Quality System (Q)
 5 → Mining Rock Mass Rating (MRMR)
 6 → Rock Mass Strength (RMS)
 7 → Modified Basic Rock mass rating (MBR)
 8 → Simplified Rock Mass Rating (SRMR)
 9 → Slope Mass Rating (SMR)
 10 → Ramamurthy and Arora Classification (RAC)
 11 → Geological Strength Index (GSI)
 12 → Rock Mass Number (N)
 13 → Rock Mass index (RMI)

Bu çalışmada, Palmström tarafından Tünel ve yeraltı yapılarının destek dizaynı için geliştirilen RMI (Kaya Kütle İndeksi) sınıflama sistemindeki blok hacmi (Vb) ve hacimsel eklem sayısı (Jv) değerleri ile ISRM (1981) tarafından tanımlanan süreksizlik aralığı, devamlılığı ve hacimsel eklem sayısı değerleri mermer madenciliğine uyarlanarak yeni tanımlama ve puanlama yöntemi oluşturulmuştur.

2.1.1 Blok boyutu ve hacmi

Blok boyutu veya hacmi; süreksizlik aralığı, süreksizlik set sayısı ve rasgele eklemeler ile açıklanmakta, bir başka deyişle süreksizlikler ile blok şekil ve boyutları arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Kısaca blok şekil ve boyutlarını süreksizlikler ortaya koymaktadır. Palmström, 2000).

Blok boyutu veya hacmi, mermer işletmeciliğinde üretim açısından en önemli parametrelerden biridir. Mermer

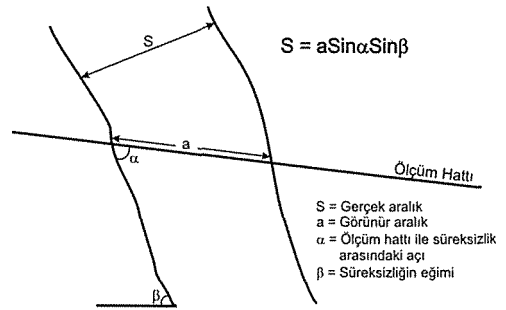
sahalarından alınabilecek blok boyutlarını sınırlayan kaya kütlelerinde mevcut süreksizliklerin birbirlerine göre konumu, eğim ve doğrultuları blok boyutlarını belirleyen parametrelerdir.

Karbonatlı kayaç olarak adlandırılan mermerlerin doğal oluşumları veya tektonizma sonrasında yapılarında meydana gelen birbirine paralel gelişen süreksizlikler daha düzgün şekilli (prizmatik veya eşyüzlü), birbirini kesen süreksizlikler ise daha şekilsiz bloklar (çok yüzlü bloklar) oluşturmaktadır.

2.1.2 Süreksizlik aralığı

Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemelerden oluşan bir süreksizlik takımındaki iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir (Ulusay ve Sönmez, 2002).

Süreksizlik aralığı, blok mermer üretiminde blok boyutlarını kontrol eden en önemli parametrelerden biridir. Arazi çalışmalarında çelik şerit metre süreksizliklere dik yönde seçilememesi durumunda iki tür açıklık ölçümü söz konusu olmaktadır. Bunlardan birincisi, çelik şerit metrenin tutulduğu hat boyunca görülen süreksizlikler arasındaki mesafe, *görünür aralık* olarak; kayacın doğal oluşumunda birbirine paralel gelişmiş süreksizlikler arasındaki dik mesafe ise *gerçek aralık* olarak bilinmektedir (Şek. 1).



Şekil 1. Gerçek ve görünür süreksizlik aralığı hesaplama örneği

ISRM (1981) tarafından süreksizlik aralığı değerlerine göre tanımlama ölçütleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Süreksizlik aralığının tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Tanımlama	Aralık (mm)
Çok dar aralıklı	<20
Dar aralıklı	20-60
Yakın aralıklı	60-200
Orta derecede aralıklı	200-600
Geniş aralıklı	600-2000
Çok geniş aralıklı	2000-6000
İleri derecede geniş aralıklı	>6000

2.1.3 Süreksizliklerin devamlılığı

Süreksizlik düzlemleri kaya kütlelerinde sonsuz bir devamlılığa sahip değildir. Süreksizliklerin uzunluğu bir kaya kütlelerinde veya üretim basamağında, çalışılan bölgenin görülen kısmı ile sınırlı olmaktadır.

Süreksizliklerin devamlılığı, mostradan veya basamak aynasından şerit metre yardımı ile ölçülmektedir. Süreksizliklerin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesi devamlılığın ölçülmesinde önemli olup, çoğunlukla süreksizliklerin her iki ucunun da ölçüm yapılacak bölgede belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Devamlılığı ölçülecek olan her bir süreksizliğin uçlarının basamak aynasında veya mostrada devam edip etmediği belirlenmelidir. Devamlılığın tespitinde, süreksizliğin varsa alt veya üst kademelerden takibinin yapılması gerekmektedir.

Süreksizliklerin devamlılığına yönelik ISRM (1981) tarafından yapılan tanımlama ölçütleri Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Süreksizliklerin devamlılığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1 m.
Düşük derece devamlılık	1-3 m.
Orta derece devamlılık	3-10 m.
Yüksek devamlılık	10-20 m.
Çok yüksek devamlılık	>20 m.

2.1.4 Hacimsel Eklem Sayısı (J_v)

Hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. Bu parametrenin tayininde rastgele gelişmiş süreksizlikler de dikkate alınabilir ancak bunlar J_v 'yi önemli ölçüde etkilememektedir. Bu konuda elde edilen deneyimler, ölçüm hattı uzunluklarının 5-10 m arasında seçilebileceğini göstermiştir (Palmström, 1995). Hacimsel eklem sayısı değerlerine göre ISRM (1981) tarafından yapılan tanımlamalar Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 4. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981)

Tanım	J_v (eklem /m ³)
Çok geniş bloklar	< 1
Geniş bloklar	1 – 3
Orta büyüklükteki bloklar	3 – 10
Küçük bloklar	10 – 30
Çok küçük bloklar	> 30

J_v , aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (1)$$

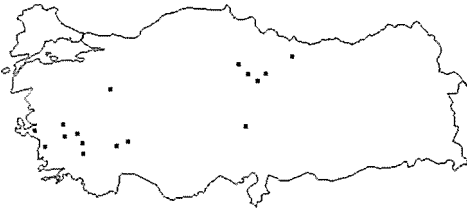
N_n : Ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı

L_n : Eklem setine dik yöndeki ölçüm hattı uzunluğu

3 SAHA ÇALIŞMALARI

Karbonatlı kayalarda blok verimliliğine yönelik yapılan arazi çalışmalarında, süreksizlik aralığı, süreksizliklerin devamlılığı ve hacimsel eklem sayısı parametreleri kullanılmıştır.

Yirmiyeye yakın, farklı bölgelerde bulunan mermer (gerçek mermer, kireçtaşı, traverten) sahalarından elde edilen süreksizlik aralığı, süreksizliklerin devamlılığı ve hacimsel eklem sayısı verilerinde belirli değer aralıklarına göre farklı tanımlama çalışmaları yapılmıştır (Şek. 2).



Şekil 2. Ölçüm çalışmalarının yapıldığı işletme lokasyonları

3.1 Süreksizlik Aralığı Parametresi

Yapılan arazi çalışmaları sonucunda, ölçüm hattı ile süreksizlik arasındaki açı ve süreksizlik eğiminden süreksizlikler arasındaki gerçek süreksizlik aralıkları hesaplanmıştır.

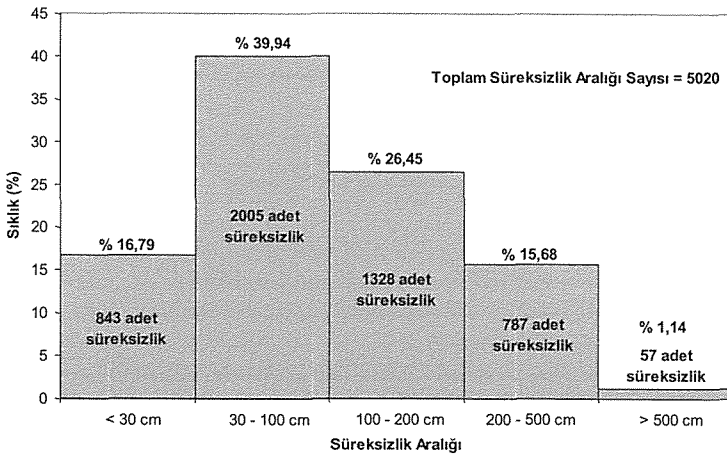
Mermer sahalarında ölçülen 5020 adet süreksizlik aralığı değerleri,

- 843 adedi (%16,79'u) 30 cm ve daha küçük
- 2005 adedi (%39,94'ü) 30 cm-100 cm arasında
- 1328 adedi (%26,45'i) 100 cm-200 cm arasında
- 787 adedi (%15,68'i) 200 cm-500 cm arasında
- 57 adedi (%1,14'ü) 500 cm'den büyük olarak ölçülmüştür.

Blok boyutu ve veriminin belirlenmesine yönelik mermer sahalarında toplam 5020 adet süreksizlik aralığı değeri ölçülmüş ve bu verilere göre süreksizlik aralık değerlerinin % sıklık dağılım grafiği çıkarılmıştır (Şek. 3). Ölçülen süreksizlik aralık değerlerinin sayısı ve % sıklık değerleri Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 5. Ölçülen süreksizlik aralıkları ve % sıklık değerleri

Süreksizlik Aralığı	Ölçülen Süreksizlik Aralığı Sayısı	Sıklık Değeri (%)
< 30 cm	843	16,79
30 – 100 cm	2005	39,94
100 – 200	1328	26,45
200 – 500	787	15,68
> 500 cm	57	1,14
TOPLAM	5020	100



Şekil 3. Süreksizlik aralıkları yüzde sıklık dağılım grafiği

Hesaplanan değerlere göre ISRM tarafından yapılan tanımlamalar mermer ocaklarına göre uyarlanmış olup, süreksizlik aralık değerleri tanımlamaları Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6. Mermer ocaklarına uyarlanan süreksizlik aralığı tanımlamaları

Aralık (m)	Tanımlama
< 0,3	çok dar aralıklı (parçalanmış)
0,3 - 1,0	yakın aralıklı (çok kırıklı)
1,0 - 2,0	orta derece aralıklı (kırıklı)
2,0 - 5,0	geniş aralıklı (az kırıklı)
> 5,0	çok geniş aralıklı (masif)

3.2 Süreksizlik Devamlılığı Parametresi

Mermer ocaklarında mevcut üretim basamaklarının aynasından veya mostradan ölçülen süreksizliklerin devamlılığı parametresine mermer işletmeciliği için yeni bir tanımlama getirilmiştir.

Devamlılık değerlerine ve bunlara karşılık gelen devamlılık tanımlamaları Çizelge 7'de verilmektedir.

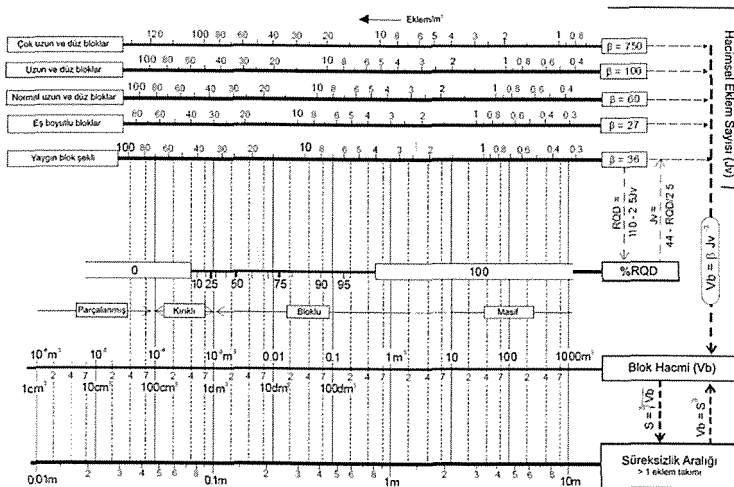
Çizelge 7. Mermer ocaklarına uyarlanan devamlılık değerlerine göre tanımlamalar

Devamlılık (m)	Tanımlama
< 1,0	çok düşük devamlılık
1,0 - 3,0	düşük derecede devamlılık
3,0 - 7,0	orta derecede devamlılık
7,0 - 10,0	yüksek devamlılık
10,0 - 20,0	çok yüksek devamlılık
> 20,0	aşırı yüksek devamlılık

3.3 Mermer İşletmeciliğinde RQD ile Blok Boyutu İlişkisi

% RQD değeri, 10 cm ve 10 cm'den büyük alınan sağlam karot uzunluğu toplamının, toplam ilerleme uzunluğuna oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Deere ve diğ., 1967). Karotlu sondajlar ile süreksizlik özelliklerinin (devamlılık, aralık...vb) ortaya konulması ancak sık aralıklarla bir çok sondaj yapılmasını gerektirir ki bu da yüksek maliyetli bir işlemdir. Yapılan sondajların da yönlü olarak yapılması ve titizlikle çalışılması gerekmektedir.

Palmström (2000) tarafından yapılan çalışmalarda; blok hacmi, hacimsel eklem sayısı, % RQD ve süreksizlik aralığı değerleri arasındaki ilişki ortaya konulmuştur (Şek. 4).



Şekil 4. Hacimsel eklem sayısı, % RQD değeri ve blok hacmi arasındaki ilişki (Palmström, 2000)

% RQD değeri üzerine yapılan araştırmalarda her zaman düşey yönde açılan sondajların doğru sonuçlar vermeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Düşey olarak açılan sondajlarda süreksizliklerin eğim ve doğrultularını içeren yönelimleri ve birbirleriyle oryantasyonunu yakalamak her zaman mümkün olmayabilmektedir.

Mermer sahalarından alınabilecek blok hacimleri 1 m^3 ün üzerinde olması gerektiği düşünülürse, Şekil 4'de Palmström tarafından yapılan skalaya bakıldığında, % RQD değeri 100 olduğunda, blok hacmi 1 m^3 'ün altında kalmaktadır. Mermer sahalarında yapılan karotlu sondajlarda 10 cm 'den büyük karot alınabilir ancak bu, sahadan blok alınabilir anlamına gelmemektedir. Dolayısıyla, mermer sahalarında yapılacak karotlu sondajlardan süreksizliklere göre blok boyutunun belirlenmesi yanıltıcı olacaktır. Kaya kütle sınıflama sistemlerinde sıkça kullanılan % RQD değerinin, mermer madenciliğinde bir etkisinin bulunmaması nedeniyle, % RQD değeri yapılan çalışmalar kapsamına dahil edilmemiştir.

3.4 Blok Boyutlarının Değerlendirilmesi

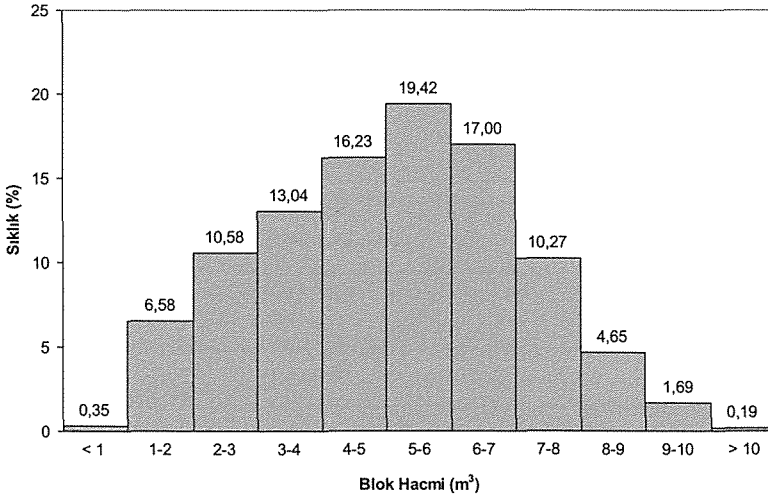
Bir mermer sahasının ekonomik olarak işletilebilmesi için; en az 1 m^3 ticari boyutlarda blok mermer verebilmesi,

teknolojik ve fiziko-mekanik özellikleri açısından standartlara uygun, renk ve desen açısından da aranılan niteliklerde olması gerekmektedir.

Hacimsel eklem sayısı, süreksizlik aralığı ve devamlılığı parametrelerinin ölçüldüğü mermer sahalarından çıkarılmış olan toplam 2600 adet mermer bloğun hacim verileri değerlendirilmiştir. Çizelge 8'de elde edilen verilerin detayları, Şekil 5'te ise blok hacimlerinin % sıklık grafiği verilmektedir.

Çizelge 8. Üretilen blokların hacim aralıkları ve % sıklık değerleri

Blok Hacim Aralığı	Blok Sayısı	Sıklık Değeri (%)
$< 1 \text{ m}^3$	9	0,35
$1 \text{ m}^3 - 2 \text{ m}^3$	171	6,58
$2 \text{ m}^3 - 3 \text{ m}^3$	275	10,58
$3 \text{ m}^3 - 4 \text{ m}^3$	339	13,04
$4 \text{ m}^3 - 5 \text{ m}^3$	422	16,23
$5 \text{ m}^3 - 6 \text{ m}^3$	505	19,42
$6 \text{ m}^3 - 7 \text{ m}^3$	442	17,00
$7 \text{ m}^3 - 8 \text{ m}^3$	267	10,27
$8 \text{ m}^3 - 9 \text{ m}^3$	121	4,65
$9 \text{ m}^3 - 10 \text{ m}^3$	44	1,69
$> 10 \text{ m}^3$	5	0,19
TOPLAM	2600	100



Şekil 5. Ölçülen blok hacimlerinin yüzde sıklık dağılım grafiği

4 SONUÇLAR

Mermer ocak işletmeciliğinde üretime başlamadan önce bilinmesi gereken en önemli hususlardan biri, mermer sahasının ticari boyutlarda blok verip vermeme durumudur. Mermer sahalarından en az kayıpla, ticari boyutlarda mermer üretiminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle; jeolojik faktörlerin işletme öncesinde çok iyi etüt edilip; ocak işletme yönü ve üretim kademelerinin, sahada mevcut çatlak ve kırık sistemlerine göre dizayn edilmesi büyük önem taşımaktadır.

ISRM tarafından önerilen süreksizlik aralığı ile devamlılık tanımlama ve değerleri, blok boyutunun çok önemli olduğu mermer madenciliği için sağlıklı sonuçlar vermemektedir.

Yapılan saha çalışmaları sonucunda, mermer sahalarından alınabilecek blok boyutu ve blok verimliliğine yönelik çalışmalarda kullanılmak üzere, Palmström ve ISRM tarafından önerilen süreksizlik aralığı, devamlılığı ve hacimsel eklem sayısı parametreleri için yeniden tanımlamalar ve değer aralıkları belirlenmiştir.

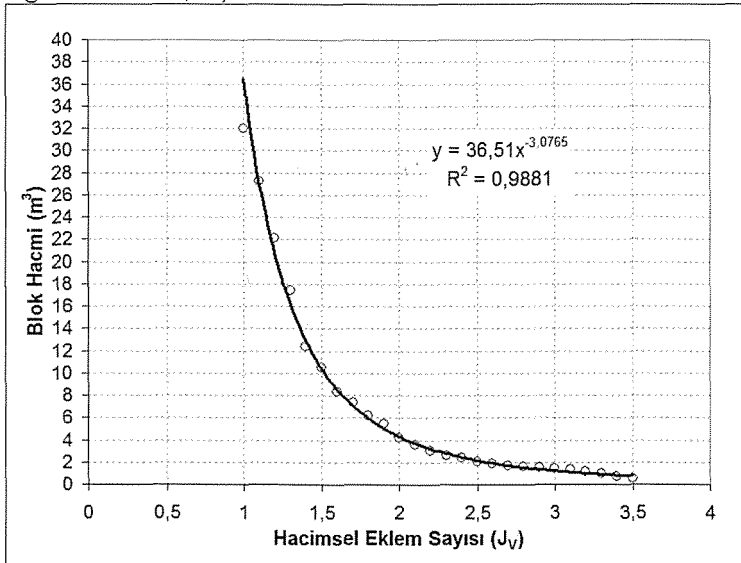
Mermer sahalarında yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda elde edilen süreksizlik özellikleri değerlendirilerek; işletmelerden

alınan blok boyutları ile işletme basamaklarında belirlenen hacimsel eklem sayıları karşılaştırılmış, her bir hacimsel eklem sayısı değerine karşılık gelen blok hacim değerleri belirlenmiştir. Hacimsel eklem sayısı değerlerine karşılık gelen blok hacimleri grafiği Şekil 6'da verilmektedir.

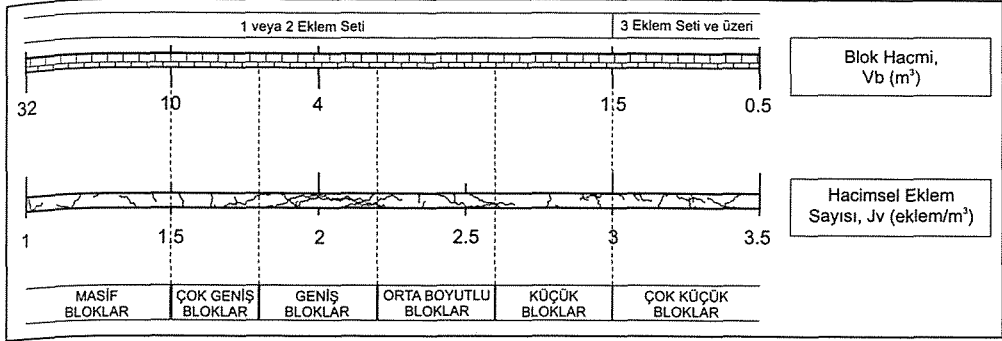
Şekil 4'deki skalada, yapılan bütün saha çalışmaları sonucunda mermer madenciliği için hacimsel eklem sayısı-blok hacmi ilişkisini ortaya koyan bir skala geliştirilmiştir (Şek. 7).

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, mermer sahalarından alınabilecek blok boyutlarını belirlemede % RQD değerinin önemini olmadığı; sahanın genelinde bulunan süreksizlik ve süreksizlik takımlarının yapılan karotlu sondaj ile ortaya konulamayacağı belirlenmiştir.

Mermer fabrikalarında katraklık blok boyutları en az 6 m³ civarında olması istenmektedir. Buna göre, mermer işletmelerinden üretilen blok hacimlerine göre (Şek. 5), toplam üretilen blokların yaklaşık % 33,8'i katraklık blok olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 6. Hacimsel eklem sayısı-blok hacmi grafiği



Şekil 7. Hacimsel eklem sayısı-blok hacmi arasındaki ilişki

Yirmiye yakın mermer sahasında yürütülen bu çalışmalar, diğer bölgelerde bulunan mermer sahaslarında da uygulanarak bilinçsiz yatırımın ve ocaklardaki düşük blok verimliliğinin önüne geçilmeli, ülkemizin doğal kaynakları akıllıca ve bilimsel yöntemler kullanılarak verimli bir şekilde değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In Failure and breakage of rock, *Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech.*, 237-302. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
- ISRM, 1981. Basic geotechnical description of rock masses, *Int. Society of Rock Mech. Commission on the classification of rock and rock masses*, 18, (s. 85-110).
- Küçük, K., 2009. Mermer Sahalarından Alınabilecek Blok Boyutlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Kayaç Kütle Sınıflama Yönteminin Geliştirilmesi, *D.E.Ü. Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi*, 240 s.
- Palmström, A., 1995. RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes, *PhD Thesis*, Oslo University.
- Palmström A., 2000. Block Size and Block Size Distribution, *GeoEng2000 Conference*, Norway.
- Turanboy, A., 2004. Kaya kütleleri içindeki süreksizlik dağılımlarının ortaya konulmasında yeni bir yaklaşım, *VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.

Bulanık AHS Yöntemi ile Açık Ocak Kamyonu Seçimi *Open Pit Truck Selection by using Fuzzy AHP Method*

M. Yavuz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Karar verme hem fen hem de sosyal bilimlerde çok fazla uygulama alanı bulmuş bir Yöneylem Araştırması dalıdır. Literatürde karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak Açık Ocak kamyonu seçimi yapılmış ve problemin en uygun çözümü araştırılmıştır. Türkiye Kömür İşletmelerinden alınan veriler yöntemin uygulamasında kullanılmıştır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci'nin madencilikteki farklı karar verme problemlerinin çözümünde karar vericilere yardımcı olabilecek bir yöntem olduğu görülmüştür.

ABSTRACT Decision-making, which has found many application areas both science and the social sciences, is a branch of Operations Research. There are many different methods developed to solve decision making problems in the literature. In this study, Fuzzy Analytic Hierarchy Process method was performed for the selection of Open Pit truck and the optimal solution of the problem was investigated. Data from Turkish Coal Enterprises was used in the application of the method. It was found that Fuzzy Analytical Hierarchy Process is a method that may help decision-makers in solving different decision-making problems in mining.

1 GİRİŞ

Karar verme hem fen bilimleri hem de sosyal bilimler alanında sıklıkla kullanılan bir bilim dalıdır. Hem nitelik hem de nicelik olarak ölçülebilen ölçütlerin değerlendirilmesinde çok farklı karar verme yöntemleri kullanılarak en uygun ve doğru kararların alınması sağlanabilmektedir. Aslında bütün insanlar günlük hayatlarında sürekli önemli kararlar verirler. Maden mühendisleri de günlük madencilik faaliyetleri sırasında önemli kararlar vermek zorundadırlar. Bu kararların tamamı Maden Mühendislerinin bilgi, yetenek, tecrübe ve içgüdüleri ile verdikleri kararlardır. Günlük madencilik faaliyetleri sırasında verilen bazı basit kararlar hatalı bile olsa, işletmenin geleceği

açısından çok ciddi sorun oluşturmadan hatanın telafi edilmesi mümkündür. Ancak, üretim yöntemi seçimi, ekipman seçimi, yer seçimi, ocak tasarımı seçimi gibi bazı önemli kararların yanlış verilmesi durumunda çoğu zaman işletmeler gerek emniyet ve gerekse ekonomik açıdan çok ciddi sıkıntılar ile karşı karşıya kalabilirler. Bu nedenle, Maden Mühendislerinin işletmenin geleceği açısından önemli olan bazı kararları verirken uygun bir karar verme yöntemi kullanarak en doğru kararların verilmesine çalışmalarını son derece önemlidir.

Literatürde karar verme çok geniş bir 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 grup birbiri ile karıştırılmaktadır. Eğer bir karar problemi matematiksel olarak ifade edilebiliyorsa Çok Amaçlı Karar Verme, aksi takdirde ise Çok Nitelikli Karar Verme yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir. Karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen birçok Çok Nitelikli Karar Verme yöntemi bulunmaktadır.

Madencilik alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde çeşitli Karar Verme tekniklerinin farklı problem tiplerinde kullanıldığı görülmektedir. Bulanık Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerinden Yager yöntemi ekipman seçimi, yeraltı üretim yöntemi seçimi ve tesis yeri seçimi (Acaroglu vd., 2006; Alpay ve Yavuz, 2009; Bitarafan ve Ataei, 2004; Karadogan vd., 2001; Kesimal ve Bascetin, 2002; Yavuz, 2008) problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile delik delme yatırım analizi, tahkimat tasarımı, tünel tasarımı, tesis yeri seçimi ve risk analizi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Alpay ve Yavuz, 2007; Ataei, 2005; Kazakidis vd., 2004; Yavuz ve Alpay, 2008; Yavuz ve Ankara, 2006; Yavuz vd., 2008;). Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi kullanılarak yeraltı üretim yöntemi ve ekipman seçim problemi çözülmüştür (Yavuz ve Alpay, 2008; Yavuz, 2009). Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak en uygun mermer blok kesim yöntemi belirlenmiştir (Eleren ve Ersoy, 2007). Bu tekniklerin yanında Elevli ve Demirci (2004) PROMETHEE tekniğini kullanarak bir yeraltı krom ocağında nakliyat sistemi seçimini yapmışlardır.

Dünya madenciliği son dönemde incelendiğinde, açık işletme madenciliğinin yeraltı madenciliğine oranla daha yaygın bir şekilde uygulama alanı bulunduğu görülmektedir. Oysaki yüzeye yakın yüksek tenörlü cevher ya da maden yatakları büyük ölçüde tükenmiş, daha derinlerde bulunan düşük tenörlü cevher ya da maden yataklarının kazanılması bir zorunluluk halini almıştır. Buna rağmen, özellikle ekipman teknolojileri ve kapasitelerindeki

olumlu değişimlerin etkisi ile açık işletmelerde daha derinlerde ve daha yüksek kapasitelerde üretimlerin yapıldığı görülmektedir. Artan yeraltı maliyetleri ile yeraltı koşullarındaki iş sağlığı ve güvenliği kısıtlamaları nedeni ile de açık işletmecilik tercih edilen bir üretim seçeneği durumuna gelmiştir.

Bu çalışmada, BAHS yöntemi kullanılarak Açık Ocak kamyonu seçimi yapılmıştır. Türkiye Kömür İşletmelerinden alınan veriler kullanılarak alınması düşünülen Açık Ocak kamyonu seçimi problemine BAHS yöntemi uygulanmıştır. Ekipman seçimi probleminin en uygun çözümü araştırılmış ve BAHS yönteminin madencilikteki karar verme problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

2 BULANIK AHS YÖNTEMBİLİMİ

Gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde etkin bir biçimde kullanılan AHS yöntemi, ikili karşılaştırmalar sürecinde gerçek sayıların kullanılması açısından eleştirilmektedir. Karar vericilerin nicelik açısından (sayısal) tahminler yapma konusunda başarısız olduğu, ancak niteliksel tahminlerde nicelik açısından tahminlere göre daha etkin olduğu bilinmektedir (Kulak ve Kahraman, 2005). Klasik AHS'de karar vericiler değerlendirmeleri yaparken gerçek değerleri kullanırken, BAHS'de bulanık sayıları veya dilsel değişkenler kullanarak daha kolay değerlendirme yapabilmektedirler. Aslında, BAHS, AHS süreci yöntemini, bulanık mantık ve dilsel değişkenlerin kullanımını birleştirmiş bir problem çözme tekniği olarak tanımlanmaktadır (Öztürk vd., 2008).

2.1 Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar

Bulanık kümeler kuramı, Zadeh'in klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle, özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut olmayışından doğmuştur. Bulanık kümeler kuramı, muğlak ve belirsiz olan problemlerin çözülmesi için

geliştirilmiştir. Zadeh'ten bu yana bulanık mantık ve bulanık kümeler kuramı pek çok alanda uygulama bulmuş ve hızla gelişmiştir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).

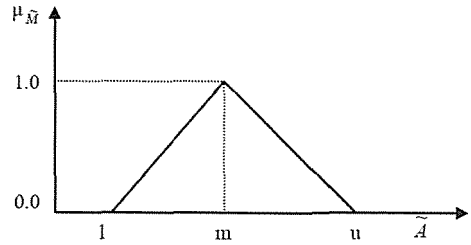
Bulanık küme, sürekli üyelik derecesine sahip nesnelar kümesi olarak tanımlanmaktadır. Bulanık küme, her nesneyi 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu ile nitelendirmektedir (Zadeh, 1965). E evrensel kümesinde tanımlanan, bulanık küme A için $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$ şeklinde ifade edilir. Bulanık A kümesindeki x elemanı için üyelik derecesinin gösterimi:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in E\} \quad (1)$$

şeklindedir (Zimmermann, 1992). μ_A üyelik fonksiyonu $[0,1]$ kapalı aralığında gerçek bir sayıyı göstermektedir (Zadeh, 1975). Bu aralıktaki sayılardan "0" sayısı ilgini nesnenin kümenin üyesi olmadığını, "1" sayısı ise ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu belirtmektedir. Bu iki değer arasında bulunan her hangi bir sayı ise ilgini nesnenin kümeye kısmi üyeliğini göstermektedir.

Bulanık sayılar dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı-süreklil üyelik fonksiyonları olan bir bulanık küme olarak ifade edilmektedir. Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Yapılan çalışmaya göre farklı bulanık sayıları kullanmak mümkündür. Genelde üçgen ve yamuk olmak üzere iki farklı bulanık sayının uygulamalarda kullanılması söz konusudur. Bu çalışma içerisinde üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Üçgen bulanık sayılar, üç tane gerçek sayıyla tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşidi olup (l, m, u) şeklinde ifade edilmektedir. l, m ve u parametreleri sırasıyla en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri göstermektedirler. Üçgen bulanık sayı \tilde{A} 'nın gösterilişi aşağıdaki Şekil 1 ile verilmektedir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).



Şekil 1. Üçgen bulanık sayı, \tilde{A} .

Üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mu(w/\tilde{A}) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (2)$$

Üçgen bulanık sayılarda tanımlanmış birçok işlem bulunmakta olup aşağıda çalışmada kullanılan işlemler açıklanmıştır. $\tilde{A}_1=(l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2=(l_2, m_2, u_2)$ iki pozitif bulanık sayı ve k ise pozitif bir gerçel sayı olmak üzere:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (3)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A} \otimes k = (l_1 \cdot k, m_1 \cdot k, u_1 \cdot k) \quad (5)$$

$$\tilde{A}^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (6)$$

Ayrıca iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık vertex yöntemi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Öztürk vd., 2008):

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (7)$$

2.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

Thomas L. Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHS yöntemi belki de en yaygın olarak kullanılan Çok Nitelikli Karar Verme yöntemlerinden bir tanesidir. AHS yöntemi,

uzman kişilerin bilgilerini ele alan ancak insani düşünce tarzını tam olarak yansıtamayan bir yöntemdir. Bunun yanında, AHS yöntemi, ikili karşılaştırma süreçlerinde var olan belirsizlik ve kararsızlık durumlarında çeşitli yetersizliklere sahip olduğu düşüncesiyle eleştirilmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek amacı ile BAHS yöntemi geliştirilmiştir.

İlk BAHS yöntemi ile çalışma Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak yapılmıştır. Buckley (1985), karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerinin yamuk üyelik fonksiyonları ile belirtildiği BAHS yöntemini literatüre önermiştir. Chang (1996), ikili karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak BAHS için yeni bir yaklaşım ortaya atmış ve ikili karşılaştırmalarda genişletilmiş analiz yöntemi kullanmıştır. Bu çalışmada kullanılacak hesaplama yöntemi Chang (1996) tarafından önerilen yaklaşımdır.

Chang'ın BAHS yöntemi aşağıda açıklanmıştır. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, bir ölçüt kümesi ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, bir amaç kümesi olsun. Chang'ın yöntemine göre, her bir ölçüt alımı ve her bir hedef için merite analizi uygulanır. Böylece her bir ölçüt için m tane merite analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m \quad i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Burada bütün $M_{g_i}^j$ ($j=1, 2, \dots, m$) ler üçgensel bulanık sayılardır. Chang (1996) tarafından geliştirilen merite analizinin adımları şu şekilde özetlenebilir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).

Adım 1: Ölçüt i 'ye göre bulanık sentetik mertebenin değeri şu şekilde tanımlanır.

$$S_i = \left[\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \right] \quad (9)$$

Buradaki $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için m merite analiz değerine

aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi bulanık toplama işlem uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (11)$$

Sonra yukarıda elde edilen vektörün tersi elde edilir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (12)$$

Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)] \quad (13)$$

Denk olarak aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) \text{ veya}$$

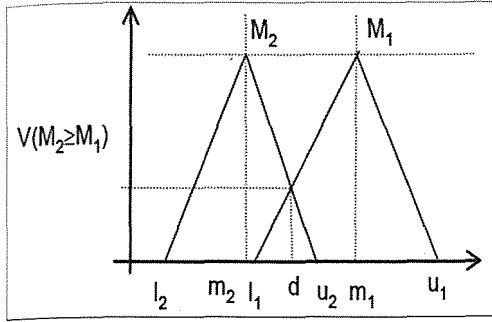
$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (14)$$

Denk şekilde $V(M_2 \geq M_1)$ i, d , μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası D 'nin ordinatı olmak üzere Şekil 2'de görüldüğü gibi de ifade edebiliriz (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).

M_1 ve M_2 'yi kıyaslayabilmek için $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin her ikisi de gerekmektedir.

Adım 3: Bir konveks bulanık sayının k tane konveks bulanık sayıdan M_i ($i=1, 2, \dots, k$) büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } V(M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } V(M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), \quad i=1, 2, \dots, k \quad (15)$$



Şekil 2. M_1 ve M_2 arasındaki kesişim noktaları.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (16)$$

olduğunu varsayalım, $k=1,2,\dots,n$; $k \neq i$ için ağırlık vektörü aşağıdaki gibidir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (17)$$

Burada A_i ($i=1,2,\dots,n$) n sayısı kadardır.

Adım 4: Normalize edilmiş ağırlık vektörleri, aşağıdaki gibi olup, burada W , bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (18)$$

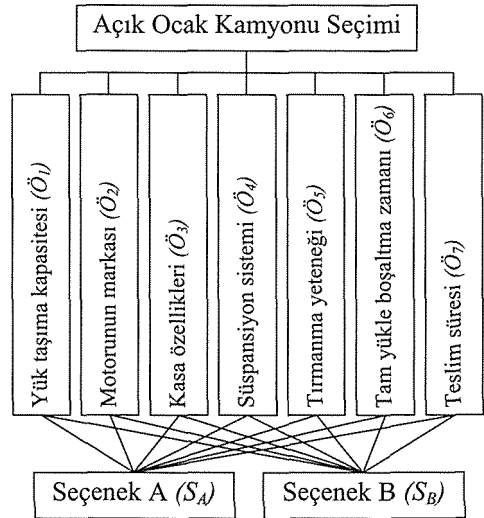
Chang'in yönteminde, bu çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan bulanık önem dereceleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Bulanık önem dereceleri.

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önem (EÖ)	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz daha fazla önemli (BÖ)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli (KÖ)	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli (ÇÖ)	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Tamamıyla önemli (TÖ)	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

3 BULANIK AHS YÖNTEMİ İLE KAMYON SEÇİMİ UYGULAMASI

Bu çalışmada Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından daha önce 1997 yılında ihalesi yapılan 170 short ton kapasiteli açık ocak kamyonu alımı için hazırlanan teknik şartnameden alınan veriler kullanılmıştır. Söz konusu alım ihalesine sadece iki firma teklif verdiği için mevcut teknik şartnameye bağlı kalınarak eldeki veriler kullanılarak ekipman seçimi probleminin çözümü için BAHS yöntemi kullanılmıştır. Problem için tasarlanan hiyerarşik yapı aşağıda Şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 3. Problemin hiyerarşik yapısı.

Şekil 3 ile verilen üç düzeyli hiyerarşik yapının birinci düzeyini "Amaç", ikinci düzeyini "Ölçütler" ve üçüncü düzeyini ise "Seçenekler" oluşturmaktadır.

Bu çalışmada belirlenen ölçüt ve seçenekler ikili karşılaştırmalar aracılığı ile karar vericiler tarafından değerlendirilmiştir. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri bulanık hale getirilmeden önce her birinin tutarlılığı kontrol edilmiş ve tüm matrisler tutarlı bulunmuştur. Bulanık ikili karşılaştırmalar matrisinde değerlendirme sonuçları üçgen bulanık sayı şeklinde olup Çizelge 1 ile verilen ölçek kullanılmıştır.

Karar vericilerin, ölçütleri ikili karşılaştırmaları ile oluşturulan birleştirilmiş bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi aşağıda Çizelge 2 ile verilmiştir. Bu çizelge dilsel ifadeler kullanılarak doldurulmuştur. Örneğin, Ölçüt 1 ile Ölçüt 2'nin ikili karşılaştırması ile tanımlanan birinci satır ikinci sütunda bulunan "KÖ" değeri (3,5,7) bulanık sayısına karşılık gelmektedir. Yine, Ölçüt 2 ile Ölçüt 1'in ikili karşılaştırması ile tanımlanan ikinci satır birinci sütunda bulunan değer "KÖ" değerinin tersi olan (1/7,1/5,1/3) değeri olarak atanmıştır.

Çizelge 2. Birleştirilmiş ikili karşılaştırmalar matrisi.

	\tilde{O}_1	\tilde{O}_2	\tilde{O}_3	\tilde{O}_4	\tilde{O}_5	\tilde{O}_6	\tilde{O}_7
\tilde{O}_1	EÖ	KÖ	BÖ	KÖ	EÖ	ÇÖ	TÖ
\tilde{O}_2		EÖ	1/BÖ	EÖ	1/KÖ	BÖ	ÇÖ
\tilde{O}_3			EÖ	BÖ	1/BÖ	KÖ	ÇÖ
\tilde{O}_4				EÖ	1/KÖ	BÖ	ÇÖ
\tilde{O}_5		KÖ	BÖ	KÖ	EÖ	ÇÖ	TÖ
\tilde{O}_6						EÖ	BÖ
\tilde{O}_7							EÖ

Çizelge 2'deki verilerden faydalanarak Chang'ın (1996) genişletilmiş analiz yöntemine göre öncelikle sentez değerlerinin bulunması gereklidir. Ölçütlere ait sentez değerleri 9 numaralı eşitlik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$S_1=(21.00,31.00,39.00)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.140, 0.281, 0.550)$$

$$S_2=(6.49,10.73,15.67)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.043, 0.097, 0.221)$$

$$S_3=(11.40,19.67,29.00)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.076, 0.178, 0.409)$$

$$S_4=(6.49,10.73,15.67)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.043, 0.097, 0.221)$$

$$S_5=(21.00,31.00,39.00)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.140, 0.281, 0.550)$$

$$S_6=(2.77,5.15,8.73)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.018, 0.047, 0.123)$$

$$S_7=(1.82,2.10,3.15)\otimes(1/150.22,1/110.38,1/70.3)=(0.012, 0.019, 0.044)$$

Bir sonraki aşamada yukarıda elde edilen bulanık sayıların karşılaştırması 14 numaralı eşitlik kullanılarak yapılmış ve aşağıda Çizelge 3 ile verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. Bulanık sayıların karşılaştırılması.

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
S_1		1	1	1	1	1	1
S_2	.31		.64	1	.31	1	1
S_3	.72	1		1	.72	1	1
S_4	.31	1	.64		.31	1	1
S_5	1	1	1	1		1	1
S_6	0	.61	.26	.61	0		1
S_7	0	.02	0	.02	0	.48	

Çizelge 3 ile verilen değerler 16 numaralı eşitlik kullanılarak ölçütlerin öncelik değerleri aşağıda verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$d'(S_1) = \min (1, 1, 1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(S_2) = \min (0.31, 0.64, 1, 0.31, 1, 1) = 0.31$$

$$d'(S_3) = \min (0.72, 1, 1, 0.72, 1, 1) = 0.72$$

$$d'(S_4) = \min (0.31, 1, 0.64, 0.31, 1, 1) = 0.31$$

$$d'(S_5) = \min (1, 1, 1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(S_6) = \min (0, 0.02, 0, 0.02, 0, 0.48) = 0.02$$

$$d'(S_7) = \min (0, 0.02, 0, 0.02, 0, 0.48) = 0.02$$

Öncelik değerlerinin hesaplanması ile öncelik vektörü aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$W' = (1, 0.31, 0.72, 0.31, 1, 0.02, 0.02)$$

Öncelik vektörü değerlerinin normalize edilmesi ile ölçütlerin öncelik değerleri ya da diğer bir ifadeyle ağırlıkları sırasıyla (0.276, 0.086, 0.199, 0.086, 0.276, 0.072, 0.006) olarak hesaplanır. Yapılan bu hesaplamalara göre Açık Ocak Kamyon Seçimi problemi için "Yük taşıma kapasitesi" ve "Tırmanma

yeteneği” en önemli ölçütlerdir. Bu ölçütleri önem sırasına göre, Motorunun markası, Kasa özellikleri, Süspansiyon sistemi, Tam yükte boşaltma ve Teslim süresi takip etmektedir.

Ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesinden sonra, her bir ölçüt için seçeneklerin değerlendirilmesi işlemleri yapılmıştır. Her bir ölçüt için seçeneklerin aldıkları ağırlıklar aşağıda Çizelge 4 ile verilmiştir.

Çizelge 4. Seçeneklerin ölçütler karşısındaki ağırlıkları.

	\bar{O}_1	\bar{O}_2	\bar{O}_3	\bar{O}_4	\bar{O}_5	\bar{O}_6	\bar{O}_7
S_A	0.7	0.3	0	0.89	0.7	0.89	0.89
S_B	0.3	0.7	1	0.11	0.3	0.11	0.11

Ölçütlerin ağırlıkları ile seçeneklerin her bir ölçüt altında aldıkları ağırlıkların çarpılıp ağırlıklı değerlerin toplanmasıyla her bir seçeneğin genel ağırlığı bulunmuştur. Buna göre Seçenek A, aldığı 0.56 ağırlığı ile ilk sırada yer almış ve Seçenek B ise 0.44 ile ikinci sırada yer almıştır.

3.1 AHS Yöntemi İle Kamyon Seçimi

Aynı problem AHS yöntemi ile çözülsürse toplam 8 tane ikili karşılaştırma matrisi oluşturulması gereklidir. Bu matrislerden birincisi ölçütlerin ağırlıklarını bulmak için oluşturulan ölçütlerin birbiri ile karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisidir. Aşağıda Çizelge 5 ile bu matris verilmiştir.

Çizelge 5. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi.

	\bar{O}_1	\bar{O}_2	\bar{O}_3	\bar{O}_4	\bar{O}_5	\bar{O}_6	\bar{O}_7
\bar{O}_1	1	3	2	3	1	4	5
\bar{O}_2		1	1/2	1	1/3	2	3
\bar{O}_3			1	2	1/2	3	4
\bar{O}_4				1	1/3	2	3
\bar{O}_5					1	4	5
\bar{O}_6						1	2
\bar{O}_7							1
W	.26 9	.09 9	.16 6	.09 9	.26 9	.06 0	.03 7

$\lambda_{max}=7.044$, $CI=0.007$ ve $CR=0.006 \leq 0.1$.

Bu matrisin ağırlık değerlerini içeren “W” satırı incelendiğinde problem için belirlenen ölçütlerin ağırlık değerleri sırasıyla (0.269, 0.099, 0.166, 0.099, 0.269, 0.060, 0.037) olarak bulunur. Daha sonra Çizelge 4 ile verilen seçeneklerin ölçütler karşısında aldığı ağırlık değerlerinden faydalanılarak Seçenek A için genel ağırlık değeri 0.582, Seçenek B için ise ağırlık değeri 0.418 olarak bulunur. Buna göre daha yüksek ağırlık değerine sahip olan Seçenek A’nın tercih edilmesi önerilir.

AHS ve Bulanık AHS yöntemleri birbiri ile karşılaştırılacak olursa aşağıdaki yorumlar yapılabilir (Bali ve Gencer, 2005):

- ✓ Kriterler ve alternatiflerin sayıca fazla olduğu durumlarda AHS’nin uygulanması bazı olumsuzluklar yaratabilir. Bunun en büyük sebebi, karar verici tarafından yapılması gereken ikili karşılaştırmaların fazla olması ve bunun da karar vericide bezginlik yaratması ve aşırı zaman tüketmesidir.
- ✓ Bulanık AHS’de, AHS yöntemine nazaran ikili karşılaştırma dilsel ifadelerle yapılması daha kolay ve sağlıklı yapılabilmektedir.
- ✓ Bulanık AHS’de ikili karşılaştırma yapılması daha kolay olabilmesine rağmen dilsel ifadelerle karşılık gelen bulanık değerlerin sınırlarının doğru tespit edilmesi gerekir. Bulanık sınırların yanlış tespit edilmesi yanlış sonuca götürecektir.
- ✓ AHS yönteminde karar vericinin sonucu direk etkilemesinin daha zor olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak da bu yöntemde nihai sonuç tümevarım metoduna daha yakın bir yaklaşımla bulunmaktadır.
- ✓ AHS yönteminde tutarlılığı bir şekilde ölçebilme imkanı olmasına rağmen Bulanık AHS’de tutarlılığı ölçebilecek bir kontrol mekanizması modelin yapısında bulunmamaktadır. Bunu gidermek için bir veri tabanı kullanılarak bulanık ortamlarda da tutarlılık bulunabilir. Veri tabanı, personel ilk elemelerden geçerken yapılan testlerden elde edilecek verilerin anlamlı bir hale getirildiğinde karar vermede veya tutarlılığın bulunmasında yardımcı olabilir.

4 SONUÇLAR

Günlük madencilik faaliyetleri sırasında çok sayıda karar veren Maden Mühendislerinin geri dönülmesi zor olan önemli karar vermeleri gerektiğinde uygun bir karar verme yönteminin kullanılması son derece önemlidir. AHS karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan belki de en bilinen yöntemdir. Son dönemde karar verme bilimine kullanılan neredeyse bütün yöntemlerin bulanık uyarlamaları yapılmış ve bu yöntemler halen çok farklı karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Bulanık AHS yöntemi de çoğunlukla kullanılan bulanık karar verme yöntemlerinden bir tanesidir.

Ekipman seçimi, Maden Mühendisliği alanında en sık karşılaşılan problemlerden bir tanesidir. En uygun ekipmanın seçilmesi her açıdan hem işletmelerin ve Maden Mühendislerinin işlerini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, ekipman seçimi problemleri ile karşı karşıya kalındığında problemin yapısına uygun bir karar verme yönteminin kullanılması son derece önemlidir.

Bu çalışmada, TKİ'den alınan veriler kullanılarak Açık Ocak Kamyonu seçimi probleminin çözümünde BAHS yöntemi kullanılmıştır. BAHS yönteminin Maden Mühendislerinin karşılaştığı diğer çok nitelikli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilmesi mümkündür. Yöntemin kullanılmasıyla Maden Mühendislerinin önemli kararları en az hata ile verebilmeleri söz konusu olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada veriler konusunda yardım eden Maden Yüksek Mühendisi Soner ÖĞRETİMEN ve TKİ yöneticilerine bildiri yazarı teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

Acaroglu, O, Feridonoglu, C, and 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, and Yavuz, M, 2007. A decision support system for underground mining method selection, *Lecture Notes Artificial Intelligence*, 4570, 334-343.

Alpay, S, and 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.

Bali, Ö, ve Gencer, C, 2005. AHP, Bulanık AHP ve Bulanık Mantık'la Kara Harp Okuluna Öğretim Elemanı Seçimi, *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi*, 4, 24-43.

Bitarafan, M, and 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.

Buckley, J, 1985. Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233-247.

Chang, D, 1996. Applications of the extent analysis method of fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.

Eleren, A, ve Ersoy, M, 2007. Mermer blok kesim yöntemlerinin Bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi, *Madencilik*, 46, 9-22.

Elevli, B, and 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

Karadogan, A, Bascetin, A, Kahriman, A, and Gorgun, S, 2001. A New Approach in Selection of Underground Mining Method, *International Conference-Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection*, Varna-Bulgaria, 171-183.

Kazakidis, V, Mayer, Z, and Scoble, M, 2004. Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering, *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*, 113, A30-A42.

Kesimal, A, and Bascetin, A, 2002. Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Mining Operations, *Mineral Resources Engineering*, 11, 59-72.

Kaptanoğlu, D, ve Özok, A, 2006. Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model, *itüdergisid*, 5, 1, 193-204.

Kulak, O, and Kahraman, C, 2005. Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process, *Information Sciences*, 170, 2-4, 191-210.

Laarhoven, P, and Pedrycz, W, 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241.

Öztürk, A, Ertuğrul, İ ve Karakaşoğlu, N, 2008. Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması,

- Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 22, 785–824.
- Saaty, T, 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 287s.
- 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, 2009. TOPSIS Tekniği Kullanarak Hidrolik Yerkazar Seçimi ve Duyarlılık Çözümlemesi, *Türkiye Uluslararası 21. Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Antalya, 195–202.
- Yavuz, M, and 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 Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, 101–108.
- Yavuz, M, İphar, M, and 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.
- Zadeh, L, 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338–353.
- Zadeh, L.A, 1975. The Concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate Reasoning-I, *Information Sciences*, 8, 199–249.
- Zimmermann, H.J, 1992. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, 432s.



Bir Dolomit Açık İşletmesinde Üç Boyutlu Modelleme İle Üretim Kalitesinin Kontrolü

Production Quality Control by 3D Modeling in a Dolomite Open Pit

A. Başçetin

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Z. Sertabipoğlu

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

S. Aydın

İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

ÖZET Yaşadığımız dünya üzerindeki kaynaklarımız artan nüfus, çevresel bozunmalar, bilinçsiz tüketim, gibi nedenlerle gittikçe azalmaktadır. Mevcut olan kaynaklar bu nedenlerle daha değerli hale gelmektedir. Günümüzde üretilmesi ekonomik olmayan yer altı kaynakları dahi alternatif tekniklerin geliştirilmesi koşuluyla tekrar değerlendirmeye alınmak durumundadır . Bu nedenle kaynakların verimli ve en az çevresel etki ile üretimi önemli bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada bir dolomit açık ocak işletmesinin üç boyutlu modellenmesi oluşturularak yapısal uzaklık ve blok boyut değişiminin rezerv ve üretim kalitesine etkisi araştırılmıştır. Üç boyutlu rezerv kestiriminde sahadan elde edilen verilerle (sondaj, harita, kimyasal analiz) bir veritabanı oluşturularak, cevherin blok modeli ve jeostatistiksel analizi (klasik istatistik ve variogram analizlerine dayanarak) ile tenör-tonaj hesaplamaları yapılmıştır. Dolomit üretimini doğrudan etkileyen kimyasal komponentlerden biri olan % Fe_2O_3 'nin cevher yatağındaki dağılımı kriging yöntemi ile kestirilmiştir. Ayrıca açık ocak dizayn aşamasında, ocak basamaklarının yükseklik, eğim ve genişlik verileriyle üretim sonrası ocağın alacağı şekil ve kaldırılması gereken dekapaj hesaplanmıştır.

ABSTRACT Underground resources are limited in the world and have been consumed rapidly by the growing human population everyday. Consequently, potential resources become more valuable. Nowadays, even uneconomic production of underground resources should be re-evaluated under the condition of developing alternative techniques. Therefore production of this resources with more efficiency and minimum environmental impact becomes an important research subject.

The aim of this study is to search the effect of range and block model size changing on reserve and production quality by creating 3D model of a dolomite open pit. In 3D reserves estimation , a database was created by using various data (maps, drilling, etc.) obtained from dolomite area, than grade-tonnage values calculated by using block model of orebody and geostatistical analysis(classical statistics and variogram analysis). One of the chemical components(% Fe_2O_3) that affects directly the quality of dolomite production, were estimated by kriging method. In the stage of design, the quarry design which will take shape after the production and the amount of overburden that will be removed were determined previously by using the bench parameters such as height, slope and width.

1 GİRİŞ

Globalleşen dünya ve buna bağlı olarak artan rekabet, üretim gerçekleştiren sektörlerde ucuz ve kaliteli, bunun yanında da yüksek miktarlarda üretim yapma zorunluluğunu getirmektedir. Bu gereklilikleri yerine getirerek çalışan işletmeler rekabet ortamında ve üretim piyasasında pay sahibi olabilmektedir. Bunun sağlanmasında en önemli unsur mevcut hammadde ve üretim enstrümanlarını optimum şekilde kullanmaktan geçmektedir. Taş ocaklarında, ürünün birim hacminin veya ağırlığının en düşük maliyetle üretilmesi gerekmektedir. Mevcut durumda azalan hammadde kaynakları ve ilerleyen teknolojiyle birlikte kullanılan malzemelerde de değişikliğe gidilmektedir. Günümüzde artık önemli olan iki unsur ucuz ve sağlam bir üretim gerçekleştirebilecek kalitede malzemeye ve teknolojiye sahip olmaktır. Özellikle nüfusun artması ile birlikte inşaat, otomotiv, demir-çelik, cam, soda, yalıtım gibi birçok sektörde artan hammadde ihtiyacı içinde dolomitten de faydalanılmaktadır. Dolayısı ile taş ocakları da bu bağlamda önemli bir yere sahiptir. Ocakta üretilen malzemenin kaliteli olması direkt olarak nihai ürünün de kalitesine ve maliyete etki etmektedir (Eskikaya ve diğ.,2005, Doğan ve diğ., 2006, Kadioğlu ve diğ.,2005).

Kimyasal bileşimi $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ olan dolomit ikili karbonat bileşiği olup CaO 'in yerini kısmen veya tamamen MgO 'in alması ile oluşmaktadır. Bu yüzden bileşimi açısından kireçtaşları ile ilişkili olup yanarda ve düşeyde daima kireçtaşları ile geçişlidir. Dolomitin özgül ağırlığı bileşimine bağlı olarak $2,71 - 2,90 \text{ g/cm}^3$, sertliği ise Mohs skalasına göre $3,4 - 4$ arasında değişmektedir. Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası $1924-2495 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır. İçerdiği organik malzeme miktarı arttıkça koyulaşmakla beraber genellikle pembe, kirli beyaz, beyaz-gri, siyah ve kahve renklidir. Rombohedral kristal kafes yapısına sahip olan dolomit kimyasal bileşiminde % 30,4 CaO , % 21,8 MgO ve % 47,8 CO_2 içerir. Kompozisyonda empürite olarak silikat,

feldspat ve opak mineralleri görülür (Güney, 1999).

Dolomit, başta demir-çelik sanayi olmak üzere cam, seramik, boya, gübre, tuğla, çimento ve inşaat sanayilerinde, tarımda toprak ıslahı gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Dünya 'da ve Türkiye 'de oldukça geniş bir yayılıma sahip olup rezerv problemi olmayan bir mineraldir. 120 milyon ton civarında olan dünya üretiminin yarıya yakını ABD 'de gerçekleştirilmektedir. ABD 'nin dışında İngiltere, Avusturya, Belçika, Japonya, Polonya, İspanya, Kanada, Brezilya, Almanya ve Avustralya yılda 1 milyon tonun üzerinde dolomit üreten ülkelerdir. Dünya 'da 3 milyon tonun üzerindeki ihracatın 2 milyon tonunu Belçika ve Kanada yapmaktadır. 2 milyon ton civarındaki ithalatın ise 1,3 milyon tonu Japonya tarafından yapılmaktadır. Türkiye 'de ise yıllık üretim yaklaşık olarak 950 bin ton olurken aynı zaman diliminde yıllık tüketim yaklaşık olarak 600 bin ton kadardır (D.P.T., 2007).

Cam sanayinde ise dolomit önemli hammaddeler arasında yer almaktadır. Üretilen ürüne göre değişmekle birlikte dolomit, silis ve sodadan sonra üretimde kullanılan 3. önemli hammaddedir. Düz cam imalatında camın kristalleşme eğilimine karşı bileşime bir miktar MgO ilave edilir. MgO camın sıvılaştırma sıcaklığını bir miktar düşürürken, kristal büyüme hızını büyük oranda yavaşlatır. Aynı zamanda camın atmosferik etkilere karşı direncini artırır. Şişe formüllerinde uygulama değişkendir. Camın bileşimine dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ilavesinin, daha pahalı bir flaks olan sodadan (Na_2CO_3) tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir (Smith, 1983). Düz cam, cam ev eşyası ve cam ambalaj için birim üretimde hammadde olarak $140-210 \text{ (kg/ton)}$ arasında dolomit kullanılmaktadır. Teknik Cam olarak adlandırılan cam türünde de (ısıya dayanıklı mutfak eşyaları, laboratuvar aletleri, cam boru, aydınlatma ürünleri kapsar) dolomit kullanılır. Aynı şekilde soda-kireç camı alt türünde de önemli oranda dolomit katkısı gerekmektedir (TÜBİTAK, 2002)

Ashında çoğu cam ürününde silika ile birlikte soda ve kalsiyum oksit, zaman zamanda kalsiyum oksitin kısmen veya tamamen yerini alan magnezyum oksit yer alır. Bu noktada kullanılan kalsiyum oksit ve magnezyum oksit ise kireçtaşı ve dolomitten elde edilir ve camın sağlamlığını artmasını sağlarlar. Ancak kullanılan kalsiyum oksit ve magnezyum oksit oranının iyi ayarlanamaması camın oluşma süresinin artmasına da yol açabilir. Bunun yanında eğer dolomit renksiz cam üretiminde kullanılıyor ise demir içeriğinin düşük olması en önemli hususlardan birisidir. Cam için kullanılan hammaddeler ve yardımcı maddeler şu şekilde sıralanabilir; silis kumu, feldspat, kalker, dolomit, soda, sodyum sülfat, kömür, cam kırığı ve alüminyum oksit (Persson, 1983, Krukowski ve diğ.,2006)

Dolomit çimento, dolomitik sönmemiş kireç, cam ve soda üretiminde hammadde (Tablo.1), demir çelik sanayinde sinter, yüksek fırınlarda refrakter malzeme ve cüruf arıtıcı eleman, beyazlatıcı boya, dolgu maddesi olarak da kullanılmaktadır (D.P.T., 1995, D.P.T., 2001)

Tablo.1. Şişe ve cam sanayinde kullanılan dolomitlerde aranan özellikler (%) ((D.P.T., 1995)

MgO	19
CaO	34
Fe ₂ O ₃	0,08 max
SiO ₂	0,30 max
Tane boyu	+3,18(en çok %1)-125 mikron (en az %5)

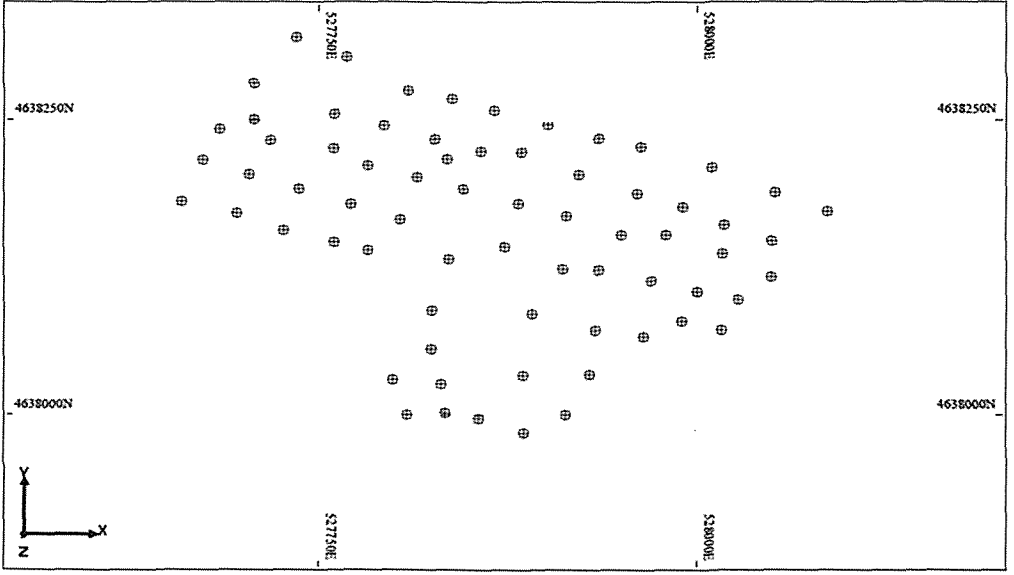
Bu çalışmada cam üretiminde kullanılan bir dolomit açık ocağının jeostatistik analizi, rezerv hesabı ve ocağın 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımlar kullanılarak tesis için gerekli olan malzeme kalitesinin sağlanması ve üretim planlamasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma sahasına ait verilerden (sondaj verileri, topografik ölçümler, haritalar, litoloji, v.b.) bir veri tabanı

oluşturulmuştur. Cevher kalınlığının yatak boyunca değişimini belirlemek amacıyla kalınlığa ait variogram analizi yapılmış ve cevher sınırları belirlenmiştir. Cevher kesen sondaj noktaları ile sınırlar birleştirilip kesitler alınarak, yatağın üç boyutlu katı ve blok modeli oluşturulmuştur. Cevher blok modeline, %Fe₂O₃ ve % MgO için jeostatistik yöntemlerden biri olan kriging yöntemi ile kimyasal değer kestirimleri yapılmıştır. Kestirilen kimyasal değerlere göre cam üretimine uygun hammadde karışımını sağlamak amacıyla harmanlama yapılabilecek noktaların yatak içerisindeki durumu görsellenmiş ve rezerv hesabı yapılmıştır. Ayrıca blok boyut ve range (yapısal uzaklık) değişiminin rezerv miktarına ve üretim kalitesine etkisi incelenmiştir. Sahaya ait sondaj bilgileri ve eş yükselti eğrilerinden derlenen bilgiler AutoCad programı yardımıyla görselleştirilmiş Surpac 6.1.3 programına aktarılarak, sahanın topografyası oluşturulmuştur. Açık ocak tasarımı yapılarak üretilebilecek cevher ve her üretim basamağındaki malzeme kalitesi görsellenmiştir.

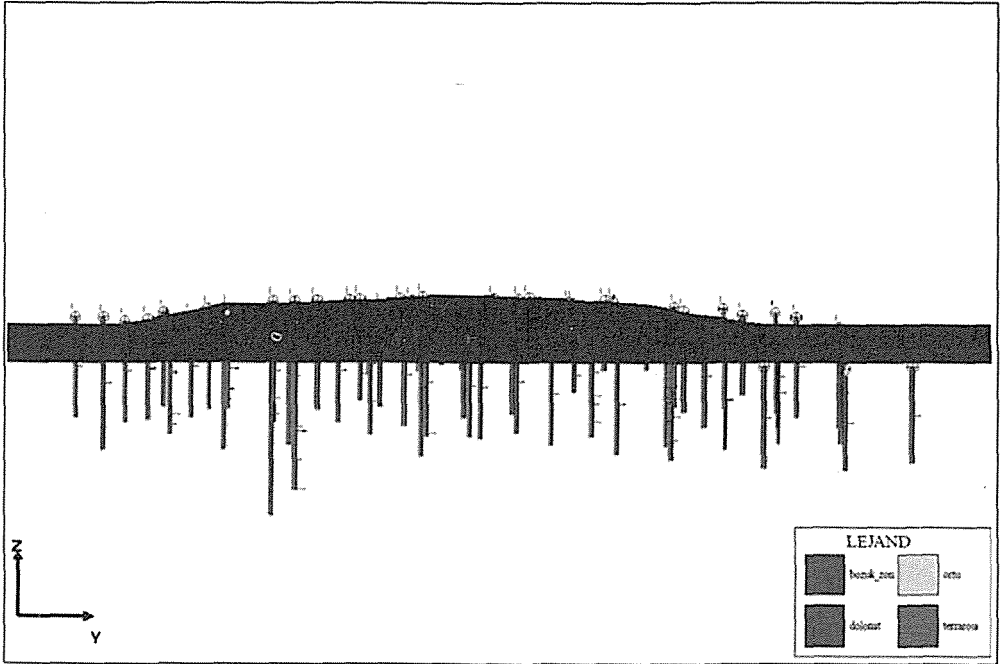
2 CEVHER YATAĞININ ÜÇ BOYUTLU MODELLEMESİ

İşletmeden alınan ve 427x320m alanı kapsayan 73 adet sondaja ait veriler(Şek.1) kullanılarak veritabanı oluşturulmuş ve SURPAC 6.1.3 programına aktarılmıştır. Üç boyutlu katı modeli oluşturmak için kesit alma işleminde sondajların litolojik verileri kullanılmıştır(Şek.2). Sondaj loglarının içerdiği jeolojik verilere göre 50 m. aralıklarla kuzeybatı-güneydoğu yönünde kesitler alınmıştır. Surpac programı yardımıyla kesitlerin arası DTM (Digital Terrain Modelleme) modülü kullanılarak (üçgenler oluşturarak) doldurulmuş ve 3 boyutlu cevher katı modeli oluşturulmuştur (Şek. 3).

Blok model oluşturulmadan önce orijinal sondaj verilerin kompozit edilmesi (birleşik değer ataması) gerekir. Bu işlemin yapılmasının yapılmasının sebebi, bloklara değer ataması sırasında sondaj verilerinin

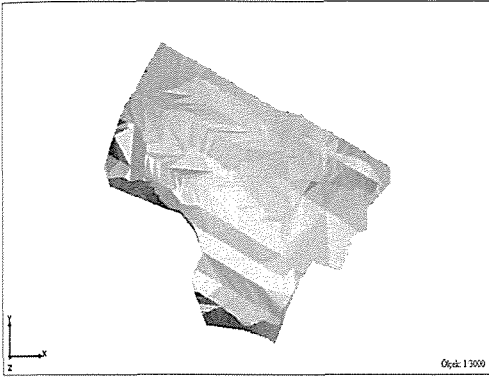


Şekil 1. Sahaya ait sondaj lokasyon haritası



Şekil 2. Orjinal topografya üzerinde litolojiye göre renklendirilmiş sondajlar

aynı ağırlıklı ortalamaya ya da etkiye sahip olmasını sağlamaktır (Elevli ve diğ., 1995). Sondaj boyunca edinilen verilerin (tenör kaya türü, yüzde kimyasal değer) sistemli bir şekilde eşit aralıklara (kompozit aralığı) bölünüp her kısım için kalınlığa göre ortalama değer atama işlemine kompozit alma (bileşik değer atama) denir (Eraslan, 2006). Kompozit alma işleminde en önemli parametre kompozit aralığının belirlenmesidir. Kompozit aralığı ortalama karot uzunluğundan daha kısa alınmamalıdır. (Tercan,2007). Bu bilgilerin ışığında kompozit aralığı ortalama karot uzunluğu kadar yani 6 m. alınmıştır.



Şekil 3.Cevher katı modeli (ölçek:1/3000)

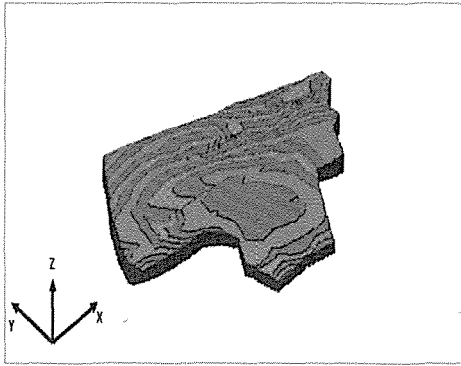
3 BLOK BOYUT DEĞİŞİMİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Maden yatağının modellenmesi için öncelikle yatağı bloklara ayırmak gerekir. Bloklara ayırma işlemi yapılırken karar verilmesi gereken nokta ise bloklara hangi değerlerin atanarak cevherin en iyi şekilde modellenebileceğidir. Bu çalışmada yapısal uzaklığın rezerv üzerindeki etkisini yanı sıra blok boyut değişiminin de toplam rezerv ve ilk üretilebilir rezerv (% Fe₂O₃ değeri 0,06-0,1 arasında) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Blok boyutları belirlenirken, blok parametreleri koordinat eksenlerine yerleştirilmiş ve blok yükseklik değeri (z), işletilen ocaktaki basamak yükseklik değeri olan 10 m. kabul edilmiş ve blok genişlik

(x=10 m.) ve derinlik (y=10 m.) değerleri de yükseklik değeri kadar alınmıştır. Cevheri tam temsil etmesi için de blok alt boyutları da(cevheri dolduracak küçük bloklar) 3,75 m x 2,5 m. x 1,25 m. olarak alınmıştır (Başçetin ve diğ, 2009). Böylece cevher katı modelinin içinin bloklarla doldurulması işleminde, cevheri tam temsil edebilmesi amacıyla büyük blok boyutlarının doldurmadığı noktaları, küçük boyuttaki bloklar ile doldurabilmek mümkündür. Oluşturulan blok modelin cevher katı modeliyle kestirilmesi sonucu cevher blok modeli oluşturulmuştur. Daha sonra farklı blokların boyutlarını değiştirmek için basamak genişliğinde değişiklik yapılarak, derinlik (y) değeri sırası ile 15 m. ve 20 m. alınmış fakat x ve z boyutlarında değişiklik yapılmamıştır. Özetle cevher yatağının 10 m. x 10 m. x 10 m., 15 m. x 10 m. ve 20 m. x 10 m. x 10 m. olmak üzere üç farklı boyutta blok modellemesi yapılmıştır. Bu blok modellemeler sonucu bulunan ve ilk üretilebilir rezerv olarak adlandırılan %Fe₂O₃ içeriği açısından işletmenin istediği değer aralıklarındaki (0,06-0,1) rezerv miktarları kıyaslanmıştır. En fazla ilk üretilebilir rezerv (6514188 ton) ve toplam rezerv (12829256 ton) miktarını veren tasarımın 10 m. x 10 m. x 10 m. boyutlarındaki blok modelleme olduğu bulunmuştur (Tablo.2). Bu blok modellemede toplam rezerv miktarının en yüksek çıkmasının yanında işletme açısından ilk üretilebilir rezervin en yüksek değerinde bulunması, tüvenan cevhere stoklama, harmanlama, v.b. cevher hazırlama işlemlerinin nispeten daha az uygulanarak satılacak malzemeye daha az masraf yapılması ve daha fazla kazanç elde edilmesi anlamı taşımaktadır. Aynı zamanda üretimin ilk safhaları için yatırımın en kısa sürede amorti edilmesi önemlidir. Dolayısı ile bu durumda söz konusu blok modelin üretim için tercih edilebileceği öngörülmüştür (Şekil 4).

Tablo.2. Blok boyut değişiminin toplam rezerv ve ilk üretilebilir rezerve olan etkisi

Blok Boyutları (m)	İlk Üretilebilir Rezerv (ton)	Toplam Rezerv (ton)
x= 10, z= 10, y= 10	6514188	12829256
x= 10, z= 10, y= 15	6088426	12819583
x= 10, z= 10, y= 20	6067077	12816306



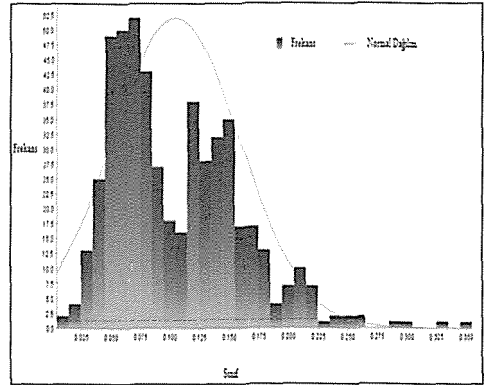
Şekil 4.Cevher blok modeli (10m x 10m x 10m boyutlarda bloklara ayrılmış)

4. YAPISAL UZAKLIĞIN ETKİSİ

Fe_2O_3 in yatak içerisindeki değişimini belirleyebilmek için öncelikle istatistik ve variogram analizi yapılmıştır. Kompozit edilmiş Fe_2O_3 kimyasal verilerinin istatistik analizinden sırasıyla özet istatistik bilgileri ve sıklık dağılımı (Şekil.5 ve Tablo.3) belirlenerek verilerin sağa çarpık (0,90) yani log normal dağılım gösterdiği anlaşılmıştır. Dağılımı normal dağılıma dönüştürebilmek için verilerin doğal logaritması (ln) alınarak düzeltme sabiti olarak adlandırılan " $\alpha=0,05$ " sabiti eklenmiş ve sıklık dağılımı tekrar incelenmiştir. Çarpıklık katsayısı "0,09" olarak bulunmuştur (Tablo. 4. ve Şekil.6)

Tablo.3. Fe_2O_3 veri istatistiği tablosu

Ornek Sayısı	518
En Küçük Değer	0,004
En Büyük Değer	0,35
Ortalama	0,10
Ortanca	0,09
Varyans	0,003
Standart Sapma	0,05
Baskılık Katsayısı	4,01
Çarpıklık Katsayısı	0,90

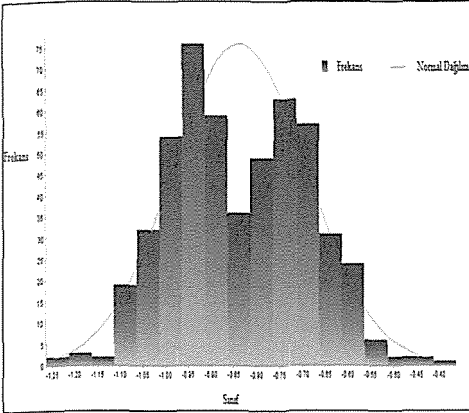


Şekil 5. % Fe_2O_3 'ün sıklık dağılımı

Tablo 4. Fe_2O_3 normalize edilmiş veri istatistiği*

Ornek Sayısı	518
En Küçük Değer	-2,91
En Büyük Değer	-0,91
Ortalama	-1,92
Ortanca	-1,94
Varyans	0,11
Standart Sapma	0,34
Baskılık Katsayısı	2,45
Çarpıklık Katsayısı	0,09

* $\ln(D3-0,05)$



Şekil 6. % Fe₂O₃ 'in düzeltilmiş sıklık dağılımı

Jeoistatistik analiz için öncelikle verilere normal dağılım testi uygulanmasının nedeni, normal dağılımlı olmayan veriler kullanıldığında kestirimden kaynaklanan hataların yüksek çıkmasıdır. Benzer şekilde konumsal değişken variogramı da belirli bir mesafeden sonra artışını durdurur ve tepe varyansı (C0+C) değeri çevresinde değerler almaya başlar. Bu değere ulaştığı uzaklık olarak tanımlanan yapısal uzaklık (range) değerinden daha sonraki mesafelerde konumsal bağımlılık sonra erdiğinden dolayı kestirim yapmak doğru sonuç vermez (Tercan ve Saraç, 1998). Bu kriter doğrultusunda, yapılan çalışmada ayrıca yapısal uzaklık değerinin değişimi ile hesaplanan kestirimler sonucunda rezerv değerinin değişimi üzerine araştırma yapılmıştır. Farklı yapısal uzaklık (range) değerlerinin denenmesi sonucunda, en fazla rezerv miktarına en düşük hata ile kestirim yapılarak ulaşılmaya çalışılmıştır. Araştırmalar esnasında birçok range değeri denenmiş ancak sahayı en iyi temsil edebilen 4 farklı range değerinin kıyaslanması yapılmıştır (46-226, 40-260, 30-260, 45-230). Kıyaslama neticesinde toplam rezerv miktarının dikkate alınacak kadar değişmemesine rağmen karşılaştırılan diğer tüm yapısal uzaklık değerlerinin variogram doğrulama sonuçlarından ortalama hata değerinin ve hata varyansı (HV) ile ortalama kriging varyansı (OKV) arasındaki farkın

daha iyi sonuç vermesi dolayısı ile "46-226" yapısal uzaklık değeri en uygun değer olarak belirlenmiştir (Tablo. 5).

Variogram analizinde en uygun range değeri belirlenmesinden sonra % Fe₂O₃ kestiriminde Saraç and Tercan (1996) ve Saraç (1998)'de önerilen blok kriging yöntemi kullanılmıştır. Kestirim için örnek sayısı en az 3 en fazla 16 alınmıştır Kriging ile kestirilen % Fe₂O₃ kimyasal değerinin renklendirilmiş blok haritasında da (Şekil 7) görüldüğü gibi cam üretimine beslenecek malzemenin en uygun değer aralıkları koyu maviyle gösterilmiş olan bölgelerdir. Bu bölgelerde % Fe₂O₃ dağılımı 0.06-0.1 aralığında değişmektedir. Cam üretimine harmanlanarak beslenebilecek malzemenin yer aldığı bölgeler ise pembe (0-0.06) ve açık mavi (0.1-0.14) ile gösterilmiştir.

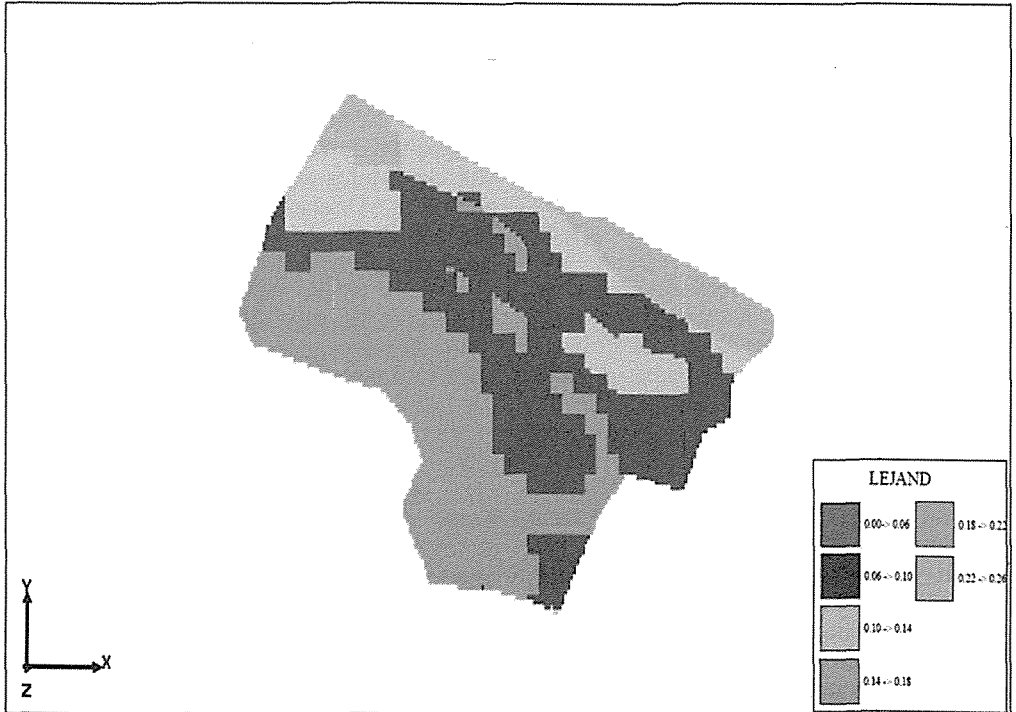
5. AÇIK OCAK TASARIMI

Ocak tasarımı oluşturulmadan önce arazinin ilk topografik görünümü AutoCAD programından yararlanılarak Surpac 6.1 madencilik programına entegre edilmiştir. Oluşturulan ocak programında nihai görünümünü kazanmıştır. Yükseklik değeri 10 m. olarak alınan ocakta basamak genişliği ve derinliği de 10 m. alınmış ve malzemenin yüksek stabilitesinden dolayı şev açısı 80° alınmıştır. Ortalama 50 m. olan sondaj derinliği göz önünde bulundurularak 5 basamak için açık ocak tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan ocak daha sonra cevher ve topoğrafya ile kestirilip ocak içi malzeme hacmi, her basamaktaki kimyasal oranları ve cevher miktarları belirlenmiştir (Tablo 6). Bu işlemler yalnızca basamak genişlik değerleri artırılarak (15 m. ve 20 m.) tekrarlanmıştır (Tablo 7 ve 8). Sonuç olarak, diğer tasarımlara göre daha geniş bir ocak hacmi ve daha fazla üretim miktarı elde edilen 10 m basamak genişliğindeki ocak tasarımının en uygun tasarım olduğu, ocak içi malzeme miktarına (6239048ton) ve yüzde kimyasal dağılımlara (% Fe₂O₃: 0,08) bakılarak tespit edilmiştir.

Tablo.5. Yapısal uzaklık (range) değişiminin rezerve olan etkisi

Range (a1) – Range (a2) (m)	46-226	40-260	30-260	45-230
Toplam Rezerv (ton)	12819583	12819580	12819580	12819580
İlk Üretilebilir Rezerv (ton)*	6088426	6106800	6111722	6106800
Ort, % Fe ₂ O ₃	0,1	0,1	0,1	0,1
Variogram Doğrulama				
Ortalama Hata	-0,0009	-0,0010	-0,0010	-0,0010
Hata Varyansı (HV)	0,0398	0,0397	0,0396	0,0397
Ortalama Kriging Varyansı (OKV)	0,0572	0,0572	0,0573	0,0572
HV ile OKV Arasındaki Fark	0,0174	0,0175	0,0177	0,0175
±2 x σ(standart sapma)	98,07	98,07	98,07	98,07

* % Fe₂O₃ aralığı (0,06- 0,1)



Şekil 6. Kriging ile kestirilen % Fe₂O₃ kimyasal değerinin renklendirilmiş blok haritası

Uygun olduğu tespit edilen ocak tasarımının ortalama % Fe_2O_3 oranı cam üretimi için uygun değerdedir (% 0,08). Ocak içi % Fe_2O_3 dağılımı Şekil.7'de gösterilmiştir. Ayrıca ortalama sondaj derinliği boyunca (50 m.) + 620 kotundan aşağı doğru inildikçe % Fe_2O_3 oranının gitgide yükseldiği de Tablo 6 ve Şekil 8'de görülmektedir. Dolayısı ile düşük kimyasal içerikli malzeme (+620-590 kotları arası) ile yüksek kimyasal içerikli malzemenin (+ 590-560 kotları arası) harmanlanarak cam üretimine beslenebileceği öngörülebilir. Oluşturulan bu ocak hem sahanın topografyası hem de cevher kütlesi ile kestirilerek ocağın nihai haline kadar çıkarılacak toplam 2386802 m³ malzeme ve bu malzeme içinde kalan toplam 2228231 m³ üretilebilir rezerv miktarı bulunmuştur. Dolomit özgül ağırlığı 2,8 ton/m³ alınarak üretilecek rezerv 6239047 ton ve ocaktan atık sahasına boşaltılan dekapaj miktarı ise 158571 m³ bulunmuştur.

Tablo.6. Basamak genişliği 10m için üretim basamaklarında kimyasal içerik ve cevher dağılımı

KOT (m)	HACİM (m ³)	MALZEME MİKTARI (ton)	% Fe_2O_3 (ort)
560-> 570	324924	909788	0,10
570-> 580	447085	1251837	0,09
580-> 590	553107	1548700	0,10
590-> 600	548759	1536526	0,08
600-> 610	337710	945588	0,06
610-> 620	16646	46609	0,05
TOPLAM	2228231	6239048	0,08

Tablo.7. Basamak genişliği 15 m için üretim basamaklarında kimyasal içerik ve cevher dağılımı

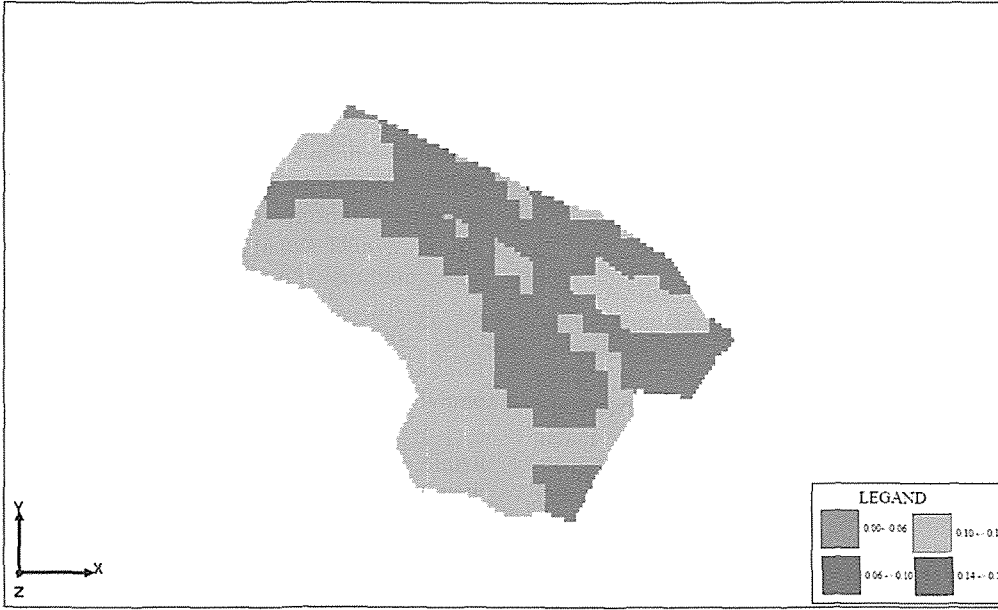
KOT (m)	HACİM (m ³)	MALZEME MİKTARI (ton)	% Fe_2O_3 (ort)
560- 570	125789	352210	0.09
570- 580	292109	817907	0.09
580- 590	439143	1229601	0.10
590- 600	498479	1395739	0.08
600- 610	328880	920865	0.06
610- 620	16646	46609	0.05
TOPLAM	1701046	4762931	0.08

Tablo.8. Basamak genişliği 20 m için üretim basamaklarında kimyasal içerik ve cevher dağılımı

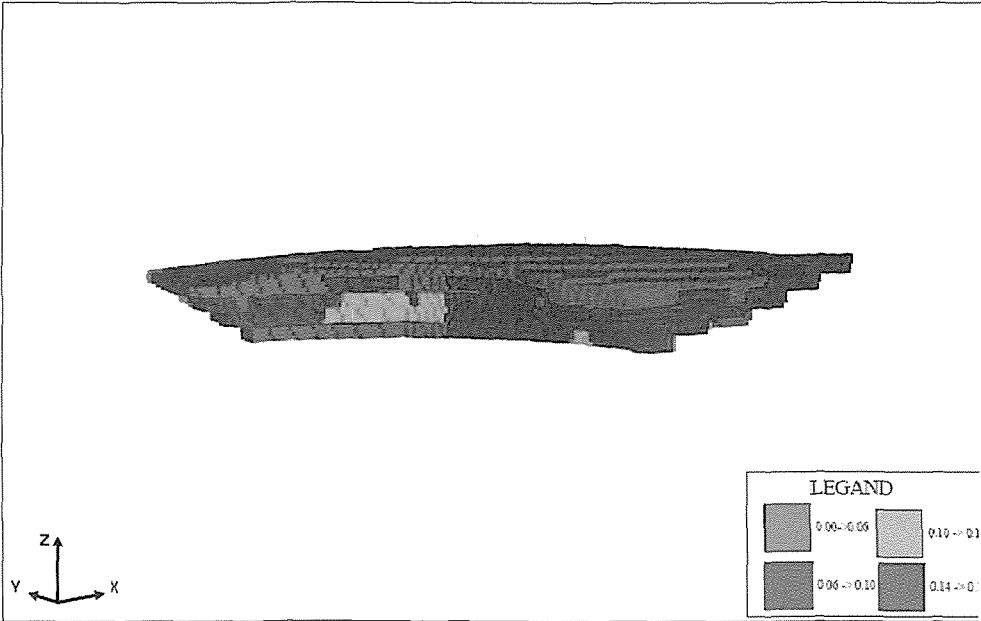
KOT (m)	HACİM (m ³)	MALZEME MİKTARI (ton)	% Fe_2O_3 (ort)
560-> 570	57739	161668	0,09
570-> 580	186893	523299	0,09
580-> 590	356361	997811	0,10
590-> 600	459067	1285388	0,08
600-> 610	322443	902840	0,06
610-> 620	16646	46609	0,05
TOPLAM	1399149	3917615	0,08

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada cam sektörüne hammadde temininde kullanılan, bir dolomit açık ocağının blok modelleme ve jeostatistiksel tahmin yöntemleri kullanılarak % Fe_2O_3 yatak içerisindeki dağılımları belirlenmiştir. Sahada yapılmış olan 73 adet sondajdan elde edilen veriler ile ocağın rezerv miktarı hesaplanmıştır. Sahadan 50 m. aralıklarla Kuzeybatı - Güneydoğu yönünde kesitler alınarak cevher katı modeli oluşturulmuştur.



Şekil.7. Ocak içi % Fe_2O_3 dağılımının ilk üretim seviyesinden (+620) görünüşü



Şekil. 8. Ocak içi % Fe_2O_3 dağılımının 5 basamak için görünümü (+620,+560)

Buradan ocak içi cevher 2228231 m³ olarak hesaplanmıştır. Böylece, tesis için istenen optimum harmanlama politikasına destek olunması ve ocak içi üretim planlama ve tasarımının optimum şartlarda oluşturulmasının sağlanması amaçlanmıştır.

En yüksek rezervin en düşük hata ile tespit edilebilmesine yönelik olarak cevher uygun bloklara ayrılmış ve en doğru kriging kestirimini yapmak için uygun yapısal uzaklık (range) değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Blok boyutları, oluşturulan 3 farklı değerdeki (10 m., 15 m., 20 m.) blok modelleme ile rezerv miktarları karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda en fazla rezervi veren 10 m. blok boyutlu modellemenin işletme için uygulanabileceği öngörülmüştür.

Farklı yapısal uzaklık değerlerinin denenmesi sonucunda, tercih edilen uygun değerler ile en fazla rezerv miktarına en düşük hata ile kestirim yapılarak ulaşılmaya çalışılmıştır. Araştırmalar esnasında birçok range değeri denenmiş ancak sahayı en iyi temsil edebilen 4 farklı range değerinin (46-226, 40-260, 30-260, 45-230) kıyaslanması neticesinde, rezervde çok fazla bir değişiklik görülmemesine rağmen, tercih edilen "46-226" range değeri için yapılan kestirim işlemi doğrulamasında, ortalama hatanın kıyaslanan diğer değerlerden elde edilen hatadan daha düşük çıkması olumlu yorumlanmış ve yapılan kestirimlerin daha doğru olacağı fikrine varılmıştır.

Kriging ile yapılan %Fe₂O₃ kestirimi sonucunda, sahanın orta kısımlarında işletme açısından uygun olan (0,06-0,1) değerlerde cevherleşme olduğu görülmüştür. Sahanın diğer bölgelerindeki dağılım incelendiğinde Kuzeybatı ve Kuzeydoğu lokasyonlarının istenilen değerlerden daha yüksek çıktığı (0,1-0,19), sahanın Güney bölgelerinin ise genel olarak istenilen değerlerden daha düşük (0,03-0,05) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düşey doğrultuda dağılım incelediğimizde ise 560-590 kotları arasında %Fe₂O₃ değeri 0,1 ile istenenden yüksek, ancak 590-620 arasında ise bu değer 0,7 ile düşük hesaplanması, işletmenin istediği içerikte hammadde karışımını oluşturmak için sahanın ilk üretimi aşamasında kuzey

lokasyonlardaki yüksek kimyasal dağılıma sahip cevher ile güney lokasyonlardaki düşük kimyasal dağılıma sahip cevherin harmanlanmasının uygun olabileceği görülmüştür. Aynı şekilde üretim esnasında, üst basamaklardaki düşük Fe₂O₃ kimyasal değerlikli cevher ile alt basamaklardaki yüksek kimyasal değerlikli cevherin harmanlanabileceği öngörülmüştür. Bu durumda cam üretim tesisine beslenecek hammaddeyi iki şekilde de elde etmek mümkün olmaktadır. Üretim sahasında yer alan uygun kimyasal değer aralıklarındaki malzeme, doğrudan üretilerek tesise beslenir ya da farklı kimyasal içerikteki cevher harmanlanarak üretim tesisine beslenir.

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda toplam rezerv 12829256 ton olarak hesaplanmıştır. Cam üretim tesisinin istediği kimyasal değer aralıkları dahilinde (Fe₂O₃: % 0,08) ilk üretilebilir rezerv miktarı 6514188 ton tespit edilmiştir.

Söz konusu dağılımların hesaplanmasının, üretim planlamasının yapılması, ocak tasarımının oluşturulması üzerindeki etkisi ve üretim sahasında atıl durumda bir bölge kalmaması, sahanın optimum harmanlama yapılarak efektif bir şekilde kullanılmasını yönünden göz önüne alındığında da ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Yapılan tüm bu işlemler ve alınan kararlar doğrudan işletmenin nakit akışı üzerinde ciddi farklar yaratabilmekte ve bir projenin ne kadar karlı olup olamayacağı konusunda kesin etki etmektedir.

Bu çalışma neticesinde bilgisayar destekli modelleme ve tasarım ile optimum bir üretim planlaması ve tasarım yapılabileceği ortaya çıkmaktadır. Özellikle tüm ocağın üretimden önce görülebilmesi ve tasarlanabilmesi, iş akışı ve planlamaların buna göre gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Sahadaki malzemenin kimyasal dağılımı belirlenerek üretilecek malzemenin içeriği, hangi nokta(lar)dan üretime başlanacağı, hangi bölgeden ne miktar malzemenin ne zaman üretilebileceği, bunun ne değerinde ve miktarda malzeme ile harmanlanabileceği gibi üretime dair tüm işlemler yapılabilmekte ve görsellenebilmektedir. Bu şekilde büyük yatırımlarla hayata geçen madencilik

projelerinin daha az riskli, daha hızlı ve daha verimli gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Başçetin, A., Tercan, A. E., Sertabipoğlu, Z., 2009, Taş Ocaklarında Üç Boyutlu Tasarım ve Üretim Kalitesinin Kontrolü, 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 978-9944-89-848-5.
- D.P.T., 1995, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 163-179.
- D.P.T., 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu: Toprak Sanayii Hammaddeleri Çalışma Grubu raporu , Ankara, 975-19-2838-9.
- D.P.T., 2007, Dokuzuncu Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 975-19-4168-8.
- DOĞAN, T., ÖZER, Ü., KAHRİMAN, A., BOZDOĞAN, H. M., 2006 , İstanbul-Yeniköy Yöresindeki bir Linyit Açık Ocağının Bilgisayar Destekli Modellenmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 19, S. 2, SS. 157-167 Haziran 2006, İstanbul.
- Eleвли, B., Yüksek, S., Demirhan, S., 1995, Poligon ve Mesafeyle Ters Ağırlıklı Yöntemlerle Jeolojik Blok Model Çıkarılması, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, İzmir, s.25-29.
- Eraslan, K., 2006, Madenlerin Değerlendirilmesi Ders Notu, Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, s:3-4.
- Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., 2005, Maden Mühendisliği Açık Ocak

- İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 975-39-5980-x.
- Kadioğlu, S., Uyar, A. G., Karpuz, C., BAŞKAN D. Ş., KADIOĞLU, Y. K., 2005 ,Taş Ocağı Yer Seçiminde Mühendislik Disiplininin Önemi: Gölbaşı Andezitlerinde Bir Uygulama, Madencilik, Eylül 2005, cilt 44-3, ANKARA.
- Krukowski, T. S., Barker, M. J., Trivedi, C. N., Kogel, E. J., 2006 , Industrial Minerals and Rocks, Commodities, Markets, and Uses, 7th Edition, Colorado, USA, 0-87335-233-5.
- Persson, H.R., 1983, Glass Technology, CheongMoon Gale Publ. Co., Seoul-Korea, B0007AZ9WC
- Bektaş, U., 1999, Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, s.1-30, İstanbul.
- Saraç, C., Tercan A. E., 1996, Grade and reserve estimation of Tulovası borate deposit by block kriging, Internatinal Geology Review, No: 9 s.832-837
- Saraç, C., 1998, Geology and Ore Reserve Estimation at Sivrihisar Mine (Eskişehir, Turkey), Transactions of the Institution Of Mining and Metallurgy Section A- Mining Industry, England, vol.107, A6-A12.
- Smith, M., 1983, Dolomite, Ind.mil.
- Tercan, A.E., 2007, Jeostatistiksel Rezerv Hesabı ve Surpac Uygulaması, T.K.İ Raporu , Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, s:17-60.
- TÜBİTAK, 2002, Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri projesi Cam Sanayi Raporu, Nisan 2002, Ankara.
(http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2d.pdf).

3. BÖLÜM

KAYA MEKANİĞİ



Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi

Examining the Schmidt Hammer Methods in Estimation of the Uniaxial Compressive Strength

K.Karaman, B.Erçıkıdı, F.Cihangir, A.Kesimal

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

ÖZET Ucuz, kolay ve pratik bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini, kaya ve betonların sertliklerinin belirlenmesinde ve tek eksenli basınç dayanımlarının dolaylı yoldan tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı bölgelerden temin edilen 5 farklı kayacın tek eksenli basınç dayanımı L tipi Schmidt çekici kullanılarak dolaylı yoldan belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde yer alan 7 farklı değerlendirme yöntemine göre silindirik numuneler üzerinde ölçülen sertlik değerlerinden dolaylı olarak hesaplanan tek eksenli basınç dayanımları laboratuvarında elde edilen dayanım sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve kayaçlar için en uygun değerlendirme yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca kayaçların Schmidt sertlik değerlerinden ISRM (1978)'e göre kayaç sertlik sınıfı belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarından, dolaylı yoldan tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesinde bütün kayaçlar için en uygun değerlendirme yönteminin ASTM (2001) ve Summer ve Nel (2002) olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca kayaç sertliğinin tek eksenli basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

ABSTRACT The Schmidt hammer has been commonly used device for hardness determination of rocks and concrete and for predicting the unconfined compressive strength (UCS) of rocks, due to the fact that it is a quick, inexpensive and easy testing method. In this study, it was try to determine the UCS of five different rocks which were obtained from various locations, by using the 'L' type Schmidt hammer. The Schmidt hammer values were evaluated seven different methods of cylindrical samples. UCS was calculated in laboratory and compared with the calculated indirect UCS values from different methods proposed by different authors in the literature and it was try to determine the most suitable method of evaluation for rocks. It was also established rock hardness class according to the suggested procedure by ISRM (1981) from Schmidt hardness values. From the test results, it was considered that the relation between real UCS and indirect UCS that the most suitable for rocks with the only suggested procedure by ASTM, (2001) and Sumner and Nel, (2002) methods. It was also observed that the rock hardness has a significant impact on UCS values.

1 GİRİŞ

Kaya mühendisliğinde kaya malzemesinin yenilme özelliklerinin belirlenmesinde ve kaya kütle sınıflamalarında önemli bir parametre olan tek eksenli basınç dayanımının ölçümü ve tahmini yaygın olarak kullanılmaktadır (Dehghan vd., 2009). Ucuz, kolay, pratik, hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini ise kaya ve betonların sertlik dayanımlarının tayininde ve tek eksenli basınç dayanımlarını

dolaylı yoldan tahmin etmede sıklıkla kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı tahmininde kullanılan Schmidt çekici gibi dolaylı yöntemler, tek eksenli basınç dayanımına kıyasla daha basit, daha hızlı ve daha ekonomiktir (Kahraman, 2001).

Schmidt çekici beton sertliğini test etmek için ilk olarak 1948 yılında geliştirilmiştir (Schmidt, 1951; Andrew, S, Goudie, 2006). Sonraları kaya dayanımını test etmede kullanılmaya başlanmıştır (Katz, 2000).

Schmidt sertlik değeri 1960'lı yılların başından itibaren kayaların tek eksenli basınç dayanımlarını tahmin etmek için kullanılmaya başlanmıştır (Deere ve Miller, 1966; Aufmuth, 1973; Xu vd., 1990; Gökçeoğlu 1996; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Gökten ve Güneş, 2005; Aydın ve Basu 2005). Fakat Schmidt çekici yöntemi çok yumuşak ve çok sert kayalarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir (ISRM, 2007).

Schmidt çekici ile okunan geri tepme sayısını etkileyen etkenler; kullanılan çekiç tipi, test edilen kayacın ayrışma durumu, kayaç yüzeyindeki pürüzlülükler, kayaç yüzeyinin nem içeriği, çekicinin kalibrasyonu, örnek boyutu, uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir (Büyüksağış ve Gökten, 2006; Sumner ve Nel, 2002; Poole ve Farmer, 1980). Literatürde birbirinden oldukça farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır; (Hucka, 1965; Deere ve Miller, 1966; Poole ve Farmer, 1980; ISRM, 1981; Haramy ve De Marco, 1985; Gökten ve Ayday, 1993; USBR 1998; ASTM, 2001).

Bu çalışmada, Schmidt çekici sertliğinin ölçümünden önce teste tabi tutulacak yüzeyler dolgu dan arındırılarak temizlenmiş ve çekiç düşey konumda uygulanmış olup, kullanılan Schmidt çekici değerlendirme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Hucka (1960), numune üzerinde üç farklı noktada, her bir noktada on tekrar olmak üzere, Schmidt çekici ile yaptığı deneyden elde edilen en yüksek üç değer in ortalamasını almıştır.

Soiltest (1976), numune üzerine Schmidt çekici ile 15 farklı noktaya tek vuruş yapıp, en büyük on tanesinin ortalamasını almıştır.

Poole ve Farmer (1980), numune üzerine Schmidt çekici ile üç farklı noktanın her birine beş vuruş yapıp, bu üç noktadaki en yüksek değerlerin ortalamasını almışlardır.

ISRM, (1981), bu yöntemde numune üzerine Schmidt çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılarak, en büyük 10 vuruş değerinin ortalaması alınır.

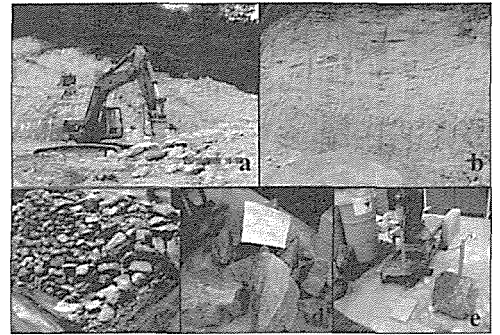
Usbr (1998), bu yöntemde numune üzerine yapılan Schmidt çekici ile on değişik yerden vuruş değerleri okunur, en büyük beş okumanın ortalaması alınır.

ASTM, (2001), bu yöntemde numune üzerine Schmidt çekici ile on farklı noktaya tek vuruş yapıp, bu vuruşların ortalaması alınarak ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilir ve geriye kalanların ortalaması Schmidt sertlik değeri olarak alınır.

Sumner ve Nel, (2002) numune üzerine Schmidt çekici ile on beş farklı noktadan vuruş değerleri okuyarak, en büyük beş değeri çıkartıp geri kalan on değer in ortalamasını almışlardır.

2 ÖRNEKLERİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma için kaya örnekleri arazide taş ocaklarından ve hammadde sahasından deney yapılmak üzere laboratuara bloklar halinde getirilmişlerdir (Şek. 1). Kayaçların ince kesitleri yapılarak mikroskopik incelemelere göre kayaç adlandırması yapılmıştır. Şekil 1b'de ayrılmış olarak gösterilen birimin yapılan ayrışma sınıflamaları dikkate alındığında orta derecede ayrılmış olduğu bulunmuştur. Ayrılmış kayaç üzerinde Schmidt sertliği ölçülememediğinden, deneyler aynı birimin taze yüzeyleri üzerinde yapılmıştır. Numuneler taze olsa bile çekicinin numune yüzeyinde çatlak oluşturması gibi zorluklar nedeniyle deneyin killi-kireçtaşı örnekleri üzerinde yapılması oldukça zordur.



Şekil 1. Deneylere tabi tutulan jeolojik birimlerin görünüşleri a: Biyotitli tuf-kırıntılı killi kireçtaşı. b: orta derecede ayrılmış killi kireçtaşı c: Bazalt d: Kuararlı Andezit e: Dasitik Breş.

3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Yöntem

Laboratuvara getirilen blok örneklerden NX çapında (5.47 cm) karotlar alınıp, karot düzeltme makinasında boyları 13.5-15.5 cm veya boy/çap oranı 2.5-3.0 olacak şekilde hazırlanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi 5 kaya türü için 10'ar adet olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Schmidt sertliği ölçümü için koratlar karot beşiğine yatırılarak 7 farklı yöntemle göre schmidt sertliği bulunmuştur. Çatlak gibi yapısal kusuru olan veya deney esnasında karot bütünlüğünü bozacak hasara veya deformasyona sahip olan numuneler değerlendirilmeye alınmamışlardır. Ayrıca araziden laboratuvara getirilen kaya blokları üzerinde yoğunluk deneyleri yapılarak örneklerin birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra Deere ve Miller (1966) tek eksenli sıkışma dayanımı tahmini için önerdiği abak kullanılmıştır (Şek. 2).

Laboratuvara gerçekleştirilen Schmidt çekici ve tek eksenli basınç dayanımı deneylerine ilişkin görüntülerden bazıları Şekil 3'te yer almaktadır. Deneylerde L-tipi Schmidt çekici düşey konumda tutularak sertlik ölçümleri yapılmıştır.

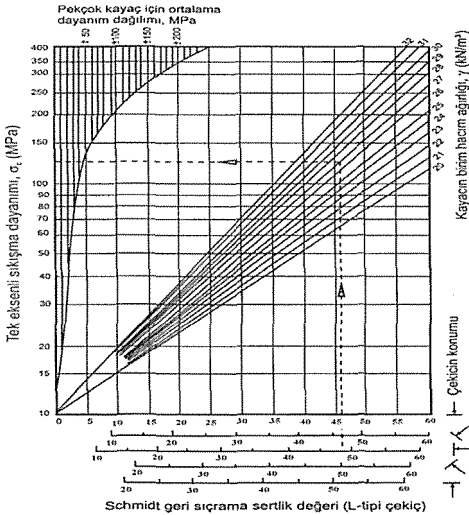


Şekil 3. Laboratuarda deneyler için örnek hazırlama ve deney örnekleri.

Literatürde yer alan farklı yöntemlere göre bulunan Schmidt sertlik değerleri ile ISRM 1978'e göre kayaç sertlik sınıflaması yapılmıştır (Çiz. 1). Bu sınıflamaya göre kayaçlar yumuşak, az yumuşak, az sert, sert, oldukça sert ve çok sert olarak tanımlanabilmektedir.

Çizelge 1. Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (ISRM, 1978)

Schmidt sertlik Değeri	Sınıflandırılması
0-10	Yumuşak
10-20	Az Yumuşak
20-40	Az Sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça Sert
> 60	Çok Sert



Şekil 2. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki Deere ve Miller (1966).

3.2 Deney Sonuçları ve İrdeleme

Numunelerin Schmidt sertlik değerleri her bir yöntemle göre ayrı ayrı hesaplanmış ve standart sapmaları bulunmuştur (Çiz. 2). Bütün yöntemlerde standart sapma değerleri ayrılmış killi kireçtaşlarında diğer kayaçlara oranla yüksek çıkmıştır. Bu durum ISRM (2007) standartlarında belirtildiği gibi

yumuşak kayalarda ölçülen sertlik değerlerinin tutarsızlığını göstermektedir. Schmidt sertlik değeri en yüksek olan kuvarslı andezitin ise standart sapma değeri diğer örneklerin hepsinden daha düşük çıkmıştır. Kayaç sertliği arttıkça Schmidt sertlik değerlerinin daha tutarlı olduğu ve

dolayısıyla, standart sapma değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kayaç sertliği ISRM (1978) sınıflamasına göre 'sert' ve 'oldukça sert' aralığında yer aldığına hangi yöntem olursa olsun sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Çizelge 2. Kayaçlar üzerinde ölçülen Schmidt çekici sertlik değerleri ve bazı yöntemler.

Yöntemler	Örnek Adları	Ortalama ± Standart Sapma
ISRM (1981)	Killi kireçtaşı	17.2±2.04
	Ayrılmış killi kireçtaşı	15.4±2.83
	Bazalt	49.2±2.15
	Kuvarslı andezit	52.9±0.56
	Dasitik breş	42.6±0.69
ASTM (2001)	Killi kireçtaşı	15.6±3.13
	Ayrılmış killi kireçtaşı	12.1±3.51
	Bazalt	47.1±2.96
	Kuvarslı andezit	52.2±0.78
	Dasitik breş	40.8±2.09
Poole And Farmer (1980)	Killi kireçtaşı	20±3.61
	Ayrılmış killi kireçtaşı	21±3
	Bazalt	50.3±2.08
	Kuvarslı andezit	53.3±0.57
	Dasitik breş	43.6±0.57
Sumner And Nel (2002)	Killi kireçtaşı	13.3±1.63
	Ayrılmış killi kireçtaşı	11±2.05
	Bazalt	45.3±1.82
	Kuvarslı andezit	51.3±0.94
	Dasitik breş	40.6±1.59
USBR (1998)	Killi kireçtaşı	18±2.54
	Ayrılmış killi kireçtaşı	14.8±2.94
	Bazalt	49.6±1.14
	Kuvarslı andezit	52.8±0.44
	Dasitik breş	42±1.22
Soiltest (1976)	Killi kireçtaşı	16.6±2.54
	Ayrılmış killi kireçtaşı	15.1±3.14
	Bazalt	48.5±2.22
	Kuvarslı andezit	52.5±0.52
	Dasitik breş	42.3±0.82
Hucka (1965)	Killi kireçtaşı	21.3±1.52
	Ayrılmış killi kireçtaşı	21.7±3.78
	Bazalt	50.3±0.57
	Kuvarslı andezit	53.6±0.57
	Dasitik breş	44.3±1.52

Her bir yöntemle göre Schmidt sertliği değerleri dolaylı yoldan tek eksenli sıkışma dayanımlarının tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Bunun dışında ISRM (1978) tarafından önerilen sınıflama sistemi ile değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Çiz. 3). En yüksek Schmidt sertlik değerleri tüm kayalarda Poole ve Farmer (1980) ve Hucka (1965) önerdikleri yöntemler ile yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Her iki yöntemde en yüksek sertlik değerlerinin ortalamaya katılması söz konusu olduğundan, diğer yöntemlere göre daha

yüksek değerler elde edilmiştir. Bu, kayaları normalden daha sert göstermekte ve yanlış yorumlamalara neden olabilmektedir. ISRM (1978) Schmidt sertliğine göre kayac sınıflamasında killi kireçtaşı, ayrılmış killi kireçtaşı ve bazalt örneklerinde Poole ve Farmer (1980) ve Hucka (1965) yöntemleri ile belirlenen sertlik tanımlamaları diğer yöntemlerden daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni bu üç kayac ISRM (1978) sınıflamasında bir üst sınıf aralığındaki değerlere yakın olmaları olmuştur.

Çizelge 3. Yedi farklı yöntemle elde edilmiş Schmidt sertlik değerlerinin (ISRM, 1978) sınıflamasına göre karşılaştırılması

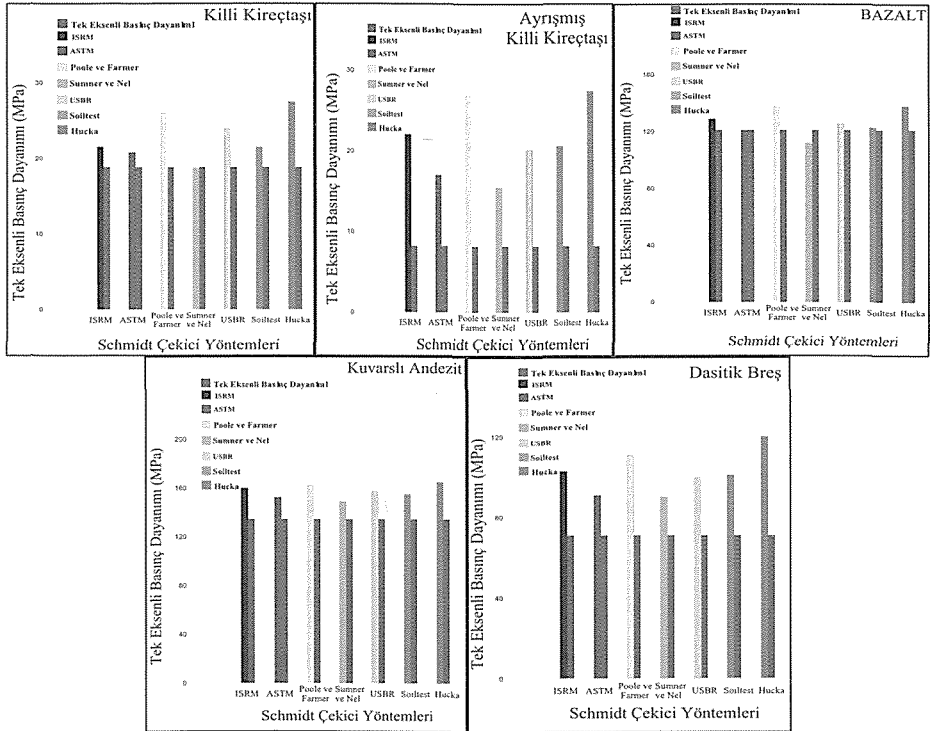
Yöntem	Killi Kçt	ISRM,1978 tanımlaması	Ayrılmış Killi Kçt	ISRM,1978 tanımlaması	Bazalt	ISRM,1978 tanımlaması	Kuvarslı andezit	ISRM,1978 tanımlaması	Dasitik Breş	ISRM,1978 tanımlaması
ISRM (1981)	17.2	Az yumuşak	15.4	Az yumuşak	49.2	Sert	52.9	Oldukça Sert	42.6	Sert
ASTM (2001)	15.6	Az yumuşak	12.1	Az yumuşak	47.1	Sert	52.2	Oldukça Sert	40.8	Sert
Poole ve Farmer (1980)	20	Az Sert	21	Az Sert	50.3	Oldukça Sert	53.3	Oldukça Sert	43.6	Sert
Sumner ve Nel (2002)	13.3	Az yumuşak	11	Az yumuşak	45.3	Sert	51.3	Oldukça Sert	40.6	Sert
USBR (1998)	18	Az yumuşak	14.8	Az yumuşak	49.6	Sert	52.8	Oldukça Sert	42	Sert
Soilttest (1976)	16.6	Az yumuşak	15.1	Az yumuşak	48.5	Sert	52.5	Oldukça Sert	42.3	Sert
Hucka (1965)	21.3	Az Sert	21.7	Az Sert	50.3	Oldukça Sert	53.6	Oldukça Sert	44.3	Sert

Örneklerin birim hacim ağırlıkları, Schmidt abağı kullanılarak bulunan tahmini ve laboratuarda deneyler ile bulunan gerçek tek eksenli basınç dayanımları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Çiz. 4). Bu verilerden tahmini ve gerçek tek eksenli basınç dayanımları sütun grafiklerin çiziminde kullanılmıştır (Şek. 4). Sütun grafiklerden de görüleceği gibi yalnızca ASTM (2001) standartları ve Sumner ve Nel (2002) önermiş oldukları yöntemler ile bulunan Schmidt sertlik değerlerinden elde edilen tek eksenli basınç dayanım değerleri, gerçek tek eksenli basınç dayanım değerlerine en fazla yaklaşan yöntemler olmuştur. Diğer yöntemlerde çoğunlukla ölçülen sertlik değerlerinin en düşük %50 ya da en düşük %33'lük bir kısmının iptal edilerek diğer

verilerin (yüksek değerlerin) ortalamasının alınmasıyla bulunan Schmidt sertlik değerleri, yorumlamalarda kayacı olduğundan daha sert göstermekte ve dolayısıyla tahmini tek eksenli basınç dayanımlarının da yüksek çıkması gibi hatalara yol açabilmektedir. Kayalar %100 homojen olmadıkları için sertliği de her noktada birbirlerine yakın olmakla beraber tamamen aynı çıkmamaktadır. Bu nedenle en düşük değerlerin iptal edilmesi kayacı tamamıyla temsil etmemektedir. Fakat 'sert' ve 'oldukça sert' olan kayalarda Schmidt çekici yöntemi çok önemli olmamaktadır. Çünkü Schmidt sertlik değerleri Poole ve Farmer (1980) ve Hucka (1965) önerdikleri yöntemleri hariç, birbirine oldukça yakın çıkmaktadır.

Çizelge 4. Örneklerin birim hacim ağırlığı, tahmini ve gerçek tek eksenli basınç dayanımları

Parametreler		Killi Kireçtaşı	Ayrılmış Killi Kireçtaşı	Bazalt	Kuvarslı Andezit	Dasitik Breş
Birim Hacim Ağırlığı		22.86	23.15	25.55	26.09	27.07
Tahmini Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	ISRM	21.5	22	129	160	103
	ASTM	20.8	17	121	152	91
	Poole ve Farmer	26	27	138	163	111
	Sumner ve Nel	18.7	15.5	112	149	90
	USBR	24	20.2	126	158	100
	Soilttest	21.5	20.6	123	155	101
	Hucka	27.5	27.4	138	165	120
Gerçek Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)		18.85	8.19	121.16	134.5	71.04



Şekil 4. Tahmini ve gerçek tek eksenli basınç dayanımlarına ilişkin sütun grafikleri.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde schmidt sertlik tayini için önerilen yöntemlerden yedi tanesi üzerinde çalışılmış ve ISRM (1978) sertlik sınıflamasına göre; killi kireçtaşı, ayrıışmış killi kireçtaşı ve bazalt örneklerinde Poole ve Farmer (1980) ve Hucka (1965) yöntemlerinde sınıflama tanımlamaları diğer beş yöntemden yüksek çıkmıştır.

Tüm örneklerde en yüksek Schmidt sertlik değerleri Poole ve Farmer (1980) ve Hucka (1965) yöntemleri esas alınarak yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Bu durum uygulamada kayaçları normalden daha sert göstererek yanlış yorumlamalara neden olabilmektedir.

Schmidt çekici sertlik değerleri baz alınarak tek eksenli basınç dayanımı tahmini olarak elde edilmiş ve gerçek tek eksenli basınç değerleriyle karşılaştırılmıştır. Buna göre; Tahmini tek eksenli basınç dayanımlarının gerçek tek eksenli basınç değerlerine en fazla yaklaştığı durum, tüm örnekler için yalnızca ASTM (2001), Sumner ve Nel (2002) yöntemleri olmuştur.

Yapılan çalışmaya göre yumuşak numunelerde (ayrıışmış killi kireçtaşı) schmidt sertliği ile bulunan tek eksenli basınç dayanım tahminleri sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Kayanın yumuşak veya ayrıışmış olması Schmidt sertlik değerlerinin tutarsız olmasına neden olmaktadır. Yumuşak kayaçlarda gerçekleştirilen Schmidt sertlik değerlerinden dolayı olarak hesaplanan tek eksenli basınç değerlerine güvenmemek gerekmektedir. Buna karşın tek eksenli basınç dayanımına ilişkin bir yaklaşım sunabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Andrew, S, Goudie, 2006. The Schmidt Hammer in geomorphological research, Progress in Physical Geography, 30, 6, pp. 703-718.
ASTM, 2001. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method, ASTM Stand. 04.09 (D 5873-00).

Aufmuth, R.E, 1973, A systematic determination of engineering criteria for rock, Bull. of Assoc. Of Eng. Geol, 11, pp 235-245.
Aydın, A, Basu, A, 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization, Engineering Geology, 81, pp.1-14.
Büyüksağış, IS, Göktan, RM, 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock, International Rock Mechanics and Mining Sciences, 44, pp 299-307.
Deere, DU, Miller, RP, 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock, Tech. Report No. AFWL-TR 65-116, Universty of Illinois.
Dehghan, S, Sattari, G, Chehreh, Chelgani, S, Alliabadi, MA, 2009. Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural Networks, Mining Science and Technology 20, pp.0041-0046.
Gökçeoğlu, C, 1996. Schmidt sertlik çekici kullanılarak tahmin edilen tek eksenli basınç dayanımı verilerinin güvenilirliği üzerine bir değerlendirme, Jeol. Mühendisliği Mayıs, 48, s.78 - 81.
Göktan, RM, Güneş, N, 2005. A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction, Int J Rock Mech Min Sci, pp. 466-72.
Göktan, R. M. Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to the Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method with Particular Reference to Rock Machineability, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Geomechanics Abstract, 30,3, pp.321-322.
Haramy, K.Y, DeMarco, M.J, 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing. 26th US Symp. on Rock Mechanics, 26-28 June, Rapid City, pp. 549-555, Balkema, Rotterdam
Hucka, V, 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in situ. Int J Rock Mech. Min. Sci Geomech, Abstr, pp.127-134.
ISRM, 1978. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks, International Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomech. Abstr, 15, pp. 89- 97.
ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.

- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay, R., J.A. Hudson, Kozan Offset Press, Ankara, pp. 153-154.
- ISRM, 2007. Suggested Method for Determination of the Schmidt Rebound Hardness, International Rock Mechanics and Mining Science, pp.107-108.
- Kahraman, S, 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 38, pp.981-994.
- Katz, O. Reches, Z, Roegiers, J.C, 2000. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 37, pp.723-728.
- Poole, R.W, Farmer, I.W, 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing, International Journal Rock Mechanics Mining Science, Geomechanics Abstr, 17, pp.167-171.
- Schmidt, E, 1951. A non-destructive Concrete Tester, Concrete, 59(8), 34-5.
- Soiltest Inc. (1976). Operating instructions- concrete test hammer, Evanston, IL.
- Sumner, P, Nel, W, 2002. The effect of moisture on schmidt hammer rebound: Tests on rock samples from Marion Island and South africa. Earth Surf Proc Landforms, 27, pp.1137-1142.
- USBR, 1998. Engineering geology field manual. Field index tests. vol. 1, pp. 111-120.
- Xu, S, Grasso, P, Mahtab, A, 1990. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. 6th Int. IAEG Congress, pp. 511 - 519, Balkema, Rotterdam.
- Yaşar, E, Erdoğan, Y, 2004. Estimation of rock physiomechanical properties using hardness methods, Eng. Geol, 71, pp.281-288.

Ayrık Elemanlar Yöntemi Prensibinde Çalışan PFC3D Sayısal Modelleme Programında Kayaç Verilerinin Önceden Tahmini

Predicting The Rock Material Properties by Numerical Modelling Software of PFC3D Operated Based on Discrete Element Method

N.E. Yaşıtlı, F. Bayram

Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Aksaray

B. Ünver, Y. Özçelik

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan yüksek kapasiteli ve hızlı bilgisayar donanımlarıyla, alt yapısı çok gelişmiş, karmaşık fiziksel ve matematiksel problemlerin ve eşitliklerin çözümü, önceki yıllara göre çok daha basit olmaktadır. Dolayısıyla bu teknoloji, birçok sektörde olduğu gibi madencilik sektöründe de oldukça zahmetli ve masraflı olan laboratuvar ve tesis koşullarında yapılan çalışmaların, daha basit ve ucuz benzetim ve modelleme yöntemleriyle desteklenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu modellemelerin yapılması esnasında kayaç için kullanılan verilerin, sonuç üzerinde tamamen bir etkisi olduğundan çok büyük bir titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Ayrık elemanlar prensibinde çalışan PFC3D programında, kaya kütlelerinde yapılan modellemelerde doğrudan kayaç verileri kullanılmamaktadır. Kayacı tanımlayan veriler, programın alt yapısına uygun verilere dönüştürülmektedir. Bu çalışmada, kaya mekaniği deneyleri ile elde edilen verilerin PFC3D sayısal modelleme programına uygun bir veri haline dönüştürülmesi anlatılmaktadır. Çalışmanın sonuçlarının, kaya kütlelerinde gerçekleştirilen modelleme çalışmaları için oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir

ABSTRACT Availability of computers with higher capacity and fast processors has enabled solution of complicated physical and mathematical problems much easier than the previous years. Hence, realistic modeling and simulation work related with both laboratory and plant operations in mining sector like many other sectors could be performed in a faster and cheaper manner. However, the rock parameters data used in modelling studies, which affect the results completely have to be determined very carefully. On the other hand, the rock parameters data can not be used directly in PFC3D operated based on discrete element method. The data defining the rock obtained from rock mechanics tests are transformed to appropriate data for the software of PFC3D. In this paper, this procedure was explained. The results of the study will be very helpful to numerical modelling studies performing in rock mass.

1 AYRIK ELEMANLAR YÖNTEMİ

Ayrık elemanlar yöntemi (AEY), yuvarlak, küre ve poligon şekilli tanelerin bir araya toplanıp oluşturduğu katı cisimleri modelleyen sayısal bir yöntemdir. AEY'nin

temel yaklaşımı ve çözümlemesi, ilk olarak Cundall (1971) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem; temelde eklemli kayaların iki boyutlu olarak modellenmesi için geliştirilmiş olmakla birlikte, farklı disiplinlerde taneciklerden oluşan makro ve mikro boyutlu malzemelerin

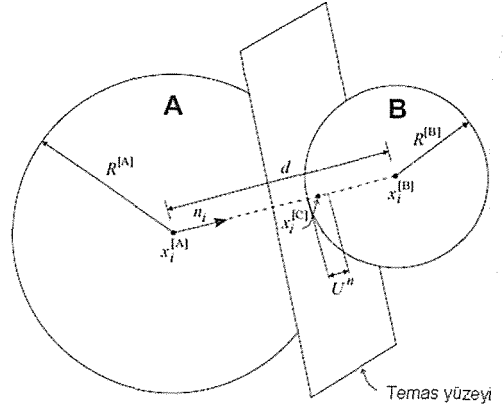
modellenmesi için kullanılmıştır (Cundall and Strack, 1979; Long and Cundall, 1987, Cundall, 1988). Yaygın olarak kullanılan ve bilinen AEY programları; UDEC, 3DEC (Cundall, 1988; Hart et.al., 1988), PFC2D, PFC3D (Itasca, 2005) ve DDA (Shi, 1988)'dir.

Ayrık elemanlar yönteminde taneler deforme olabilir ve birbirinden bağımsız olarak yer değiştirebilir, temas noktalarında ve birbirleri arasındaki ara yüzeylerde birbirlerinden etkilenebilirler. Sürekli bir ortam teorisine göre modelleme yapılan yöntemlerde (sonlu elemanlar, sonlu farklı elemanlar yöntemi), aynı zamanda iki yenilme (çekme yenilmesi, makaslama yenilmesi) meydana gelmektedir. Ayrık elemanlar yönteminde ise diğer modelleme programlarındaki avantajlara ek olarak hem hasar hem de kırılğan yenilme, eş zamanlı olarak modellenebilmektedir. Bu olay, tanelerin mikro düzeyde ayrılması ve kayması sonucunda meydana gelmektedir. Bu yöntem, sonlu deformasyonlara, tamamen bir temassızlığı içerecek şekilde ayrık kütlelerin dönmesine ve hesaplama işlemi içerisinde otomatik olarak yeni temasların oluşmasına da izin vermektedir.

2 PFC3D SAYISAL MODELLEME PROGRAMI

PFC3D, küresel tanelerin oluşturduğu cisimlerin birbirleriyle etkileşimini üç boyutlu olarak çözümlenen sayısal modelleme programıdır. Tanelerin oluşturduğu cisimlerin mekanik davranışlarını, tamamen dinamik davranışa göre modellemektedir. Tanelerin hareketleri Newton'un hareket kanununa göre olurken, taneler arasındaki etkileşimler ise temas (contact) modelleri ile tanımlanmaktadır (Şekil 1).

Tanecik-tanecik temasında, $x_i^{[A]}$ ve $x_i^{[B]}$ A ve B küreleri merkezlerinin konum vektörleri iken bağlantı yüzeyini tanımlayan birim normal deformasyon n_i Eş. 1'de, "d" tanecik



Şekil 1. Modelleme için kullanılan tane ve çeper elemanlar (Itasca, 2005)

merkezleri arasındaki uzaklık ise Eş. 2'de verilmiştir.

$$n_i = \frac{x_i^{[B]} - x_i^{[A]}}{d} \quad (1)$$

$$d = |x_i^{[B]} - x_i^{[A]}| = \sqrt{(x_i^{[B]} - x_i^{[A]})^2} \quad (2)$$

Küre-çeper bağlantıda n_i , tanecik merkezi ve çeper arasındaki en kısa mesafeyi ifade eden "d" boyuncadır. Bu yön, küre merkezinin çeper ile tanımlanan alanının ilgili kısmında iz düşümü yapılarak bulunur.

Üst üste binme U^n , normal yöndeki göreceli temasın yer değişmesidir ve Eş. 3 ile ifade

$$U^n = \begin{cases} R^{[A]} + R^{[B]} - d, & (\text{Tanecik-tanecik}) \\ R^{[b]} - d, & (\text{Tanecik-çeper}) \end{cases} \quad (3)$$

edilir.

$$x_i^{[C]} = \begin{cases} x_i^{[A]} + \left(R^{[A]} - \frac{1}{2}U^n\right)n_i, & (\text{Tanecik-tanecik}) \\ x_i^{[b]} + \left(R^{[b]} - \frac{1}{2}U^n\right)n_i, & (\text{Tanecik-çeper}) \end{cases} \quad (4)$$

Temas noktası yeri ise Eş. 4'de verilmiştir.

F_i temas kuvveti vektörü (tanecik-tanecik temasında A tanesinin B tanesindeki hareketini ve tanecik-çeper temasında çeperdeki tanenin hareketini gösterir) normal ve makaslama bileşenlerine ayrılarak temas yüzeyindeki etkisine göre Eş. 5 kullanılarak tekrar çözülür.

$$F_i = F_i^n + F_i^s \quad (5)$$

F_i^n ve F_i^s sırasıyla normal ve makaslama bileşen vektörlerini göstermektedir.

Normal temas kuvvet vektörü de Eş 6'ya göre hesaplanmaktadır.

$$F_i^n = K^n U^n n_i \quad (6)$$

K^n , temastaki normal katılık (kuvvet/yer değiştirme)

Kaya mekaniği alanında yapılan modelleme çalışmalarında, taneler birbirleriyle temas halindedir. Taneler arasında bağlayıcı modeller kullanılmaktadır ve bağlı tanecik modeli (BTM) (Bonded Particle Model) olarak ifade edilmektedir. BTM, karmaşık makroskobik davranışları meydana getiren mikro mekanizmaların araştırılmasında hem bilimsel bir araç özelliği gösteren hem de bu makroskobik davranışların önceden tahmin edilmesinde kullanılan mühendislik aracıdır. Mikro çatlakların oluşumu, gelişimi ve etkileşimi, kayaçların mekanik davranışlarını yönlendirmektedir. BTM, hem düzenli hem de düzensiz boyutlarda olan ve birbirlerine bir temas noktasından bağlı olan küresel tanelerin mekanik davranışının modellemesini yapmaktadır. Burada kullanılan "tane" tabiri, mekaniğin birçok alanında kullanılan tanımdan farklıdır. Buradaki anlamı, "uzayda küçük bir noktayı temsil eden ve ihmal edilebilir büyüklükte bir kütle"dir. Katı taneler, birbirlerini sadece ince temaslarla etkilerler ve sonlu normal ve makaslama katılığına (stiffness) sahiptirler. Normal katılık, toplam yer değiştirme ve kuvvet ile ilişkili olan sekant modülüdür ve kuvvet / yer değiştirme (N/m) olarak ifade edilir. Makaslama katılığı da artan yer

değiştirme ve kuvvet ile ilişkili olan tanjant modülüdür ve bu da kuvvet / yer değiştirme (N/m) olarak tanımlanır. Bu sistemin mekanik davranışı, her bir tanenin hareketiyle ve her bir temasta etki eden kuvvet ve momentle tanımlanır. Newton hareket kanunu, tane hareketi ve hareket sonucu oluşan kuvvet ve momentler arasındaki temel ilişkileri sağlamaktadır (Potyondy and Cundall, 2004).

PFC3D sayısal modelleme programında, tanelere ek olarak çeper (wall) diye tanımlanan elemanlar kullanılmaktadır. Çeperin programdaki rolü, taneleri modelin başlangıcında bir arada tutarak katı cisim oluşturmaktır. Bu çalışmada da çeperlerle küp şeklinde oluşturulan model içerisine taneler yerleştirilmiştir. PFC3D sayısal modelleme programında taneler, hem kendi aralarında hem de çeper ile etkileşim halindedir (Yaşıtı, 2008).

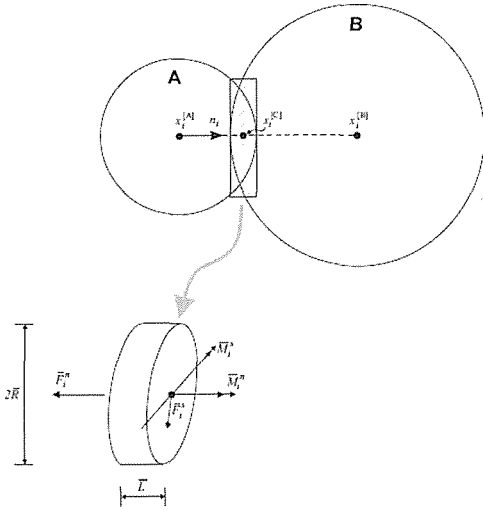
2.1 Paralel Bağ Modeli

Kurulacak ve kullanılacak modellerde taneler birbirlerine temas halinde ve birbirleriyle bağlı olmalıdır. PFC3D sayısal modelleme programı içerisinde birçok model bulunmasına rağmen kayaç numunesini modelleyebilmek için "Paralel Bağ Modeli" diye adlandırılan ve birbirine bağlı malzeme özelliğine sahip kayaçları tanımlamak ve modellemek için kullanılan model seçilmiştir.

Paralel bağ modeli, iki tanecik arasında yerleşmiş sonlu boyuttaki birbirine kaynaşmış malzemenin temel davranışını tanımlamaktadır. Bu bağ, tanecikler arasında, tanelere paralel yönde etki eden elastik bir etkileşim oluşturmaktadır. Paralel bir bağın varlığı, taneciklerin kaymasını ortadan kaldırmamaktadır. Paralel bağlar, parçacıklar arası bileşke kuvvetin ve momentin birbirine bağlı parçacıkların üzerinde etkin olmasına neden olmaktadır. Paralel bağ, bir bağlantı yüzeyinde uzanan dairesel bir disk boyunca yayılmış ve merkezi temas noktası olan, sabit normal ve makaslama katılığına sahip elastik yaylar serisi gibi düşünülebilir. Bu yaylar, bir noktadaki parçacık kırılma katılığını modellemek için kullanılan ve temel davranış şekli, Şekil 2'de gösterilen noktasal

bağlantı yayları ile paralel davranış göstermektedir. Bağlantıdaki (paralel b. k^n) oluşturulduktan sonra meydana gelen bağıl hareket, paralel bağ katılığı sonucu oluşan bağlantı maddesinde bir kuvvet ve moment gelişimine neden olur. Bu kuvvet ve moment iki bağılı parçacığa etki eder ve bağ çevresinde bağ malzemesine etki eden en büyük normal ve makaslama gerilmesi ile ilişkilendirilebilir. Eğer bu en yüksek gerilmelerden biri bağ dayanımını aşarsa paralel bağ kopmaktadır.

Paralel bağ normal ve makaslama katılığı, kn k^s ks (gerilme / yer değiştirme); normal ve makaslama dayanımı, $\bar{\sigma}_c$ ve $\bar{\tau}_c$ (gerilme); ve bağ disk yarıçapı, R parametreleri, programda pb_kn, pb_ks, pb_nstrength, pb_sstrength ve pb_radius komutları kullanılarak belirlenir.



Şekil 2. İki tanecik arasında oluşan paralel bağ (Itasca, 2005)

3 PFC3D SAYISAL MODELLEME PROGRAMINDA KAYA MEKANİĞİ DENEYLERİNİN MODELLENMESİ

Kayaç ile ilgili PFC3D programında sayısal modellemelerin yapılabilmesi için öncelikle kayaç için modelde kullanılacak parametrelerin en doğru biçimde belirlenmesi gerekmektedir. PFC3D sayısal modelleme programı,

- kn (normal katılık)

- ks (makaslama katılığı)
- pb_kn (paralel bağ normal katılığı)
- pb_ks (paralel bağ makaslama katılığı)
- pb_nstr (paralel bağ normal dayanımı)
- pb_sstr (paralel bağ makaslama dayanımı)

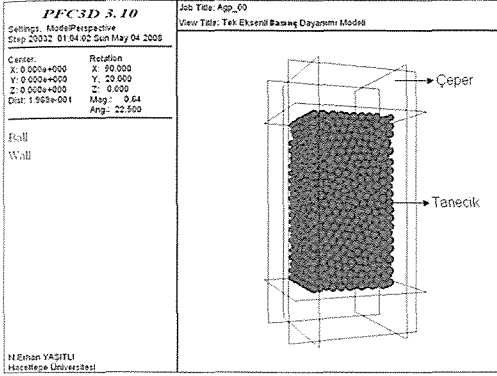
verilerini kullanmaktadır. Laboratuvar koşullarında bu değerlerin belirlenmesi mümkün değildir. Bu sebeple kayaçlar için bu verilerin farklı yollardan bulunması gerekmektedir. Bu amaçla geriye dönük analizler yapılmıştır. Geriye dönük analizlerde laboratuvarında deneyleri yapılan ve değerleri bilinen tek eksenli basınç dayanımı deneyi, tek eksenli deformasyon deneyi ve dolaylı tek eksenli çekme dayanımı (TEÇD) deneyi (Brazilian deneyi) modelleri yapılmıştır. Geriye dönük olarak yapılan bu analizlerde deneme-yanılma yöntemi seçilmiştir. Bu aşamada yapılan çalışmalarda, en önemli problem, kaya mekaniği deneylerinde tanecik boyutunun seçilmesi olmuştur. Birçok tanecik boyu seçilerek kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonunda 1,5 mm yarıçapında tanecik boyutunun hem kaya mekaniği deneyleri için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yukarıda verilen ve modellemelerde kullanılan parametrelerin belirlenmesi oldukça zaman alıcı bir işlem olmuştur. PFC3D programında yazılan komut sistemi ile bu veriler belirlenmiştir. Uygun tanecik boyu belirlendikten sonra tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesi için bir model, dolaylı çekme dayanımının belirlenmesi için de ayrıca bir model oluşturulmuştur. Bu modelleme çalışmalarında, laboratuvarında elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır. Bu veriler komut sisteminde girildikten sonra modeller çalıştırılmış ve sonuçları incelenmiştir. Birçok kez tekrarlanan bu işlem sonucunda, tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve dolaylı çekme dayanımı gerçek verilerinin, modelleme verileri ile yaklaşık olarak kesiştiği noktada, kesme modellemesinde kullanılacak tanecik ve tanecikler arasındaki bağ modeli verileri elde edilmiştir. Bu işlemler Afyon Menekşe ticari

isimli doğal taş numesinde gerçekleştirilmiştir ve aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

3.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımının Modellemesi

Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi için oluşturulan modelin genel görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi için PFC3D programında kurulan model (Yaşitli, 2008)

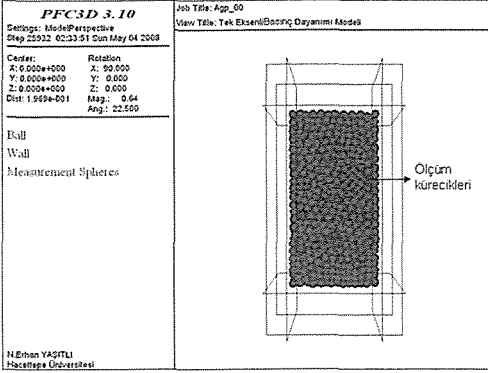
Şekil 3'de görüldüğü gibi öncelikle modelin sınırlarını belirleyen çeper elemanlar (6 adet) oluşturulmuştur. Çeper elemanlar modelin tamamını saracak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra çeperlerle oluşturulan bu modelin içerisine istenilen boyutta taneciklerin yerleştirilmesi gerekmektedir. PFC3D programında modelleme yapılmadan önce, kurulacak modelin ".txt veya .dat" uzantılı bir dosyada; komutların, programın kabul edeceği dilde ve programın kurallarına uygun olarak satır satır yazılması gerekmektedir. Bu dosya içerisinde,

- modelin boyutları
- modelde kullanılan taneciklerin boyutları
- model içerisine yerleştirilecek tanecik miktarı
- modelin etrafını saran çeperler
- tanecikler arası etkileşim değerleri
- tanecik-duvar arası etkileşim değerleri

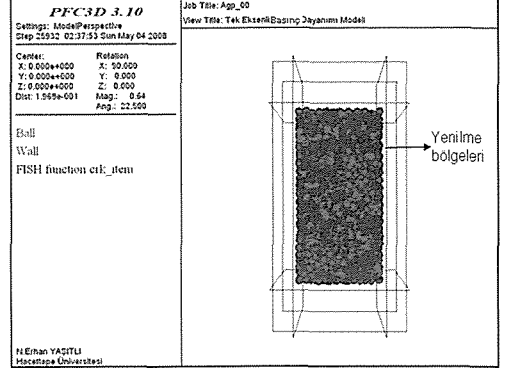
- tanecikler arası bağ modeli
- laboratuvarında bulunan tek eksenli basınç değeri

gibi verileri ifade eden komutlar girilmektedir.

Tek eksenli basınç dayanımının modellenmesi işlemi, laboratuvarında yapılan tek eksenli basınç deneyinin bir benzeri şeklindedir. Laboratuvarında yapılan deneylerde numune, hidrolik pres içerisinde bulunan iki plaka arasına konmaktadır. Daha sonra alttaki plakanın belirli bir hızla yukarıya doğru hareketi ile basınç uygulanmaktadır. Kayacın kırıldığı ana kadar bu plaka yukarıya doğru hareket etmekte ve kırıldığı anda durmaktadır. Modellemede de bu işlem aynı şekilde çeperlerle yapılmaktadır. Modelin üstünde bulunan çeper aşağıya doğru hareket ettirilerek, numune kırılıncaya kadar modelleme sürmüştür ve numune kırıldığı anda durmuştur. Modelin belirli zaman aralıklarında yük ve yer değiştirme verileri alınması ve programın ara yüzünde elde edilen grafiği çizmesini sağlamak için komut dosyasında, modele ölçüm küreleri (measurement sphere) yerleştirilmiştir. Böylelikle tanecikler içerisinde oluşan yük ve yer değiştirme ölçümlerinin her bir adımda alınması sağlanmıştır. Bu verilerin, FISH diye tanımlanan ve program içerisinde program yazabilmeye izin veren programlama sistemi ile farklı bir dosyada kaydedilmesine ve programın bu verileri işlemesine olanak sağlamaktadır (Şekil 4). Bu işlem, laboratuvarında elde edilen sonuç ile modellemeden elde edilen sonuç uyuncaya kadar farklı veriler kullanılarak tekrarlanmıştır.



Şekil 4. Modelleme sırasında verilerin alınmasını sağlayan ölçüm kürecikleri

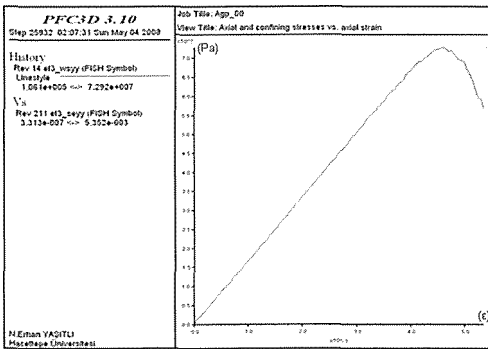


Şekil 6. Tek eksenli basma dayanımının modellenmesinde meydana gelen yenilmeler

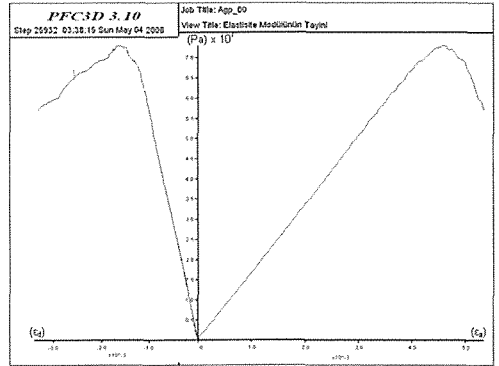
Afyon Menekşe hakiki mermeri için yapılan modelleme sonucu Şekil 5'te görülmektedir. Afyon Menekşe hakiki mermeri için TeBD değeri laboratuvarında 73,94 MPa olarak bulunmuş iken sayısal modelleme sonucunda 72,92 MPa olarak bulunmuştur. Tek eksenli basma dayanımı modellemesi esnasında laboratuvarında gözlenen yenilme olayının bir benzeri, modelleme sırasında da meydana gelmektedir. Şekil 6'da modelin tek eksenli basmaya maruz kaldığı süre sonunda bünyesinde meydana gelen yenilme görülmektedir. Şekildeki farklı renkler yenilme tipini göstermektedir. Siyah renk makaslama yenilmesini gösterirken kırmızı renk çekme yenilmesini göstermektedir.

3.2 Elastisite Modülü Tayini Modellemesi

Elastisite modülünün belirlenmesi için de Şekil 3'de görülen model kullanılmıştır. Bu model ile ayrıca Poisson oranının belirlenmesi de mümkündür. Elastisite modülünün belirlenmesinde, tek eksenli basınç dayanımında olduğu gibi üstteki çeper aşağı doğru hareket ettirilip kuvvet meydana getirilirken, düşey ve yatay yönde meydana gelen birim deformasyonlar da ayrıca kaydedilmiştir ve sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Modelleme sonucunda Elastisite modülü 16,7 GPa, Poisson's oranı da 0,27 olarak belirlenmiştir.



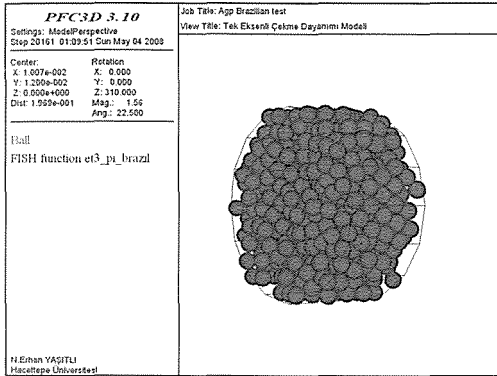
Şekil 5. PFC3D programında modelleme ile belirlenen tek eksenli basınç



Şekil 7. PFC3D programında modelleme ile belirlenen elastisite modülü grafiği

3.3 Dolaylı Çekme Dayanımının Modellemesi

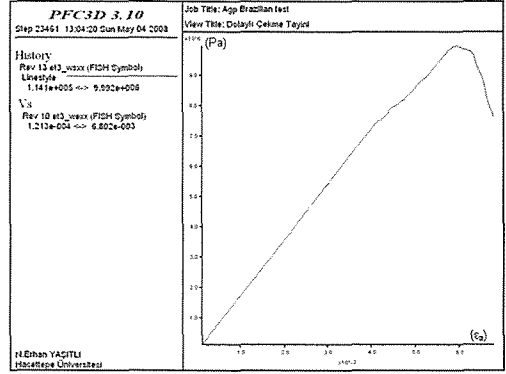
Tek eksenli dolaylı çekme dayanımı, laboratuvar koşullarında Brazilian deneyi ile belirlenmektedir. Bu mantıktan yola çıkılarak bu deneyin benzeri, PFC3D programında gerçekleştirilmiştir. Çekme dayanımının belirlenmesi için Şekil 8'de gösterilen model kurulmuştur. Daha sonra, aynı laboratuvarında olduğu gibi, modelin üstünden ve altından yükleme yapılarak malzemenin kırıldığı yerde tek eksenli çekme dayanımı sonuçları elde edilmiştir (Şekil 9). Tek eksenli basınç dayanımına benzer şekilde, numunenin yüklemeye yapılan hattı boyunca yenilmeler meydana gelmiştir (Şekil 10). Tek eksenli çekme dayanımının modellenmesi sonucunda Afyon Menekşe hakiki mermeri için TEÇD değeri 9.99 MPa olarak bulunmuştur.



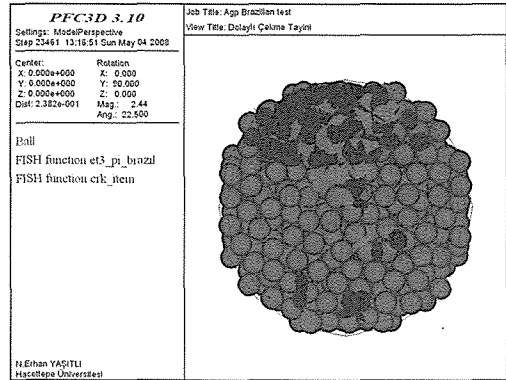
Şekil 8. PFC3D programında dolaylı tek eksenli çekme dayanımının belirlenmesi için kurulan model

4 SONUÇLAR

Kaya mekaniği deneylerinin modellenmesinde ilk etapta daha çok deneme-yanılma yöntemi kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Denemeler esnasında, laboratuvarında elde edilen tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve elastisite modülü verileri kullanılmıştır. Çalışma esnasında, kesme modellenmesi de göz önünde tutularak değişik tane boyları denenmiştir. Bu mantıktan yola



Şekil 9. PFC3D programında modelleme ile belirlenen dolaylı tek eksenli çekme dayanımı



Şekil 10. Tek eksenli dolaylı çekme dayanımının modellenmesinde meydana gelen yenilmeler

çıkılarak modellemelerde, laboratuvarında elde edilen gerçek verilere en yakın sonuçların bulunduğu 1,5 mm gibi çok küçük yarıçaplı tanecik kullanılmıştır. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda, bu değerın uygun olduğu görülmüştür. Kaya mekaniği deneylerinin modellenmesi sonucunda, ayrık elemanlar prensibinde çalışan PFC3D programı ile kayalarda yapılan mühendislik uygulamalarının modellemelerinde kullanılacak olan aşağıda verilen parametreler belirlenmiştir:

- **kn** (taneciklerin normal katılık değeri)
- **ks** (taneciklerin makaslama katılık değeri)
- **pb_kn** (tanecikler arası temas normal katılık değeri)
- **pb_ks** (tanecikler arası temas makaslama katılık değeri)
- **pb_nstr** (tanecikler arası temas normal dayanım değeri)
- **pb_sstr** (tanecikler arası temas makaslama dayanım değeri)

KAYNAKLAR

- Cundall, P.A., 1971. A Computer Model For Simulating Progressive Large Scale Movements in Blocky Rock Systems. In: *Proceedings of the Symposium of International Society of Rock Mechanics*, vol. 1, Nancy: France; Paper No. II-8.
- Cundall, P.A., Strack ODL. 1979. A Discrete Numerical Model For Granular Assemblies. *Geotechnique*, 29(1), 47-65.
- Cundall, P.A., 1988. Formulation of a Three-Dimensional distinct element model—Part I. A Scheme to Detect and Represent Contacts in a System Composed of Many Polyhedral Blocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Geomechanics Abstracts*, 25, 107-116.
- Hart, R., Cundall, P.A., Lemos, J., 1988. Formulation of a Three Dimensional Distinct Element Model—Part II. Mechanical Calculations for Motion and Interaction of a System Composed of Many Polyhedral Blocks. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Geomechanics Abstracts*, 25(3), 117-25.
- Itasca Consulting Group Inc., 2005. PFC2D/3D (Particle Flow Code in 2/3 Dimensions), Version 3.0. Minneapolis, MN: ICG.
- Shi, G.H., Goodman, R.E., 1988. Discontinuous Deformation Analysis: a New Method for Computing Stress, Strain and Sliding of Block Systems. in: *Key Questions in Rock Mechanics*, Ed. by Cundall P.A. et.al. Balkema, Rotterdam, 381-383.
- Yaşıtlı, N.E., 2008. Dairesel Testereli Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 145s.

Karbonatlı Kayaçların Kırılma Değerini Kullanarak Fiziko-Mekanik Özelliklerin Tahmin Edilmesi

Prediction of The Physico-Mechanical Properties Using The Friability Value of Carbonate Rocks

G. EKİNCİOĞLU

Ahi Evran Üniv., Kaman MYO, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, Kırşehir

N. ŞENGÜN & R. ALTINDAĞ

Süleyman Demirel Üniv., Müh.Mim.Fak., Maden Müh.Bölümü, Isparta

ÖZET Bu çalışmada, karbonat kökenli kayaçların kırılma değeri (S_{20}) ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışma kapsamında ülkemizin değişik bölgelerinden temin edilen 15 farklı karbonatlı kayacın laboratuvar ortamında fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu kayaçların kırılma değerleri belirlenerek bu değerler ile fiziko-mekanik özellikler arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleriyle incelenmiştir. Regresyon analizleri sonucunda, karbonatlı kayaçların kırılma değerleri ile fiziksel özellikler arasında 0.78–0.91, mekanik özellikler arasında ise 0.82–0.89 korelasyon katsayıları ile yüksek ilişkiler elde edilmiştir. Karbonatlı kayaçların kırılma değerlerinin gerek fiziksel özellikler gerekse mekanik özellikleri ile ilintili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kırılma testi daha pratik, hızlı ve kolay bir test olduğu için karbonatlı kayaçların fiziko-mekanik özelliklerin tahmin edilmesinde indeks olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

ABSTRACT In this study, the relationships between the physico-mechanical properties and friability values (S_{20}) of carbonate rocks were investigated. The physico-mechanical properties of 15 different carbonate rocks collected from different regions of Turkey were determined in the laboratory. Then, the friability values of these rocks were determined. The relationships between the friability values and physico-mechanical properties were investigated by using the simple regression analysis method. Between the physical properties with correlation coefficients ranging from 0.78-0.91 relationships and the mechanical properties correlation coefficients ranging from 0.82-0.89 relationships and the friability values of carbonate rocks were obtained from the regression analysis. Both the physical and mechanical properties of carbonate rocks related to the friability values were obtained. As a result of the friability test is more practical, fast and easy can be used as an index to estimate the physico-mechanical properties of carbonate rocks.

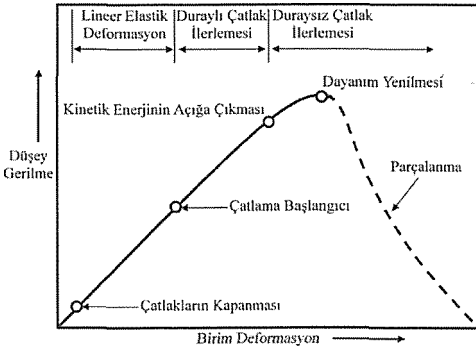
1 GİRİŞ

Gevreklik, kayaçların önemli mekanik özelliklerinden birisi olarak kabul edilmesine rağmen, gevrekliğin tanımlanması ve ölçülmesine yönelik kabul edilmiş evrensel herhangi bir standart yöntem bulunmamaktadır. Halen, bilim insanları tarafından kayaç gevrekliğinin tanımı ve ölçüm yöntemleri tartışılmaktadır. Genel

anlamda gevreklik, bir malzemenin çok az veya hiçbir plastik akma göstermeksizin kırılması veya çatlaması özelliği olarak tanımlanmaktadır. Bir anlamda gevreklik, kayacın kuvvet altında kırılmadan önce daha az deformasyon yapma veya belirli bir deformasyon yapmadan aniden kırılma özelliğidir (Şengün, 2009).

Gevrek kırılma; "yük altındaki kırılma mekanizmaları incelendiğinde, kayaçların uygulanan yüklere karşı koyma direnci, artan deformasyonlarla artıyorsa, bu tür davranışa gevrek veya kırılğan davranış olarak tanımlanmaktadır (Ünal ve Tutluoğlu, 1986). Göreceli olarak daha yüksek gevreklik gösteren kayaçların aşağıda belirtilen özelliklerden bir veya birkaçına sahip olabileceği belirtilmektedir (Hucka ve Das, 1974).

- Düşük uzama değerleri,
- Çatlaklı kırılma,
- Kırılmada ince parçacıkların oluşumu,
- Yüksek basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı,
- Yüksek elastikiyet,
- Daha yüksek içsel sürtünme açısı,
- Batma etkisi altında çatlakların oluşumu.



Şekil 1. Gevrek kayaçlarda gerilme-birim deformasyon ilişkisi (Ünal ve Tutluoğlu, 1986)

Kırılğan bir kayacın kontrollü yükleme anındaki davranışı incelendiğinde (Şekil 1), düşey yükün artmasıyla birlikte, başlangıçta deformasyonlar da artmaktadır. Daha sonra, çatlamanın başladığı gerilme düzeyine ulaşılmaktadır. Bu noktadan sonra, artan deformasyonla birlikte kayaçlarda bulunan küçük çatlaklar ilerlemeye başlamaktadır. Bu aşamada çatlak büyümesi duraylıdır; yani

numune üzerine uygulanan yük durduğunda çatlak ilerlemesi de durmaktadır. Yüklemeye devam edildiğinde ise kritik deformasyon enerjisinin dışarıya salındığı gerilme düzeyine erişilmektedir. Bu anda, çatlak ilerlemesi duraysızdır; yani deney numunesi üzerine uygulanan yükleme durdurulsa bile çatlaklar ilerlemeye devam etmektedir. Bu aşamadan sonraki yük ve artan deformasyonlar ile kayacın en fazla yük taşıma kapasitesine yani basınç dayanımına erişilmektedir. Normal hidrolik pres altında deneye tabi tutulan ve gevrek veya kırılğan olarak nitelendirilen kayaçlar çoğunlukla basınç dayanımı noktasında şiddetli ve ani olarak kırılırlar (Ünal ve Tutluoğlu, 1986).

Singh (1986), kömürlerin kesme dirençlerini ölçebilmek amacıyla, çeşitli kömür damarlarında yerinde kesme deneyleri yapmıştır. Singh, çalışmasında tek eksenli basınç dayanımının çekme dayanımına oranını (σ_c/σ_t) gevreklik ölçütü olarak kabul ederek, kömürlerin kesmeye karşı gösterdikleri direncin gevreklik ile doğrusal olarak arttığını gözlemlenmiştir.

Inyang (1991), Singh (1986)'in aksine basınç dayanımının çekme dayanımına oranının, kayaçlarda kesimler tarafından oluşturulan çatlakların ilerlemesinde önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Inyang (1991) kanal açma makineleri için geliştirmiş olduğu kazılabilirlik sınıflandırma sisteminde, gevreklik oranının (σ_c/σ_t) artması kazı kolaylığını artırıcı bir kayaç özelliği olarak belirtmiştir.

Altındağ (2000), basınç dayanımına karşılık çekme dayanımı grafiği çizildiğinde altta kalan alandan tanımlanan yeni bir gevreklik indeksi önermiştir. Bu yeni gevreklik indeksi ile darbeli delme performansları arasında önemli ilişkiler bulunmuştur.

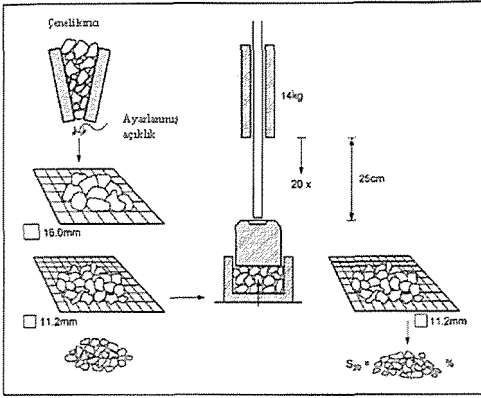
Günaydın vd. (2004), 8 farklı karbonat kökenli kayaçların mermer fabrikalarında yapılan performans verilerini kullanarak saatlik üretim miktarı ile farklı gevreklik ölçütleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Bu incelemeler sonucunda, kayaların gevreklik değerlerinin artmasıyla saatlik üretim miktarının azaldığını ve saatlik üretimi en iyi tahmin eden gevreklik ölçütünün Altındağ (2000)'in önerdiği gevreklik ölçütü olduğunu ifade etmişlerdir.

2 KIRILGANLIK DEĞERİ

Kayaçların kırılma değeri birçok yöntemle hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kayaların kırılma değeri, kırılma deneyinden (S_{20}) elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır.

Kırılma deneyi, tekrarlanan darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney yöntemidir. Kırılma deneyinin belirlenmesinde deneyin yapılışı şematik olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kırılma deneyi düzeneği (Dahl, 2003)

16-11.2 mm arasında yaklaşık 500 gr kırılmış kayaç örneği üzerine 25 cm yükseklikten 14 kg'lık kütle, 20 kez düşürülmesi sonucunda 11.2 mm açıklıklı elekten tekrar elenmesi ile elek altına geçen malzemenin yüzdesi S_{20} değeri olarak kabul edilir ve kayaların kırılma değeri Çizelge 1'e bağlı olarak sınıflandırılır.

Çizelge 1. Kırılma deneyi (S_{20}) deney değerlerinin sınıflaması (Dahl, 2003).

Sınıfı	Değer
Oldukça düşük	<30
Çok düşük	31-34
Düşük	35-41
Orta	42-50
Yüksek	51-59
Çok yüksek	52-67
Oldukça yüksek	>67

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında ülkemizin değişik bölgelerinden temin edilen 15 farklı kayaç türü kullanılmıştır (Çizelge 2). Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri TS 699 (2009), TS EN 12372 (2001), TS EN 14157 (2005), ISRM (1981) ve ISRM (2007)'e göre belirlenmiştir. Deneylerde kullanılacak numuneler SDÜ Maden Müh. Bölümü, Doğal Taşlar Teknolojisi Laboratuvarında hazırlanmış ve ilgili standartlar çerçevesinde deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kayaçlar.

Kayaç Adı	Kodu	Tür	Yeri
Bucak Traverten	TRV-1	Traverten	Burdur-Bucak
Denizli Traverten	TRV-2	Traverten	Denizli-Kocabaş
Limra Simena	KT-1	Kireçtaşı	Antalya-Demre
Tundra Grili	KT-2	Kireçtaşı	Afyon-Kaş
Burdur Bej	KT-3	Kireçtaşı	Burdur-Karaman
Ağlasun Bej	KT-4	Kireçtaşı	Burdur-Ağlasun
Karaman Bej	KT-5	Kireçtaşı	Karaman
Afyon Siyah	KT-6	Kireçtaşı	Afyon
Karia Bej	KT-7	Kireçtaşı	Burdur
Hacılar Bej	KT-8	Kireçtaşı	Uşak
Kalker Tüfü	KT-9	Kireçtaşı	Denizli
Limra Patara	KT-10	Kireçtaşı	Antalya-Finike
Marmara Grili	M-1	Mermer	Balıkesir
Kaplan Postu	M-2	Mermer	Marmara Adası
Muğla Beyaz	M-3	Mermer	Muğla-Yatağan

3.1 Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Çalışma kapsamında kayaların fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık (BHA),

toplam porozite (TP) ve Los Angeles aşınma (K_{500}) deneylerinde TS 699 (2009) standardı böhme yüzey aşınma (BYA) deneylerinde ise TS EN 14157 (2005) standardı kullanılmıştır. Ultrases geçirgenlik hız deneyi (V_p), ISRM (1981) standardına göre Shore sertliği (SH) deneyi ise ISRM (2007) tarafından önerilen Shore sertliği deney yöntemine göre (Altındağ ve Güney, 2006) yapılmıştır. Bu fiziksel özellikler 5'er numune üzerinde yapılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kayaçların fiziksel özellikleri.

Kayaç Kodu	BHA gr/cm ³	TP %	Vp km/sn	BYA cm ³ /50cm ²	K ₅₀₀ %	SH
TRV-1	2.485	7.37	4.25	28.0	32.2	36.7
TRV-2	2.384	11.69	4.42	29.0	32.3	43.9
KT-1	2.377	11.28	4.27	32.9	40.4	31.8
KT-2	2.652	1.80	5.86	14.5	25.2	53.6
KT-3	2.677	0.59	5.70	11.6	22.8	62.6
KT-4	2.682	0.78	5.52	13.0	24.5	56.6
KT-5	2.701	0.49	5.81	11.6	21.0	59.0
KT-6	2.833	0.84	6.31	14.7	18.1	65.8
KT-7	2.688	1.54	5.84	17.0	25.7	61.5
KT-8	2.690	1.54	5.99	15.1	22.7	63.0
KT-9	2.013	25.30	3.63	40.9	65.9	14.6
KT-10	2.415	11.23	4.36	40.8	32.5	31.5
M-1	2.706	0.51	3.57	21.3	55.4	41.6
M-2	2.710	0.70	4.72	29.8	38.6	43.5
M-3	2.715	0.49	4.40	24.0	51.8	47.5

3.2 Kayaçların Mekanik Özellikleri

Kayaçların mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı (TEBD), eğilme dayanımı (ED) ve Brazilan çekme dayanımı deneyleri (BÇD) yapılmıştır. Basınç dayanımı deneylerinde TS EN 1926 (2000), Brazilan çekme dayanımı deneylerinde ISRM (1981) ve eğilme dayanımı deneyinde TE EN 12372 standartları kullanılmıştır. Bu deneyler her kayaç için 7 numune üzerinde yapılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kayaçların mekanik özellikleri.

Kayaç Kodu	TEBD MPa	BÇD MPa	ED MPa
TRV-1	60.7	4.4	11.5
TRV-2	62.5	3.4	11.1
KT-1	43.4	5.3	12.0
KT-2	145.5	7.0	15.1
KT-3	129.9	8.0	14.0
KT-4	109.8	5.6	13.4
KT-5	119.4	8.2	13.1
KT-6	205.8	9.8	25.8
KT-7	139.9	8.1	13.8
KT-8	129.3	6.7	19.1
KT-9	27.6	2.1	4.4
KT-10	64.1	3.9	9.6
M-1	74.6	6.0	13.5
M-2	70.3	5.4	11.7
M-3	85.7	4.7	12.8

3.3 Kayaçların Kırılmalık Değerleri

Çalışma kapsamında kayaç örnekleri kırılmalık testi için önce birincil kırma işlemi ile kırılmış ve 16–11.2 mm elek aralığında elenerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Daha sonra Şekil 2'de görünen cihazda 14 kg'lık kütle 20 kez düşürülmüş ve düşürme işlemi sonunda kırılmış malzeme 11.2 mm'lik elekten tekrar elenmiştir. Elek altı malzeme miktarı tartılarak başlangıçtaki malzeme ağırlığına oranlanarak S_{20} kırılmalık değeri belirlenmiştir. Deneyler 4'er kez tekrarlanmıştır. Her kayaç için 4 deneyden elde edilen S_{20} değerlerinin aritmetik ortalamaları ve kırılmalık sınıfları Çizelge5'te verilmiştir.



Şekil 2. S_{20} Kırılmalık deney cihazı.

Çizelge 5. Kayaçların kırılma güçleri

Kayaç Kodu	Kırılma Gücü (S ₂₀), %	Sınıfı
TRV-1	46.9	Orta
TRV-2	47.0	Orta
KT-1	44.3	Orta
KT-2	47.4	Orta
KT-3	29.6	Oldukça düşük
KT-4	40.2	Düşük
KT-5	34.2	Düşük
KT-6	30.6	Çok düşük
KT-7	34.0	Çuk düşük
KT-8	31.5	Çok düşük
KT-9	66.6	Çok yüksek
KT-10	50.2	Orta
M-1	47.4	Orta
M-2	41.4	Düşük
M-3	46.7	Orta

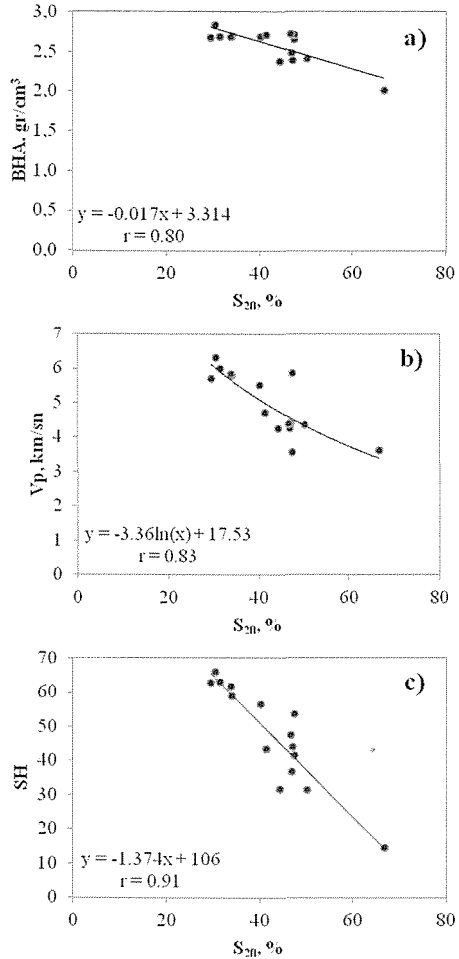
4 İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile kırılma güçleri arasındaki ilişkilerin varlığı basit regresyon analizleri ile irdelenmiştir. Analizler %95 güven aralığında ve t-testine göre geçerlilikleri irdelenmiştir. Elde edilen istatistiksel ilişkilerin ilişki matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 6). Bu parametreler arasındaki ilişkiler üs, üstel, logaritmik ve lineer olarak incelenmiş ve bunlardan korelasyon katsayısı en yüksek olan ilişki türü dikkate alınmıştır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile S₂₀ arasındaki ilişkiler Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.

Çizelge 6. Kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ile kırılma güçleri arasındaki ilişki matrisi

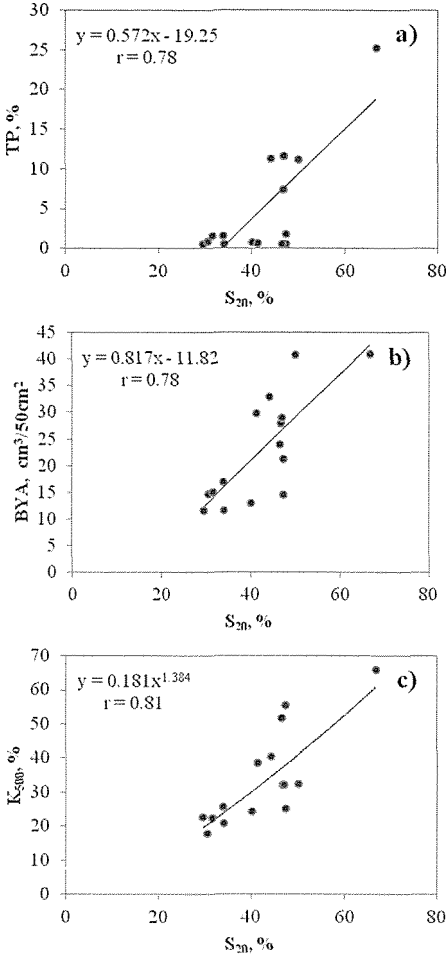
	S ₂₀	BHA	TP	V _p	BYA	K ₅₀₀	SH	TEBD	BÇD	ED
S ₂₀	1.0									
BHA	-0.80	1.0								
TP	0.78	-0.98	1.0							
V _p	-0.83	0.64	-0.60	1.0						
BYA	0.78	-0.79	0.81	-0.80	1.0					
K ₅₀₀	0.81	-0.57	0.55	-0.87	0.66	1.0				
SH	-0.91	0.86	-0.84	0.89	-0.92	-0.79	1.0			
TEBD	-0.83	0.76	-0.68	0.85	-0.83	-0.68	0.86	1.0		
BÇD	-0.89	0.80	-0.75	0.83	-0.83	-0.70	0.86	0.90	1.0	
ED	-0.84	0.76	-0.66	0.73	-0.68	-0.64	0.79	0.84	0.81	1.0

Kayaçların fiziksel özelliklerinden BHA, V_p ve SH değerleri ile S₂₀ değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. BHA-S₂₀ arasında r=0.80, V_p-S₂₀ arasında r=0.83, SH-S₂₀ arasında ise en yüksek korelasyon değerine sahip olup r=0.91 korelasyonlu lineer azalan ilişkinin varlığı görülmüştür (Şekil 3).

Şekil 3. S₂₀ ile fiziksel özellikler arasındaki istatistiksel ilişkiler.

Kayaçların diğer fiziksel özelliklerinden TP, BYA ve K₅₀₀ ile S₂₀ arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise TP-S₂₀ ve BYA-S₂₀ arasında r=0.78 korelasyonlu, K₅₀₀-S₂₀

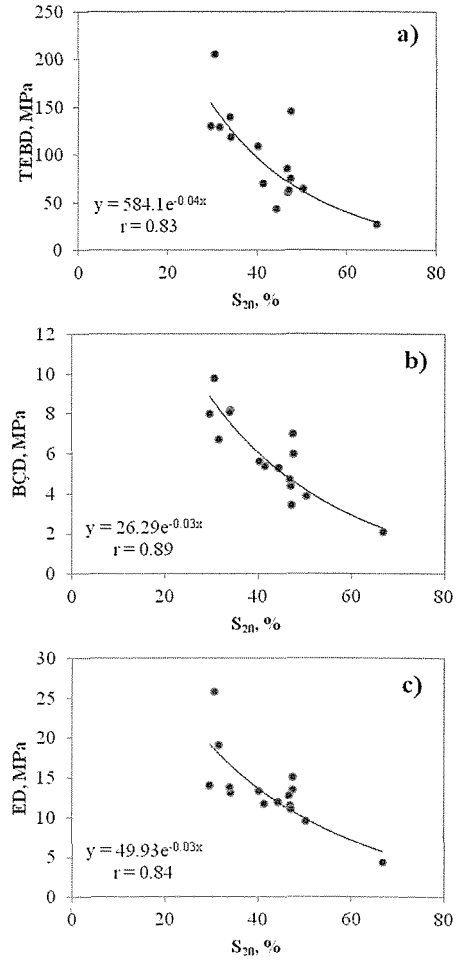
arsında ise $r=0.81$ korelasyonlu lineer artan eğilimler elde edilmiştir. TP, BYA ve K_{500} değerlerinin artmasına bağlı olarak S_{20} değerlerinde de artış olduğu görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. S_{20} ile fiziksel özellikler arasındaki istatistiksel ilişkiler

Kayaçların mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı (TEBD), Brazilian çekme dayanımı (BÇD) ve eğilme dayanımı (ED) değerleri ile S_{20} arasındaki ilişkiler incelendiğinde üstel azalan (sırasıyla $r=0.83$, $r=0.89$, $r=0.84$) ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Elde edilen sonuçlara göre,

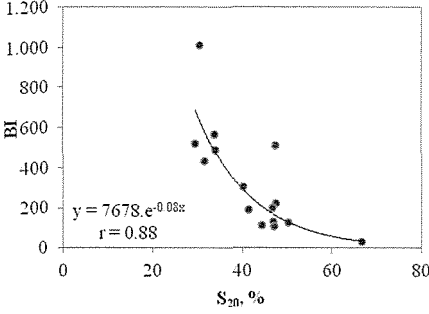
dayanım değeri azalan kayaçlar için kırılabilirlik değerinin arttığını söyleyebiliriz.



Şekil 5. S_{20} ile mekanik özellikler arasındaki istatistiksel ilişkiler

Birçok araştırmacı kayaçların gevreklik değerini, basınç dayanımının çekme dayanımına oranı olarak kullanmıştır. Altındağ (2000; 2002), basınç dayanımını ve çekme dayanımını kullanarak yeni bir gevreklik tanımlaması geliştirmiştir. Yazar bu yeni yaklaşımı, basınç dayanımına karşılık çekme dayanımını grafikte yerleştirip, altta kalan alanın kayaçların gevreklik indeksi (BI) olarak ifade etmiştir.

Çalışmada kırılmalık değeri olarak kullanılan S_{20} ile Altındağ (2000; 2002) tarafından önerilen gevreklik indeksi arasında $r=0.88$ korelasyon katsayılı üstel azalan bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. S_{20} ile gevreklik indeksi (BI) arasındaki ilişki

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada, kayaların kırılmalık değerleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada kırılmalık değerleri 29.6-66.6 (oldukça düşük-çok yüksek) arasında değişen karbonat kökenli kayalar kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda kırılmalık değerlerinin kayaların gerek fiziksel gerekse mekanik özellikleri ile anlamlı ilişkiler içinde olduğu bulunmuştur.

Regresyon analizleri sonucunda, karbonatlı kayaların kırılmalık değerleri ile fiziksel özellikler arasında 0.78-0.91, mekanik özellikler arasında ise 0.82-0.89 korelasyon katsayıları ile yüksek ilişkiler elde edilmiştir.

Kırılmalık testi daha pratik, hızlı ve kolay bir test olduğu için karbonatlı kayaların fiziko-mekanik özelliklerin tahmin edilmesinde indeks olarak kullanılabilceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Altındağ, R., 2000. Darbeli Delme Performans Analizlerinde Kayaç Gevrekliğinin Rolü.

V.Ulusal kaya mekaniği sempozyumu, Isparta, 105-112.

Altındağ, R., 2002. The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast hole drills. *J S Afr Inst Min Metall*, v.102, pp. 61-66.

Altındağ, R., Güney, A., 2006. ISRM Suggested Method for Determining Shore Hardness Value for rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 996-997

Dahl, F., 2003. DRI, BWI, CLI Standarts. NTNU, Angleggdriift, Tronmdheim, 21.

Ekincioglu, G., 2008. Çeşitli Kireçtaşlarının Delinebilirlik İndeks Özellikleri ve Kayaç Kesilebilirliği Arasındaki İlişkilerin Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enst. (Yayınlanmamış)*

Hucka, V., Das, B., 1974. Brittleness determination of rocks by different methods. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 11, 389-392.

Inyang, H.I., 1991. Development of a preliminary rock mass classification scheme for near surface excavation. *Int. J. Surface Min. and Reclamation*, 5, 65-74.

ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring -ISRM Suggested Methods. Brown, E.T. (ed), *Pergamon Pres*, 211p.

ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006, (Ulusay, R., Hudson, J.A., Editors), *Kozan Ofset*, s.628, Ankara.

Singh, S.P., 1986. Brittleness and the Mechanical Winning of Coal. *Mining Science and Technology*, 3, 173-180

Şengün, N., 2009. Kayaçların Kırılma Tokluğu Ve Gevrekliğinin Dairesel Testereler İle Kesme Verimi Üzerine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 165s, Isparta.

Tamrock, 1984, Handbook on Surface Drilling and Blasting, Painofaktorit, Finland.

TS 699, 2009. Doğal Yapı Taşları İnceleme - Laboratuvar Dene Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12372, 2001. Doğal Taşlar -Dene Yöntemleri- Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1926, 2000. Doğal Taşlar -Dene Yöntemleri- Basınç Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ünal, E., Tutluoğlu, L., 1986. Kaya Mekaniği İlkeleri. *TKİ seminer no: 6*, Ankara

Yaralı, O., 2007. Kayaç Kırılmalılığı ve Delme Oranı İndeksi Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. *Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresi*, 217-224, Ankara



Kadıköy-Kozyatağı Arası Tünel Kazısında Kullanılan EPB Tünel Açma Makinaları Kazı Parametreleri Analizi

Analysis of the EPB Excavation Parameters Used in Kadıköy-Kozyatağı Metro Tunnel Excavations

Ö. Acaroğlu, O. Bayram

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Dünyada ve ülkemizde tünellerin mekanik yöntemlerle kazısı hızla yaygınlaşmakta, zemin şartlarına uygun makina seçimi verimli bir kazının gerçekleştirilmesi açısından önemi artmaktadır. Bu amaçla İstanbul Kadıköy-Kozyatağı metro tüneli hattı kazısında kullanılan Arazi Basıncı Dengeleme prensibiyle çalışan iki EPB tünel açma makinasının kazı parametreleri incelenmiştir. Tünel hattı boyunca belirli aralıklarla kaya ve zemin numuneleri alınmıştır. Kayaç numuneleri üzerinde basınç dayanımı ve zemin numuneleri ile elek analiz deneyleri yapılarak, bu deney sonuçlarının makinanın itme kuvveti, tork, bunların penetrasyon indeksi değerleri, ilerleme miktarı, kesici kafa dönme sayısı, köpük miktarı parametrelerine etkileri araştırılmış ve yorumlanmıştır. Makinalar zeminde ve kayaçta ilerlerken tork, itme kuvveti ve ilerleme parametrelerinde genel değişimler ortaya konulmuştur. Ayrıca kayaç basınç dayanımları arttıkça bu iki makinada ilerleme hızında düşüş, birim ilerlemeye denk düşen itme kuvveti ve tork değerlerinde ise yükselme gözlenmiştir. Elek analizi sonuçları ise zemindeki kil, silt, kum ve çakıl oranlarını vermiş ve bu oranlara göre makinaların zeminde ilerlerken ne tür bir şartlandırma uygulanması gerektiği belirlenmiştir.

ABSTRACT Mechanical excavation methods have become widespread in the world and our country and importance of the selection of proper machine is getting increase for achieving efficient excavation. Excavation parameters of two EPB machine used in Kartal- Kadıköy metro tunnels have been analysed in this study. Rock and soil samples have periodically obtained along the tunnel. Firstly point load test on the rock samples and sieve analysis on the soil samples have been carried out and then effects of the test results on the thrust, torque, penetration indexes, advance rate, rpm, foam ratio have been investigated and discussed. General changes of the thrust, torque and advance parameters have been found out and discussed while the machines are excavating along the tunnel. The advance and penetration rates have been decreased, thrust and torque values for unit advance have been increased, when increasing the strength of the rock. Moreover, ratio of clay, silt, sand and gravel of the soils are obtained from the sieve analysis in order to define the soil conditioning type.

1 GİRİŞ

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak inşaat ve madencilik sektörlerinde yeraltı yapılarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yeraltı yapılarının kazısında

özellikle de yerleşim merkezleri ve büyük şehirlerde elektrik, su, kanalizasyon, telefon, doğalgaz ve metro tünelleri gibi yapıların açılması/kazısı sırasında, çevreye ve yer üstündeki yapılara zarar vermemesi için

kullanılacak kazı yönteminin seçimi son derece önem arz etmektedir. Bu nedenle tünellerde mekanik kazı yöntemleri son 30-40 yıl içerisinde hızla yaygınlaşmıştır (delme ve patlatma yöntemleri ile kazı yapılmasına kıyasla). Bunun nedeni, mekanik kazı da kullanılan makinalardan biri olan tam cepheli tünel açma makinaları (TBM) ile tünel açmanın, uygun kayaç şartlarında uzun tünellerin açılmasında en ekonomik yöntem olmasının son yıllarda açıkça görülmesidir. Kayaç şartlarının uygun olduğu durumlarda, TBM yöntemi delme ve patlatma yöntemine göre 2-4 kat hızlı olabilmektedir (Barton 1999, Kahraman, 2007).

Hem çevreye ve yer üstünde yapılara zarar vermeyecek hem de zemin şartlarına uygun olacak şekilde makina seçimi verimli bir kazının gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da tam cepheli tünel açma makinaları (TBM) tasman gibi istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir (Çınar ve Feridunoğlu, 2002, Tunçdemir, 1998).

Yeraltında karşılaşılan formasyonlarındaki çeşitlilik, bu tünel açma makinalarının (TBM'ler) prensip olarak aynı fakat ayrıntıda çeşitli yönlerden farklı olmasını gerektirmiştir. Kullanılacak kafa tasarımları ve keski tipleri, makinayı dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri, çıkarılan pasayı taşıma sistemleri çeşitli yönlerden sert, orta sert, yumuşak ve akıcı jeolojik formasyonlar için farklılıklar göstermektedir. Sonuçta açılacak yeraltı açıklığı boyunca geçilecek/kazılacak jeolojik formasyonun önceden bilinmesi, kullanılacak tünel açma makinasının seçiminde en önemli faktörlerden biri olmuştur (Tunçdemir, 1998). Tünel açma makinelerinin bilinçli seçilmesi ve kullanımı; hızlı, ekonomik ve verimli tünel ve galeri açmanın en temel unsurudur. Tünel açma makinelerinin seçimi ve performans tahmini, mekanize tünel açma işinin en önemli konularından birini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul Kadıköy-Kozyatağı arası metro tüneli kazılarında kullanılan tünel açma makinalarının bir türü olan "arazi basıncı dengeleme" prensibiyle çalışan EPB tünel açma makinalarının kazı parametreleri incelenmiştir.

1.1 Arazi Basıncı Dengeleme Prensibine Göre Çalışan Tünel Açma Makinaları (EPB TBM'ler)

1.1.1 . EPB Makinaların Tarihsel Gelişimi

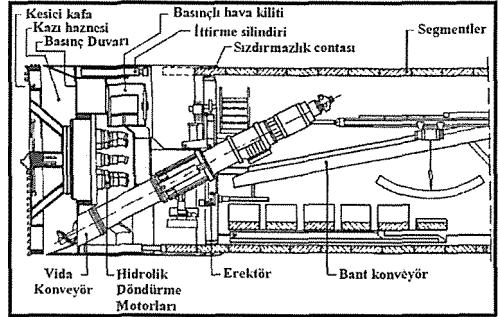
Yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ilerleme sırasında stabilite kaybı kaçınılmazdır. Genellikle bu gibi alanlarda ve kendini kısa süreli bile tutamayan kayaçların kazısında EPB tipte tünel açma makinalarından faydalanılmaktadır (Friant ve Özdemir, 1994). Özellikle yumuşak formasyonlarda gerçekleştirilen tünel kazı teknolojisinin gelişimine bakıldığında, EPB makinaların ilk örneklerinden sayılabilecek olan makine Brunei'nin tasarımlarının 1864'de dairevi şilt patenti alan Peter Parlow tarafından geliştirilmiştir. Bu şilt içine yerleştirilen astar segmentlerin itilmesi suretiyle baskı oluşturulmakta ve ön tarafında çamur (pasa) akışını ve uzaklaştırılışını temin edecek açıklığa sahipti. Bu şildin bir benzeri ile 1869'da Times nehri bir yılda geçilmiştir. Bu makine, Arazi Basıncı Dengeleme Makinesinin (EPB) ilk tipini teşkil etmektedir. EPB makineler kavram olarak esasta Avrupa'dan çıkmışsa da, asıl gelişmesini Japonya'da yapmıştır. Ancak tam anlamıyla Arazi basıncını dengeleme esasına göre çalışan EPB makinaları ilk olarak Japonya'da 1960-70'li yıllarda görülmeye başlamıştır. Japonlar, 1960'lardan 1980'lere kadar olan süreçte, bu tür makinelerden yüzlerce ürettiği (Maidl, 1996 ve Tunçdemir, 1998 ve Çınar ve Feridunoğlu, 2002).

1.1.2 EPB Tünel Açma Makinalarının Çalışma Prensipleri

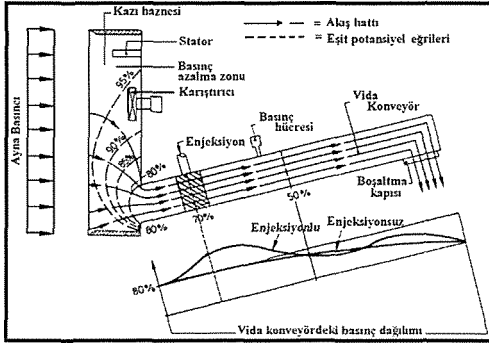
Yapışkan olmayan ortamlarda ve yeraltı su seviyesi altında bulunan zeminlerde ve kendini kısa süreli bile tutamayan kayaların kazısında EPB tip tünel açma makinası tercih edilmektedir. Temel çalışma prensibi su geliri veya arazi akmasını kontrol etmek amacıyla ayna boşluğunun kapalı bir hacim haline getirilerek basınç altında tutulması, "bizzat arazi ve içindeki su basıncı etkisiyle, kesme kafası ve ayna boşluğunda doğal bir basıncın oluşmasına imkan verilmesi" diye tanımlanabilir (Friant, 1994). Buradaki amaç kazılan malzemenin kesici kafa haznesini doldurması ve tüm yüzeyi desteklemesidir. Bu destekleme basıncının tünel kalınlığındaki doğal arazi basıncını karşılayacak bir değerde ayarlanması gerekir. Bu makineler 10 bara (1 MPa) kadar ulaşan basınç altında çalışabilecek şekilde yapılabilmektedirler. En iyi çalışma koşulları arazi nemlilik oranının % 10-15 veya daha az olduğu durumlardır. Ayrıca son dönemlerde geliştirilen EPB tünel açma makineleri çok sert kayalardan çok yumuşak olanlarına kadar, değişik kayaç ve zemin formasyonlarında kullanılmak üzere de tasarımılandırılabilirler. Çalışma şeklinin basit olması ve uygulama alanlarının oldukça geniş olmasından dolayı, son yıllarda çamur makinelerinin (slurry shield) yerini almaktadırlar (Tunçdemir, 1998, Çınar ve Feridunoğlu, 2002 ve Tumaç, 2010).

EPB tünel açma makineleri genellikle çok amaçlı kullanılacak şekilde imal edilmektedirler. İstenildiği takdirde tek veya çift şiltli olarak kullanılabilirlerinin yanı sıra kazı yapılan arazinin durumuna bağlı olarak kapalı (basınç altında) veya açık (atmosfer basıncında) çalışabilecek duruma da kolayca getirilebilmektedirler. Örneğin derin bir deniz tabanının altında çalışan bir EPB tipte bir tünel açma makinası, basınçlı bir damar veya fay zonuna rastlamadığı sürece, çift şiltli, açık bir konumda çalışabilmektedir. Gerekliğinde de çok

çabuk olarak kapalı konuma getirilerek ve gerçek bir EPB tünel açma makinası olarak kazı yapılabilmektedir (Tunçdemir, 1998). EPB makinasının kazı anında çalışma aşamaları da şu şekilde gerçekleşmektedir: Şekil 1'de elemanları görülen bir EPB makinasında öncelikle kesici kafanın döndürme motorları ile döndürülmesi ve kesici kafaya itirme silindiri ile araziye destekleyecek kadar ya da biraz daha fazla kuvvet verilmesiyle akıcı alüvyal zemin kazı haznesine dolmaya başlar. Kazı haznesi tamamen dolduktan sonra istenilen destekleme ortamı sağlanmış olur ve kazılan malzeme vida konveyör yardımıyla normal basınçtaki bölgeye alınmaya başlanır. Vida konveyörün en önemli görevi aynada oluşturulan basıncın kademeli olarak azaltılması ve normal basınç seviyesine düşürerek düzenli bir malzeme çıkışının sağlanmasıdır (Şekil 2). Vida konveyörün çıkış kısmından bant konveyöre boşalan malzeme kuyruk bölümünde bekleyen vagonlara ulaşır ve buradan da kuyu ağzına gönderilir (Özdemir, 1992 ve Tunçdemir, 1998).



Şekil 1. Arazi Basıncı Destekleme Şilti Kesit Görünümü ve Elemanları (Özdemir, 1992 ve Tunçdemir, 1998).



Şekil 2. Bir EPB makinasında kazı haznesindeki akış oluşumu (Maidl, 1996).

Bazı durumlarda kazı sırasında istenilen miktarda malzeme geliri olmayabilmektedir. Diğer bir deyişle malzeme yerine su geliyor olması veya zeminin fazlasıyla kuru olması nedeniyle vida konveyörden malzeme geçişinin mümkün olmadığı hallerle karşılaşılabilir. Bu gibi durumlarda kazı aynasına doğru, malzemeyi daha kaygan yapan ve böylece su geçişini engelleyen bir katkı maddesi enjekte edilmesi gerekebilir. Kazı ilerlerken şildin tam arkasına taşıyıcı raylarla getirilen beton segmentler erektörler yardımıyla yerleştirilirler. Bu arada segmentler ve zemin arasında kalan -silt kalınlığı kadar olan- boşluklar ya da aşırı sökümler yüzünden oluşan boşluklar şilt üzerinden yapılan bentonit enjeksiyonlarıyla doldurularak kapatılırlar.

EPB tipte tünel açma makinasının çalışma koşulları formasyon özellikleri açısından ele alındığında dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar vardır. İlk olarak, tahkimat sisteminin boyutlandırılması, nakliyat sisteminin belirlenmesi, makina güç donanımlarının hangi sınırlar arasında değişeceğinin önceden tahmini açısından akıcı ve yapışkan olmayan ortamlarda açılacak bir tünele göre uygun bir EPB tünel açma makinasının seçimi için, kazı aynasında oluşan arazi ve su basıncının çok iyi belirlenerek toplam teorik destekleme basıncının tahmini şarttır. İkinci olarak bir EPB tünel açma makinasında değişken işletme parametreleri kazıyı güvenli olarak

devam ettirecek şekilde ayarlanmalıdır. Örneğin aynaya uygulanan itirme kuvveti (thrust), yeryüzünde herhangi bir tasman ya da kabarma olmaması için, sadece ayna basıncını karşılayacak miktarda ya da biraz daha fazla uygulanmalıdır. Ayrıca verimli bir enjeksiyon işlemi gerçekleştirmek için katkı maddeleri kazı aynasına doğru enjekte edilmelidirler. Eğer vida konveyörde çok aşınma oluyor ve malzeme geliri istenildiği gibi sağlanamıyorsa vida konveyörden de enjeksiyon yapılması gerekebilmektedir. Son olarak da kazılan malzemenin gerektiği gibi taşınabilmesi için parça boyutunun ortalama olarak ne kadar olduğu bilinmeli ve başarılı bir EPB ile tünel kazı işinin gerçekleştirilebilmesi için, makina ilerleme hızını ayarlamak için kesici kafa haznesinden akışın çok iyi kontrol edilmesi ve aynı zamanda ayından su gelirmesini engellenmesi konularına dikkat edilmelidir.

2 KADIKÖY - KARTAL METRO TÜNELLERİ İNŞAASI

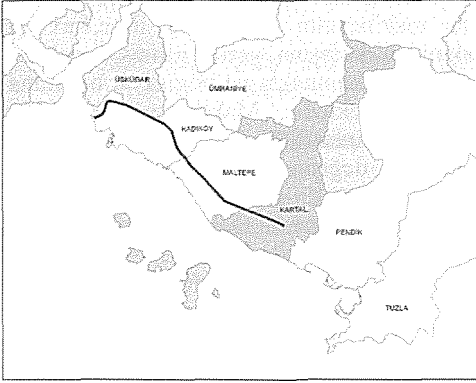
Kadıköy Kartal metro inşaatı, yoğun araç trafiğine sahip olan Kadıköy-Kartal arasındaki D-100 karayolunun yükünü azaltmak, bu aksta hızlı ve kitlesel yolcu taşınmasını sağlamak ve iki kıta arasında ulaşımı hızlandırmak amacıyla projelendirilmiştir.

16 adet istasyon yapılarak 60.000 yolcu/saat-yön kapasiteli metro, İstanbul'un Anadolu yakasındaki ulaşım sorununun çözümüne büyük katkı sağlayacaktır. Tünel örtü kalınlığı 8-60 m arasında olup, proje "Marmaray Projesi" ile İbrahimağa istasyonunda kesişmektedir

Proje güzergahı Kadıköy Meydanından başlayıp İbrahimağa'dan geçip Koşuyolu deresinden Acıbademe ulaşır, E-5 / D-100 karayolu altından veya yakınından geçip, Kartal Köprüsüne kadar uzanmaktadır. Projenin tamamının yeraltından tünel olarak yapılması planlanmıştır. Şekil 3'de Kadıköy-Kartal Raylı Yolcu Taşıma Sistemi Güzergahının Genel Yerleşimi gösterilmiştir. NATM 6200 m, TBM 10847 m, EPB 4643 m olmak üzere 21690 m hat yapılması tasarlanmıştır.

Projenin tamamının yeraltından tünel olarak yapılması planlanmış olup, bunun sağlayacağı faydalar :

- E-5/D-100 karayolunun taşıma yükünün azaltılması ve bunun ekonomiye sağlayacağı tasarruf
- İnşaat ve işletme süresince çevre ile etkileşimi en aza indirmek
- Muhtemel yolcu artışı durumunda sistemin kapasitesinin artırılabilmesidir (Yüksel vd, 2005).



Şekil 3. Kadıköy- Kartal Raylı Yolcu Taşıma Sistemi Güzargasının Genel Yerleşimi

2.1 Jeoloji

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistem güzergahını kapsayan inceleme alanında, İstanbul Paleozoyik istifini oluşturan bütün formasyonlar, alüvyon ve suni dolgular ile andezit sokulumları gözlenmektedir.

Bu çalışmanın yapıldığı Kadıköy Kozyatağı arası kısımda jeoloji şöyle tanımlanmaktadır. İnceleme alanın Kadıköy ve çevresinde, Trakya Formasyonu'nun belirgin özelliklerini taşıyan, kahve-yeşil renkli kiltası, kahve-yeşil renkli şeylli kiltası, kahve-yeşil renkli kiltası-kumtaşı ardalanması, mavi-gri renkli kumtaşı, mavi-gri renkli şeyl ara tabakalı kumtaşı, mavi-gri renkli kiltası birimleri gözlenmiştir. Ayrıca bu birimlerde, yer yer kalsit damarlarına rastlanmıştır, yanı sıra mavi yeşil renkli,

kalsit damarlı andezit sokulumlar da gözlenmiştir.

Kadıköy sahil kesiminde, Trakya Formasyonu üzerine; çeşitli kökende ve renkte blok, çakıl, gri renkli, kavkılı kum ve kahve renkli kilden oluşan plaj fasiyesi bulunmaktadır. Bunlar üzerine ise kalınlığı 1 m ile 10 m arasında değişen, karayolu ve denizde rekreasyon alanı üretmek amacıyla sahil dolguları gelmektedir.

Kadıköy sahilinden uzaklaştıkça, topografyanın yükselmesine koşut olarak Trakya Formasyonu'nun tedricen yüzeye yaklaştığı ve üzerindeki alüvyon ve güncel dolgunun inceldiği görülmüştür. İbrahimağa mevkiinde, derin vadi şeklinde taban kayayı oluşturan Trakya Formasyonu üzerinde, 7,00-19,00 m arasında değişen, blok, çakıl, kum, kilden oluşan alüvyon ve ortalama 5,00 m kalınlığında, hafriyat kökenli dolgu malzemesi yer almaktadır.

Koşuyolu Köprüsü civarında aynı alüvyon ortamı tünel kotunda tekrar geçilmektedir. Acıbadem Köprüsü mevkiinde, Denizli Formasyonu'nun gri-mavi renkli, kalsit damarlı, çamurtaşı ara tabakalı yumru kireçtaşı birimi yüzeylenmektedir. Bu birim yer yer andezit sokulumu ile kesilmiştir. Birimin uyumlu dokanağında Yelkentepe Formasyonu Acıbadem Köprüsü civarındaki E-5 karayolu yarmalarında dar bir alanda mostra vermektedir. Acıbadem mevkiinden Otosan Durağı'na yönelirken Kartal Formasyonu'na girilmektedir. Bu formasyonun da yer yer andezit sokulumu ile kesildiği görülmüştür. Otosan Durağı'ndan itibaren başlayan, Devlet Malzeme Ofisi ve Göztepe Kavşağı ile devam eden bölgede yer alan taban kayanın Kartal Formasyonu özelliklerini taşıdığı gözlenmiştir. Bu formasyon üzerinde, 9,00-21,50 m arasında değişen blok, çakıl, kum, kil birimlerinden oluşan alüvyon ve takiben 2,50-4,00 m arasında değişen çeşitli kökende dolgu yer aldığı görülmüştür. Kozyatağı'na doğru yüzeye yaklaşan taban kaya Kartal Formasyonu Bostancı Çamaşırçı Deresi'ne kadar izlenir. Tünel kotunda km 14+410 da Denizli formasyonu faylı olarak üst kotlarda

bulunur. Birim sıklıkla güncel dolgu ile örtülmüştür (Yüksel vd, 2005).

3 KADIKÖY-KOZYATAĞI ARASI METRO İNŞAASINDA KULLANILAN EPB TÜNEL AÇMA MAKİNALARI KAZI PARAMETRELERİ ANALİZİ

Kadıköy Kozyatağı arası metro tünelleri inşaatında kullanılan makinalar, EPB/TBM tipi olup S360 ve S363 kodlu Herrenknecht marka tünel açma makinalarıdır. İki makinanın ortak özellikleri şöyledir: Kesici kafa çapı 6540 mm olup, makinanın toplam uzunluğu 9,6 m'dir. Kesici kafasında 35 adet 17 inç çapında disk keskiler bulunmaktadır. 32 adet itme silindirleri olup, maksimum itme kuvveti 42575 kN'dır. Herbiri 315 kW gücünde 4 adet kesici kafa motoruna sahip olup, bunların sağladığı toplam tork miktarı 1,6 devir/dak için 5200 kNm kadardır. 12 m uzunluğunda helezon konveyöre sahip olup, hızı dakikada 22 devire çıkabilmektedir.

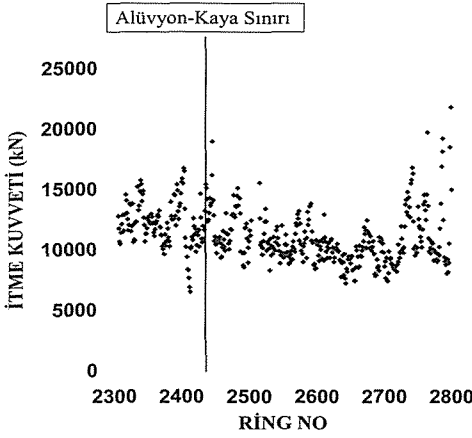
Bu çalışmada Kadıköy- Kozyatağı arasında sol ve sağ hat kazısında kullanılan iki EPB-TBM'in kazı parametrelerinin incelenmesi Ağustos ve Eylül 2009 ayları arasında gerçekleştirilmiştir (Erişgen, 2010 ve Işıl, 2010). Sol hat makinada kayaç ortamında gerçekleştirilmiş olan kazıda ring aralığı 2663-2763 arasında nokta yük deneyine uygun numuneler alınarak kayaçların basınç dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Kazı parametreleri olarak makinanın uyguladığı itme kuvveti, tork ve bu iki parametreye ait penetrasyon indeksi değerleri ile makina hızını ifade eden ilerleme miktarı, dakikadaki devir sayısı ve penetrasyon değerleri incelenmiştir. Sağ hat kazısında bulunan makina bu çalışma boyunca hem kayaç ortamında hemde alüvyonlu bölgede kazı yapmıştır ve bu sırada 2357-2401 ringlerinden alınan zemin örnekleri üzerinde elek analizi yapılarak zemin ile uygulanacak şartlandırma arasında

ilişkinin belirlenmesine çalışılmıştır. Kazı parametrelerine ait sonuçlar kayaç ortamında sol ve sağ hatta kullanılan makinalarla benzer olduğu için bütün değerlendirmeler S363 kodlu sağ hatta kullanılan makina ele alınarak incelenmiştir.

3.1 İtme kuvvetine ait değerlendirmeler

İtme kuvveti, makina kesici kafasındaki keskinlerin arına batmasını sağlayan kuvvet olup; kesme işlemi bu kuvvet ve kafanın döndürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Tünel inşaatında çalışan S-363 nolu tünel açma makinasının uyguladığı itme kuvveti makinanın kafasına yerleştirilmiş sensörler tarafından okunmakta ve bilgisayar ortamına kayıt edilmektedir. Makinanın uyguladığı itme kuvvetinin 2300 ile 2800 nolu ringler arasındaki değişimi Şekil 4' deki gibidir. 3+800 ile 4+115 km ler arasında makina alüvyonda (kum+silt+kil) çalışmıştır. Bu mesafe ring numaraları olarak 2300 ile 2439 nolu ringler arasına denk gelmektedir. 2440 ve 2800 nolu ringler arasında ise makina önce Kartal (Şeyl+Kireçtaşı) sonra Trakya (Grovak) formasyonunda ilerlemiştir.

Şekil 5' den görüleceği üzere, makina 2300 ve 2439 ringleri arasında zeminde kazı işlemi yapmış ve EPB modunda çalışmıştır. Bu kısımdaki itme kuvvetinin değerleri 2439-2725 e kadar olan kısma göre daha yüksek değerlere sahiptir. Bu durum makina ile zemin arasındaki sürtünmeye bağlanabilir. 2439-2725 arasında ise daha çok kayaç kesilmesi söz konusudur. 2725 den sonra itme kuvvetlerinde olan yükselme ise makinanın başka bir formasyona geçişi ve yer yer daha sert kayaçlara rastlanması ile ilgilidir. Makinanın alüvyonda çalıştığı durumda ortalama itme kuvveti 12260 kN olurken maksimum 16733 kN olmuş, 2439-2725 arasındaki kayaç ortamında ise ortalama itme kuvveti değeri 10517 kN, maksimum ise 18974 kN olmuştur.

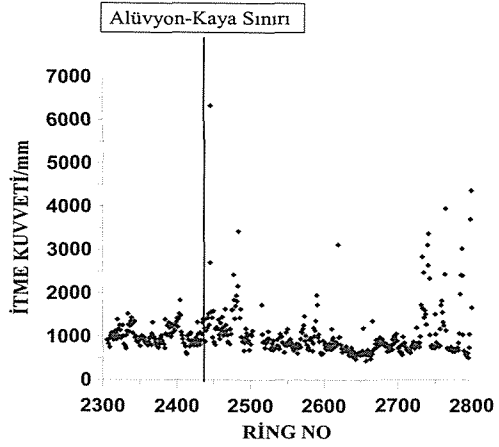


Şekil 4. İtme kuvvetinin değişimi

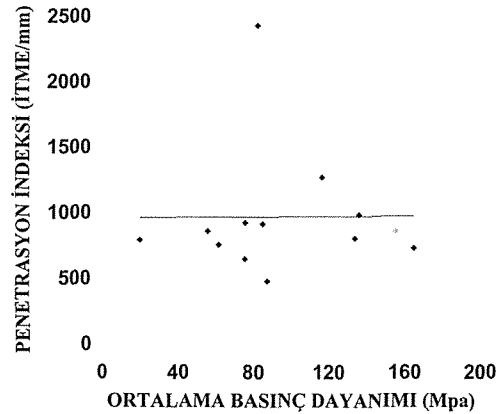
İtme kuvvetine ait penetrasyon indeksi değerlerinin tünel eksenini boyunca değişimi Şekil 5’ de verilmiştir. İtme kuvvetine ait penetrasyon indeksi bir ringdeki ortalama itme kuvveti değerinin o ringteki ortalama penetrasyon değerine (kafanın bir döndüşteki ilerleme miktarı) bölünmesi ile elde edilmekte, yani birim kesme derinliğine (1 mm) düşen kuvvet değeri bulunmaktadır. Burada da Şekil 4’ deki benzeri bir dağılım elde edilmiştir. Alüvyondaki değerler daha yüksek çıkmıştır. Kayaca göre daha yumuşak olan alüvyonda daha düşük değerler beklenirken daha yüksek değerlerin elde edilmesine, makina şiltinin zeminde sıkışabileceği ve itme kuvvetinin bir kısmınında makina ile zemin arasındaki sürtünmeye harcanmış olabileceği şeklinde bir açıklama getirmek mümkündür.

İtme kuvvetinin kayacın dayanımıyla olan ilişkisinin belirlemek için birim kesme derinliğine düşen itme kuvvetine yani penetrasyon indeksine bakmak uygun olacaktır. Çeşitli ringlere ait numunelerin nokta yük indeksi değerlerinden elde edilen ortalama basınç dayanımı ile penetrasyon indeksleri karşılaştırılmış ve Şekil 6 elde edilmiştir. Grafikteki genel eğilimi göstermek amacıyla lineer eğri geçirilmiştir. Eğrinin r^2 değeri sıfıra yakındır. Bu bize kayacın basınç dayanımı ile birim derinlik

başına düşen itme kuvveti değerleri arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. Yalnız 100 Mpa basınç dayanımı değerlerinden sonra mm başına düşen itme kuvveti değerlerinde diğerlerine göre genel olarak hafif bir yükseliş grafikten gözlenebilmektedir.



Şekil 5. İtme kuvvetine ait penetrasyon indeksi değişimi

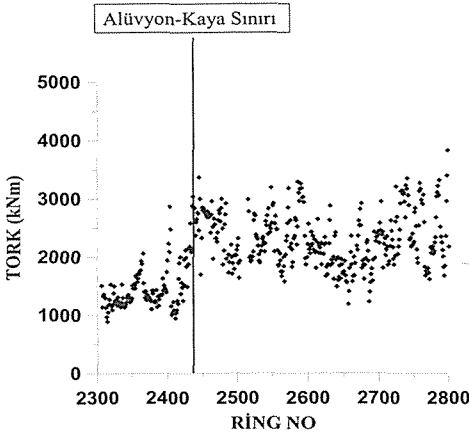


Şekil 6. İtme kuvveti penetrasyon indeksi ve basınç dayanımı ilişkisi

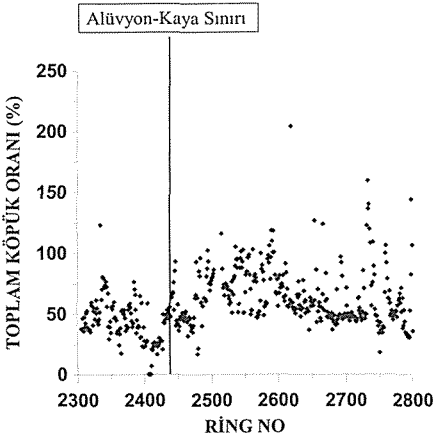
3.2 Torka ait değerlendirmeler

Makina kesici kafasının döndürerek kayacın kesilmesini sağlayan tork değerlerinin tünel eksenini boyunca değişimi Şekil 7’de görülmektedir. Burada tork değerleri itme

kuvvetinin tersine alüvyonda kayaç ortamına göre oldukça düşük çıkmıştır. 2300-2439 ringleri arasındaki ortalama tork değeri 1492 kNm olurken maksimum değer 3040 kNm'ye kadar çıkmıştır. 2439 dan sonra kayaca giren makinada tork değerleri ortalama olarak 2307 kNm, maksimum. 3370 kNm'ye yükselmiştir. Kayaç parçacıklarını konveyöre kadar yükseltip akıcı bir şekilde almak için bol miktarda köpük verilmektedir. Köpük miktarı kayaç ortamında daha yüksek tutulmuştur (Şekil 8). Bunun nedeni kesici kafa arkasındaki basınçlı odaya dolan kayaç parçacıklarının kafayı ağırlaştırıp torkun artmasını engellemek içindir.

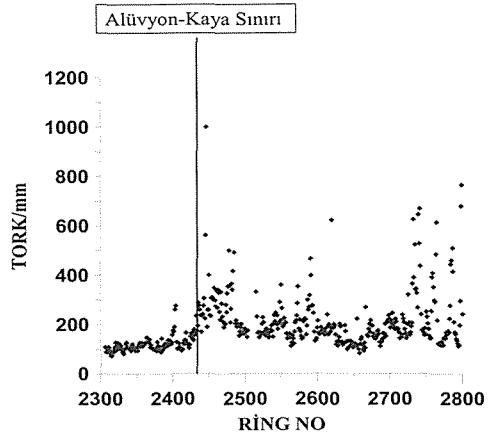


Şekil 7. Torkun değişimi



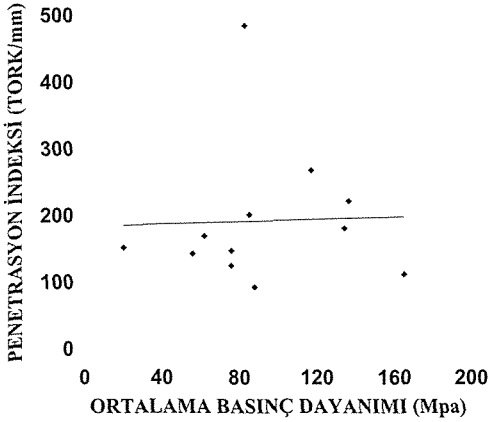
Şekil 8. Köpük miktarının değişimi

Tünel boyunca tork değerinin değişimini daha iyi görebilmek amacıyla birim kesme derinliği başına düşen tork değerine bakmak daha uygun olacaktır. Bu amaçla ringlere ait ortalama tork değerleri ortalama penetrasyon değerlerine bölünerek torka ait penetrasyon indeksi değerleri elde edilmiştir. Bu indeks değerleri ringlere göre değişimi Şekil 9' da verilmiştir. Zeminde torka ait penetrasyon indeksi ortalama 125 tork/mm çıkarken kayada bu değer 215 tork/mm'ye çıkmaktadır.



Şekil 9. Tork değerine ait penetrasyon indeksini değişimi

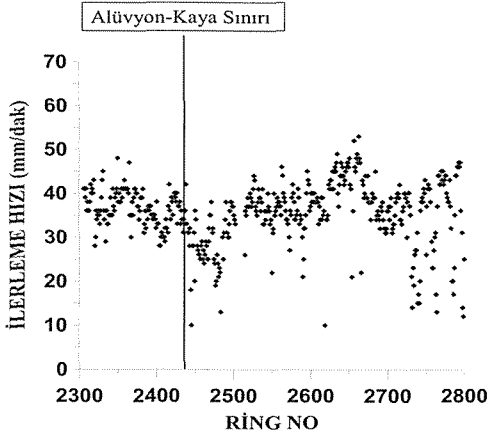
Kayaça ait basınç dayanımı ile torka ait penetrasyon indeksinin nasıl değiştiğini Şekil 10' dan görebilmek mümkündür. Genel olarak dayanımının artışı ile penetrasyon indeksinde artışı arasındaki ilişkiyi göstermek için geçirilen eğrinin r^2 değerleri yüksek olmayıp sifıra yakın çıkmıştır. Ancak 100 Mpa değerinden sonra diğer değerlere göre genel olarak hafif bir artış olduğu söylenebilir.



Şekil 10. Torka ait penetrasyon indeksinin basınç dayanımı ile değişimi

3.3 İlerleme Hızının İncelenmesi

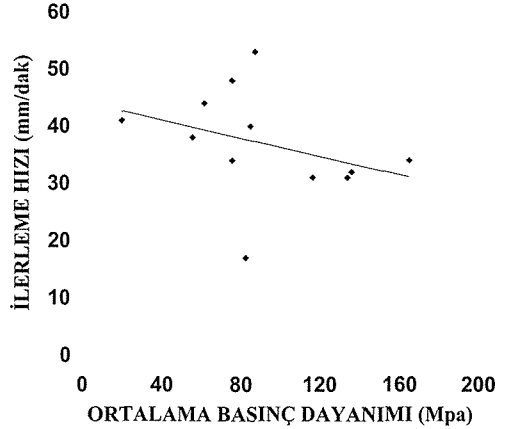
Şekil 11’ de makinanın ilerleme hızının ring numaraları üzerinde dağılımı görülmektedir. İlerleme hızına ait değerler 2300-2439 ringleri ve 2439-2725 arasında benzer iken, bu ringlerden sonra daha sert formasyona girilmesiyle birlikte düşüş göstermeye başlamıştır.



Şekil 11. İlerleme hızının değişimi

Şekil 12’ de makinanın kayaç ortamında ilerlemesi durumunda kayacın basınç dayanımı artarken ilerleme hızının düştüğü geçirilen lineer eğrinin eğiminden

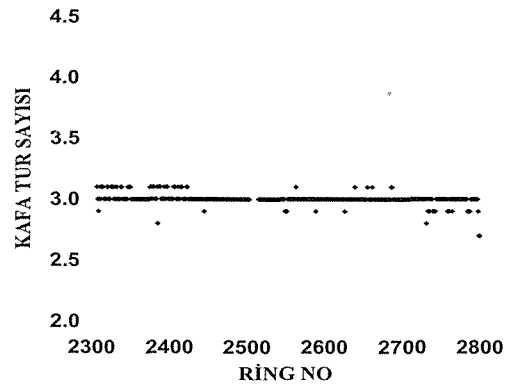
anlaşılabilmektedir, fakat eğrinin r^2 değerinin 0.12 çıkması ilişkinin çok kuvvetli olmadığını göstermektedir. Düşüşün genel olarak daha çok 100 Mpa değerlerinden sonra olduğu söylenebilir.



Şekil 12. İlerleme hızının basınç dayanımı ile değişimi

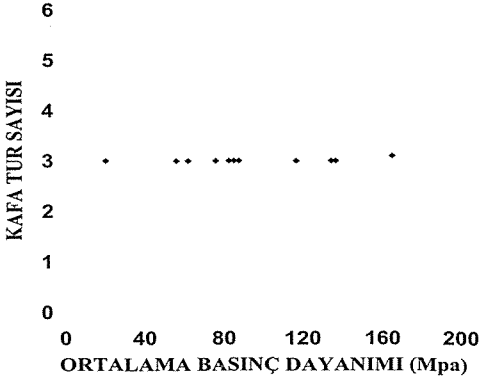
3.4 Kafa Tur Sayısının İncelenmesi

Şekil 13’de görüldüğü üzere makinanın 1 dakikadaki kafa dönüş sayısının genel olarak değişmediği ve 3 devir/dak. civarı olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Kafa tur sayısının değişimi

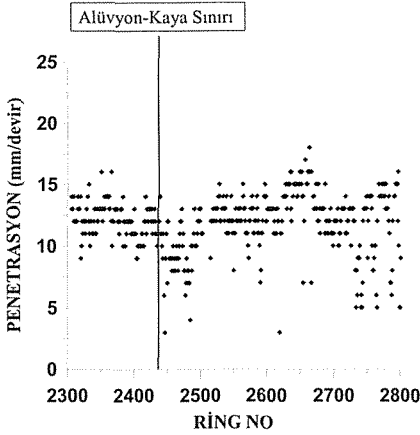
Şekil 14'de makinanın kafa tur sayısının kayaç ortamında kazı yapması durumunda kayaç basınç dayanımına bağlı olarak değişmediği görülmektedir.



Şekil 14 Dönüş sayısının basınç dayanımı ile değişimi

3.5 Penetrasyonun İncelenmesi

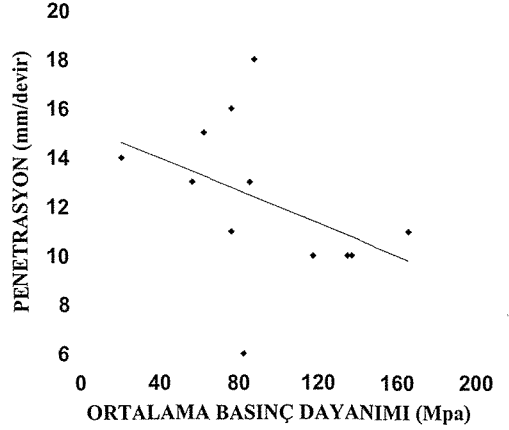
Şekil 15'de penetrasyonun ring numaraları üzerindeki dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 15. Penetrasyonun değişimi

Şekil 16' da makinanın kayaç ortamında kazı yapması durumunda penetrasyon ile kayaç basınç dayanımları arasında ters bir orantı olduğu görülmektedir. Penetrasyon değerinin değişimi ile ilerleme hızının değişimi benzer çıkmıştır. Kayacın basınç dayanımı arttıkça penetrasyon değerlerinde

düşüş görülmektedir. Geçirilen linear eğrinin r^2 değeri 0.17 olup bağıntının çok anlamlı olmadığı söylenebilir de özellikle 100 Mpa değerinden sonra düşüşün daha yüksek olduğu grafikten görülmektedir.



Şekil 16. Penetrasyonun basınç dayanımı ile değişimi

3.6 Elek Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

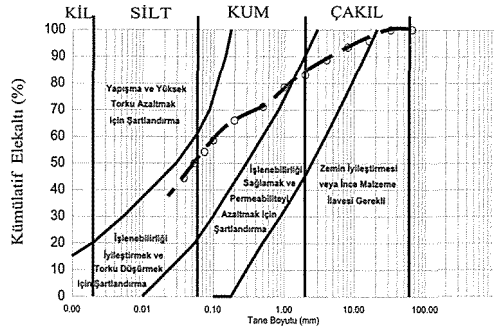
Kadıköy-Kozyatağı arası metro tüneli inşasında kullanılan tünel açma makinaları hem sert kayaçta hemde zeminde ilerleme yapmıştır. Zeminde ilerleme arazi basıncını dengelemek suretiyle gerçekleştirilmektedir. Arın stabilitesini sağlayabilmek ve makina parametrelerini optimize etmek için zeminin tane boyut dağılımını bilmek önemlidir. Bu amaçla makinanın zeminde ilerlediği sırada alınan numuneler, 64 mm ile 0.038 mm arasındaki Tablo 1'de aralıkları verilen 14 elekten elenmiştir. Böylece tane boyut dağılımları ve yüzde elek altı eğrileri elde edilmiştir.

Tablo 1. Tane Boyut Dağılımını Belirlemek İçin Kullanılan Elek Aralıkları.

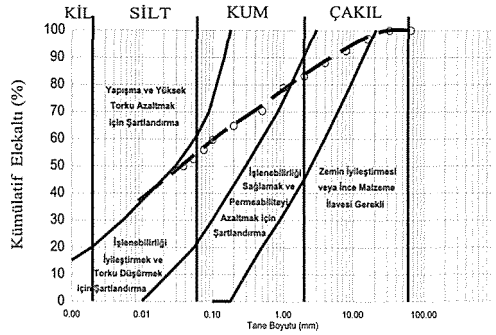
Elek Boyut Aralığı (mm)
+64
-64 +32
-32 +16
- 16 +8
-8 +4
-4 +2
-2 +1
-1 +0.5
-0.5 +0.2
-0.2 +0.1
-0.1 +0.075
-0.075 +0.053
-0.053 +0.038
-0.038

2357, 2368, 2379, 2385 ve 2400 nolu ringenden alınan numunelerin kümülatif elek altı eğrileri sırasıyla Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21' de gösterilmiştir. Bu zeminlerdeki tane boyut dağılımı şekillerden de görüleceği üzere işlenebilirliği iyileştirmek ve torqu düşürmek amacı ile şartlandırma gerektirmektedir. Bu sonuç işletmede köpük verilerek yapılan şartlandırma işlemiyle örtüşmektedir.

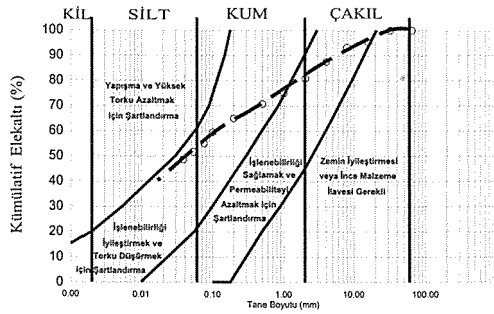
Ayrıca makina seçiminde kullanılması amacıyla oluşturulan ve Şekil 22'de gösterilen grafiğe 2357, 2368, 2379, 2385 ve 2400 nolu ring numunelerinin kümülatif elek altı değerleri konulmuş ve devam ettirilerek daha küçük boyutta eleme değerlerinin kesikli çizgi boyunca sonuç vereceği tespit edilmiştir. Sonuçlar makinanın özellikle zeminde EPB makinası olması gerektiğini göstermektedir. Bu da seçilen EPB makina tipinin zemine kazısına uygun olduğu sonucunu vermektedir.



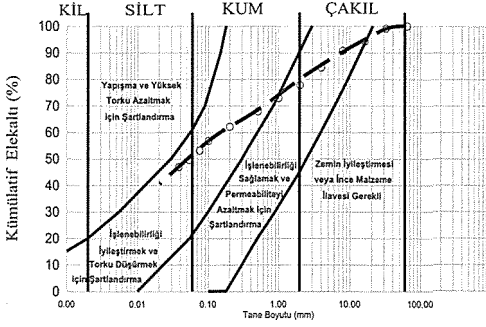
Şekil 17. 2357 nolu ring numunesine ait kümülatif elek altı



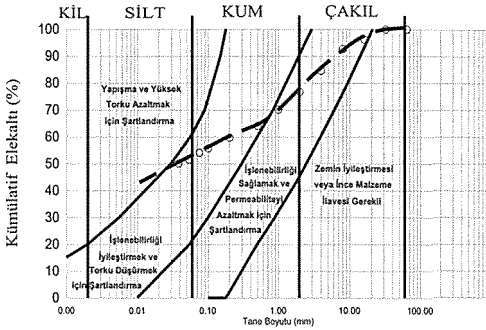
Şekil 18. 2368 nolu ring numunesine ait kümülatif elek altı eğrisi



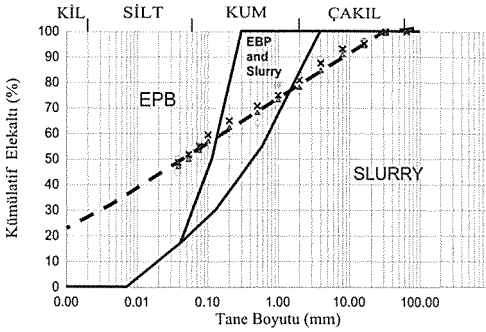
Şekil 19. 2379 nolu ring numunesine ait kümülatif elek altı eğrisi



Şekil 20. 2385 nolu ring numunesine ait kümülatif elek altı eğrisi



Şekil 21. 2400 nolu ring numunesine ait kümülatif elek altı eğrisi



Şekil 22. Makina seçiminde kullanılan grafik ve numunelere ait kümülatif elek altı eğrileri

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, Kozyatağı Kadıköy sol hat ve sağ hat metro inşasında kullanılan S-360 ve S-363 nolu arazi basıncı dengeleme makinalarının kazı parametrelerine ait bilgiler değerlendirilmiştir. Heriki makinada benzer sonuçlar gözlemlenince bu çalışmada sadece sağ hat makinasına ait sonuçlar yorumlanıp sunulmuştur. Öncelikle makinalar çalışma yerinde gözlemlenmiş, makinalara ait tork, itme kuvveti, ilerleme miktarı, kafa tur sayısı, penetrasyon, köpük oranı datalarının tünel eksenı boyunca değişimine ve bunların nokta yük dayanımı ve elek analizi sonuçlarıyla ilişkisine bakılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı süreçte sağ hatta çalışan S363 nolu makina hem alüvyon hem de kayaç ortamından geçmiştir. Böylece iki ortama kıyaslamak mümkün olmuştur. Bu iki ortama makinanın uyguladığı itme kuvveti ve bu kuvvetin birim derinliğe düşen miktarı (penetrasyon indeksi) açısından çok büyük fark yoktur. İtme kuvveti/mm değerinin ortalama olarak zeminde 1024 kN/mm, kayaçta ise 1015 kN/mm olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü gibi alüvyondaki değerler çok az yüksek çıkmıştır. Fakat görece yumuşak olan alüvyon ortamında bu kuvvetin değerinin daha düşük olması beklenir. Değerlerin kayaç ortamından daha yüksek çıkması bu kuvvetin bir kısmının zeminle makine şilti arasındaki sürtünmeye gitmiş olabileceği sonucuna götürmektedir. Tork değerinde ise durum tersi olup, alüvyonda neredeyse yarı yarıya kayaç ortamına göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Ortalama penetrasyon indeksi zemin için 125 tork/mm iken kayaç için 215 tork/mm'dir. Bu ise kayaç ortamının daha sert olması ve basınç odasındaki alüvyon ve kayaç parçaları arasındaki yoğunluk dolayısıyla ağırlık farkı ile açıklanabilir. Makinanın kayaç kazısı sırasındaki kazı parametreleri nokta yük dayanımından elde edilen ortalama basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırılmıştır. İtme kuvveti/mm ve Tork/mm değerlerinin kayacın basınç dayanımı ile ilişkisi çok belirgin olmayıp,

makinanın ilerleme hızı ve penetrasyon değeri ise kayaç dayanımının artışıyla düşüş göstermiştir.

Makinanın altıyvon geçişlerinden alınan numuneler üzerinde ise tane boyut dağılımı belirlemek için elek analizi yapılmış ve her bir numunenin kümülatif elek altı eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerin sonuçları bize makinanın EBP modunda çalışmasının uygun olduğunu, ayrıca işletmede de yapıldığı gibi makine parametrelerinin optimumunda kullanılabilmesi için zemin şartlandırma işlemlerinin yapılmasının gerekliliğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, danışmanlığını Ömür Acaroğlu'nun yaptığı İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü bitirme öğrencisi Hasan Erişgen'nin tez çalışması baz alınarak ortaya konulmuştur. Ayrıca Hüseyin Işıl'a ve öğrencilere sağladıkları çalışma ortamı, numuneler ve makine verilerinin elde edilmesinde gösterdikleri ilgi ve alakadan ötürü Kartal-Kadıköy metro projesinin yürütücüsü AnadoluRAY Ortaklığına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Tunçdemir, H. 1998. "Arazi Basıncının Dengelenmesi Esasına Göre Çalışan Tam Cephe Tünel Açma Makinelerinin Kazı Performansını Etkileyen Zemin Özellikleri ve İzmir Metrosu Örneği", 4.Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, 22-23 Ekim, Zonguldak.
- Kahraman, S. 2007. "Tam Cepheli Tünel Açma Makineleri'nin (TBM) Tarihsel Değerlendirmesi". Ulaşımında Yeraltı Kazıları 2. Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 57-62, İstanbul.
- Barton, N., 1999. "TBM performance estimation in rock using QTBM". Tunnels and Tunnelling International, 31, s. 30-34.
- Çınar, M., Feridunoğlu, O. C. 2002. "Tünel Açma Makineleri (TBM)". Ulaşımında Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Genişletilmiş 2. Baskı). s. 343-367, İstanbul.
- Friant, J.E. ve Özdemir, L., 1994. "Tünel Açma Teknolojisi –Bugün ve Yarın-, Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri Notları, Ş. Eskikaya (ed.), İstanbul.
- Maidl, B., Herrenknecht, M., Anheuser, L., 1996. "Mechanised Shield Tunnelling". Ernst und Sohn, s.428, Berlin.

Özdemir, L., 1992. "Mechanical Excavation Techniques in Underground Construction". Short Course Notebook, Volume1, p.427.

Tumaç, D., 2010. Doktora Tezi (yayınlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yüksel, A., Sözak, N. N. ve Gülle, G., 2005.Kadıköy-Kartal Metro Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu, Teknik Rapor: KK-GE-TR-GN-004, AnadoluRay Ortak girişimi, İstanbul.

Erişgen, H., 2010. Bitirme Tezi "Kadıköy-Kozyatağı Arası Sağ Hat Metro İnşaatında Çalışan EPB'in Kazı Parametreleri Analizi", İTÜ Maden Mühendisliği.

Işıl H., 2010. Bitirme Tezi "Kadıköy-Kozyatağı Arası Sol Hat Metro İnşaatında Çalışan EPB'in Kazı Parametreleri Analizi" İTÜ Maden Mühendisliği.

Bir Kırmataş İşletmesinde Patlatma Delik Düzeni Değişiminin Kayaç Parçalanmasına Etkisi

The Effect of Drilling and Blasting Pattern to Rock Fragmentation in a Quarry

İ.Topal

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

B.Elevli

Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun

H.Akçakoca

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

K.Oğul

TCDD, 2. Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük/Bilecik

OZET Bu çalışmada, patlatma delik düzeni ile patlatma sonrası oluşan yığındaki parça boyut dağılımı arasındaki ilişkilerin tespit edilebilmesi için Kütahya'da bir kırmataş işletmesinde bir dizi çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, işletmedeki uygulanan patlatma işlemlerinde; patlatma delik düzenleri, kullanılan patlayıcı madde miktarları, gecikme aralıkları, ayrıntılı olarak kayıt edilmiş ve patlatma sonucu oluşan yığın ölçekli olarak fotoğraflanarak dijital boyut analiz programı ile boyut dağılımı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlarda birim patlayıcı madde miktarı ve dilim kalınlığı ile patlatma sonrası oluşan parçalanma arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu analizlerde patlatma sonrası oluşan yığındaki malzemenin %50 sinin altında olduğu parça boyutu, %80 inin altında olduğu parça boyutu ve maksimum parça boyutu göz önüne alınmıştır. Sonuçta dilim kalınlığı ve birim patlayıcı madde miktarı ile patlatma sonrası oluşan yığındaki parçaların % 50 sinin ve % 80 inin altında olduğu tane boyutu ve maksimum tane boyutu arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

ABSTRACT In this study, we worked in a quarry from Kutahya Turkey for determination to relationship between particle size distribution which is consist of after blasting and drilling-blasting pattern. At the moment we saved the drilling blasting pattern, amount of blast lag order and heap is photographed with scale. These scaled photos are analysis with a computer program and examined relations with this result and drilling blasting pattern. This analysis related to track size in under %80, %50, and maximum particle size. Eventually a linear relationship was found burden and the amount of explosive material per unit with particle size distribution which is consist of after blasting.

1 GİRİŞ

Galeri patlatma yönteminin yasaklanması ile birlikte pek çok kırmataş işletmesi zorunlu olarak basamak patlatması sistemine geçmiştir. Ancak işletmelerin bu sisteme yeni geçmelerinden ve uygulama hatalarından kaynaklanan problemler söz konusudur. Basamak sisteminin en önemli

faydalarından biri olan patlatma ile düzenli boyut dağılımı elde etme yeterince yapılamamaktadır. Delme patlatmanın düzenli olmaması ile ocaktaki basamak düzeni bozulmakta, patlatma sonrası parça dağılımının homojen olmaması ve iri parçaların olması ile yükleme ve nakliye verimleri düşmekte aynı zamanda kırma

sınıflandırma tesisi enerji sarfiyatları artmaktadır. Bunun yanında delme - patlatmadaki düzensizlikler sonucu ortaya çıkan iri parçalar, hidrolik çekiç ile parçalanmakta bu ise ek maliyetler oluşturmaktadır.

Kırmataş işletmelerinde maden mühendisliği disiplininin uzak olarak gerçekleştirilen üretimlerden kaynaklanan çevresel problemler de (yer sarsıntısı, toz vs.) söz konusudur. Bu çevresel problemler sonucu oluşan baskılar, üreticileri çeşitli önlemler almaya zorlamıştır. Bu önlemler, üretim maliyetlerine indirekt giderler olarak yansımıştır.

Plansız üretimler nedeni ile doğal ve yenilenemez bir kaynak olan kırmataş elde edilebilir hammadde kaynakları israf edilmektedir. Bunun yanında kırmataş üretimlerindeki maden mühendisliği disiplininin ve bilimsellikten uzak uygulamalar enerji ve iş gücü israfına da neden olmaktadır.

Genel olarak delme - patlatma işleminin iki amacı vardır. Bunlar, göz önüne alınan kayaç kütlelerinin parçalanması ve ötelenmesidir. Parçalanmadaki amaç kayanın kazı makinesinin kepeğine rahatlıkla girebilecek, makinenin çalışmasını olumsuz yönde etkilemeyecek ve patar atımı gerektirmeyecek boyutta kırılmış olmasıdır. Ötelemedeki amaç ise kayanın kabarması sonucu gereken hacim artışını karşılayarak, yığının kolay kazılabilir olmasını temin etmektir.

Ancak kırmataş işletmelerinde yapılan delme patlatma işlemlerinde amaç sadece parçalanma ve öteleme değildir. Satılabilir ürün eldesi için parçalanmış malzeme yeniden kırma - sınıflandırma işlemine tabi tutulduğundan dolayı, kırma - sınıflandırma maliyetini minimize edecek bir boyut küçültme elde edilmelidir.

2 LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Kaya özellikleri atım sonucunu önemli ölçüde etkiler. Tamrock (1984), kayanın patlatılabilirliğine etkileyen unsurlardan yapısal durumu, sağlamlığı, homojenitesi yanında kayanın kırılabilir, dövülebilir, çekilebilir veya esneyebilir olmasının da önemli olduğuna işaret etmektedir. Örneğin formasyon kil gibi plastik özellik gösteriyorsa kovan yapma ihtimali vardır. Bu durumda darbe enerjisinden çok yıkma

enerjisi fazla olan bir patlayıcı kullanmak, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafeleri dikkatle seçmek ve mümkün olduğunca az tutmak gibi önlemler gerekebilir. Kaya kırılğan fakat masif ise kayanın parçalanmasında birincil kırılma mekanizmalarının iyi iş görmesi bakımından patlayıcı maddenin yüksek kudretli ve yüksek patlama hızlı olmasına özen gösterilmelidir. Çok eklemli ve çatlaklı zayıf kayalarda formasyon zaten parçalanmış olduğundan düşük yoğunluklu ve düşük patlama hızlı fakat fazla gaz çıkaran patlayıcı maddeler tercih edilmelidir.

Kayaların dayanıklılığı, eklem, fay, tabakalanma gibi yapısal unsurları ve su durumu patlatma tasarımı için önemlidir. Esen ve ark. 2000'de, parçalanma işlemine etki eden kaya özelliklerini yoğunluk, dalga iletim hızı, karakteristik empedans, enerji yutma özelliği, basınç dayanımı, çekme dayanımı, değişkenlik durumu (homojen ve isotropik olmayışı), yapısal durumu (eklem, tabakalanma v.b.) olarak sıralamışlardır.

Patlatma tasarımında öne çıkan iki anahtar parametre mevcuttur. Bunlar özgül şarj ve dilim kalınlığıdır. Bu iki parametre için makul bir yanıt bulunabildiğinde kabul edilebilir yaklaşımlara dayanarak diğer tasarım parametrelerinin hesaplanabileceği araştırmacıların ortak görüşüdür (Langefors 1978, Arıoğlu 1986, Olafsson 1988). Konu ile ilgili çeşitli araştırmacıların getirdiği belirli ampirik ilişkilerden yararlanarak ve kaya koşullarını dikkate alarak, bir başlangıç dilim kalınlığı ve özgül şarj değeri belirlenmekte ve ön tasarım yapılabilmektedir.

Patlatma ile parçalanma mekanizması arasındaki ilişki uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiş olup, değişik araştırmacı ve araştırmacı grupları, bu konu ile ilgili muhtelif çalışmalar yapmışlardır. Bazı araştırmacılar özgül şarj ve ufalama kanunları arasındaki ilişkileri araştırmışlardır (Çabuk, 2004).

Bazı araştırmacılar kayaçların jeomekanik özelliklerinin parçalanmayla ilişkisini incelemişlerdir (Peck 1989, Scoble 1989, Pollitt 1991, Dagabak 1997, Schunnesson 1997, Liu ve Karen 2001, Smith 2002, Segui

ve Higgins 2002, Morin ve Ficarazzo 2006, Latham ve ark. 2006).

Bir başka grup araştırmacı ise kayaçların delme hızına bağlı olarak kaya mekaniksel özelliklerini tahmin etme ve buna bağlı parçalanmayı incelemiştirler (Mozaffari, 2007).

Kaya yapısı ve süreksizliklerin patlatma performansına etkileri ise (Perfect 1997, Neff 1998, Kaçar 2002) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiştir.

3 ÇALIŞMA YAPILAN İŞLETMENİN TANITILMASI

Çalışma yapılan işletme Kütahya-Tavşanlı karayolu 13. Km. sinde yer alan Kardeşler Madencilik'e ait Kalsit ocağıdır (Şekil 1). İşletmede yıllık yaklaşık 1 milyon ton üretim yapılmaktadır. İki kırma – sınıflandırma tesisi olan işletme yaklaşık 15 yıldır üretim faaliyetlerine devam etmektedir.



Şekil 1 Çalışma yapılan işletmeden bir resim

Ocak uzun yıllar galeri atımları ile çalıştırılmış olduğundan halen bu eski üretim yönteminin etkileri basamak düzeninin bozukluğu şeklinde devam etmektedir. İşletme Prof.Dr. Birol Elevli'nin yöneticisi olduğu bir ekip tarafından projelendirilerek (Elevli, 2003) basamak patlatma sistemine geçiş yapmıştır. Basamak sistemine geçişten sonrada iyileştirme çalışmaları devam eden ocakta bu bildiride anlatılan çalışmalarla patlatma işlemleri daha da iyileştirilmiştir. İşletme ihtiyaç doğrultusunda farklı boyutlarda kırmataş üretimi yapmaktadır ve

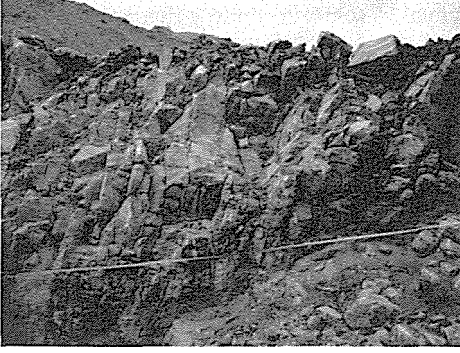
Kütahya'da sektörün önde gelen kuruluşları arasındadır.

4 PATLATMA İLE PARÇALANMANIN ÖLÇÜLMESİ

Patlatma sonrasında elde edilen parça boyutu ile patlatma parametreleri arasındaki ilişkileri tespit edebilmek için kırmataş işletmesinde bir dizi çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, patlatma delik düzenleri, kullanılan patlayıcı madde miktarları ve gecikme aralıkları ayrıntılı olarak kaydedilmiştir. Patlatma aynasında çatlaklılık durumu ve hakim çatlak yönüne olan konumu ölçüklü olarak fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır. Patlatma sonrası oluşan yığın ayrıca sistemli olarak fotoğraflanmış ve bu fotoğraflar Split Desktop 2.0 programı kullanılarak yığının boyut dağılımı analiz edilmiştir. Patlatmalar kamera ile kaydedilmiş ve oluşan parçalanma ayrıntılı olarak izlenmiştir.

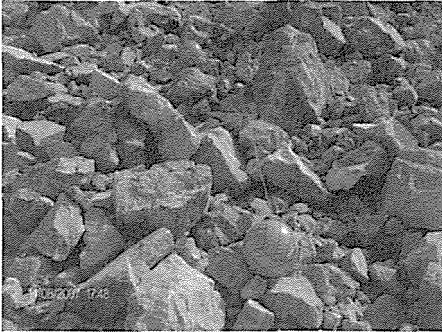
Yukarıda anlatılan işlemler sistematik olarak aşağıda sıralanmıştır;

1. Patlatma izleme çalışmalarında öncelikle patlatma yapılacak bölge koordinatları tespit edilmiş ve saha haritası üzerindeki konumu belirlenmiştir.
2. Patlatmada uygulanan delik düzeni belirlenmiştir. Autocad çizimleri yapılarak saha haritasına koordinatlı olarak yerleştirilmiştir.
3. Patlatma yapılacak ayna Şekil 2' de görüldüğü gibi ölçekli ve koordinatlı olarak fotoğraflanmış ve kaya mekaniği deneyleri için numuneler alınmıştır.



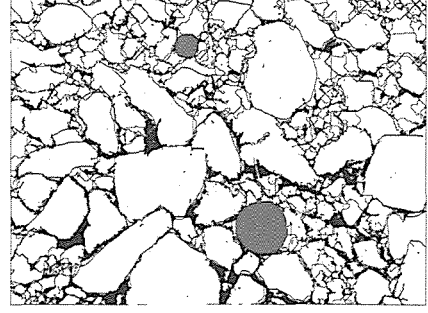
Şekil 2. Patlatma aynasının ölçekli olarak fotoğraflanması

4. Patlama anı kamerayla izlenmiş ve iri parçaların oluşumu tespit edilmeye çalışılmıştır.
5. Patlatma sonrası oluşan yığın Şekil 3’ de görüldüğü gibi ölçekli ve koordinatlı olarak fotoğraflanmıştır.

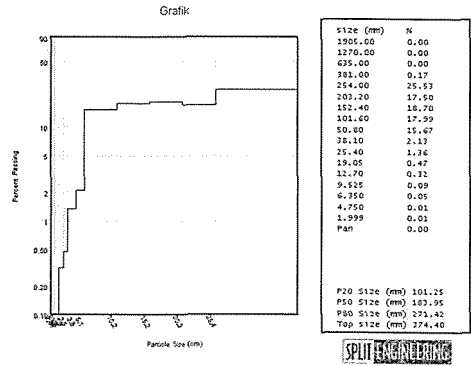


Şekil 3 Patlatma sonrası oluşan yığının ölçekli fotoğrafı

6. Elde edilen fotoğraflar Split – Desktop 2.0 parça boyut analizi programı ile boyutlandırılmıştır. Şekil 4’ de programda işlenmiş resim, Şekil 5’ de ise analiz sonucu görülmektedir.



Şekil 4. Split – Desktop 2.0 boyut analizi programında hazırlanan fotoğraf



Şekil 5. Split – Desktop 2.0 da elde edilen boyut analizi sonucu

Parçalanmanın boyutlandırılmasında ve ifade edilmesinde 3 değişik parametre dikkate alınmıştır;

P50 (%50’inin altında olduğu parça boyutu); Bu ifade pek çok kaynakta ortalama tane boyutu olarak ifade edilmektedir. Dijital olarak fotoğraflanan görüntüdeki parçaların %50 sinin altında olduğu boyutu (mm) ifade etmektedir.

P80 (%80’ in altında olduğu parça boyutu); Bu ifade dijital olarak fotoğraflanan görüntüdeki parçaların %80 inin altında olduğu boyutu (mm) ifade etmektedir.

Pmax (Maksimum tane boyutu); Bu ifade dijital olarak fotoğraflanmış olan parçalar içindeki en büyük parça boyutunu ifade etmektedir.

Çalışma yapılan bölgenin kaya mekaniksel özellikleri yapılan deneyler ile belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 1' de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde orta kalitede bir Kalsit cevheri olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi Kalsit'in tek eksenli basınç dayanımı değerleri 65-130 Mpa aralığında değişebilmektedir (Topal, 2009).

Çizelge 1. Kaya Mekaniksel Özellikler

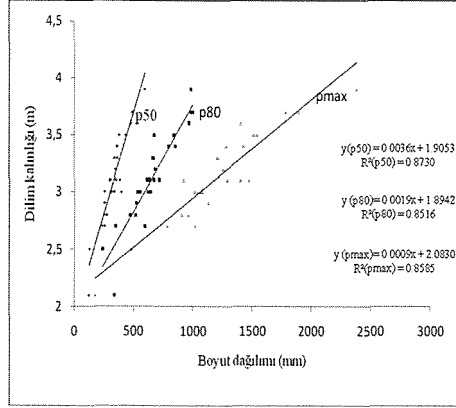
Deney Adı	Değer	Birim
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	93.92	Mpa
Yoğunluk	2.70	gr/cm ³
Gözeneklilik (Porozite)	0.33	%
Ağırlıkça su emme	0.12	%
Schmidt sertliği	45	L(ISRM)

Bu bölgede iki farklı tarihte yapılmış olan patlatmalar incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2' de sunulmuştur. Çizelgeden elde edilen ve üzerinde değişik yorumlar yapılabilecek olan grafikler ise Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmiştir.

5 ELDE EDİLEN SONUÇLAR

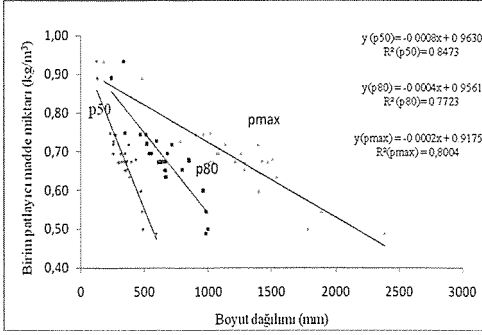
Yapılan çalışmalarla elde edilen ölçüm verileri Çizelge' 2 de görülmektedir.

Elde edilen verilerde iki parametre incelenmiştir. Birincisi dilim kalınlığı ve parçalanma arasındaki ilişkidir ikinci incelenen parametre ise birim patlayıcı madde miktarı ve parçalanma arasındaki ilişkidir.



Şekil 6. Dilim kalınlığı - patlatma sonrası oluşan parça boyut dağılımı ilişkisi

Şekil 7'de çalışma yapılan kalsit ocağındaki dilim kalınlığı ile patlatma sonrası oluşan parça boyutu arasındaki ilişki görülmektedir. Grafikte dilim kalınlığı ile patlatma sonrası oluşan yığındaki parçaların % 50 sinin ve % 80 inin altında olduğu tane boyutu ve maksimum tane boyutu arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Dilim kalınlığı ile %50 sinin altında olduğu tane boyutu ilişkisinin belirlilik katsayısı (R^2) 0.8730 korelasyon katsayısı (R) 0.9343, %80 inin altında olduğu tane boyutu ilişkisinin belirlilik(R^2) katsayısı 0.8516 ve korelasyon katsayısı (R) 0.9228, maksimum tane boyutu ilişkisinin ise belirlilik katsayısı (R^2) 0.8585 ve korelasyon katsayısı (R) 0.9265 dir. Bu durumda söz konusu parametreler arasında yüksek bir ilişki olduğu söylenebilir. Yine grafikte görüldüğü üzere, dilim kalınlığı arttıkça, iri parça oluşma olasılığının daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü pmax için eğim 0.0009 iken p50 için 0.0036 dir.



Şekil 7. 3. Bölge için BPMM - patlatma sonrası oluşan parça boyut dağılımı ilişkisi

Şekil 7 birim patlayıcı madde miktarı ile patlatma sonrası oluşan parça boyutu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikte birim patlayıcı madde miktarı ile patlatma sonrası oluşan yığındaki parçaların %50 sinin ve %80 inin altında olduğu tane boyutu ve maksimum tane boyutu arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Birim patlayıcı madde miktarı ile % 50 sinin altında olduğu tane boyutu ilişkisinin belirlilik katsayısı (R^2) 0.8473 korelasyon katsayısı (R) -0.9204, % 80 inin altında olduğu tane boyutu ilişkisinin belirlilik katsayısı (R^2) 0.7723 ve korelasyon katsayısı (R) -0.8788, maksimum tane boyutu ilişkisinin ise belirlilik katsayısı (R^2) 0.8004 ve korelasyon katsayısı (R) -0.8946'dır. Bu durumda söz konusu parametreler arasında yüksek bir ilişki olduğu söylenebilir. Yine grafikte görüldüğü üzere, birim patlayıcı madde miktarı arttıkça, iri parça oluşma olasılığının daha az olduğu görülmektedir. Çünkü pmax için eğim 0.0002 iken p50 için 0.0008'dir.

Bu çalışmada bir kalsit ocağında yapılmış olan patlatma çalışmaları analiz edilerek dilim kalınlığının ve birim patlayıcı madde miktarının kaya parçalanması üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen veriler sadece çalışma yapılmış olan kalsit ocağına aittir. Çalışmanın devamı olarak, çatlak yapısı ve GSI sınıflama sistemine göre patlatma ile parçalanma araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu, E., 1986, Jeoloji mühendisleri için madencilik bilgisi, İTÜ vakfı, kitap yayınları no:4, 212 s., İstanbul.
- Çabuk, E., 2004, Patlatma tasarımındaki özgül şarj hesaplarının ufalama kanunları ile ilişkisinin araştırılması, *Yüksek lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.
- Dagabak, R., Y., 1997, Kaya patlatmalarında, kayaçların jeomekanik verilerinin parçalanmaya etkisinin incelenmesi, *Madencilik Haziran-Eylül 1997*, cilt 36, sayı 2-3. s 3-12.
- Elevli, B., Ediz, İ., G., Önce, G., Akçakoca, H., Uysal, Ö., Doğruöz, C., Topal, İ., 2003, KIRDAR Hazır Beton, İnşaat, Madencilik Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi adına yapılan; Taşocağı (Basamak sistemine geçiş) projesi, Ağustos 2003, Dumlupınar Üniversitesi, Döner Sermaye Projesi, Kütahya, Türkiye
- Esen S., Bilgin H.A. ve Bobo, T., 2000, Patlayıcının parçalanmaya etkisi, 4. *Delme - Patlatma Sempozyumu*, Ankara, s 63-72.
- Kaçar, G., 2002, Analysis of the influences of rock mass properties on the blasting performance in open cast mines, In partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in the department of mining engineering, METU.
- Langefors, V., Kihlström, B., 1978, The modern technique of rock blasting, halsted press, Wiles and Sons.
- Latham, J.P., Van Meulaen, J.A., Dupray, S., 2006, Prediction of in-situ block size distributions with reference to armoustone for break waters. *Engineering Geology* 86, 18-36.
- Liu, H., and Karen, Y., K., 2001, Analysis and interpretation of monitored rotary blast hole drill data, *International Journal of Surface Mining* Vol. 15, No.3, pp 177-203.
- Morin, A., M., Ficarazzo, F., 2006, Monte carlo simulation as a tool to predict blasting fragmentation based on the Kuz-Ram model, *Computers & Geosciences* 32 (2006) pp. 352-359.
- Mozaffari, S., 2007, Measurement while drilling system in Aitik Mine, *master's thesis*, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden. 28 pp.
- Neff, M., 1998, a visual model for blast waves and fracture, a thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of master of science department of computer science, University of Toronto.
- Olofsson, S., O., 1988, Applied explosive technology for construction and mining. Sweden, 303 p.
- Peck, J., P., 1989, Performance monitoring of rotary blast hole drills. *Doctoral thesis*, McGill University.

- Perfect, E., 1997, Fractal models for the fragmentation of rocks and soils: a review, *Engineering Geology* 48 (1997) pp.185-198
- Pollitt, M.D., Peck, J., Scoble, M.J., 1991, Lithological interpretation based on monitored drilling performance parameters. *CIM Bulletin*, July, Vol 84, No 951, p.25-29.
- Schunnesson, H., 1997, Drill process monitoring in percussive drilling for location of structural features, lithological boundaries and rock properties, and for drill productivity evaluation. *Doctoral Thesis*, Luleå University of Technology 1997:28.
- Scoble, M.J., Peck, J., Hendricks, C., 1989, Correlation between rotary drill performance parameters and borehole Geophysical Logging, *Mining Science and Technology*, Vol.8, pp. 301-312.
- Segui, J., B. And Higgins, M., 2002, Blast design using measurement while drilling parameters. *Fragblast*, 2002, Vol.6, No.3-4, pp.287-299.
- Smith, B., 2002, Improvements in blast fragmentation using measurement while drilling parameters, *Fragblast* Vol. 6, No. 3-4, pp. 301-310.
- Tamrock, 1984, Handbook on surface drilling and blasting, Painofactrit Finland, 310 p.
- Topal, I., 2009, Kırmetaş İşletmelerinde Parça Boyutunun Üretim Sürecine ve Maliyetlere Etkileri, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kütahya

Çizelge 2. Delik patemine bağlı kayaç parçalanma verileri

ölçüm no	Delik Boyu (m)	Diğim Kalınlığı (m)	Delikler A.M. (m)	P.M. MfK. (KG)	Bir deliğin gevşettiği hacim (m ³)	Delik çapı (mm)	Şarj yoğunluğu (kg/m)	Doldurulan uzunluk (m)	Sıklama uzunluğu (m)	BPM (kg/m ³)	Parçalanma verileri			
											P20 (mm)	P50 (mm)	P80 (mm)	Max parça (mm)
1	15	3.4	2.9	100	148	114.3	9.24	10.8	4.2	0.68	63.73	362.58	853.91	1425.77
2	15	3.1	3	100	140	114.3	9.24	10.8	4.2	0.72	98.53	379.45	714.18	1396.63
3	15	2.8	3.2	100	134	114.3	9.24	10.8	4.2	0.74	86.67	268.74	469.66	963.66
4	15	3	3.3	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	162.89	396.18	625.17	1015.86
5	15	2.9	3.2	100	139	114.3	9.24	10.8	4.2	0.72	121.29	257.9	518.34	1134.3
6	15	3.2	3	100	144	114.3	9.24	10.8	4.2	0.69	91.75	349.73	681.06	1259.88
7	15	2.8	3.2	100	134	114.3	9.24	10.8	4.2	0.74	109.5	275.5	514.49	904.92
8	15	3.1	3.2	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	76.69	301.34	607.69	1291.42
9	15	2.7	3.3	100	134	114.3	9.24	10.8	4.2	0.75	77.42	232.63	346.88	1016.98
10	15	3.5	2.8	100	147	114.3	9.24	10.8	4.2	0.68	105.88	432.39	845.09	1515.28
11	15	3.7	3.3	100	183	114.3	9.24	10.8	4.2	0.55	142	481.93	983.44	1890.31
12	15	3	3.2	100	144	114.3	9.24	10.8	4.2	0.69	99.77	256.35	538.66	1066.75
13	15	3.7	3.6	100	200	114.3	9.24	10.8	4.2	0.50	163.75	489.9	996.4	1783.42
14	15	2.1	3.4	100	107	114.3	9.24	10.8	4.2	0.93	68.46	125.2	338.08	179.53
15	15	3.9	3.5	100	205	114.3	9.24	10.8	4.2	0.49	253.87	593.23	981.27	2384.91
16	15	3.3	3	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	95.78	341.03	667.36	1214.18
17	15	3.1	3.2	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	100.56	299.18	629.8	1471.22
18	15	2.5	3	100	113	114.3	9.24	10.8	4.2	0.89	113.72	130.67	240.82	481.37
19	15	3.5	3	100	158	114.3	9.24	10.8	4.2	0.63	143.51	382.15	672.38	1540.97
20	15	3.1	3.3	100	153	114.3	9.24	10.8	4.2	0.65	97.13	348.74	667.79	921.02
21	15	2.7	3.4	100	138	114.3	9.24	10.8	4.2	0.73	44.11	258.06	594.37	779.28
22	15	3	3.2	100	144	114.3	9.24	10.8	4.2	0.69	119.09	310.34	553.5	1082.38
23	15	3.4	3	100	153	114.3	9.24	10.8	4.2	0.65	61.07	360.28	794.09	1283.91
24	15	3	3.3	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	64.96	338.53	642.19	1039.81
25	15	3	3.3	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	93.67	324.37	620.97	1016.93
26	15	3.6	3.1	100	167	114.3	9.24	10.8	4.2	0.60	40.99	475.53	965.49	1402.4
27	15	3.3	3	100	149	114.3	9.24	10.8	4.2	0.67	36.29	363.9	661.02	1208.25

Kaya Yapısı Durumunun Darbeli Kırıcı Performansına Etkisinin İncelenmesi

The Investigation of Rock Mass Condition on the Impact Hammer Performance

V. Özacar, S.C. Özer, C.O. Aksoy, S.Gürgeç

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Hidrolik kırıcılar, delme patlatma yönteminin çevresel etkileri ve maliyetinin yüksek olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Günümüzde üreticiler tarafından tercih edilen bir iş makinesini değişik eklentilerle birçok yönde kullanma yöntemine uygun olarak hidrolik kırıcılar da uygun bir ekskavatöre takılabildiği ve bu yüzden ilk yatırım maliyeti düşük olduğu için yaygın olarak tercih edilmektedir. Hidrolik kırıcılar çok çeşitli jeolojik birimlerde çalışabilmektedir. Bu nedenle birimin özellikleri kırıcı seçimini etkileyen parametrelerden biri olmaktadır.

Bu çalışmada, Ordu-Akkuş bölgesinde yapılan hidro elektrik santrali çalışmaları çerçevesinde kazısı yapılan birimin dayanımı ve blok boyutunun kazı performansına etkisi incelenmiştir. Yerinde yapılan gözlemlerde birimin dayanımı yüksek olmasına rağmen, üretilen blok boyutu büyük olan bölgelerde koparma (sökme) etkisiyle üretim hacmi, blok boyutu küçük (parçalanmış) bölgelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

ABSTRACT Hydraulic impact hammers are used in excavation when the cost of drilling-blasting method is high and the method cause environmental problems. Hydraulic impact hammers are mostly used since it is easy to attach a hydraulic impact hammer to an available excavator and impact hammer's cost is low. Hydraulic impact hammers can work in various geological units. Therefore, properties of the unit are one of the important parameters to choose hydraulic impact hammers.

In this study, the effect of strength of the geological unit and block size on excavation performance in hydroelectric plant construction at Ordu-Akkuş region. It is concluded from in-situ observations that the production volume at high-strength but big excavated block zones is greater than the zones of smaller excavated blocks.

1 GİRİŞ

Kazı makineleri, mühendislik projelerinde önemli bir yere sahiptir. Gün geçtikçe kullanım alanları genişleyen bu makineler, teknoloji ve bilimdeki gelişmelere koşut olarak, değişik boyutlarda, değişik gereçlerle,

farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bir matematik formülü ile bulunabilen sonuçların yer aldığı bilim alanlarından farklı olarak, madencilikte her çalışma ayrı bir özellik sunmakta, yaklaşımı benzer olmakla beraber değişik çözümleri

gerektirebilmektedir. Doğa ile savaşma sanatı olan madencilik ilmi alanlarından bazıları olan tüneller, şev kazıları, temel kazıları vb. alanlarda orta sert-zayıf kaya kütlelerinin ve hatta kaya kütle parametrelerine bağlı olarak sert ve gevrek kayaların kazılmasında darbeli kırıcılar çok sık kullanılır hale gelmiştir. Darbeli kırıcılar genelde kazı mekaniği içerisinde değerlendirilirken, kesme yerine kırma ilkesi ile çalışırlar. Literatürde kesilebilirlik ve delinebilirlik üzerine birçok çalışmaya rastlamak mümkün iken, kırılabilirlik konusunda yapılan çalışmalar devam etmekle birlikte daha sınırlıdır.

Bu çalışmada, Ordu-Akkuş bölgesinde yapılan hidro elektrik santrali çalışmaları çerçevesinde kazısı yapılan birimin dayanımı ve blok boyutunun kazı performansına etkisi incelenmiştir. Yerinde yapılan gözlemlerde birimin dayanımı yüksek olmasına rağmen, üretilen blok boyutu büyük olan bölgelerde koparma (sökme) etkisiyle üretim hacmi, blok boyutu küçük (parçalanmış) bölgelere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Büyük kentlerde metro, otoyol, su ve kanalizasyon tünelleri gibi yeraltı yapılarının inşası ve yerüstü madencilik ve inşaat işleri gün geçtikçe artmaktadır. Delme patlatma, madencilik ve tünel işlerinde özellikle sağlam formasyonlarda en çok kullanılan kazı yöntemidir. Ancak bu yöntemin kentlerde zayıf kayalarda kullanılması bina ve üstyapı hasarları ortaya çıkaracağı için tercih edilmez. Ayrıca oluşan titreşim ve gürültü insanlarla üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Günümüzde, kaya ortamının da uygun olmasıyla günlük 50-60 m'ye kadar çıkan ilerleme hızlarıyla kazı yapan tam cepheli galeri açma makineleri (TBM) üretilmektedir. Hatta; hat boyunca oldukça değişik jeomekanik özelliklere sahip formasyonlarla karşılaşılacak İstanbul'da dahi çok amaçlı makineler tasarlanarak her ortamda kazı yapılması mümkün olmuştur. Eğer kaya dayanımı yüksekse, keski sarfiyatı artmakla birlikte, günümüzde dayanımı 250-300 MPa'a varan kayaları kazınan ağır TBM'ler üretilmektedir. Ancak bu birimlerde

darbeli kırıcı ve kollu makineler gerekli baskı kuvvetini sağlayamadıkları ve aşındırıcı kayalar yüzünden kollu makinelerde keski sarfiyatı arttığından kullanılamamaktadırlar. Tek eksenli sıkışma dayanımı 0-100 MPa arasında değişen ve kırıklı çatlaklı, bazen zemin özelliği gösteren bazen de diyabaz ve andezit dayklarının bulunduğu sağlam kayaç zonlarının kesildiği sığ tünellerin kazısında darbeli kırıcılar başarılı bir kazı işlemi gerçekleştirmektedirler Tunçdemir (2007). Son yıllarda sert kayalarda özellikle çatlaklı jeolojik birimlerde darbeli kırıcıların kullanımı oldukça artmıştır Ocak ve Bilgin (2010).

İşverenin kısa sürede işin bitirilmesini istemesi ve daha az masrafla tamamlama beklentisi yüzünden 1-1,5 km gibi kısa mesafeli tünellerin açımında ilk yatırım maliyetleri diğerlerine göre oldukça uygun olan ve bir kepçeli ekskavatörün kepçesinin sökülüp yerine bir darbeli kırıcı ünitesinin yerleştirilmesi ile faaliyete geçirilebilen hidrolik kırıcılar 1964 yılından beri madencilik, inşaat ve tünel sektöründe artan bir ivmeyle başarıyla kullanılmaktadır. Delme-patlatma ve kollu kazıcı kazısına göre, hidrolik kırıcıların ilk yatırım maliyetlerinin daha düşük olması, daha az işçiyi ihtiyaç duyması ve daha hızlı olmasından dolayı, ayrıca da TBM'e göre değişik kazı ortamlarına daha hızlı uyum göstermesi ve hareketliliğinin fazla olması nedenleriyle çeşitli üstünlüklere sahiptirler Nelson vd. (1993). Ancak kullanılacak hidrolik kırıcının performansını kestirmek, işletme ve tasarım parametrelerini önceden belirlemek, iyi bir proje planlaması yapabilmek için önemlidir.

Kayaçların kazılabilirliği ve kazıcıların performans tahmini konularında birçok ileri teknoloji içeren çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, genel olarak kazılacak kayacın yapısına uygun makine seçimi ve seçilen makinenin performansının tahminini temel almaktadır. Makine seçimini yapan kaya mühendisleri, uygun seçimin yapılacak çalışmanın maliyete olumlu etkilerini düşünürler.

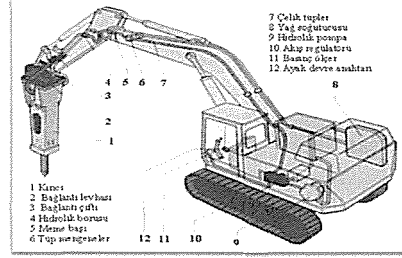
Yapılan çalışmalar kayaçların jeomekanik özelliklerinin kazıcıların performans tahmininde önemini ortaya koymuştur

Sandbak (1985); Douglas (1985) ve bu konuda birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür. Bu çalışmalardaki başlıca amaç; kolay uygulanabilirlik, az zaman harcama ve ucuzluktur. Performans tahmininde en çok kullanılan jeomekanik parametre tek eksenli sıkışma dayanımıdır (Deere ve Miller 1966; Aufmuth, 1973; Kidybinski, 1984; Shorey vd., 1984; Haramy ve De Marco, 1985; Ghose ve Chakraborti, 1986; Sachapazis, 1990; Xu vd., 1990; Inoue ve Omi, 1970; Carter ve Sneddon, 1977; Cargill ve Shakoore, 1990; Katz vd., 2000; Day ve Goudie, 1977). Bunun dışında, kayaç ayrışması Day ve Goudie (1977); Matthews ve Shakesby (1984), süreksizliklerin durumunun performansa etkileri Young ve Fowell (1978), makine delme oranı Kahraman (1999); Kahraman vd. (2003) kayaların sertlik indeks özellikleri Tarkoy ve Hendron (1975), riprilenabilirlik Duncan (1969), kaya aşındırıcılığı Janach ve Merminod (1982), kazı sınıflamaları Karpuz (1990), yerinde dayanım tahminleri Singh vd. (2002), Schmitd Çekici Geri Sıçrama değerleri ile performans tahmini Goktan ve Gunes (2005) gibi çalışmalar performans tahmininde kullanılan çalışmalardır. Bu çalışmalar kapsamında, performans tahmininde kullanılan yöntemler "Tam Ölçekli Doğrusal Kesme Deneyi, "Küçük Ölçekli Kesme Deneyi, görgül yöntemler, Yarı-kuramsal yöntemler ve saha gözlemleri şeklinde sınıflandırılabilirler. Bu sınıflamalar kapsamındaki çalışmalar hem kendi aralarında, hem birbirleri ile ilişkileri açısından hem de makine tasarım parametreleri açısından sıkça kullanılmaktadırlar (Bilgin 1977; Fowell, 1993; Roxborough ve Phillips, 1975; Copur vd., 2001; Copur vd., 1997; Balci ve Bilgin, 2007; Cigla ve Ozdemir, 2000; Asbury vd., 2001; Bilgin vd., 1999; McFeat-Smith ve Fowell, 1977; Fowell ve McFeat-Smith, 1976; Evans, 1984; Nishimatsu, 1972; Bilgin vd., 2002; Bilgin vd., 2006).

Bütün bunların yanı sıra, kaya mühendisliği çalışmasının yapılacağı bölgenin ve bu bölge içerisindeki değişik lokasyonların sahip oldukları yeraltısuyu, kazı kesiti, tünel eğimi, havalandırma koşulları gibi değişirgeller de

kazıcı makine performansını etkilemektedir (Aksoy, 2009).

Modern hidrolik kırıcıların yapısı oldukça basittir. Serbestçe hareket eden piston, darbe enerjisini çok kısa sürede gerekli hacimdeki yağı sağlayan bir akümülatörden almaktadır. Bu akümülatör devamlı olarak hidrolik pompa yardımıyla şarj edilmektedir Bilgin (1989). Hidrolik kırıcı ve elemanları Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Darbeli kırıcı ve elemanları Tunçdemir (2007)

Bilgin vd. (1996, 1997) yıllar boyunca İstanbul Metrosu için yapılan kazılardan elde edilen verileri analiz etmiştir ve hidrolik darbeli kırıcıların net kırma hızının hesaplanabildiği bir eşitlik önermiştir.

$$IBR = 4.24P(RMCI)^{-0.567} \quad (1)$$

$$RMCI = \sigma_c (RQD/100)^{2/3} \quad (2)$$

Burada IBR, net kazı hızı (m^3/h); P, darbeli kırıcının gücü, HP; RMCI, kaya kütleli kazılabilirlik indeksi, MPa; σ_c , tek eksenli sıkışma dayanımı, MPa; RQD, kayaç kalite göstergesi, %.

Aksoy (2009), İzmir'de tünellerin açılması esnasında yaptığı çalışmalarda darbeli kırıcıların laminalı-foliasyonlu oldukça zayıf kaya koşullarındaki kazılarda, tünel aynasının GSI'ı, kayacın disk makaslama dayanım indeksi (BPI) (Ulusay vd. 2001) (bu tip kayalarda tek eksenli sıkışma dayanımını belirlemede kullanılacak karot örneklerini standartlara veya önerilmiş yöntemlere uygun şekilde elde etmek çok zor ve hatta çoğu kez olanaksızdır), hidrolik ve kırıcının gücünü kullanarak darbeli kırıcının anlık kazı

miktarını belirleyebilen aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$WRBI = \frac{265(BPI)^{0.25}(GSI)^{0.2}}{20} \quad (3)$$

$$IBR = 15,423(P)^{0.057}(WRBI)^{-0.229} \quad (4)$$

Burada; WRBI zayıf kaya kırılabilirlik indeksi, BPI disk makaslama dayanım indeksi (MPa), GSI jeolojik dayanım indeksi, (P) darbeli kırıcı gücü (HP) ve IBR ise anlık kırma oranıdır (m^3/s).

RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri küçükken, RMCI da çok küçük değerler almakta ve bu değerlere karşılık gelen net ilerleme hızı darbeli kırıcılar için yüksek olmaktadır. Bu durum, aslında kırıcının süreksizliklerden faydalanarak daha fazla sökülüm yapabildiği anlamına gelmektedir (sık süreksizlik içeren bir kaya birimi bu haliyle düşük RQD'ye sahiptir). Daha yüksek güce sahip bir makine kullanılırsa daha fazla üretim yapılacağı açıktır. Ayrıca, hem makine gücü fazla hem RQD düşük ve hem de tek eksenli sıkışma dayanımı düşükse, çok daha fazla kayaç sökülebileceği de anlaşılmaktadır. RQD'nin çok düşük olması hatta sıfır olması demek zemin ortamında çalışılıyor demektir. Zemin ortamları akıcıdır ve kırıcı ünite burada sadece küreme işlemi yapar, parçalama işi yapamaz. Bu da kendi kendine akan bir ortam olacağı için, ancak zemin çivileri çakılarak ve bu çivilerin içine çimento enjeksiyonu ile ortam sağlamlaştırıldıktan sonra parçalama işlemi gerçekleştirilebilecektir. Ancak küreme işi bu proje kapsamında olmadığından bu bildiride bahsedilmemektedir. Ayrıca, sadece RQD ve kayaç dayanımına bağlı olarak performans tahmini yapmak eksik olacaktır. Yeraltısuyu, kayanın yapısal durumu vb. değişirgelerde performans tahmininin içerisinde kullanılmalıdır. Bu araştırma kapsamında suyun kazıya etkisi de incelenecek olup, kayanın yapısal durumunun performans tahmininin içerisine yerleştirmek için Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen kantitatif GSI abağındaki Yapısal Özellik Puanı-Hacimsel Eklem Sayısı abağı ve Süreksizlik Yüzey Koşulu puanlaması

kullanılarak Kaya Yapısı İndeksi'nin oluşturulması planlanmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda kırıcıların verimliliğine etki eden faktörler şu şekilde sıralanmaktadır;

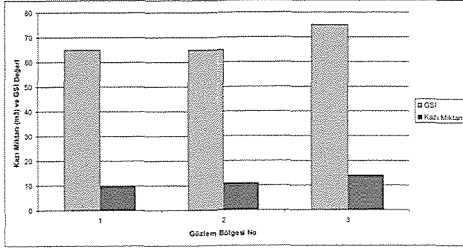
- Tünel kesiti,
- Tünel içinde bulunan makinelerin yeterli sayıda olup olmadıkları,
- Kırıcı ucun takılı olduğu makinenin tasarımı (paletli ya da lastik tekerlekli olması),
- Kullanılan kırıcı ucun ağırlığının, üzerine takılan makineye uygun olup olmadığı,
- Kırıcı ucun, kırılacak olan yüzeye ideal konum ve açıda darbe yapıp yapmadığı,
- Kullanılan kırıcı ucun ağırlığının ve gücünün kırılacak olan kayaya uygun olup olmadığı,
- Kırılacak kayanın malzemede ve kütle özellikleri,
- Kırıcı ucun sağlamlığı (Kahriman, 2004)

3 ORDU İLİ AKKUŞ İLÇESİ UMUT 1 HES PROJESİ ŞEV KAZISI İNCELEMESİ

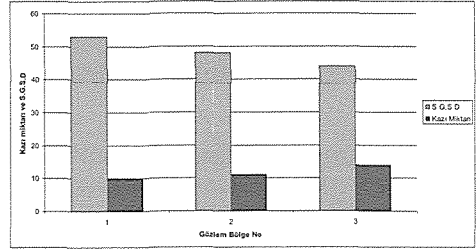
UMUT I projesi Ordu iline bağlı Akkuş ilçesi sınırlarında, Yeşilirmak havzasına bağlı Karakuş deresi ve yan kolları olan üzerinde, Orta Karadeniz'in iç kısımlarında Canik Dağları üzerinde Argan Tepesi eteğinde kurulmuştur ve Doğusunda Kumru, Batısında Erbaa ve Niksar, Kuzeyinde Terme, Salıpazarı, Ünye, Çaybaşı ve İkizce bulunur. İlçenin denizden yüksekliği 1340 m'dir. Şekil 2'de projenin yer bulduru haritası verilmektedir.

Proje bölgesindeki kayaçlar genel adı ile "Yolüstü Bazaltı" olarak adlandırılmaktadır. Bazaltik lavlar; genellikle gri, koyu gri ve siyah rekli, lav kaynakları çevresinde bol gözenekli, yer yer urganlı lavlar ve cüruf halindedir. Gözeneklerde beyaz zeolitler, birim içerisinde hornblend, piroksen ve olivin gözlenir.

yapabilme yeteneğinden faydalanılması olarak belirtilebilir. Yapılan gözlem ve incelemeler basit bir grafik şeklinde Şekil 4 ve 5'de görülmektedir.



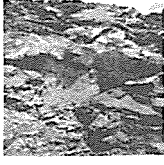


Şekil 4. Ortalama kazı miktarı ve GSI değerlerinin histogramı



Şekil 5. Ortalama kazı miktarı ve Schmidt Geri Sıçrama değerinin histogramı

Çizelge 2. UMUT 1 için kazı ve makine bilgileri

Kazı Yüzevi No	Kazı Yüzevi	Kayaç	GSI	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Kullanılan Taşıyıcı	Taşıyıcının Bilgileri	Kullanılan Kırıcı	Saatlik Ortalama Kazı Miktarı
1		Bazalt	60-65 ÇOK BLOKLU- ÇOK İYİ	53	HITACHI 460 LCH	46.000 kg 263 KW	MTB 360	10 m ³
2		Bazalt	60-65 BLOKLU İYİ	48	HITACHI 460 LCH	46.000 kg 263 KW	MTB 360	11 m ³
3		Bazalt	75 BLOKLU ÇOK İYİ	44	HITACHI 460 LCH	46.000 kg 263 KW	MTB 360	14 m ³

4 SONUÇ

Darbeli kırıcılar son yıllarda özellikle metro inşaatları, tünel kazıları, şev kazıları, temel

kazıları gibi madencilik ve inşaat sektörlerinde önemli kullanım alanları bulmuştur. Bir proje bütçesinde kazı maliyeti önemli bir yekün tutmaktadır. Bu

nedenle kazı planlaması önem arz etmektedir.

Kazı planlamasında önemli parametrelerden birisi de kaya yapısının kütleli durumdur. Normal şartlar altında kaya kütleli zayıf olması kazı miktarının daha fazla olması için yeterlidir. Ancak bazı özel durumlarda, kaya kütleli içerdiği süreksizliklerden faydalanarak ve darbeli kırıcının söküm yapabileceğinden yararlanarak daha geniş aralıklarla süreksizlikler içeren bir kaya kütleli büyük blokları kolaylıkla kazabilmek mümkün olabilmektedir. Bu durumda süreksizlik aralığı daha küçük olan ve dolayısıyla daha zayıf kaya kütleli yapılacak kazıdan daha fazla kazı yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Askoç, C. O., 2009. Performance Prediction of Impact Hammers by Block Punch Index for Weak Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol: 46(8), 1383-1388.
- Asbury B, Ozdemir L, Rozgonyi T., 2001. Frustum bit technology for continuous miner and roadheader applications. In: Willise RPH, editor. Proceedings of the sixth international symposium on mine mechanization and technology. Johannesburg; 2001. p. 135-9.
- Aufmuth RE., 1973. A systematic determination of engineering criteria for rock. *Bull Assoc Eng Geol* 1973;11:235-45.
- Balci C, Bilgin N., 2007. Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines, *Int J Rock Mech Min Sci*, 2007, 44: 468-476.
- Bilgin N., 1989. "İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği". İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Bilgin, N., Yazıcı, S., Eskikaya, S., 1996. "A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages". In: Proceedings of the Eurock '96, Balkema, pp.715 - 720.
- Bilgin, N., Kuzu, C., Eskikaya, S., 1997. "Cutting performance of rock hammers and roadheaders in Istanbul metro drivages". In: Proceedings of the World Tunnel Congress'97, Tunnels for People, Balkema, pp. 455-460.
- Bilgin N, Balci C, Tuncdemir H, Eskikaya S, Akgül M, Algan M., 1999. The performance prediction of a TBM in Tuzla-Drags sewerage tunnel. In: Alten T, Backer L, Bollingmo PP, Broch E, Holmay K, Holter KG, Nielsen K, editors. Proceedings of the world tunnel congress on challenges for the 21st century. Oslo; 1999. p. 817-27.
- Bilgin N, Dincer T, Copur H., 2002. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. *Tunnell Undergr Space Technol* 2002;17:237-47.
- Bilgin N, Demircin MA, Copur H, Balci C, Tuncdemir H, Akcin N., 2006. Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results. *Int J Rock Mech Min Sci* 2006;43:139-56.
- Bilgin N., 1977. Investigation into the mechanical cutting characteristic of some medium and high strength rocks. PhD thesis, University of Newcastle-upon-tyne. 1977.
- Cargill JS, Shakoor A. 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial strength of rock. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1990;27:495-503.
- Carter PG, Sneddon M., 1977. Comparison of the Schmidt hammer, point load and unconfined compression test in carboniferous strata. Proceedings of the conference on rock engineering, University of New Castle upon Tyne; 1977. p. 197-210.
- Cigla M, Ozdemir L., 2000. Computer modeling for improved production of mechanical excavators. In: Proceedings of the annual meeting of the society for mining, metallurgy and exploration (SME). Salt Lake City, 2000. p. 1-12.
- Copur H, Rostami J, Ozdemir L, Bilgin N., 1997. Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunnelling projects. In: Gurgenci H, Hood M, editors. Proceedings of the fourth international symposium on mine mechanization and automation. Brisbane; 1997 p. A4-1-A4-7.
- Copur H, Tuncdemir H, Bilgin N, Dincer T., 2001. Specific energy as a criterion for the use of rapid excavation systems Turkish mines. *Trans Inst Min Metall Sec A* 2001;110:149-57.
- Day MJ, Goudie AS., 1977. Field assesment of rock hardness using the Schmidt test hammer. *Br Geomorphol Res Group Tech Bull* 1977;18:19-29.
- Deere DU, Miller RP., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65-116, University of Illinois: 1966, p. 300.
- Douglas, W., 1985. Roadheaders open new horizons at San Manuel. *Engineering and Mining Journal* 186, 22-25.
- Duncan N., 1969. Engineering geology and rock mechanics, vol 1. London: Leonard Hill; 1969.
- Evans I., 1984. Basic mechanics of the point-attack pick. *Colliery Guardian* 1984;May:189-93.

- Fowell RJ, McFeat-Smith I., 1976. Factors influencing the cutting performance of a selective tunneling machine. In: Jones MJ, editor. Proceedings of tunnelling symposium 76. IMM, London; 1976. p. 301-9.
- Fowell RJ., 1993. The mechanics of rock cutting. In: Hudson JA, editor. *Comprehensive rock engineering*, vol. 4; 1993. p. 155-75.
- Ghose AK, Chakraborti S., 1986. Empirical strength indices of Indian coals. Proceedings of the 27th US symposium on rock mechanics. Balkema: 1986. 59-61.
- Goktan RM. Gunes N., 2005. A comparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction, *Int J Rock Mech Min Sci*, 2005, 42: 466-472.
- Haramy KY, De Marco MJ., 1985. Use of Schmidt hammer for rock and coal testing. Proceedings of the 26th US symposium on rock mechanics, 26-28 June, Rapid City. Balkema, 1985, 549-55.
- Inoue M, Omi M. 1970. Study on the strength of rocks by the Schmidt test hammer. *Rock Mech Japan* 1970;1:177-9.
- Janach W, Merminod A., 1982. Rock abrasivity test with a modified Schmidt hammer. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1982;19:43-5.
- Kahraman R., 1999. Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis. *Int J Rock Mech Min Sci* 1999;36:981-9.
- Kahraman S, Bilgin N, Feridunoglu C., 2003. Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills. *Int J Rock Mech Min Sci* 2003;40:711-23.
- Kahriman, A. Karadoğan, A., Akkaya, U.G., Tuncer, G., Karamustafa, I., Aksoy, M., 2004. "İstanbul Metrosu Tünel Kazılarında Kullanılan Hidrolik Kırıcıların Verimliliğinin İncelenmesi", VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 21-22 Ekim 2004, Sivas, s: 395-401.
- Karpuz C. A., 1990. Classification system for excavation of surface coal measures. *Mining Science and Technology* 1990;11:157-63.
- Katz O, Reches Z, Roegiers JC., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a schmidt hammer. *Int J Rock Mech Min Sci* 2000;37:723-8.
- Kidybinski A., 1984. Bursting liability indices of coal. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1984;21:39-42.
- Matthews JA, Shakesby RA., 1984. The status of the Little Ice Age in southern Norway: relative-age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas* 1984;13:333-46.
- McFeat-Smith I, Fowell RJ., (1977), Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. In: Proceedings of the conference on rock engineering. University of Newcastle-upon-Tyne; 1977. p. 581-602.
- Nelson P.P., Sinha S.R. & Handewith H.J. 1993. "Underground Structures Design and Construction Machine Excavation".
- Nishimatsu Y., 1972. The mechanics of rock cutting. *Int J Rock Mech Min Sci* 1972;9:261-70.
- Ocak İ., Bilgin N., 2010. "Comparative studies on the performance of a roadheader, impact hammer and drilling and blasting method in the excavation of metro station tunnels in Istanbul", *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25, 181-187.
- Roxborough FF, Phillips HR., 1975. Rock excavation by disc cutter. *Int J Rock Mech Min Sci* 1975;12:361-6.
- Sachapazis CI. 1990. Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. *Bull Int Assoc Eng Geol* 1990;42:75-83.
- Sandbak, L.A., 1985. Roadheader drift excavation and geomechanical rock classification at San Manuel, Arizona. In: proceedings of the Rapid Excavation and Tunnelling Conference, New York, vol. 2, pp. 902-916
- Shorey PR, Barat D, Das MN, Mukherjee KP, Singh B., 1984. Schmidt hammer rebound data for estimation of large scale in-situ coal strength. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1984; 21:39-42.
- Singh R, Singh AK, Mandal PK., 2002. Cuttability of coal seams with igneous intrusions. *Eng Geo* 2002;67:127-37.
- Sönmez, H., Ulusay , R., 2002. A Discussion on the Hoek-Brown Failure Criterion and suggested Modifications to the Criterion Verified by Slope Stability: Case Studies, *Yerbilimleri*, 26, 77-79.
- Tarkoy PJ., Hendron AJ., 1975. Rock hardness index properties and geotechnical parameters for predicting tunnel boring machine performance. National Science Foundation Report no. NSF-RAT- 75-030, 1975.
- Tunçdemir H., 2007. "Hidrolik kırıcıların performans tahmini ve seçim kriterleri", *Ulaşımında Yeraltı Kazıları 2.Sempozyumu*, 215-226, İstanbul.
- Ulusay R, Gokceoglu C, Sulukcu S., 2001. Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI). *Int J Rock Mech Min Sci* 2001;38:1113-9.
- Xu G, Grasso P, Mahtab A., 1990. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. Proceedings of the 6th International IAEG Congress. Balkema, 1990. p. 511-9.
- Young RP, Fowell RJ., 1978. Assessing rock discontinuities. *Tunnels Tunnelling*. June 1978; 45-8.

4. BÖLÜM

MADEN İŞLETME

Bakım-Onarım Etkinliği Göstergeleri ve Elektrikli Yerkazı Araçlarında Güvenilgenlik

Maintenance-Repair Effectiveness Indicators and Reliability of Electrical Earthmoving Equipment

Metin Özdoğan

İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara

Mehmet Taksuk

GLİ Tunçbilek, Kütahya

ÖZET Bu bildiri de elektrikli maden makinaları bakım-onarım başarımlarını gösteren göstergeleri ve tanımları verilmiştir. Bunlar, ayakta kalma oranı (A), kullanım oranı (U), güvenilgenlik (R), bakılgenlik (M), bozulma oranı (n/h), üretkenlik (Q), başarımlar oranı (P), yerkazı aracı etkinliği (EE) gibi değiştirgenlerdir. Bu bakım-onarım başarımlarını gösteren göstergeleri GLİ Tunçbilek Açık İşletmelerinde çalışan iki adet 15 m³ DL1(63/15) ve 31 m³ DL2(72/31) kapasiteli çekme kepçeli yerkazar için uygulanmış, altı yıllık ortalama sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca, her iki makinanın ulaştıkları ortalama saatlik ve yıllık iş miktarları verilmiştir.

ABSTRACT In this paper, maintenance and repair performance indicators are cited and described for electric mining earthmoving equipment such as availability (A), utilization (U), reliability (R), maintainability (M), failure rate n/h, productivity (Q), process rate (P), equipment effectiveness (EE). These performance indicators are illustrated for two dragline excavators, for a period of six years, DL1(63/15) with 15 m³ and DL2(72/31) 31 m³ buckets operating at GLİ Tunçbilek surface mines. The average results of maintenance and repair performance of the equipment are given and interpreted for a period of six years. Furthermore, the average hourly and annual digging capacities realized are given for both equipment.

1 GİRİŞ

Açık maden işletmelerinde, ilk yatırım maliyeti yüksek olan elektrikli yerkazı araçlarına genellikle düzenli bakım-onarım yapılır. Uygulanan bu bakım-onarım programlarının ne derece başarılı olduğu, bu programlara yerkazı araçlarının nasıl tepki verdiği belirlenebilir. Aynı program uygulandığı halde, yerkazı araçları, tasarım, yapısal özellikler, kullanılan malzeme niteliği, yerkazı makinasının sağlamlık oranı gibi değişkenlere bağlı olarak bakım-onarım göstergeleri değişik çıkabilir.

Verimlilik ve kazanç yerkazı araçlarının çalışma sürelerine ve ömürlerinin uzunluklarına bağlıdır. Bakım onarım çalışmaları, işletme maliyetinin % 20-40'ını oluşturur (Erçelebi ve Ergin, 1997). Cebesoy (1998), ise arızalanmalar sonucunda ortaya çıkacak bakım-onarım giderinin, yerkazı aracının toplam değişken maliyetleri içindeki payının oldukça yüksek olduğunu belirterek, bu payın yaklaşık olarak % 20'nin üzerinde olduğunu yazmaktadır. Bakım-onarım çalışmaları makinaların bozuk olduğu süreye bağlı olarak üretim etkinliklerini etkiler. Üretim planlarının aksamadan yürütmesi

makinaların bakımlarının düzenli ve etkin yapılmasına bağlı olup böylece makine arızalarından kaynaklanan duruşların en aza indirgenmesiyle gerçekleşir (Erçelebi ve Ergin, 1997).

Bakım-onarımın etkinliğini belirten göstergeler uzunca bir süre içinde toplanan verilere dayandırılarak hesaplanıp çözümlenirse gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilir; bakım yönetimi için yararlı olabilecek ipuçları verir (Barhuizen, 2008). Kruppu (2004) mekanik güvenilirlik ve bakım etkinliği belirteci değerlerinin hesaplanmasında kayıtların en az altı aylık bir süre için tutulması gerektiğini yazmaktadır.

2 BAKIM TÜRLERİ

Bakım türleri düzenli ve düzensiz bakım olarak ikiye ayrılabilir. Düzensiz bakım, yerkazı aracı bozuldukça yapılan onarım-bakımdır. Düzenli bakımın genel adı ise döngüsel bakımdır, aracın belirli zaman aralıklarında çalışma saatine bağlı olarak bakılmasıdır. Döngüsel bakım da koruyucu-önleyici bakım ve öngörücü (kestirimci) bakım olarak dizelenebilir. Öngörücü bakım, öngörücü tanıya bağlı bir bakım düzenidir. Titreşim ölçümü ve çözümlenmesi, ısı izleyici aygıtlar, ultrasonik aygıtlar, yağlama ve yağ analizleri gibi yöntemler ile aracın bileşenlerinin sağlıklarının ölçülerek saptanmasına dayanır.

2.1 Bozuldukça Bakım

Uzunca bir süre, madencilikte tepkisel bakım yöntemleri kullanıldı, bir başka deyişle, makine bozuldukça bakım-onarım yapma yöntemi uygulandı. Bu tür bakım sonucunda yerkazı aracı hiç belirti vermeden birdenbire bozulur, yıkıcı üretim kayıplarına ve bakım giderlerine neden olur (Barkhuizen ve Pretorius, 2008).

2.2 Koruyucu Bakım

Bu yıkıcı gider ve kayıpların bir sonucu olarak, maden endüstrisinde koruyucu (önleyici) bakım programlarına yoğunlaşılp

parçalar bozulup kırılmadan önce değiştirilmeye başlandı. Koruyucu bakım her ne kadar tepkisel bakım uygulamalarına göre bir ilerleme idiyse de gene de yerkazar güvenilirliğini yeterince iyileştirememiştir (Barkhuizen,2008).

2.3 Tanıya Dayanan Öngörücü Bakım

Bir sonraki aşama, öngörücü tanı koymaya dayanan öngörücü bakım oldu. Bu yöntemde titreşim analizleri, kızılötesi termografi, yağlama ve yağ analizi, ultrasonik saptama yöntemleri ile ana birim bileşenlerinin sağlığı izlenir, bu birimlerin yaklaşık ömür beklentileri belirlenir (Barkhuizen, 2008). Öngörücü bakım yerkazı aracının deyim yerinde ise sağlık taramasına dayanır, konulan tanılara göre bakım-onarım, yedek parça, bileşen değişimi yapılır.

Düzenli ve planlı koruyucu bakım-onarımın yararları şöyle özetlenebilir: Üretim yapan makinaların duraklamaları enaza indirilerek üretim miktarının artırılması; üretim programlarının gerçekleştirilmesi; makine ömrünün uzatılması; arızaların zamanında ve önceden saptanarak maliyeti daha yüksek arızalara yol açmasının önlenmesi; toplam bakım-onarım giderlerinin azaltılması (Erçelebi ve Ergin, 1997).

3 BAKIM-ONARIM ETKİNLİĞİ BAŞARGANLIK GÖSTERGELERİ

Başarganlık göstergeleri bir bakıma bakım-onarım etkinliklerinin ne kadar başarılı olduğunu gösterir. Bu göstergeler şu değişkenleri içerir: Planlanan çalışma süresi, plansız duruşlar (downtime), planlı duruşlar, arıza sayıları ve süreleri, gerçek çalışma süreleri. Planlanmayan duraksamalar genellikle arızaları ve planlanmamış boşa beklemleri kapsar. Planlanmış duraksamalar ise döngüsel bakım-onarım süreleri, yemek ve çay molaları, vardiya değişimi ve hazırlık süreleri gibi önceden öngörülmüş (planlanmış) boşa beklemleri kapsar.

Yerkazı makinası başarısını geliştirmek, yükseltmek için şu anki başarı durumunu bilmek gerekir. Barkhuizen ve Pretorius (2008)' e göre bakım-onarım etkinliği ve

verimliliği tek bir eşitlik ile ölçülemez. Bakım verimliliği ancak bakım-onarım etkinliğinin her alanını irdeleyerek bir dizi eşitlik (kavram) ile ölçülebilir, ki bunlar aşağıda verilmiştir.

Örnek uygulama DL1(63/15) (P&H/Page 736) ve DL2(72/31) (Marion 7820) çekme kepçe çalışma verileri ile yapılmıştır. DL1(63/15), 1971 yılında devreye girmiş olup çalışma ağırlığı 1000 ton, kova hacmi 15 m³, dayanıklılık oranı 67 ton/ m³ ' tür. DL1(63/15) makinanın bugüne kadar toplam çalıştığı süre 153,000 saattir. DL2(72/31) ise 1977 yılından beri çalışmakta olup çalışma ağırlığı 1700 ton, kova hacmi 31 m³, dayanıklılık oranı 55 ton/ m³ ' tür. Bu makinanın toplam çalışma süresi 130,000 saattir.

3.1 Yerkazı Aracı Ayakta Kalma Oranı

Yerkazı makinasının bozuk olmadığı, hizmete hazır bulunduğu süre, bu oran ile ölçülür. Bu oran makinanın ayakta kalma yüzdesini gösterir. Bu kavram (availability) (A), bakım yönetimi için kullanılan ana başarı göstergelerinden biridir. Programlanan toplam çalışma süresinden planlanmamış tüm duruş süreleri düşülür. Planlanmamış duruş süreleri toplamı, arıza-onarım sürelerini ve makinanın planlanmamış boşta bekleme sürelerini içerir. Dhillon (2008) ayakta kalma yüzdesini aşağıdaki gibi ifade etmektedir. DL1(63/15) için yıllara göre ayakta kalma oranı ve kullanım oranı değerleri sırasıyla Çizelge 1.'de verilmiştir.

$$A = \frac{[Tprg - (Tupda + Tupdb)].100}{Tprg} \quad (1)$$

Burada,

A = Ayakta kalma yüzdesi

Tprg = Programlanan toplam çalışma süresi, h

Tupda = Arıza (onarım) süresi (plansız duruş), h

Tupdb = Boşta bekleme süresi (plansız bekleyiş), h

Tupd = Toplam plansız duruş, h

3.2 Yerkazı Aracı Kullanım Oranı

Kullanım oranının (utilization) (U), ayakta kalma oranından farkı bu göstergenin hem planlanmış hem de planlanmamış duruşları kapsamıdır. Plansız duruşlar, bozuklukları (arızalar) ve boşta beklemeleri içerir. Planlı duruşlar ise vardiye değişimleri, hazırlık süreleri, yemek ve çay molaları, yağlama, ikmal ve bakımları kapsar. Dhillon (2008), yerkazı aracı kullanılganlığını aşağıdaki eşitlikle gösterir.

$$U = \frac{[Tprg - Tupd - Tpd].100}{Tprg - Tupd} \quad (2)$$

U =Kullanım oranı

Tprg =Toplam programlanan süre, h

Tupd =Tupda +Tupdb = Planlanmayan duruş süresi toplamı, h

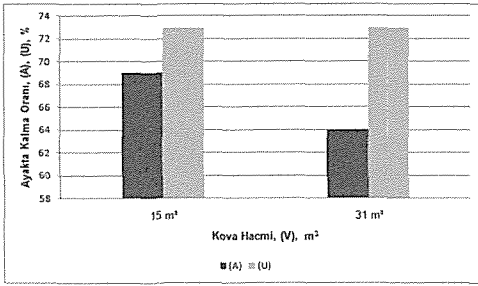
Tpd =Planlı duruş (hazır bekleme konumunda geçen süre), h

DL1(63/15) çekme-kepçe için son altı yıllık bir zaman aralığında hesaplanan kullanım oranları örnek uygulama olarak aşağıda Çizelge 1. de verilmiştir. Şekil 1. ise her iki yerkazı aracının (A) ve (U) değerlerini göstermektedir.

Ayakta kalma oranı değiştirgeni (A), altı yılın ortalaması DL1(63/15) için 0,69±0.05 (% 69) , DL2(72/31) için ise (A) değeri altı yıl ortalaması 0,64±0.12 (% 64) dir. DL1(63/15)'in ayakta kalma oranı daha yüksektir. Kullanım oranı değiştirgeni altı yıl ortalamaları (U), DL1(63/15) için 0,73±0.03 (% 73) DL2(72/31) için ise 0,73±0.07 (%73) dir. Her iki yerkazarın kullanım oranı eşittir.

Çizelge 1. DL1(63/15) çekme-kepçenin ayakta kalma ve kullanım oranı değerleri

Yıl	Program Toplam Çalışma Saati (Tprg), h	Plansız Duruşlar (Tupd), h		Planlı Duruşlar (Tpd), h	Ayakta Kalma Oranı (A)	Kullanım Oranı (U)	Gerçek Çalışma Süresi (Tg), h
		Arıza (Tupda)	Boşta Bekleme (Tupdb)				
2004	6728	323	2346	887	0.60	0.78	4059
2005	6728	323	1745	1061	0.69	0.77	4660
2006	6705	617	1606	1308	0.67	0.71	4482
2007	6705	258	1618	1445	0.72	0.70	4829
2008	6750	452	1644	1416	0.69	0.70	4654
2009	6773	644	861	1408	0.78	0.73	5268
Ort.	6732±24	436±149	1637±432	1254±209	0.69 ±0.05	0.73±0.03	4659±363



Şekil 1. Her iki çekme-kepçede ayakta kalma, kullanım oranı değerleri

3.3 Yerkazı Aracı Bozulma Aralığı

Güvenilirlik, (R), bakım yönetimi için kullanılan ana başarımlar göstergelerinden biridir. Bir makinenin iki planlanmamış duruşu (arızası) arasında geçen ortalama süredir. Güvenilirlik yerkazı makinasında bozukluklar arasında geçen ortalama süre, olarak tanımlanır, simgesi (R) ya da (MTBF) olup birimi saattir. Yerkazı makinasının arızaları arasında geçen ortalama süre ne kadar uzun ise o makine o kadar çok güvenilirdir. Dhillon (2008) ise, aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi, güvenilgenliği, planlanmayan tüm duraksama sürelerini,

planlı duruş sürelerini, programlanan toplam çalışma süresinden düşüp toplam bozukluk (arıza) sayısına bölerek bulur.

$$R = \frac{Tprg - Tupd - Tpd}{n} \quad (3)$$

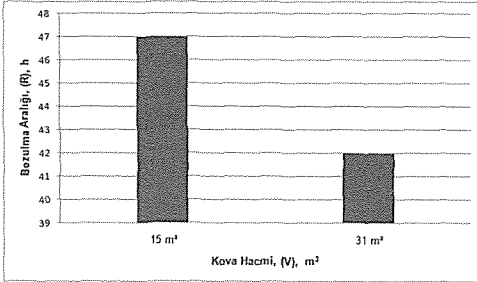
R = Yerkazı makinası güvenilirliği, h
Tprg = Programlanan toplam çalışma saati, h
Tupd = Plansız duruş süresi, h
Tpd = Planlı duruş süresi, h
n = Bozukluk sayısı, adet

Tunçbilek açık ocaklarında çalışan 31 m³ kovalı DL2(72/31)(Marion 7820) çekme-kepçenin güvenilirlik değerleri yıllara göre aşağıda verilmiştir (Çizelge 2).

Güvenilirlik değiştirgeni (R), altı yıl ortalaması DL1(63/15) için 47±8 saat, DL2(72/31) için ise 42±2 saattir. DL1(63/15) ortalama olarak (47) kırkyedi saatte bir arızalanmaktadır. DL2(72/31) ise ortalama 42 saatte bir bozulmaktadır. Bu durumda DL1(63/15) yerkazı daha güvenilirdir. Güvenilirlik (R) değerinin zaman içinde artıyor olması sürprizlerin azaldığını, giderek daha az arızanın olduğu ve problemsiz çalışma aralıklarının giderek uzadığı anlamına gelir (Pak, 2010). Güvenilirlik (R) değerinin azalıyor olması ise ölçüme konu olan çalışma diliminde aksiliklerin artıyor olması demektir. Kısacası (R) ne kadar yüksekse o kadar iyidir.

Çizelge 2. DL2(72/31)' de yıllık güvenilirlik, onarılanlık ve bozulganlık oranı verileri

Yıl	Program Çalışma Saati (Tprg), h	Arıza Süresi (Tupda), h	Boşta Bekleme Süresi (Tupdb), h	Gerçek Çalışma Saati (Tg), h	Arıza Sayısı (n)	Güvenilirlik (MTBF), (R) (Tg/n), h	Onarılanlık (MTTR) (M) (Tupda/n), h	Bozulma Sıklığı Oranı, n/h, h x 10 ⁻²
2004	6668	329	553	5786	128	45	2,6	2,21
2005	6668	470	2385	3813	135	28	3,5	3,54
2006	6645	671	1812	4162	144	29	4,7	3,45
2007	6645	508	2923	3214	105	31	4,8	3,26
2008	2676	146	387	1584	23	69	6,7	1,45
2009	5352	453	1057	3842	77	50	5,9	2
Ort.	5776 ±1466	457 ±169	1584 ±836	3734 ±1245	102 ±42	42 ±15	4.7 ±1.4	2.65 ±0.80



Şekil 2. Her iki yerkazı aracında yıllık ortalama güvenilirlik değerleri

3.4 Yerkazı Aracı Onarılanlığı

Arıza giderilmesi (onarım) için geçen ortalama süre. Bu kavramın simgesi (M) ya da (MTTR) olup birimi saattir. (Barkhuizen, 2008). Bakılabilirliği kolay olan yerkazarın ortalama onarım süresi daha kısadır. Bu kavram, yerkazı aracının bakılabilirliğini ve işletmenin bakım başarısını gösterir.

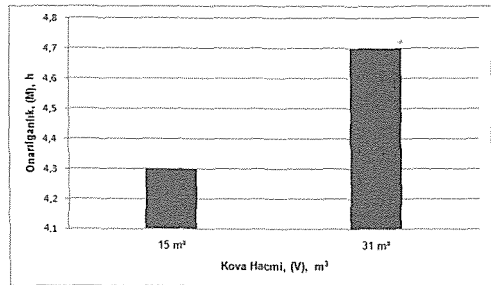
$$M = \frac{\text{Tupda}}{n} \quad (4)$$

Burada;
M = Onarılanlık, h

Tupda = Arızalar nedeniyle yitirilen toplam süre, h

n = Arıza sayısı, adet

Arızaları onarmak için geçen ortalama süre (M) ne kadar kısa ise o kadar iyidir. Bu kavram bakım yönetiminin başarısını değerlendirmede kullanılan önemli bir ana başarımlar göstergesidir. DL2(72/31)'nin onarılanlık değerleri Çizelge 2. de verilmiştir. Şekil 3. ise her iki çekme-keçede ortalama arıza giderme süresi değerleri görülmektedir.



Şekil 3. Her iki yerkazı aracında ortalama yıllık onarılanlık değerleri

Onarılanlık değişirgeni altı yıl ortalaması (M), DL1(63/15) için 4,3±1.0 saat,

DL2(72/31) için ise $4,7 \pm 1,4$ saattir. DL1(63/15)'de arızalar ortalama olarak 4,3 saatte giderilmektedir. DL2(72/31)'de ise arızalar ortalama 4,7 saatte onarılmaktadır. Bu durumda DL1(63/15)'in arızaları daha kısa sürede onarılmaktadır, dolayısıyla onarılanlığı daha iyidir.

3.5 Bozulganlık Oranı, n/h

Bozulganlık oranı (bozulma sıklığı oranı) birim zamana düşen ortalama arıza sayısı olup makinanın bozulma sıklığını gösterir. Yerkazı araçlarına önleyici bakım uygulanıp uygulanmayacağı, uygulanacaksa hangi aralıklarla uygulanacağını saptanması bozulma sıklığı ile ilişkilidir. Yerkazı araçlarında bozulma sıklığı oranı ani olarak arttığında ve sıklaştığında mutlaka yenileme kararı alınmalıdır (Cebesoy,1998).

$$\text{Bozulganlık oranı} = n/T_g = \text{Adet/h} \quad (5)$$

Burada;

B = Bozulganlık oranı (bozulma sıklığı)

n = Arıza sayısı (plansız duruş sayısı)

T_g = Gerçek çalışma süresi, h

Bozulganlık oranı, bakım yönetimi için kullanılan ana başarımlar ölçütlerinden biridir.

Çizelge 3. DL1(63/15)'de üretkenlik verileri

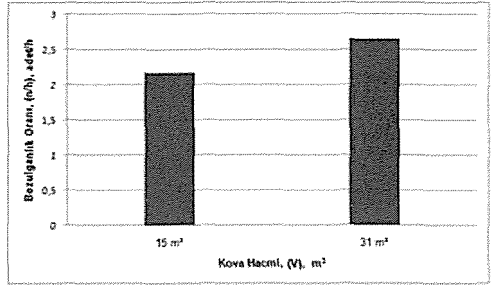
Yıl	Anılan Döngü, Cr, (s)	Gerçek Döngü, Cg, (s)	Başarılanlık Oranı, (P), Cr/Cg	Ayakta Kalma Oranı,(A)	Yerkazar Etkinliği, EE (Cr/Cg)*(A)	Üretkenlik, Q (m ³ /h)	Üretkenlik, Q (m ³ /yıl), x 10 ³
2004	55	71	0.77	0.60	0.46	365	1482
2005	55	65	0.85	0.69	0.59	428	1995
2006	55	69	0.80	0.67	0.54	351	1574
2007	55	63	0.87	0.72	0.63	480	2318
2008	55	61	0.90	0.69	0.62	472	2198
2009	55	70	0.79	0.78	0.63	359	1892
Ort.		67±3.7	0.83±0.05	0.69±0.05	0.58±0.06	409±54	1910±304

3.5.1 Bakım sıklığı

Bakım sıklığı önleyici bakımın düzenli olarak uygulanacağı düzenli zaman aralığını gösterir. Yerkazı araçlarının belirli aralıklarla

Çizelge 2. de DL2(72/31)'nin bozulganlık oranları verilmiştir. Şekil 5. da ise her iki çekme-kepçenin bozulganlık oranları görülmektedir.

Bozulma sıklığı oranı altı yıl ortalaması (n/h), DL1(63/15) için $2,17 \pm 0,36$ saat, DL2(72/31) için ise $2,65 \pm 0,80$ saattir. DL1(63/15)'de ortalama olarak saat başına 2,17 adet, DL2(72/31)'de ise saat başına ortalama 2.65 adet arıza düşer. Bu durumda DL1(63/15)'in bozulma oranı daha düşüktür.



Şekil 4. DL1(63/15) ve DL2(72/31)'de yıllık ortalama bozulganlık oranları

bakıma alınmaları sonucunda, belirli bir üretim yitimi olur, bakım-onarım giderleri bir miktar artabilir. Bu nedenle, bu tür kayıpları en aza indirecek, en uygun bakım aralığının bulunması gerekir.

Uygulamada bu aralığı belirlemek başlı başına bir sorundur (Cebesoy, 1998). Bu konuda, yerkazı aracı yapımıcısının yılların deneyimine dayanarak geliştirdiği ve önerdiği enuygun bakım aralıklarına uymak en iyisidir. Sözelimi, bu aralıkların, elektrikli maden yerkazarlarında uygulaması genellikle günlük, haftalık, aylık ve yıllık bakımlar şeklindedir.

3.6 Yerkazı Makinası Üretkenliği ile İlgili Göstergeler

3.6.1 Üretkenlik (Q)

Yerkazı makinesinin verilen bir süre içinde yerinde hacim cinsinden kazıp yüklediği kaya miktarıdır. Bu süre saat, gün, ay, yıl olabilir; ancak saat başına üretkenlik kavramı daha çok kullanılır.

$$P = \frac{Q}{h} \quad (6)$$

Burada;

P = Üretkenlik, m³/h

Q = Yapılan iş miktarı, m³ (yerinde hacim)

h = Saat

Örnek uygulamanın yapıldığı her iki çekme-kepçenin yerinde hacim cinsinden (6) altı yıllık ortalama gerçek aylık ve yıllık üretkenlik değerleri Çizelge 3. ve Çizelge 4. da verilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 7. de ise bu değerler görsel olarak karşılaştırılmıştır.

DL1(63/15)'in altı yıllık ortalamasına göre yerinde kayaç cinsinden gerçek üretkenliği (kazı hızı) 409±54 m³/h, bu değer DL2(72/31) için 594±203 m³/h' tir.

3.6.2 Başarganlık oranı (P)

Başarganlık oranı (process rate) yerkazı aracının çalışma hızı ya da döngü süresi

yeteneğini ölçen bir değiştirgendir (Barkhuizen, 2008).

$$P = \frac{Cr}{Cg} \quad (7)$$

Burada;

P = Başarganlık oranı

Cr = Anılan döngü süresi, s

Cg = Gerçekleşen döngü süresi, s

Her iki çekme-kepçe için başarganlık oranı değerleri Çizelge 3. ve Çizelge 4. de verilmiştir.

3.6.3 Yerkazı aracı etkinliği (EE)

Barkhuizen (2008), bunun yerkazarın hizmete hazır oluş ve çalışma hızının genel bir ölçüsü olduğunu belirtmektedir; bu kavrama yerkazı aracı etkinliği (equipment effectiveness) demektedir ve şu eşitlikle göstermektedir;

$$EE = A \cdot \frac{Cr}{Cg} \quad (8)$$

Burada ;

EE = Yerkazı aracı etkinliği

A = Ayakta kalma oranı

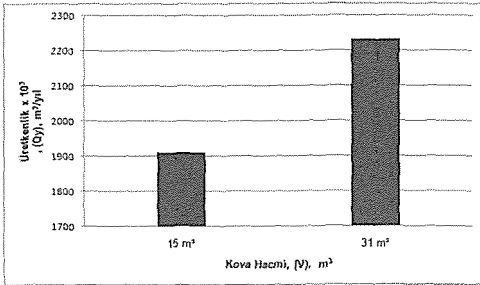
Cr/Cg= Başarganlık oranı

Her iki yerkazar için araç etkinliği değerleri Çizelge 3. ve Çizelge 4. de verilmiş olup görsel karşılaştırma Şekil 6. da verilmiştir.

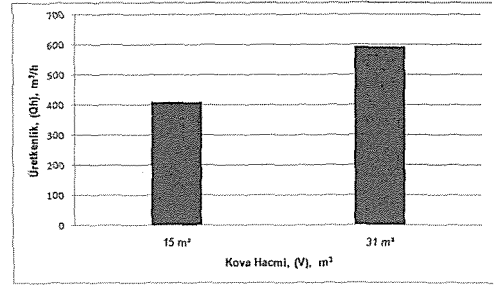
DL1(63/15) için yerkazar etkinliği altı yıllık ortalama değeri 0,58±0.06, DL2(72/31) için ise 0,53±0.09' tür. Yerkazı aracı etkinliği (EE) değerinin en ideali bu rakamın (1) bir olmasıdır. Bu durumda hem herşey yolunda, hem de herşey planlandığı gibidir (Pak, 2010).

Çizelge 4. DL2(72/31)' de üretkenlik verileri

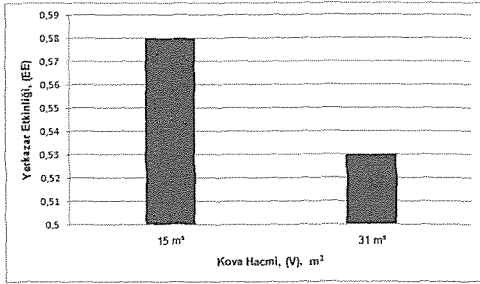
Yıl	Anılan Döngü, Cr, (s)	Gerçek Döngü, Cg, (s)	Başarılanlık Oranı, (P), Cr/Cg	Ayakta Kalma Oranı, (A)	Yerkazar Etkinliği, EE (Cr/Cg)*(A)	Üretkenlik, Q (m ³ /h)	Üretkenlik, Q (m ³ /yıl), x 10 ³
2004	57	69	0.83	0.87	0.72	469	2713
2005	57	71	0.80	0.57	0.46	632	2408
2006	57	73	0.78	0.63	0.49	594	2474
2007	57	63	0.91	0.48	0.44	995	3199
2008	57	62	0.92	0.59	0.54	335	530
2009	57	74	0.77	0.72	0.55	541	2080
Ort.		69±4.6	0.84±0.06	0.64±0.01	0.53±0.09	594±203	2234±834



Şekil 5. Her iki yerkazı aracındaki yıllık ortalama üretkenlik değerleri



Şekil 7. DL1(63/15) ve DL2(72/31)' de saatlik ortalama üretkenlik değerleri



Şekil 6. DL1(63/15) ve DL2(72/31) de yıllık ortalama yerkazar etkinliği değerleri

SONUÇLAR

Bakım-onarım yönetiminin, programının ve ekibinin başarılı olup olmadığı ya da görece bir iyileşme olup olmadığının işareti arızalar arası aralığın uzamasıdır, bozukluklar arası sürenin açılması, bozuklukların seyrekleşmesidir. Şayet (R) değeri artıyorsa başarıyı, gelişmeyi gösterir. Ortalama arıza giderme süresi (M) kısalıyorsa, bu da bakım-onarım yönetiminde işlerin iyiye doğru gittiğini gösterir. Ortalama arıza sayısının (n) düşmesi, ortalama saat başına düşen arıza sayısının (n/h) azalması bakım-onarım işlerinde gidişin iyi olduğunu belirtir. Kanımızca, her iki çekme-keçenin güvenilirlik (R) ve onarılanlık (M) sonuçları araçların yapısal dayanıklılık oranları ile uyumlu çıkmaktadır.

Ayakta kalma oranı da dolaylı olarak arıza sürelerini içerir. Yerkazı makinasının arıza nedeniyle duraksadığı süre toplamı ne kadar az olursa (A) değeri de o kadar yüksek çıkar. Bu değiştiren de bakım-onarım başarısının bir göstergesidir.

Ancak, bakım-onarım programları, bakım-onarım ekipleri ve yönetimi ne kadar iyi olursa olsun, kullanılan yedek parçalar orijinal değilse, sarf malzemeleri nitelikli değilse, ölçüleri hassas değilse tüm çaba ve emekler bir bakıma boşa gider; başarı belirteçlerinde beklenen iyileşme gerçekleşemez. Tüm çabalara karşın arızalar seyrekleştirilemez, birim zamana düşen arıza sayısı azaltılamaz. Bir de bunda makinanın genel tasarımı, yapım kalitesi, kullanılan malzemelerin ve bileşenlerin niteliği, dayanıklılık oranı v.b. gibi etkenlerin de etkisi vardır. Bu nedenle, aynı ocakta çalışan iki ayrı firma yapımı yerkazı aracı güvenilirlik, onarılanlık, ayakta kalma oranı gibi belirteçler yönünden farklı çıkabilir.

Bakım-onarım başarısı istatistiksel olarak ölçülebilen bir şeydir, yeter ki iyi, düzenli, düzgün kayıt tutulabilsin. Planlı ve plansız duruşlar, duraksamalar, arızalar, süreleri ve sayıları kaydedilebilsin.

Bakım-onarım yönetimi ve uygulaması başarılı ise, plansız duruş (arıza) süresinin azalması gerekir, bu durumda MTBF ya da R yükselir, MTTR (M) düşmesi gerekir. Plansız duruş (0) sifıra yaklaştıkça MTBF (R) (∞) sonsuza, MTTR (M) ise (0) sifıra inecek ve hazır bulunma oranı ise (100) yüz olacaktır (Pak, 2010).

KAYNAKLAR

- Barkhuizen, W.F. and Pretorius, L., 2008. Life Cycle Management for Mining Machinery, University of Johannesburg, South Africa, 2008 Available online at: <http://ujdigispace.uj.ac.za:8080/.../ArticleLifeCycleManagementforMiningMachinery.pdf>
- Barkhuizen, W.F., 2008. Life Cycle Management for Mining Machinery, University of Johannesburg, South Africa, 2008 Available online

- at: <http://ujdigispace.uj.ac.za:8080/dspace/.../MastersDegreethesisrev02.pdf>
- Cebesoy, T., 1998. Maden ekipmanları için bir rasyonel bakım planlaması modeli: Önleyici bakım. Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 1998, Zonguldak, Türkiye.
- Dhillon, B.S. 2008. Chapter 4, Mining Equipment Reliability, Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety, 1st edition (book), July 29, 2008, Springer (publisher), 2008, New York, USA. p.57-70.
- Erçelebi, S.G. Ve Ergin, H., 1997. Maden makinelerinde koruyucu bakım onarım planlaması, Türkiye 15. Maden Kongresi, Güyağüler, Ersayın, Bilgen (eds), Ankara, 1997, s. 31-36.
- Kruppu, M.D. 2004. New technologies available to maximizing equipment reliability, Hardygora, Paszkowska and Sikora (Eds), 2004; Mine Planning and Equipment Selection, Taylor and Francis Group, London, pp. 455-459.
- Pak, C. 2010 . <http://www.cengizpak.com.tr/index.php/periyo-dik-onleyici-ve-kestirimci-bakim-nedir?/>

İşgücü Verimliliği Modeli: WPMR Sisteminin Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Açık Ocak Dekapaj Bölümü için Uygulanması

Application of Workshop Productivity Model WPMR System on Garp Lignites Enterprise (GLE) Open Pit West Removal Section

H. Yağar, M. Taksuk,
Garp Linyitleri İşletmesi, Tunçbilek, Kütahya

K. Erarslan
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET İşgücü verimsizliği işçilerden kaynaklanan bir olgu olarak görülse de, bu kavram esasında yasal düzenlemeler, yönetim, nezaretçi ve işçi sorumluluğu gibi çeşitli unsurların rol oynadığı bir süreç sonrasında ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen unsurları da dikkate alarak değerlendirme yapabilen Oranlarla İşgücü Verimliliği Yönetimi (WPMR) Sistemi incelenmiştir. Ayrıca Garp Linyitleri İşletmesinde (GLİ) WPMR sistemi ile işgücü verimlilik ölçümü ve değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak dekapaj bölümünde işgücü verimlilik değerlerinin düşük olduğu ortaya çıkmıştır. İşgücü kaybının ise en çok yasal düzenlemelerden kaynaklandığı, yönetim ve nezaretçi sorumluluğundaki kayıpların da önemli derecede olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT Although work power unproductiveness has been thought as a result of labors, it has essentially arisen at the end of a process in which several affecting factors take role such as laws, management and labors responsibility. In this study, the method of workshop productivity management by ratio (WPMR System) taking these factors into account has been investigated. Besides, measurement of work power productivity and interpreting with WPMR system was carried out in the waste removal section of Garp Lignite Enterprises (GLE). As a result, it has been determined that the work power productivity of the section is low. It has also been determined that the most effective reasons of work are laws and regulations, management and supervisor responsibility.

1 GİRİŞ

Verimlilik en genel anlamda, üretilmiş bulunan mal ve hizmetler ile bu üretimi elde etmek amacıyla kullanılan mal ve hizmetlerin birbiriyle karşılaştırılması, bu iki değişkenin birbirine oranlanmasıyla bulunan katsayıya verilen addır. İşletmelerde ise verimliliğe; üretim sürecinde kullanılan hammadde, malzeme, emek, arazi, makine, donatım ve enerji gibi kaynakların ne ölçüde

etkin kullanıldığını belirleyen bir gösterge olarak bakılmaktadır. Üretim düzeyi ile tek tek ya da toplu olarak yakın ilişkisi olan bu girdilerin, üretimle ilişkilerini belirleyen kendi verimlilik oranlarının bilinmesi ve bunların değişik koşullar altında eğilimlerinin izlenmesi, gerektiğinde bunlardan bir veya birkaçının nitelik veya niceliğinin değiştirilip diğerlerinin yerine kullanılarak en iyi girdi bileşiminin ve en

yüksek üretim düzeyinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Akal, 1996; Prokopenko, 1996).

İşgücü verimliliği, işletmenin kullandığı işgücünün, çıktıya (parasal ya da üretim miktarı olarak) oranlanmasıdır. İşgücü maliyeti birçok işletme için önemli bir giderdir. Bu gidere neden olan işgücünün verimliliği işletme için büyük öneme sahiptir. Bu sebeple işletmeler bu verimliliği artırıcı önlemler almak durumundadır. İşgücü verimliliğinin ölçümü önemli bir sorun olarak görülmektedir. Genel anlamda basit olarak görülse de, kullanılacak parametrelerin çeşitliliği, hangilerinin kullanılacağı ve ölçümün gerçek değerleri yansıtabilme konusu önem arz etmektedir. İşgücü verimliliğinin bugünkü anlamda tam ölçümünü yapabilmek, sorunların kaynağının belirlenmesini ve dolayısıyla maliyetlerin azalmasını ve verimliliğin artırılmasını sağlayacaktır.

İşletmelerde verimlilik ölçümünde ve analizlerinde kullanılan modeller, girdilerin ele alınış şekline göre iki ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlardan birincisi, belirli bir üretim dönemi sonunda elde edilen toplam çıktının, bu çıktıyı elde etmek için kullanılan bütün girdilerin toplamına oranı olarak tanımlanan ve birden çok girdinin aynı zaman diliminde çıktı üzerindeki ortak katkısını ölçen toplam (toplam faktör) verimlilik ölçüsüdür. İkincisi ise işgücü, sermaye, teknoloji olarak ifade edilen temel girdilerden birinin çıktıyla (toplam üretimle) ilişkisini belirleyen kısmi (kısmi faktör) verimlilik ölçüsüdür. Her iki türdeki verimlilik analizleri hem işletmenin geneli için hem de belirli bir işlem, bölüm ya da mamul türü için yapılabilmektedir. Bununla birlikte, genellikle toplam verimlilik analizlerinin bir bütün olarak işletme performansının değerlemesinde; kısmi verimlilik analizlerinin ise işletme içindeki çeşitli sorunların ve sorun kaynaklarının saptanması ile verimliliği artırıcı tedbirlerin

alınması amacıyla kullanılması söz konusudur (Seçim ve Özdemir 1999).

Bu çalışmada GLİ açık ocak dekapaj bölümünde, işgücü verimliliğinin belirlenmesine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada, yukarıda sözü edilen konulara ilişkin gerçek veriler toplanarak işletmenin işgücü verimliliği tespit edilmiştir. İşletme çalışma konusuyla büyük bir uyum göstermiştir. Çünkü seçilen bölüm işgücünün bizzat uygulandığı işletme ana faaliyet yeridir.

2 İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİ MODELİ: WPMR SİSTEMİ

Verimlilik yönetimi, işletme yönetiminin en temel faaliyetidir. Bu nedenle, verimlilik yönetimi ilgili diğer koordine ve kontrol faaliyetlerinin merkezidir. WPMR sistemi, işgücü kaynağı kullanımı açısından verimlilik yönetiminin tipik bir çerçevesidir. Yani işgücü verimliliği yönetimi, ürün başına minimum maliyeti amaçlayan toplam verimlilik kontrolüne dayanmaktadır.

WPMR sistemi işgücü kaynağı kullanımında yönetime sorumlu olan bölümleri gösteren ve bu sorunların nasıl giderilebileceğini anlatan bir işgücü verimliliği ölçüm sistemidir. Sistemin temel işleyişinde günlük, haftalık ve aylık olarak düzenlenen raporlar önemli yer tutmaktadır. Bu raporlara göre işletmenin verimlilik kayıp nedenleri (kısmı olarak) tespit edilebilmekte bu sayede çözüm önerileri getirilebilmektedir. Sistem, var olan adam-saat yapısını irdeleyerek; adam-saat kayıplarının işletmeye kaybettiği verimlilik oranlarını ortaya çıkarmaktadır. Sistemde özellikle kayıtların çok iyi tutulması gerekmektedir. Adam-saat, ön hatta verimlilik kontrolünün temelidir. Adam-saat her bir maliyet merkezinden ayrı ayrı kaydedilen toplam maliyetin, ürün maliyetine dönüştürülmesinde araç olarak kullanılır. Başka bir deyişle adam-saat standart zaman toplam maliyetinin, ürün maliyetine dağıtılmasında kullanılır. Ayrıca

“ön hat nezaretçisi” (işveren) bu sitemde çok önem kazanmaktadır.

WPMR sistemi, işletmede verimlilik ölçümü, geçmişin analizi ve yeni etkinliklerin planlanmasına yardım eder. Ayrıca, işlevsel etkinliklerin izlenmesi için bir bilgi sisteminin kurulmasında kullanılabilir. Verimlilik ölçüm sistemlerinin karar alma hiyerarşisine çok uygun olarak kurulması büyük önem taşıdığından WPMR sistemi bu imkânı sağlar. WPMR sisteminin genel amacı her bir çalışan, ilk kademe yöneticisi ve üst yönetimin işgücü kaynağı kullanım sorumluluğunu ortaya koymaktır. Sistem zaman ve insan kaynağının önemli olduğu anlayışı ve bilinci üzerine kurulmuştur. Zaman bilinci yalnızca işgücü verimliliğinin değil, hammadde ve sermaye verimliliğini artırmanın da en temel ögesidir. Bu nedenle WPMR sistemi, genel olarak bir verimlilik kampanyası için ve özellikle de işgücü yoğun endüstriler için çok iyi ve zorunlu bir başlangıç noktasıdır.

WPMR sistemi işçiye veya işçi grubuna şu bilgileri sağlayarak becerilerini geliştirmelerine, moral motivasyonlarını artırmalarına yardımcı olur.

i) Standart çıktı, standart metot ve standart zaman açık olarak belirtildiğinde yapılacak işin anlamını daha iyi kavrarlar.

ii) Var olan verim düzeyleri gösterildiğinde her bir işçi veya işçi grubu ulaşmaları gereken hedefleri belirleyebilir.

Diğer yandan WPMR sistemi denetim hiyerarşisinin her bir kademesindeki denetçi ve yöneticilere şu bilgileri sağlar.

i) Verimlilik, verim düzeyi ve işgücü kaynağı kullanımı ile ilgili bir durum objektif olarak gösterildiğinde her kademedeki denetçiler kendi astlarının verimliliklerini yönlendirmek ve işgücü kaynağının kullanımında gerekli ve yeterli önlemleri almak için kendi sorumluluklarını kullanabilmektedirler.

ii) Haftalık ve aylık olarak yapılan değerlendirme toplantıları ile sorunlu noktalar tartışılarak bir sonraki hafta ve ayın hedefine ulaşmak için gerekli önlemlerin alınmasına karar verilmektedir.

WPMR Sistemi bu şekilde zaman ve işgücü kaynağı kullanım bilincini ve sorumluluk duygusunu geliştirir. Ayrıca nezaretçilerle şefleri arasındaki olayın çeşitli yönlerini ortaya koyan tartışmalar tüm işçilerde işe karşı olumlu bir tutum oluşturur. Her ürün veya her grup için oran (verim) hesaplanarak, oranların dağılımındaki büyük farklılıklar varsa başlıca nedenleri kolayca bulunabilir ve performans artırmak için gerekli önlemler alınabilir. Kullanılan standart zamanlarda çeşitli mantıksızlık, tutarsızlık ve hataların olduğu görüldüğünde orandaki dağılımları azaltmak ve oranın ortalama değerini iyileştirmek için gerekli önlemler alınır.

İşgücü verimliliğinin, işgücünden sorumlu ünitelere göre sonuçlarının elde edilebilmesi ve bu sayede işgücü kaybında rol oynayan birimlerin değerlerinin ortaya çıkması sağlanabilmektedir. Bunun için WPMR sistemine göre temel yapı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\tau_R = \tau_S * E_W * \ell_e^{(1)} * \ell_e^{(2)} \quad (1)$$

burada;

τ_S = çıktı/toplam-standart adam-saat oranı; üretim yönteminin bir parametresidir ve yönetim sorumludur.

E_W = işgücü verimi işgücünün verime katkısını gösterir ve verimlilik yönteminin odağıdır.

$\ell_e^{(1)}$ = etkili adam saat / adam saat girdisi, ön hattaki denetçinin sorumluluğundadır.

$\ell_e^{(2)}$, adam saat girdisi / toplam adam saat girdisi

τ_R = süreç verimi, ön hat işlemlerinde işgücü kaynak kullanımının verimini, işgücü verimi ve etkili işgücü kullanım oranını gösterir.

Tüm süreç verimi, WPMR sistemi tarafından geliştirilecek nihai amaç olan tüm süreç verimidir.

Q; fiziksel çıktı, ton, adet v.b. bazı durumlarda standart işgücü zaman veya sabit fiyatlarla ölçülebilir.

$L_s=Q$ için gerekli adam-saat $L_s = Q * S_r$ 'dir.
Burada; S_r = Standart zamandır.

Hatalı işler için kontrol görevlisi tarafından hatanın niteliği yazılan bir kayıt tutulur. Her işçi veya ustabaşı, her gün, her bir operasyon için üretken olmayan zamanları kayıt formuna kaydeder. Her ne kadar kayıt formunun biçimi ilgili işyerinin özelliklerine, yönetimin amaçlarına uygun olarak düzenlenebilir ise de, bir kayıt formunda yer alması gereken bilgiler şunlardır;

- İşgücü
- Standart adam-saatler
- Üretken olarak kullanılan zamanlar
- Üretken olmayan zamanlar
- Çıktı miktarları

Onarım ile ilgili personel düzenlenen kartlara makinenin ismini, arızanın süresini, arızanın niteliğini ve nedenlerini, onarım için gerekli adam-saati v.b. yazar ve her kartı bakımından sorumlu kişiye gönderir. Düzenli olarak yazılan bu kartlar makinelerin kontrolü ve periyodik bakımı için referans olarak kullanılır. Çalışma ve verim kontrolleri günlük olarak yapılmakta ise de, başlıca önlemler haftalık toplantılarda yapılan inceleme ve tartışmalar neticesinde elde edilen haftalık hedeflere göre alınmaktadır. Haftalık toplantıya çağrı, bölüm şefi tarafından yapılır. Toplantıya ustabaşı, usta, grup liderleri, yardımcıları ve ilgili personel (bakım, kontrol ve endüstri mühendisliği bölümleri v.b.) katılır. Haftalık toplantıda, günlük yönetim tartışılmalı ve ortaya çıkan veya çıkabilecek yeni sorunlar tanımlanmalıdır.

3 SİSTEMİN GLİ'DE UYGULANMASI

WPMR esas olarak işgücü verimliliğinin geliştirilmesini esas alan bir sistemdir. Bu uygulamada ise işgücü verimliliğinin iyileştirilmesine dönük olarak işgücü verimliliğinde rol oynayan unsurların (yönetim, nezaretçi ve işçi) verimliliklerinin ölçülmesi esas alınmıştır.

İşgücü verimliliği ölçümü; TKİ'ye bağlı GLİ açık ocak dekapaj bölümünde yapılmıştır. Çünkü burada çalışmalar sürekli olup, herhangi bir talep sınırlaması yoktur. Başka bir ifade ile çalışmalar bu bölüm tarafından planlanmakta pazarlama ve satış ile ilgili olası sorunlar burada etkili olmamaktadır.

Dekapaj bölümünde 8 iş grubu ele alınmıştır. Gruplar kendi aralarında çeşitli farklılıklar göstermekte olup bu da verimlilik ölçümlerindeki farklılıklara esas teşkil etmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Gruplara ait teknik ve sayısal bilgiler

GRUP BİLGİLERİ	GRUP NO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Orijinal Grup No	29	34	35	36	37	38	39	40
Makine Keçmesine Göre Kodu	A	B	B	B	B	B	A	A
Şoför	12	12	15	15	15	12	12	12
Eskavatör Operatörü	3	3	3	3	3	3	3	3
Manevracı	6	6	6	6	6	6	6	6
Dozer Operatörü	3	3	3	3	3	3	3	3
Grayder Operatörü	2	2	2	2	2	2	2	2
Sulama Arabası	2	2	2	2	2	2	2	2
Nezaretçi	3	3	3	3	3	3	3	3
Delik Makinesi Operatörü	1	1	1	1	1	1	1	1
TOPLAM	32	32	35	35	35	32	32	32
Kamyon Taşıma Kapasitesi (m ³)	38,2	78,3	38,2	38,2	38,2	78,3	38,2	38,2
Makine Keçmesi (m ³)	7,64	15,28	15,28	15,28	15,28	15,28	7,64	7,64

Veriler 2009 yılı işlenmiş bilgilerden oluşmuştur (GLİ Faaliyet Raporları, 2009-2010). Verilerin doğruluğu 2010 yılı ham bilgilerle karşılaştırılarak test edilmiştir. Bu veriler işletme tarafından günlük olarak

işlenip, aylık olarak değerlendirilmektedir. Hesaplamalarda aylık olarak işlenmiş veriler kullanılmıştır. Ayrıca gruplar çalışılan makinenin kapasitesine göre 2 şekilde kodlanmıştır. Bu da grupların teorik kapasitelerine göre hesaplanan verimliliklerinin yüksek kapasiteli makine grubu baz alınarak kendi aralarında grupların realize edilmiş gerçek verimlilik değerlerine ulaşma olanağı sağlamıştır. Bu sayede kişi başına üretim miktarları hesaplanmış, makine kapasitelerine göre kodlanmış gruplar bazında üretimler karşılaştırılarak, mevcut personel içerisindeki olası tasarruf edilebilir personel sayısı hesaplanmıştır.

İşletme ile ilgili verileri toplamada, işletmenin tuttuğu kayıtların yanı sıra, faaliyet alanında günlük ve haftalık tespitler yapılmıştır. Burada sadece işgücü verimliliği ölçümü yapılmamış, bizzat uygulamanın nezaretçisi olan kişilerle görüşülmüştür. Bu sayede işgücü konusunda çeşitli bilgi ve düşünceler de tespit edilmiştir. İşletmenin işgücü verimliliğini artırmak için uyguladığı bazı yöntemler incelenmiş, bu yöntemlerin katkısı da ayrıca belirtilmiştir. Elde edilen bilgiler sonucunda zaman verimliliği de hesaplanmıştır. Buda işgücü verimliliği ile zaman arasında olası bir ilişkinin karşılaştırılması olanağını sunmuştur.

3.1 Mevcut Bilgi Akışı ve Kontrol Şeması

Dekapaj bölümü WPMR sisteminin kullandığı bir bilgi akış ve kontrol şemasına benzer bir sistemi kullanmaktadır. Ancak bu şemanın çizilmiş bir örneği olmamakla beraber yapılan görüşmelerde Şekil 1'deki gibi olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; dekapaj bölümü günlük kayıtlarını sefer fişi adı altında toplamaktadır. Bu fişler her gün bilgisayar operatörüne gönderilmekte ve bilgisayara işlenmektedir. 15 günde bir yapılan ön hazırlık (preview) toplantılarında 15 günlük çalışmaların sonuçlarına göre sonraki 15 günde neler yapılması gerektiği

tartışılmaktadır. Aylık olarak yapılan toplantılarda ise bir aylık çalışmanın sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek alınacak tedbirler, primler, arıza ve nedenleri üretim miktarlarındaki sapmaların nedenleri ve çözüm önerileri tartışılarak kararlaştırılmaktadır.



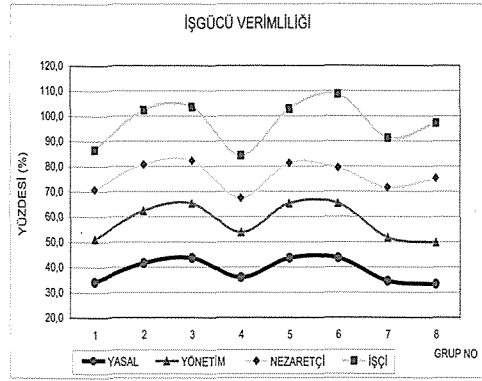
Şekil 1. GLİ açıkocak dekapaj birimi bilgi akış şeması

3.2 İşgücü Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Değerlendirmelerde, işletmede 2 ayrı kapasiteli makine kullanıldığı için sonuçlar yüksek kapasiteli makineye göre realize edilerek, değerlerin daha objektif olması amaçlanmıştır.

Genel olarak gruplarda işgücü verimliliği kaybının en çok yasal düzenlemeler sonucu kaynaklandığı görülmüştür. Yönetim ve nezaretçi sorumluluğundaki kayıplarında önemli derecede olduğu görülmektedir (Şekil 2). Ayrıca işgücü verimliliğinde rol oynayan birimlerin genellikle yasal verimlilik çizgisi paralelinde oldukları söylenebilir. Sapmaların özellikle görüldüğü işçi sorumluluğunda motivasyon ve grup çalışmasının rolü ortaya çıkmaktadır. Yasal düzenleme sonucu hesaplanan verimlilik en düşük % 33,3 en yüksek % 43,6'dır. Değerlerin yüksek kapasiteli makineye göre

(B kodlu) realize edildiğinde en düşük değerlerin % 22,9 seviyelerine indiğini göstermektedir. Bu değerler ile bakıldığında



Şekil 2. Gruplara göre işgücü verimliliği

işletmenin işgücü verimliliği düşüktür. Yönetimin sorumlu olduğu zaman dilimine göre hesaplanan verimlilik değerleri ise en düşük %49,8, en yüksek %65,3'dür. Gerçekleştiğinde en düşük değer %34,2'dir. İşletme açısından mevcut verimlilik kayıpları arasında yönetimin önemli bir sorumluluğu olduğu görülmektedir. İşletme bu kayıp zamanı tekamül kursları, eğitim ve konferans, bakım/revizyon zamanı olarak değerlendirmektedir. Dolayısı ile her ne kadar işgücü verimliliğinde bir kayıp söz konusu olsa da, işletmenin olası büyük kayıpları engelleme (bakım-revizyon), nitelikli işgücü temini (eğitim-konferans) gibi çabalarla işletmenin performansını artırıcı çabalar içinde olduğu ifade edilebilir. Ayrıca bakım ve revizyon faaliyetleri sonucunda nezaretçi sorumluluğunda olabilecek arıza kayıp saatlerini en aza indirme çabası içinde olduğu da dikkate alınması gereken bir başka husustur.

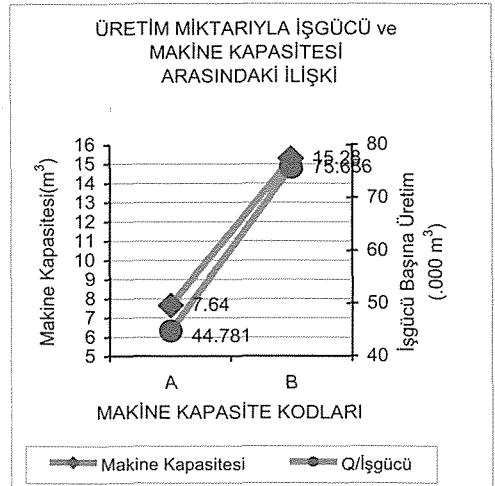
Nezaretçi Sorumluluğu açısından hesaplanan verimlilik değerleri en düşük % 67,4 en yüksek % 82,2'dir. Realize edilmiş en düşük değer % 46,3 'dür. Bununla birlikte verimlilik değerlerinin ağırlıklı olarak % 76 ve üstünde olduğu görülmektedir.

Nezaretçinin sorumluluğunda kaybolan zamanın işgücü için önemli kayıplara neden olduğu görülmekle beraber bunda özellikle hava muhalefetinin oynadığı rol de dikkate alınmalıdır.

İşçi Sorumluluğu açısından, işgücü verimlilik değerleri en düşük % 84,3 en yüksek % 108,3'dür. Realize edilen en düşük değer %57,9'dur. Verimlilik değerleri genellikle %100'ün üzerindedir. Buna sebep daha sonra açıklanacağı üzere büyük kapasiteli makine ile çalışmanın verimlilik düzeylerinde etkili olmasıdır. Ancak işçi sorumluluğunda kaybolan adam-saatın ortalama % 10, en düşük % 4,1 en yüksek %13,1 olması bu kayıp zamanın yönetimin motivasyon çabaları ile daha da düşürebileceğini göstermektedir. Ancak mevcut değerlerin, işçi sorumluluğundaki verimlilik değerlerinin iyi olduğunu gösterdiği açıktır.

3.3 Makine Kapasitesi İle İşgücü Başına Üretim Arasındaki İlişki

İşletme dekapaj bölümünde 2 ayrı kapasitede makine kullanılmaktadır. Kullanılan makine kapasitesi ve işgücü başına üretimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Üretim-ışgücü ve makine kapasitesi arasındaki ilişki

Buna göre kullanılan makine kapasitesi arttığında üretimde arttığı görülmektedir. Ancak burada dikkat çeken husus işgücü verimliliğinin de artmasıdır. Ayrıca makineler kapasiteleri esas alınarak realize edilirse (değerler dönüştürülürse) A kod kapasiteli makinelerin verimlilikleri daha da düşmektedir. Eğer işletme bütün makinelerini büyük kapasiteli olarak arttırabilirse işgücü verimliliği de o ölçüde artacaktır.

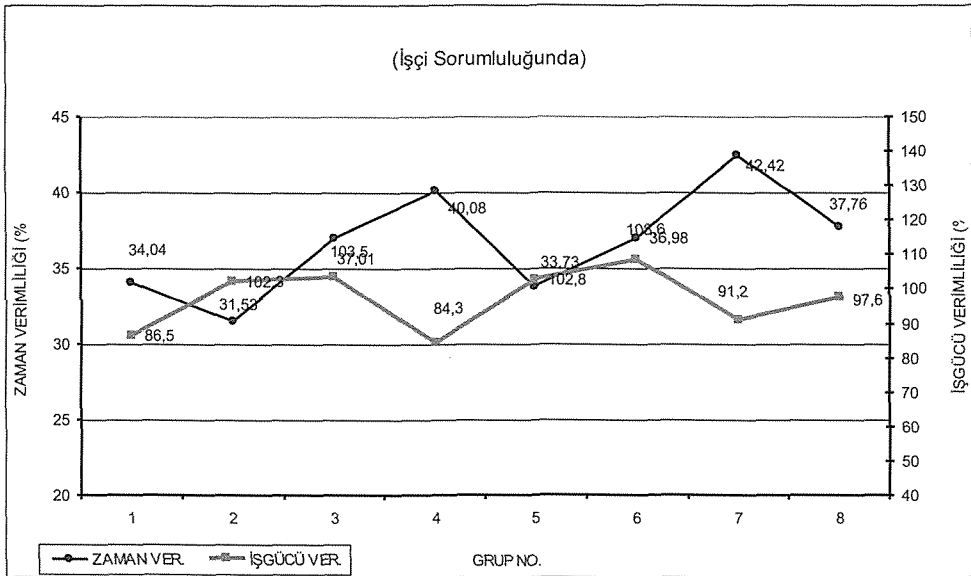
Ayrıca B kod kapasiteli makinelerde toplam 169 kişi çalışırken, toplam üretimleri 12.791.000 m³ olmuş ortalama kişi başına üretim, 75.686,40 m³ olmuştur. A kod kapasiteli makinede toplam 96 kişi çalışırken, toplam üretim 4.299.000m³ olmuş, kişi başına üretim ise 44.781,25m³ düzeyinde gerçekleşmiştir. (Şekil 5) Bu şekilde işletme personel sayısı bakımından sınır bir noktada çalışmasına rağmen, makinelerinin tamamının B kod kapasiteli makineye dönüştürülmesi neticesinde personel tasarrufunda bulunabileceği açıktır.

Toplam 17.090.000 m³ dekapaj için 265 kişi kullanılırken, aynı iş B kod kapasiteli makine ile yapıldığı takdirde personel sayısı 226 kişiye kadar düşebilecektir.

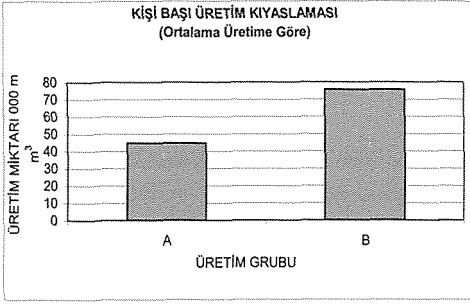
3.4 İşgücü ve Zaman Verimliliği Arasındaki İlişki

Zaman ve işgücü verimliliği arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. İşgücü verimlilik değerlerinde işçi sorumluluğundaki değerler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Buna göre işgücü verimliliği ile zaman verimliliği arasında bir ilişkinin olduğunu kabul etmek yanlış olmayacaktır.

Şekil 4 incelendiğinde 2, 4 ve 7 no'lu grup değerlerinde bir farklılık olduğu gözlemlenir. Bu sapmaların çalışılan malzemenin yapısından kaynaklanabileceği (aynı koda sahip makinelerin işçi sorumluluğu ve ölçüm miktarları karşılaştırıldığında) dikkate alınmalıdır.



Şekil 4. Zaman ve işgücü verimliliği



Şekil 5. Kişi başına üretim değerleri

Çalışan makineler kapasitelerine göre tekrar incelendiğinde zaman verimliliği ile işgücü verimliliği arasında çok sıkı bir ilişkinin olmadığı görülmektedir.

Başlıca sebepler araştırıldığında aşağıdaki etkenlerin bunda rol oynadığı belirlenmiştir:

- Çalışılan bölgedeki bazı zeminlerin çok iyi parçalanması, rahat yüklenme yapılabilmesi bu bölgelerde üretimi artırıcı olmaktadır.
- Bazı bölgelerdeki zeminlerin sert ve bloklu olması, zor yüklenmesi, kazıda geçen sürelerin fazla olması bu bölgelerde verimliliği düşürmektedir.
- Yüklenen malzemelerin bloklu olması nedeniyle boşluk hacminin fazla olması, çalışma süreleri aynı olan makinelerin verimliliğinin farklı olmasına neden olmaktadır.

Bu bilgiler ışığında; işletme kendi bünyesinden kaynaklanan (yönetim + nezaretçi) zaman kaybını en aza indirebilirse mevcut üretimin dolayısı ile verimliliğin de artacağı düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GLİ açık ocak dekapaj bölümü işgücü verimliliğinin ölçülmesi sonucunda, bahse konu kısmın genel olarak işgücü verimlilik değerlerinin düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca yapılan uygulamada işgücü verimliliğinden sorumlu görülen birimlerin

verimlilik değerleri tespit edilerek ayrıntılı bir analiz olanağı sağlanmış ve elde edilen sonuçlar üç grupta toplanmıştır.

- Sınırlamalara karşın elde edilen sonuçların diğer birimlerde uygulanabilmesi açısından kapsamı geniştir.
- İşgücü verimliliği, verimlilik konusunda önemli bir yer tutmakta olup buradaki artışın verimlilik artışı olarak yansımaya kaçınılmazdır.
- Verimliliğin sadece işgücü verimliliği boyutu ile incelenmesi, diğer verimlilik kavramlarının dikkate değer olmadığı anlamını taşımamalıdır. Bu konuların genişliği ayrı bir başlık altında çalışmayı gerektirebilecek bir boyuttadır.

Yasal düzenlemeler ve yönetim sorumluluğundaki ölçümlerde dekapaj kısmının işgücü verimlilik değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

İşletmenin sorumlusu olduğu zaman dilimindeki düşük olan verimlilik değerlerini çeşitli faaliyetlerle gidermeye çalıştığı görülmüştür. Kendi sorumluluğundaki adam-saatleri, diğer birimlerin bünyesinde kaybolabilecek olası adam-saatleri asgariye indirme amacıyla değerlendirdiği tespit edilmiştir. Örneğin nezaretçi kontrolünde gerçekleşecek bakım ve revizyon saatlerini kendi bünyesinde toplamış, yine işgücü kalitesinin artması için eğitim ve konferanslar düzenlemiştir.

İşletme kendi sorumluluğundaki zamanı daha iyi koordine ederek, adam-saat kayıplarını asgariye indirebilirse, sorumlusu olduğu bölümün verimlilik değerlerinin artabileceği düşünülmektedir. Ayrıca işletmenin bazı zamanlarda özel görev gücü olarak adlandırabileceğimiz, yedek personelini ve makine parkını gerekli gördüğü durumlarda kullanarak üretimin toplamda düşmesini engelleme çabalarında bulunduğu ve başarılı olduğu görülmüştür.

Nezaretçilerin sorumlu olduğu verimlilik

düzeyinin oranı her ne kadar tatminkâr seviyede olsa da, nezaretçilerin sorumluluğunda kaybolan adam-saatlerin içinde hava muhalefetinin önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Hava muhalefetinin yok sayılması durumunda, nezaretçi sorumluluğunda gerçekleşen verimlilik düzeyinin iyi seviyelerde olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bunun yanında nezaretçi sorumluluğunda kaybolan arızaya bağlı adam-saatlerin oldukça yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Buna sebep olarak arızalara geç müdahale, geç arıza bildirimi ve iletişim hataları gösterilebilir.

Nezaretçi sorumluluğunda kaybolan adam-saat girdilerini arttırabilmek için, işletme daha iyi bir haberleşme sistemi kurmak ve arızaları en aza indirmek için tedbirler alabilir. Örneğin gelişmiş ülkelerde kullanılan bilgisayar kontrollü arıza takip sistemlerinin kullanılması durumunda mevcut kayıp adam-saat azalabilecek, dolayısı ile verimlilik değerleri artabilecektir.

İşçi nezaretinde kaybolan adam-saatlerinde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak gruplara göre büyük seviyede farklılık göstermesi gruplar arasında koordinasyon ya da motivasyon eksikliği olduğunun göstergesidir. Buna rağmen işçi sorumluluğundaki işgücü verimlilik oranının oldukça iyi seviyede olduğu tespit edilmiştir. Eğer işletme yönetimi gruplar içerisindeki koordinasyon ve motivasyonu artırıcı tedbirleri alabilirse verimlilik oranlarının artabileceğini söylemek mümkündür. İşçi sorumluluğundaki verimliliğin yüksek olmasının önemli bir nedeni uygulanan prim sisteminden kaynaklanmaktadır.

Diğer yandan işletmenin kullandığı makinelerin verimlilikle doğrudan ilişkide olduğu görülmüştür. Düşük kapasiteli makinelerin işgücü verimliliğini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. İşletmenin düşük kapasiteli makineler yerine yüksek kapasiteli makineler kullanması halinde

işgücü verimliliğinde önemli artışlar olması beklenmektedir. Ayrıca yüksek kapasiteli makinelerin kullanılması durumunda üretimin artabileceği, personel tasarrufu sağlanabileceği düşünülmektedir. Makine parkının değişim maliyeti kısa vadede işletme aleyhine gibi görünse de, uzun vadede üretimin artması bu maliyeti karşılayabilecektir.

Zaman verimliliği ile işgücü verimliliği arasında direkt bir ilişkinin olduğu tespit edilememekle birlikte, zaman verimliliğinin işgücü verimliliğine en direkt katkısının belirtilmesi gerekecektir.

GLİ.'de de işgücü maliyetleri yüksektir. Bu da, direkt olarak işgücü verimliliğini dolayısı ile verimliliği düşürmektedir. Ancak işgücü verimliliğindeki düşüklük bizzat işçi sorumluluğundan kaynaklanmamakta olup yasal düzenleme ve yönetim tarafından toplam adam-saatte verimsiz kullanılan zamanın yüksek olmasından da kaynaklanmaktadır. Ayrıca kapasitesinin altında çalışan işgücü, ana faaliyet alanı dışında çalışan işgücü, verimliliğin düşük oluşunun diğer nedenleridir. Yönetim faaliyet alanı dışındaki faaliyetlerini azaltabilirse, faaliyetini destekleyen ve devamı olan faaliyetleri tekrar organize edebilirse, kapasitesi altında çalışan işgücünü kapasitesinde çalıştırabilirse işletme verimliliklerinde bir artış olması kaçınılmazdır.

Sonuç olarak yapılan çalışmada işgücü verimliliğinde asıl sorunun yasal düzenleme ve yönetim sorumluluğunda kaybolan adam-saatlerden kaynaklandığı görülmüştür. Bunun yanında düşük kapasiteli makine kullanımı da verimliliğin düşük olmasının diğer bir nedenidir. İşletme yönetimi, adam-saat kayıplarını asgariye indirip makine parkında gerekli düzenlemeler sonucunda personel istihdamı sağlayıp, prim ve diğer tedbirlerle işçi motivasyonunu arttırabilirse işgücü verimlilik değerleri önemli ölçüde artabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akal, Z., 1996. *İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi*, MPM Yayınları, Yayın No: 473, Ankara.
- GLİ, 2009 Yılı Faaliyet Raporu, Tavşanlı-2010.
- GLİ, 2009 Yılı Tanıtım Broşürü, Tavşanlı-2009.
- Prokopenko, J. 1996. *Verimlilik Yönetimi*, MPM Yayınları, Yayın No: 476, Ankara.
- Seçim, H. ve Özdemir, Y., 1999. *İşletmelerde Verimlilik Analizleri*, A.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, c.V, s. 115-122. Ankara.

Yer Altı Ocak Sularının Macun Dolguda Kullanımı *The Potential Use of Underground Mine Water in Paste Backfill*

İ. Çavuşoğlu

Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

M. Çapık, A. O. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

T. Zengin

Park Teknik A.Ş., Ankara

ÖZET Son yıllarda madencilikte atık malzemelerin değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda artış görülmektedir. Özellikle metal madenciliğinde cevher zenginleştirme işlemleri sonucu açığa çıkan tesis atıkları yer altıyer altında cevher üretim sonrasında ortaya çıkan boşlukların doldurulmasında kullanılmaktadır. %75-85 katı içeriğine sahip ince taneli tesis atıklarına gerekli miktarda bağlayıcı ve su ilavesi yapıldıktan sonra yer altıyer altı boşluklarına transfer edilmektedir. Genellikle bağlayıcı olarak çimento ve su ilavesi olarak tesis suyu kullanılır.

Bu çalışmada ise tesis suyunun yetersiz olduğu durumlarda yer altıyer altında biriken ocak sularının dolgu içerisinde kullanımı çalışılmıştır. Çalışmada iki ayrı su (tesis suyu[TS]-1208 kot suyu[KS]) ve atık (tikner atığı[TA]-atık barajı[AB]) kullanılarak 10x20cm'lik kalıplarda numuneler oluşturulmuş ve 7-28 günlük dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda 1208 kot suyu ile oluşturulan numunelerin tesis suyuna göre daha yüksek dayanım verdiği belirlenmiştir.

ABSTRACT In recent years, studies on evaluation of waste materials in mining industries has increased. Especially in metal mining, plant wastes, which were occurred as a result of mineral processing operations, are used to fill the spaces which is formed just after the ore production operations in underground. After the required amount addition of binder and water, plant wastes, which are solid content of 75-85% and fine grained, are transferred to the underground spaces. Generally, cement as a binder and plant water as addition of water is used in paste backfill.

In this study, in case of insufficient of plant water, use of mine water which accumulated in underground are worked in paste backfill. Mixing samples molded 10x20cm was carried out by using two different water (plant water[TS]-1208 elevation water[KS]) and waste (thickeners output[TA]-waste dam[AB]) in the study and its strength was investigated in 7-28 days. As a result of the study, samples created from 1208 elevation water have more strength with regard to samples created from plant water.

1 GİRİŞ

Madencilikte kömür, bakır, kurşun, gümüş, altın ve çinko gibi cevherlerin üretimi ve zenginleştirilmesi işlemlerinden sonra önemli miktarlarda sülfür içeriği yüksek

atıklar meydana gelmektedir. Bu atıkların su ve oksijene maruz kalmasıyla düşük pH değerlerine sahip asidik maden suları (AMS) oluşur. Ayrıca bu etkileşim sonrasında atıklar içerisinde bulunan arsenik (As), bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi metaller çözünerek çevre kirliliğine neden olur (Şahinkaya, vd., 2009;

Erçıkı, 2009b; Akçil ve Koldaş, 2006; Gray, 1997). Günümüzde genellikle yerüstü atık barajlarına ve denizlere dökülen sülfürlü maden atıkları, son yıllarda önemi ve kullanımı giderek artan macun teknolojisi ile yer altıyer altı üretim boşluklarına güvenli bir şekilde nakledilip depolanabilmektedir. Bu şekilde kullanılmaları ile atmosferik şartlarda bozunma sonucu yerüstünde oluşabilecek çevresel etkiler azaltılmakta ayrıca yerüstü ve yer altıyer altı zemin şartları iyileştirilmektedir (Erçıkı, 2009b).

Madencilik endüstrisinde macun dolgu yöntemi oldukça yeni bir teknolojidir. Dünya madenciliğinde yer altı dolgusu için macun teknolojisi kullanımı kaya ve hidrolik dolguya göre uygun maliyetli bir alternatif olarak kabul görmüştür. İlk olarak Kanada'da yer altı madenciliğinde kullanımına başlanılan macun teknolojisi sonrasında dünyada yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır (Fall vd., 2008; Fall vd., 2004; Yılmaz, 2003; Benzaazoua vd., 2002).

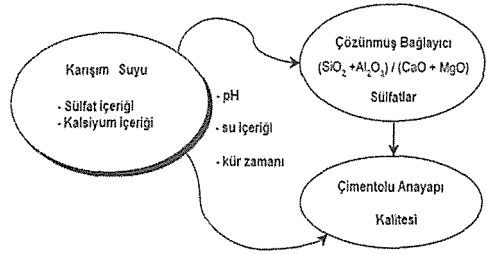
Macun, ince taneli katı parçacıkların su ile yüksek yoğunluklu bir karışımı olarak ifade edilir (Brakebusch, 1994). Su ile karıştırılarak belli bir akışkanlık sağlanan macun kıvamındaki malzemenin yer altı üretim boşluklarında dolgu olarak kullanılmasında mekanik özellikleri de önem arz etmektedir. Yer altı üretim boşluklarına yerleştirilecek macun dolgunun dayanım ve durabilitesi, çalışma ortamının emniyeti bakımından büyük önem taşımaktadır. Brakebusch'a (1994) göre macun dolgunun yeterli basınç dayanımının 0,7–2,0 MPa arasında olması gerektiğini belirtmiştir. Ancak dayanım ile ilgili yapılan bu tespit madencilik üretim yöntemine ve arazi şartlarına göre değişiklik göstermektedir (Çavuşoğlu, 2008).

Macun kıvamındaki malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yer altına nakledilmeden önce çimento veya diğer puzolanik özellikli bağlayıcılar ilave edilir (Çakmakçı, 1997). Bağlayıcılar macun dolgunun mekanik özelliklerini tek başına belirleyici malzemeler değildir. Macun dolgunun mekanik ve reolojik özellikleri dolguyu oluşturan atık, bağlayıcı ve suyun

bir takım özelliklerine (fiziksel, kimyasal ve mineralojik) ve kullanım oranlarına bağlıdır (Benzaazoua vd., 2002).

Karışım suyu macun dolgu performansına etki eden önemli parametrelerden biridir. Karışım suyunun etkisi iki şekilde açıklanabilir; a) su/çimento oranı (S/Ç); dolgunun dayanım kazanma sürecini etkiler b) su kimyası; çimento ile etkileşime girer ve hidrasyon işlemlerinde değişiklik yapar (Şekil 1).

Karışım suyu içerisinde fazla miktarda bulunan sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarının çimento içerisindeki ana bileşen C_3A ile reaksiyona girerek genleşme kapasitesine sahip etrenjit jellerini oluşturduğu ve bu jellerin zamanla dayanımı olumsuz etkilediği bilinmektedir (Erdoğan, 2003; Erçıkı, 2009a; Erçıkı, 2009b; Erçıkı, 2010; Ouellet, 2006). Ayrıca dolgu içerisinde S/Ç oranının artması daha boşluklu bir yapı oluşmasına ve dayanım düşmesine sebep olur.



Şekil 1. Karışım suyu-bağlayıcı etkileşimi (Benzaazoua vd., 2002).

Yer altına nakledilen dolgunun mekanik özelliklerinin yanı sıra ekonomikliği de işletmeler açısından önemlidir. Dolgu içerisinde kullanılan bağlayıcı miktarının artmasıyla dayanım ve duraylılığın arttığı bilinmektedir. Ancak dolgu maliyetinin büyük bir kısmını (~%75) bağlayıcılar oluşturmaktadır (Grice, 1998). Dolgu içerisinde kullanılan atık malzeme ise işletmelerin cevher hazırlama tesisinden elde edilmekte ve maliyeti ise dolgu tesisine taşıma sürecinden oluşmaktadır. Tesisten gelen ve filtreden geçirilen yaklaşık %85 katı oranına sahip atık malzemesine yer altına

nakledilmeden önce belli miktarda su ilave edilir. Genellikle dolgu içerisinde kullanılan su ihtiyacı işletme yakınında bulunan göl, akarsu vb. gibi yataklardan temin edilmektedir. Su temininde sıkıntı yaşanan işletmelerde ise tesiste kullanılan sular dolgu içerisinde tekrar kullanılmaktadır. Bu durum işletmelerin uzak mesafelerden su temininin önüne geçmesini sağlayarak ekonomiklik yaratmaktadır.

Bu çalışmada ise işletmelerde su sıkıntısı yaşanması durumunda yer altı havuzlarında biriken suların dolgu içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler Siirt Madenköy'de bulunan bakır işletmesinden alınmıştır. Tesisten iki ayrı su (tesis suyu ve yer altı havuz suyu) ve atık numunesi (atık barajı ve tesis atığı) alınarak dolgu karışım tasarımı yapılmış ve 7-28 günlük dayanım değerleri incelenmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmalarda Siirt Madenköy bakır işletmesinden alınan tesis atığı (TA), atık barajı (AB), işletmede kullanılan tesis suyu (TS) ve yer altında 1208

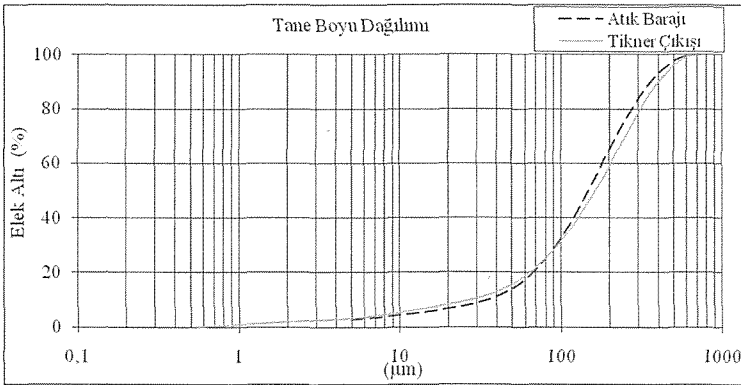
(KS) kotunda toplanan yer altı suyu kullanılmıştır. Atık malzemelerin kimyasal analizleri ve tane boyu dağılım analizi yapılmıştır. Kullanılan her iki su numunesinin kimyasal analizi, pH ölçümü ve bulanıklık testleri yapılmıştır. Ayrıca atıklar ve su numuneleri ile farklı çimento miktarlarında (%5-6-7-9) ayrı ayrı karışımlar yapılarak 7-28 günlük dayanım değerleri tespit edilmiştir.

2.1 Atık Malzeme Karakteristiği

Atık malzemelerinin kimyasal içeriği Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında malzemelerin kimyasal bileşimleri birbirine yakın çıkmıştır. Ateş kayıplarının 13 civarında çıkması ise pirit mineralinin yüksek sıcaklıkta bozunup kükürdün uzaklaşmasından kaynaklıdır. Malzemelere yapılan tane boyu analizi incelendiğinde TA malzemesinin %10'u 28,71 μ m, %50'si 163,77 μ m altında, AB malzemesinin ise %10'u 36,13 μ m, %50'si 147,37 μ m altında olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Çizelge 1. Atıkların kimyasal bileşimi.

Bileşen		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	CaO	SO ₃	A.K.
Tesis Atığı	%	27,68	10,21	31,74	2,90	1,59	4,38	0,96	12,84
Atık Barajı	Miktar	26,77	10,26	33,07	4,08	2,73	3,12	1,31	13,28



Şekil 1. Atık numunelerin tane boyu dağılım eğrisi.

2.2 Bağlayıcı Madde

Çalışmada PKÇ 42,5 tipi bağlayıcı kullanılmıştır. Bileşimine göre Cem II/A-M (P-LL) tipinde, yaklaşık %81'i klinker ve %19'u kalker-doğal puzolandan oluşan çimentonun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile standart değerler Çizelge 2'de görülmektedir.

2.3 Karışım Suyu Özellikleri

İşletmeden alınan iki ayrı su numunesi üzerinde yapılan kimyasal inceleme sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Yapılan analizlerde KS'nin (pH=6,05) TS'ye

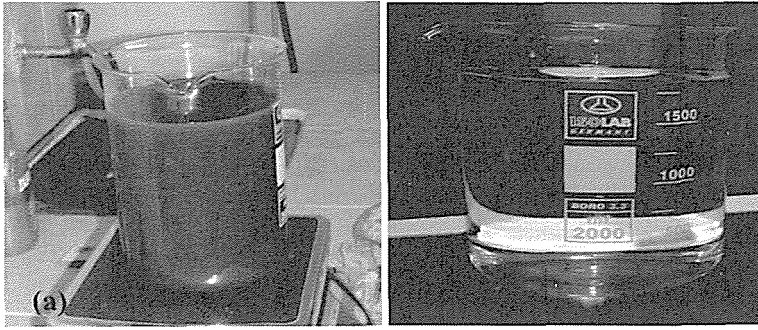
(pH=7,56) göre daha asidik bir özellik gösterdiği belirlenmiştir ve bu durumun sülfürlü minerallerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yer altı havuzlarında toplanan sular içerisinde ince partiküllerin fazla olmasından dolayı süspansiyon madde içerikleri oldukça yüksek olmaktadır. KS ve TS'nin süspansiyon madde miktarları sırasıyla 6580 mg/l ve 75,20 mg/l olarak tespit edilmiştir. Bulanıklık miktarı ölçümlerinde KS numunesinin fazla miktarda ince partikül içermesinden dolayı tespit edilememiştir. TS'nin bulanıklık değeri ise 27,80 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).

Çizelge 2. Çimentonun fiziksel ve kimyasal değerleri ile standart değerlerin karşılaştırılması (Yeğinoğlu, 2009).

Özellik	Birim	Değer	Standart değer TS EN 197-1	
			Min.	Maks.
Toplam Katkı	(%)	19,35		20
SO ₃	(%)	2,61		3,5
Klorür (Cl ⁻)	(%)	0,0085		0,1
Özgül Yüzey	(cm ² /g)	4011		
Dayanım Değerleri	(N/mm ²)	2	24,9	10
		7	38,4	
		28	47,9	42,5
Priz Başl.	dk.	145		
Priz Son.	dk.	200		
Hacim Genl.	mm	1		10

Çizelge 3. Karışım suları kimyasal özellikleri

Analiz parametresi	1208 Kot Suyu	Tesis Suyu
pH	6,05	7,56
İletkenlik (µS/cm)	3890,00	463,00
Toplam Sertlik (mg/l) (CaCO ₃)	2321,80	178,60
Süspansiyon Madde (mg/l)	6580,00	75,20
SO ₄ (mg/l)	2466,76	119,52
Cl (mg/l)	208,00	9,23
Fe (mg/l)	180,70	0,24
Si (mg/l)	32,95	7,57
Bulanıklık (NTU)	ND	27,80



Şekil 3. Kullanılan iki ayrı suyun görünümü; (a) KS, (b) TS.

2.4 Macun Dolgu Karışımı

İki ayrı su numunesi ile farklı bağlayıcı oranlarında (%5-6-7-9) karışımlar yapılmıştır (çiz. 4). Karışımların slump değerleri 7,5-8,25 inç olacak biçimde ayarlanmıştır. 4 farklı oranda hazırlanan karışımların dayanım sonuçlarının tespit edilmesi için 10x20cm'lik silindirik numune kalıplarında 7-28 gün boyunca %95 nem oranına ve 20°C (± 1) sıcaklığa sahip kür dolabında bekletilmiştir.

Çizelge 4. Karışım tasarımı.

Kul. Atık	Su Tipi	Katı (Çim.+Atık)	
		Çim. Miktarı (ağırlıkça %)	Atık Miktarı (ağırlıkça %)
Tesis Atığı	TS KS	5-6-7-9	95-94-93-91
Atık Barajı	TS KS	7	93

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Karışımlarda kullanılan atık malzemelerine yapılan tane boyu dağılım sonucuna baktığımızda TA malzemesinin 0-80 μ m aralığında AB malzemesine göre daha ince, 80-500 μ m aralığında ise AB malzemesinin TA'dan daha ince boyutta olduğu görülmektedir. Kimyasal bileşimleri

incelendiğinde aynı ocak malzemesi olduklarından benzer özellik gösterdikleri görülmektedir.

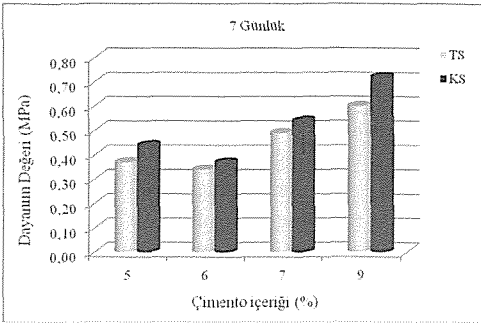
Tesisten alınan atık ve su numuneleri ile yapılan karışımlardan elde edilen numunelerin tek eksenli basma dayanım sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge incelendiğinde 7 gün sonunda en yüksek dayanım değeri 0,72 MPa ile KS ile oluşturulan ve ağırlıkça %9 çimento kullanılan numuneye aittir. 28 gün sonundaki dayanım değerlerine bakıldığında ise en yüksek değer 1,97 MPa ile KS ile oluşturulan ve ağırlıkça %9 çimento içeriğine sahip numuneye aittir.

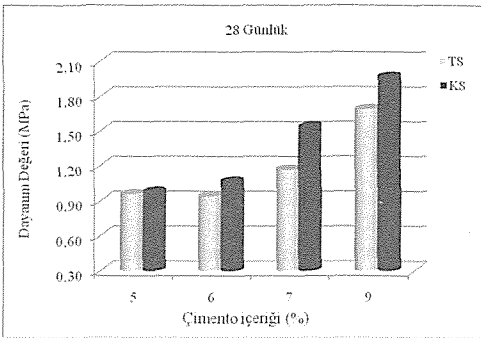
Yapılan çalışmalardaki katı oranı %80-81, su oranı ise %19-20 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Su/çimento oranı ise artan çimento miktarına bağlı olarak düşmektedir. Bütün karışımlar incelendiğinde KS ile yapılan numunelerdeki su oranı diğer numunelere göre daha fazla gerçekleşmiş ve buna bağlı olarak su/çimento oranı daha yüksek çıkmıştır. KS'nin içerdiği ince partiküllerin fazla olmasından dolayı yapılan karışım numunelerin yoğunluğu diğerlerine oranla daha fazla gerçekleşmiştir. Ayrıca dolgu içerisinde bulunan ince partiküllerin su tutma özelliğini arttırdıklarından dolayı dolgunun yer altına nakliyesinde önemli rol oynadıkları bilinmektedir (Yılmaz, 2003).

Çizelge 5. Karışım dizaynı.

Kullanılan Atık	Su Tipi	Katı (Çim.+Atık)		Toplam (su+bağlayıcı+atık)			Slump Değeri (inç)	Dayanım Değeri [MPa]	
		Çim. Miktarı (ağırlıkça %)	Atık Miktarı (ağırlıkça %)	Katı Oranı (%)	Su Oranı (%)	Su/Çim. Oranı		7 Gün	28 Gün
Tesis Atığı	TS	5	95	81,03	18,97	4,68	7,50	0,37	0,96
	KS			80,50	19,50	4,80	7,50	0,44	0,98
	TS	6	94	80,99	19,01	3,91	8,00	0,34	0,94
	KS			80,42	19,58	4,06	8,25	0,37	1,07
	TS	7	93	80,88	19,12	3,38	7,50	0,49	1,17
	KS			80,85	19,15	3,50	8,00	0,54	1,54
	TS	9	91	81,30	18,70	2,50	7,75	0,60	1,69
	KS			81,17	18,83	2,58	7,75	0,72	1,97
Atık Barajı	TS	7	93	80,62	19,38	3,43	7,50	0,56	1,25
	KS			80,30	19,70	3,50	7,50	0,67	1,59



Şekil 4. 7 Günlük dayanım değerleri.



Şekil 5. 28 Günlük dayanım değerleri.

Dayanım değerlerine bakıldığında KS ile yapılan numunelerin 7-28 günlük dayanımları TS ile yapılan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4-5). Bunun sebebi KS içeriğinde fazla miktarda ince

partikül madde bulundurmasıdır. İnce partiküller dolgu içerisindeki fazla suyun sebep olduğu boşlukların doldurulmasında etkin rol oynamaktadır. Bundan dolayı daha rijit bir dolgu elde edilmektedir. KS ile yapılan numunelerin TS ile yapılan numunelere göre aynı çimento içeriklerinde slump değerleri eşit veya daha yüksek gerçekleşmiştir. Slump değeri yüksek olan karışımlarda da KS numunelerinin dayanım değerleri diğer numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Dolgu içerisinde çimento miktarının artmasıyla dolgu dayanımı artmıştır. Çimento içeriği %5'ten %9'a yaklaşık 1,8 kat arttığında dayanım değeri 7 günlük numunelerde her iki su için yaklaşık 1,6 kat artmış, 28 günlüklerde ise TS için 1,7, KS için yaklaşık 2 kat artmıştır.

%7'lik çimento miktarında iki ayrı atık numunesinden gerçekleştirilen karışımlara bakıldığında aynı slump değerine sahip bir numunede AB ile yapılan karışımın dayanım değeri daha yüksek çıkmıştır.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada Siirt Madenköy bakır işletmesinden alınan iki ayrı atık ve su örnekleri kullanılmıştır. Tesiste kullanılan suyun dolgu için yetersiz kalması durumunda ortaya çıkacak durumun giderilmesi için yer altı suyunun dolgu içerisinde kullanılma olanağı çalışılmıştır. Yapılan çalışmada yer

altında havuzlarda biriken suların dolgu içerisinde kullanılabilmesi ortaya konmuştur. Özellikle yer altı suyu içerisinde bulunan ince partiküllerin dolgu dayanımına olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir. KS ve TS ile yapılan tüm karışımlarda KS ile oluşturulan numunelerin dayanım değerleri diğerine göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca yapılan bütün karışımların dayanımlarının 28 günlük dayanım için yeterli olarak görülen (Brakebusch, 1994) 0,7MPa'dan büyük olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada yapılan dayanım değerleri 7-28 gün ile sınırlıdır. Gün bazında bu dayanım değerlerinin artırılması gerekmektedir. Daha uzun dönemlerdeki dayanımda meydana gelebilecek değişimlerin ortaya konması gerekmektedir. Ayrıca karışımların mikro analizleri yapılarak dolgu içerisinde genleşme potansiyeli yüksek jellerin oluşumunun tespiti yapılmıştır. Bu çalışmalar halen işletme tarafından yürütülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneysel çalışmaların yapılmasında emeği geçen Çayırhan Park Termik A.Ş. Maden Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Akçil, A., ve Koldaş, S., (2006). Acid mine drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14, 12-13, s.1139-1145.

Benzaazoua, M., Belem, T., Bussiere, B., 2002. Chemical factors that influence on the performance of mine sulphidic paste backfill. *Cement and Concrete Research*, 32,7, s.1133-1144.

Brakebusch, F.W., 1994. Basics of paste backfill systems. *Mining Engineering*, 46, s.1175-1178.

Çakmakçı, G., 1997. *Mechanical evaluation of cemented backfill material*, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Master of Science Thesis, Ankara, 181 s.

Çavusoğlu, İ., 2008; Uçucu küllerin dolgu malzemesi olarak kullanılması: örnek bir uygulama (çayırhan), *Madencilik Dergisi*, 47, 3, s.3-13.

Erçakdı, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H., and Alp, İ., 2009a. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: Importance of binder type and dosage. *Cement & Concrete Composites*, 31 (4), s.268-274.

Erçakdı, B., 2009b. *Mineral ve kimyasal katkı maddelerinin macun dolgu performansına etkisi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 129 s.

Erçakdı, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., and Alp, İ., 2010. Utilization of water-reducing admixtures in cemented paste backfill of sulphide-rich mill tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1-3), s.940-946.

Erdoğan, T., Y., 2003. *Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, Ankara, 741s.

Fall M., Benzaazoua M. and Ouellet S., (2004). Effect of tailings properties on paste backfill performance. *Minefill 2004 Symposia (the Eighth International Symposia on Mining with Backfill)*, s.193-202, Beijing, China.

Fall M., Benzaazoua M. and Saa E. G., (2008). Mix proportion of underground cemented tailings backfill. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23, s.80-90.

Gray, N., F., 1997. Environmental impact and remediation of acid mine drainage: a management problem, *Environmental Geology*, 30, 1-2, s.62-71.

Grice, T., 1998. Underground mining backfill. *In: Proceedings of 2nd Annual Summit, Mine Tailings Disposal Systems.*, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, s.14. Brisbane, Australia.

Ouellet, S., Bussiere, B., Mbonimpa, M., Benzaazoua, M., and Aubertin M., 2006. Reactivity and mineralogical evolution of an underground mine sulphidic cemented paste backfill, *Miner. Eng.*, 19 (5), s.407-419.

Şahinkaya, E., Bayraktar, A., Güngör, M., Yücesoy, Z., Uyanık, S., Yeşilnacar, M., İ., ve Atasoy, A., D., (2009). Asidik maden sızıntı sularının (ams) oluşumu, aktif arıtım sistemleri ve metal geri kazanımı. 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, s.107-116, Ankara, Türkiye.

Yeğinoğlu, A., ve Ertün, T., 2009. *Çimentoda Standartlar ve Mineral Katkılar*, TÇMB/AR-GE/Y04.01, Ankara, 48s.

Yılmaz, E., 2003. *Sülfür içeren maden atıklarından hazırlanan çimentolu macun dolgu örneklerinin dayanım özelliklerinin incelenmesi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 117 s.

Gelik İşletmesi'nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansının İncelenmesi

Investigation of the Performance into the Roadheader Used in Gelik Mine

N.A. Akçın

ZKÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

E. Akkaş

Maden Y. Müh. Serbest, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada; öncelikle, Zonguldak Havzası'nda uygulanan galeri ilerlemeleri tanıtılmış ve karşılaşılan sorunlar ortaya koyulmuştur. İkinci olarak, havzada galeri açma makinası kullanımı ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Son olarak da; Gelik İşletmesi'nde kullanılan bir kollu galeri açma makinasının performansı irdelenmiş ve beklenen performansı gösterememesinin nedenleri tartışılmıştır.

ABSTRACT In this study; firstly, the roadway drivages used in Zonguldak Hardcoal Basin are introduced and the problems encountered are described. Secondly, the studies that have been carried out on the use of roadheaders in the Basin are reviewed. Finally, the performance of a roadheader used in Gelik Mine is examined, and the reasons for its failure to achieve the expected performance are discussed.

1 GİRİŞ

Son yıllarda hem inşaat hem de madencilik alanlarında mekanize kazı konusunda çok hızlı gelişmeler kaydedilmiştir. Makina seçimi, tasarımı ve performanslarının tahmininde küçük ve büyük ölçekli laboratuvar testlerinden yararlanılmaktadır. Her iki testin sonucunda elde edilen veriler; keski seçimi, kazı makinasının tasarımı, optimum kazı geometrisinin tanımlanması, kazı makinasının performansının önceden belirlenmesinde ve kazı maliyetinin tahmininde önemli rol oynamaktadır.

Diğer yandan yaklaşık 170 yıllık kömür üretim kültürüne sahip Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda galeri açma çalışmaları halen delme patlatma yöntemiyle sürdürülmektedir. Havzadaki kömür çevre kayaçlarının %80'ine varan bir kısmını başta kumtaşı olmak üzere konglomera ve kireçtaşı birimleri oluşturmaktadır. Bu durum delme-patlatma yöntemiyle yapılan

çalışmalarda ilerleme hızları ve randımanları önemli ölçüde düşürmektedir.

Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), 1970-80'li yıllara kadar delme-patlatma yöntemiyle taş içinde yılda 15-20 km ve damar içinde 40-50 km hazırlık çalışmaları yürütürken, bu rakamlar son yıllarda taş içinde 6-7 km'ye ve damar içinde de 10-15 km'ye kadar düşmüştür. Bu durum hazırlıkların zamanda yetişmemesine yol açmış ve yer yer üretim zorlamaları yaratmıştır. Tabii ki, bunda ocakların giderek derinleşmesi ve yaygınlaşmasının yanında kalifiye hazırlık işçilerinin sayısının azalmasının da önemli bir etkisi olduğunu belirtmek yerinde olur (Akçın vd. 2005).

TTK, galeri ilerlemelerindeki randımanları yükseltmek ve hazırlıkları zamanında tamamlayabilmek için basınçlı hava ile çalışan delici ve yükleyicilerin yerine Elektro-hidrolik delici ve yükleyici temini yoluna gitmiş ve gene de beklediği hedeflere ulaşamamıştır.

Çizelge 1. TTK'da beş yıllık (2005-2009) galeri ilerlemeleri (TTK 2010).

GALERİLER		2005	2006	2007	2008	2009
KREDİLİ GALERİLER	Program(m)	6295	2217.5	2400	2586	1200
	Fiili (m)	661.5	930.5	1103.5	1212	679
	(cm/yeve)	16.99	12.61	13.53	13.43	-
HAZIRLIK GALERİLERİ	Program(m)	1471	2740	1750	1282	520
	Fiili (m)	989.33	1041	974	178.5	370
	(cm/yeve)	12.36	12.89	13.51	16.78	-
MUHTELİF GALERİLER	Program(m)	2532	2480	2504	2178	2347
	Fiili (m)	2015.1	2013.8	1996.6	2372.2	2286
	(cm/yeve)	9.83	10.57	12.05	11.01	-
GALERİLER TOPLAMI	Program(m)	10298	7437.5	6654	6046	4067
	Fiili (m)	3665.9	3985.3	4074.1	3762.7	3335
	(cm/yeve)	11.81	11.67	12.87	12.04	-

Bu süreçten sonra gelişen ekonomik koşullar ve idari yaklaşımın bir sonucu olarak galeri ilerlemelerini ihale yoluyla taşeronlara vermeye başlamıştır.

TTK'nın 2005-2009 yılları arasında yapmış olduğu galeri ilerlemeleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu ilerlemelerin; 2005 yılında 1736 m'si, 2006 yılında 2176.5 m'si, 2007 yılında 1529.2 m'si, 2008 yılında 2800 m'si ve 2009 yılında da 3452.6 m'si yüklenici firmalar tarafından gerçekleştirilmiştir.

TTK'nın 2005 yılında ihaleye açmış olduğu Karadon Yeni Servis Kuyusu Kat Bağlantı Galerileri ve Su Atım Tesisleri ile - 540 Kat Bağlantı Galerilerinin Sürülmesi işini özel bir şirket yüklenmiştir. İhale şartnamesine göre bahsi geçen galerilerin tümünün kazı ve tahkimatları 4 yılda (1450 iş günü) tamamlanması öngörülmüştür. Sürülecek olan galerilerin toplam uzunluğu 8075 m'dir. Galerilerin kesitleri B8, B10, B14, B18 ebatlarındadır. (Yapı-Tek 2005). Yüklenici firma başlangıçta klasik delme patlatma yöntemiyle günde ortalama 5.5 m'lik ilerleme yapabileceğini düşünerek bir planlama yapmıştır. Ancak, firma daha sonraki gelişmeler doğrultusunda galeri sürülmesi işini 4 yıl yerine 2 yılda tamamlamayı hedeflemiş ve bu nedenle bir kollu galeri açama makinası alımına karar vermiştir.

Yüklenici firmanın araştırmaları sonucunda bir Ukrayna firması tarafından

çok sert zeminlerin kazısı için geliştirilmiş ağır tip kazı makinesi olan KSP-42 Model Kollu Galeri Açma Makinası (KGAM) seçilmiştir. Ukrayna firması seçilen KGAM'nın $\pm 12^\circ$ eğimde ve 12.5 - 35 m² kesitlerdeki kömür ve karma arınlarda, tehlikeli gaz (metan) ve kömür tozu konsantrasyonları içeren ortamlarda ve tek eksenli dayanım 120 MPa kadar olan kayaçlarda kazı ve yükleme yapabileceğini taahhüt etmiştir.

Gelik İşletmesi'nden parça parça ocağa indirilerek -540 katında monte edilen galeri açma makinası ilk kullanıldığı andan itibaren çok önemli sorunlar yaratmış ve belirli bir süre denendikten sonra önemli bir başarı elde edilemediği için sökülerek ocak dışına çıkartılmıştır.

Makinanın taahhüt edilen ve beklenen hedeflerin çok uzağında bir performans göstermesi sonucunda olay uluslararası tahkim mahkemelerine taşınmıştır. Bu çalışmada; makinanın seçim sürecinden başlanarak ocaktan çıkartılmasına kadar geçen süreçte gelişen tüm olaylar gözlenmiş, irdelenmiş ve makinanın kullanıldığı zaman aralığında göstermiş olduğu performans değerleri delme patlatma yöntemiyle ulaşılan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gözlemler sırasında; makinanın seçimi sürecinde önceden yapılması gereken bazı laboratuvar çalışmalarının yargı sürecinde yapıldığı görülmüştür.

2 BİR GALERİ AÇMA MAKİNASININ SEÇİMİ VE PERFORMANSINI ETKİLEYEN ETKENLER

Kazı işinin verimli ve ekonomik bir şekilde yapılabilmesi; kazılacak kayaca ve yapılacak kazının amacına uygun bir kazı makinasının seçimine ve uygun işletme koşullarına bağlıdır. Bunun için mekanize kazı verimini etkileyen etkenlerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir. Bu etkenleri;

- Kayaçla ilgili jeoteknik etkenler
- Kazı makinasıyla ilgili etkenler
- İşletme etkenleri

olmak üzere üç gruba ayırmak olanaklıdır.

Kayaçla ilgili etkenler; keski seçimi, seçilen keskinin aşınması ve kazı makinasının performansının önceden belirlenmesinde belirleyici unsurların başında gelmektedir. Bu nedenle kayacın mineralojik bileşimi, mekanik özellikleri ve kaya kütlesi özelliklerinin bilinmesinde yarar vardır.

Kazı makinasının; kesme kafası tasarımı, keski tipi, kazı düzeni ve kesme gücü kazı performansını direkt olarak etkilemektedir.

Bunların yanında; çalışma yapılan yerin eğimi, kesiti, posta kaldırma, tahkimat yöntemi, yardımcı hizmetler vb. de kazı makinasının veriminde etkindir.

Kazı makinalarının ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olduğu için kazı performansının güvenli bir şekilde önceden tahmini çok önemli olmaktadır. Kazı performansının tahmini; teknik, ekonomik olarak uygulanabilirliğin ve kazı hızlarının önceden kestirimi olarak tanımlanır ve kazı işlerinin ekonomikliğini hayati derecede etkilemektedir (Balcı 2004).

DeneySEL yöntemlerle, spesifik enerjinin (SE) belirlenmesi gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. Bu nedenle, Zonguldak Havzası'nda GAM'nın kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için araştırmacılar tarafından küçük ve tam boyutlu kesme deneyleri yapılmıştır (Çiz. 2-3).

Çizelge 2. Küçük ölçekli kesme deneyi sonuçları (ODTÜ 1989).

Kayaç Türü	Ort. σ_c (MPa)	Ort. σ_1 (MPa)	Ort. SE (MJ/m ³)
Orta taneli kumtaşı	87.00	14.43	17.55
İnce taneli kumtaşı	100.45	13.70	20.29
Silttaşı	64.00	14.52	15.49

Çizelge 3. Tam boyutlu bağımlı kesme deney sonuçlarına göre GAM kullanımı (Kel 2003).

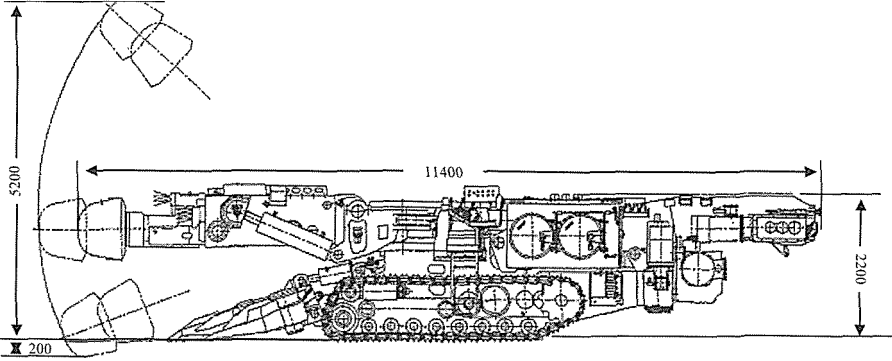
Kayaç Türü	SE (kWh/m ³)	Tanımlama
Kumtaşı 1	12	Bu SE değerlerine göre
Kumtaşı 2	15	ağır tip GAM'ları ile
Kumtaşı 3	9	kazılmaları olanaklıdır.
Silttaşı	9	Keski tüketimi fazla
Kireçtaşı	12	olacaktır.

Her iki çalışmanın ortak noktası havza kömür çevre kayaçlarının ağır tip ve güçlü kollu galeri açma makinaları ile kesilebileceğini göstermeleridir. Ancak, yüksek bir keski sarfiyatının olacağı belirtilmektedir.

3 SEÇİLEN KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNASININ ÖZELLİKLERİ

Ukrayna'dan satın alınan KSP-42 Model kollu galeri açma makinasının (Şek. 1) bazı teknik özellikleri aşağıda ve Çizelge 4'te verilmiştir.

- Kesici kafa, gücünü 160 ya da 200 kW'lık hava soğutmalı elektrik motorundan almaktadır.
- Kesici kafadan püskürtülen su, kazı kolaylığı sağlamaktadır.
- Teleskopik olan kol kesici kafanın makine ile sabit hareketine ve bağımsız bir şekilde taban koşullarında hareketine izin vermektedir.
- Genişletilmiş yürüyüş ünitesi (paletler) makinasının maksimum manevra kabiliyetine sahip olmasını, eğimli ve zayıf zeminlerde kolay çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. KSP-42 model kollu galeri açma makinasının genel görünümü.

- Hareketi sağlayan yedek hidrolik üniteler makinenin dik açılarda rahatlıkla hareket edebilmesine olanak sağlamaktadır.
- Olumsuz kazı koşullarında makinenin dengesini sağlamak (arttırmak) için zemin üzerine ahşap takoz yerleştirilebilmektedir.
- Yükleme apronları arını destekleme görevini yerine getirmektedir.
- Zincirli konveyör ve yükleme platformu, makinenin değişik formasyonlardaki malzeme kazısında kullanılmasına imkan verebilmektedir.
- Makinenin kesme kafası spiral tiptedir.
- Makinenin toplam ağırlığı 75 tondur.
- Toplam gücü 350 kW'dır.
- GAM'nın arkasına monte edilmiş bir lastik bantlı aktarma konveyörü bulunmaktadır
- Bantlı konveyör hariç makinanın uzunluğu 11.35 m'dir.
- Paletler üzerindeki genişliğinin 2.95 m olmasına karşılık besleyici ile genişlik 4.16 m olmaktadır.

Çizelge 4. KSP-42 model KGAM'ın özellikleri.

Parametreler	Sayısal Veriler
Kesebileceği kayacın en yüksek basınç dayanımı, σ_c , (MPa)	120
Keskiadaki aşınma miktarı max, (mg/m)	18
Max kazı miktarı, (m^3/dk)	
> $\sigma_c = 120$ MPa	0.20
> $\sigma_c = 100$ MPa	0.35
> $\sigma_c = 80$ MPa	0.50

Minimum kazı kesiti, (m^2)	12.5
Maksimum kazı kesiti, (m^2)	37
Çalışma açısı, ($^\circ$)	± 12

Kesici Kafa Özellikleri

Kesici kafa boyutları, (mm)	
> yükseklik	5200
> genişlik	7500
> taban seviyesinin altı	200
Teleskopik hareket, (mm)	660
Kesici kafa elektrik motoru gücü, (kW)	160 (200)
Kesici kafa	
> maksimum çap, (mm)	950
> parça uzunluğu, (mm)	640
Keski adedi	42
Dönüş hızı, (dev/dak)	33
Max. kazı hızı, (m/s)	164

4 MAKİNANIN KULLANIM KOŞULLARI VE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Galeri açma makinası Gelik İşletmesi – 540 katı 42604 galerisinde kumtaşı, konglomera, silttaşı, kiltası, kömür ardalanması şeklinde görülen birimlerde kazı yapmak üzere ocakta monte edilmiştir. 1100 m uzunluğunda açılacak olan galerinin %80'i konglomera ve kumtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Kozlu formasyonu içinde yer alan galeride yüksek metan gelirinin olması beklenmektedir.

Çalışılan galeride yaklaşık 24 adet kömür damarı kesileceği tespit edilmiştir. Gazın yüksek ve TTK'nın uygulamalarında rekup galerilerinde elektrikli aletleri (trafoları) çalıştırma güçlüğüne olması

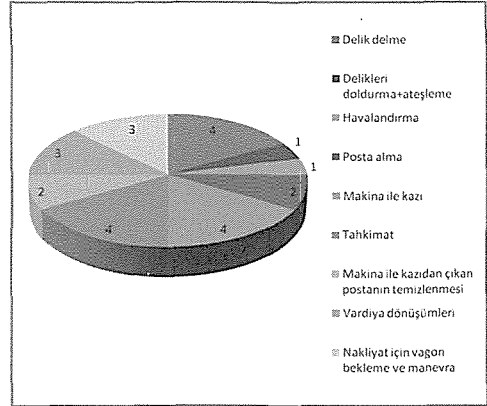
enerji planlamasını oldukça olumsuz yönde etkilemiştir. Metan gazı geliri yüksek olduğundan makinanın üzerinde yer alan gaz sensörleri makinanın çalışmasını sınırlamıştır. Bitümlü şeylerde makinanın kazı kapasitesi 30 m³/h olmasına rağmen gaz gelirinden dolayı ilerleme durdurulmak zorunda kalmıştır.

Söz konusu galerinin havalandırma ve nakliyat gereksinimleri kurum tarafından karşılanmıştır. Ancak, sözleşmede yer alan hava miktarları, yeraltında galeri açma makinasının çalışmış olduğu galeride kömürlü ve şistli formasyonlar geçilirken sürekli gaz geliri olmasından dolayı yeterli olmamıştır. Bu nedenle makina ile ilerleme çoğu yerde durdurulmak zorunda kalmıştır. İki kalın kömür damarında iki sefer degaj, bir sefer de göçük yaşanmıştır.

2006 yılının Şubat ayında Ukrayna'dan gelen teknik ekip ve özel firmanın personeli ile ilk kazı çalışmalarına başlanmıştır. İlk gün makina ile 2 saat deneme çalışması yapılmıştır. 18 m² kesitli galeride 2 günde 2 m ilerleme yapılmış ve 540 adet keski tüketimi olmuştur. 1 m³ kayaç kazısı için 15 adet keski harcanmıştır.

Bunun üzerine; keski üretimi yapan üretici firmaların formasyonlara uygun tasarladığı yeni uçlarla deneme çalışmalarına başlanmıştır. Ukrayna'dan 500 adet, Kennametal'den 1000 adet, Betex'den 500 adet, Sandvik'ten de 500 adet keski satın alınmıştır. Normalde makina ile taahhüt edilen kazı miktarı 30 m³/h iken, ancak 5 m³/h kazı yapılabilmektedir. Keski sarfiyatı 2-3 adet/m³'e gerilemiştir. 2 m ilerleme yapılarak 2.5 adet/m³ keski sarfedilmiştir.

1100 m³'lik rekup galerisinde KGAM ile yaklaşık 415 m ilerleme yapılabilmektedir. Yeraltında yapılan pilot sondajlardan elde edilen verilere göre 271 m kumtaşı ve konglomera, 106 m silttaş, 38 m ise şistli kömür ve kömür formasyonlarından oluşmaktadır. Yukarıda karşılaşılan sorunlar nedeniyle bu aşamadan sonra hem delme-patlatma yöntemi ile ve hem de makinadan yararlanarak kazıya devam etme kararı alınmıştır. Bu şekilde yapılan ilerlemelere ilişkin bir günlük çevrim Şekil 2'de ve Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 2. Günlük iş organizasyonunun dağılımı (saat olarak).

Çizelge 5. Günlük iş organizasyonu (İpek 2009).

Yapılan iş	Saat
Delik delme (30 delik)	4
Delikleri oldurma+ateşleme	1
Havalandırma	1
Posta alma	2
Makina ile kazı (5 m ³ /h)	4
Tahkimat	4
Makina ile kazıdan çıkan postanın temizlenmesi	2
Vardiya dönüşümleri	3
Vagon bekleme ve manevra	3
Toplam	24

Orta çekme yöntemiyle 18 m²'lik aynanın 10 m²'si delme-patlatma yöntemiyle, 8 m²'si ise makina ile kazılmıştır. Makinadan yararlanılma süresi günde 6 saattir ve makinadan yararlanılma oranı %25 olmuştur. Bu süreçte keski tüketimi 1.8 adet/m³'e kadar düşmüştür. Silttaş formasyonunda makina ile günde 3 m kazı yapılabilmektedir. Silttaşında keski tüketimi 0.5 adet/m³ olmuştur. Makine zaman zaman tarama ve posta kaldırma çalışmalarında da kullanılmıştır.

Makinanın performansının taahhüt edilen ve ona göre yapılan planlamanın çok altında kalmasından ve maliyetlerin klasik yöntemden 4-5 kat yüksek olmasından dolayı makina önce galeriden ve daha sonra da yeraltından dışarıya çıkartılmıştır.

Bu aşamaya gelinceye kadar da ilk başlangıçta makine seçiminde yapılması gereken makinanın performansını belirlemek için üç ayrı çalışma yaptırılmıştır.

5 MAKİNANIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Makinanın sık sık arıza yapması, keski tüketiminin fazla olması ve satın alma sözleşmesinde belirtilen performans değerlerinin çok altında kalması üzerine -540 galerisinden alınan kayaç örnekleri üç ayrı üniversitede farklı deneylere tabi tutulmuştur.

5.1 İTÜ'de Yaptırılan Laboratuvar Çalışmaları

Numuneler ilk olarak İTÜ'ye gönderilerek; tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, Cerchar aşındırıcılık deneyi ve küçük ölçekli doğrusal kazı setinde kesme deneyleri yaptırılmıştır (Çiz. 6). Bu deneylerin sonuçlarına dayanarak, söz konusu bölgede çalışmakta olan kesici kafa gücü 160 kW, toplam gücü 350 kW ve ağırlığı 75 ton olan KGAM'ın net kazı hızı ve keski tüketimi tahminleri yapılmıştır.

Çizelge 6. Numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Bilgin vd. 2006).

Özellik	Numune 2.2 (Kumtaşı)	Numune 3.3 (Konglomera)
σ_c (MPa)	144.7	56.1
σ_t (MPa)	8.0	5.1
CAI	2.5	2.0
Yoğunluk(g/cm ³)	2.4	2.65

İTÜ laboratuvarına gönderilen 93.85 mm ve 92.60 mm çaplarındaki büyük karotlar üzerinde küçük ölçekli doğrusal kazı setinde kesme deneyleri yapılmıştır.

2.2 no'lu Kumtaşı örneğinin "KGAM ile kazılamaz", ancak 3.3 nolu konglomera örneğinin "çok zor kazılabilir" olarak sınıflandırılacağı belirtilmiştir (McFeat-Smith and Fowell 1979, Bilgin vd 2006). KGAM'ın net kazı miktarı tam ölçekli doğrusal kazı deneylerinden elde edilen

verilere göre Eşitlik 1'den bulunabilmektedir.

$$ICR=k (P/SE_{opt}) \quad (1)$$

Burada;

ICR = net kazı miktarı (m³/h),

P = kazı makinasının kesici kafa gücü (kW),
SE_{opt}= tam boyutlu doğrusal kazı deneylerinden elde edilen optimum spesifik enerji (kWh/m³)

k = enerji transfer katsayısı (KGAM için 0.4)

Kesme deneyinden elde edilen veriler yukarıdaki eşitlikte kullanılarak makinanın net kazı miktarları hesaplanmıştır (Çiz. 7).

Çizelge 7. 160 kW gücündeki makinanın net kazı miktarı (Bilgin vd. 2006).

Model	Num. 2.2 (Kumtaşı)		Num. 3.3 (Konglomera)	
	SE _{opt}	ICR	SE _{opt}	ICR
SE _{opt} =1,6($\sigma_c \times \sigma_t$) ^{0.4}	19.5	3.3	11.1	5.7

Çizelgeden görülebileceği gibi 160 kW kesici kafa gücü olan KGAM ile kumtaşında net kazı miktarının 3.3 m³/h ve konglomera net kazı miktarının 5.7 m³/h olacağı hesaplanmıştır (Bilgin vd. 2006).

Johnson ve Fowell (1986)'a göre kayaçların kesilebilirlikleri hakkında daha kesin bir yargıya varmak için, keski tüketimlerinin de tahmin edilmesi gereklidir. Keski tüketim tahmini Eşitlik 2'den hesap edilebilir (Bilgin vd. 2006).

$$\text{Keski Sarfiyatı} = CAI / 4 \quad (2)$$

Burada; CAI = Cerchar aşındırıcılık indeksi değeridir.

Buna göre, kumtaşı için 0.500 keski/m³ ve konglomera için 0.625 keski/m³ tüketiminin olabileceği hesaplanmıştır. Bu keski tüketim değerlerinin, ekonomik olmayan bir kazıya işaret etmekte olduğu kanaatine varılmıştır (Bilgin vd. 2006). Ayrıca, konglomera numunelerinin iri çakıl taneleri içeren klasik bir yapıda olmasından bu formasyonda kazı yaparken oluşacak keski tüketimlerinin

tahmin edilenden daha yüksek olabileceği belirtilmiştir (Bilgin vd. 2006). Sonuç olarak seçilen makinanın net kazı hızının çok düşük ve keski tüketiminin de çok yüksek olacağı kanaati hasıl olmuştur.

5.2 ODTÜ'de Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Makinanın satın alındığı firma ile anlaşmazlıklar devam ettiğinden ve aynı zamanda da makina ile kazı ekonomikliğini günden güne yitirdiğinden, şirket yetkilileri şartların taahhüt edildiği gibi olmadığını ispatlayabilmek için bir kez daha başka bir üniversiteye numune göndererek deney yaptırma kararı vermiştir. Kazı çalışmaları devam ederken 2006 yılının Ekim ayında -540 katı rekup galerisinden alınan yeni numuneler Ankara'ya gönderilmiştir. Örnekler 93-94 mm çaplarında ve farklı uzunluklardadır. Kumtaşı örneklerinin çoğunda farklı boyutta çakıllar ve kalsit dolgulular eklenmiştir. Bu eklemlerin karot eksenine düşey, yatay veya revir yönde gelişmiş oldukları gözlenmiştir. Büyük çaplı karot örneklerinden ISRM'nin önerdiği standartlarda 12 adet deney numunesi hazırlanmış ve bunlar üzerinde tek eksenli ve üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır (Bilgin 2006).

Deneye tabi tutulan kumtaşı örneklerinin çoğunluğunda eklemler karbonat dolguludur. Deneyler sırasında kayacın, göreceli olarak daha zayıf olan, karbonat dolgulular eklemlerden doğru yenildiği (kırıldığı) gözlenmiştir. Bu durum deney sonuçlarında da kendisini göstermiştir (Çiz. 8).

Çizelge 8. Tek eksenli ve üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları (Bilgin 2006).

Örnek No	Tek Eks. Bas. Day. (MPa)	Örnek No	Üç Eks. Bas. Day. (MPa)
1.2	117.01	1.1	123.79
1.4	105.19	1.3	192.61
2.2	107.36	1.4	172.39
3.1	6.04	2.1	119.97
3.4	40.79	2.3	159.70
3.3	156.61	3.4	76.96

Elde edilen sonuçlara göre kayacın daha masif olduğu kesimlerde basınç dayanımının da daha yüksek olacağı ve galeri açma makinasının bu kısımları kazmada zorlanacağı belirtilmiştir (Bilgin 2006).

5.3 ZKÜ'de Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Yukarıda bahsedilen deneylerin yanı sıra KGAM'nın çalışmış olduğu -540 katında alınan iki tip kayaç örneğinin mineralojik-petrografik analizleri de yapılmıştır (Bacak ve Çıtıroğlu 2006).

Kumtaşı örnekleri; mikroskobik açıdan incelendiğinde kayacın hacim olarak ortalama %45'ini çimento ve %55'ini ana kum boyutu mineral-tane bileşenleri ve kaya parçacıkları oluşturduğu gözlenmiştir. Ana bileşen içinde %63 oranında kuvars (SiO₂) belirlenmiştir. Konglomera örneklerinin ise gri ve koyu gri tonlarda, kırıntılı-klastik özellikli, taneleri yarı yuvarlak ve yarı köşeli bileşenli, iri kum ve çakıl boyu aralığında, farklı litolojik ve tane boyu bileşenli, polijenetik ve heterojen karakterli çakıl tanelerinden oluşmuş, yarı puding özellikli tortul bir kayaç olduğu tespit edilmiştir. Çimento ve tane dağılım oranları dikkate alındığında, %60 oranında bulunan tane-çakıl kesiminin %65'i SiO₂ ve %40'lık oranda bulunan çimento kesiminin %70'i SiO₂ bileşenlidir. Çimento ve tane bazında, ağırlıklı dağılım oranlarına göre hesaplandığında, kayaç toplamında yaklaşık %67 oranında SiO₂ içeriği olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla makinayla kazı çalışmalarında yüksek bir keski tüketiminin olacağı görülmüştür (Bacak ve Çıtıroğlu 2006).

6 GALAERİ AÇMA MALİYETİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Galeri açma makinasının kullanıldığı kısım ile ilgili olarak yapılan tüm harcamalar ayrıntılı olarak kaydedilmiştir. Bu kayıtlar klasik delme-patlatma uygulaması yapılan kısımlardaki harcamalarla karşılaştırılmış ve 1 m³ kayaç kazısı için iki sistem arasında bir kıyaslama yapılmaya çalışılmıştır. Bu

kıyaslamada tüm ahşap ve metal tahkimat malzemeleri TTK tarafından sağlandığı ve aynı kesitlerde aşağı yukarı eşit değerlerde tahkimat malzemesi harcandığı göz önünde tutularak tahkimattan gelen sarjlar dikkate alınmamıştır (Akkaş 2010).

Kollu galeri açma makinasıyla 18 m² kesitte 415 m³ ilerleme yapılmıştır. 1 m³ kayaç kazısı maliyeti için; enerji, keski tüketimi, işçilik, bakım-yedek parça masrafları ve makinanın amortisman bedeli dikkate alınmıştır. Toplam maliyet içinde en önemli paylardan birisi işçilik maliyetidir. Çizelge 9'dan görülebileceği gibi makinanın çalıştığı kesimlerde günde ortalama 19 kişi tertip edilmiştir.

Çizelge 9. KGAM'nda bir günde tertip edilen işçi sayıları (İpek 2009).

Personel	Sayı
Operatör	3
Formen	2
Usta	2
İşçi	8
Elektrikçi	2
Mekanikçi	2
Toplam	19

Enerji tüketiminde makinanın toplam gücünün 350 kW olduğu ve makinadan yaralanma oranının en fazla %25 civarında olduğu dikkate alınmıştır. Keski maliyetinde ise bu kısımda harcanan tüm keski sayısı dikkate alınarak 1 m³ kayaç kazısı için ortalama 1.8 adet keskinin tüketildiği göz önünde tutulmuştur. Hortum, yağ değişimi ve diğer yedek parçalar ile bakım giderleri için günlük olarak yapılan harcamaların kayıtlarından yararlanılmıştır (Yapı-Tek 2009). İlk yatırım tutarı 1 050 000 ABD \$ olan makinanın ekonomik ömrü 5 yıl olarak alınmış ve amortisman bedeli ona göre hesaplanmıştır.

2009 yılı birim fiyatlarıyla makinayla 1 m³ kayaç kazısının 180.55 TL olduğu hesaplanmıştır (Çiz. 10).

Çizelge 10. KGAM'sı ile yapılan kazıdaki kazı maliyeti.

Gider	Maliyet (TL/m ³), 2009
Enerji	3.70
Keski	40.25
Bakım-yedek parça	15.60
İşçilik	67.00
KGAM maliyeti	54.00
Toplam	180.55

18 m² kesitli bir galeride elektro hidrolik delici ve yükleyici kullanılarak delme patlatma yöntemiyle günde 3 vardiyada ortalama 5 m ilerleme yapılmıştır. Delme-patlatma ile yapılan ilerlemelerde de maliyet girdisi olarak; işçilik, enerji, patlatma gideri (patlayıcı madde, kapsül, kartuş, delici uç vb.), yedek parça ve bakım gideri ve ekipmanın amortismanı dikkate alınmıştır.

Delme-patlatma yönteminde günde 24 kişi tertip edilmektedir (Çiz. 11).

Çizelge 11. Delme-patlatma sisteminde günlük tertip edilen işçi sayısı (İpek 2009).

Personel	Sayı
Delici Operatörü	4
Formen	2
Usta	2
İşçi	8
Elektrikçi	2
Mekanikçi	2
Ateşleyici	4
Toplam	24

Enerji gideri olarak delici ve yükleyicinin günlük olarak harcamış olduğu enerji miktarı dikkate alınmıştır. Patlatma giderinde ise 1 m³ kayaç kazısı için 1.2 kg dinamit, 1.6 adet kapsül, 1.6 adet kartuş harcandığı ve delici uç vb. içinde 2.87 TL'lik harcama yapıldığı kaydedilmiştir. Bakım ve yedek parça girdisi için işletme kayıtlarından yararlanılmıştır. Delici ve yükleyici donanımının ekonomik ömrünün 5 yıl olduğu dikkate alınarak amortisman bedeli tayin edilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre delme patlatma yöntemine göre 1 m³ kayaç kazısının 2009 yılı birim fiyatlarına göre 34.97 TL olduğu tespit edilmiştir (Çiz. 12).

Çizelge 12. Delme-patlatma yönteminde kazı maliyeti.

Gider	Maliyet (TL/m ³),
	2009
Enerji	0.16
Patlatma malzemesi	13.07
İşçilik	15.10
Bakım-yedek parça	2.22
Jumbo maliyeti	4.42
Toplam	34.97

KGAM ile klasik yöntemle yapılan kazı maliyetleri 2009 yılı birim fiyatları dikkate alınarak karşılaştırıldığında KGAM ile yapılan kazıda ortaya çıkan 1 m³ postanın maliyetinin klasik delme-patlatma yöntemine göre neredeyse 5 kat fazla olduğu görülmektedir (Çiz. 13).

Çizelge 13. KGAM ve klasik yöntemle yapılan kazının maliyet karşılaştırılması.

Gider	Maliyet (TL/m ³), 2009	
	KGAM	Delme-Patlatma
Enerji	3.70	0.16
Sarf malzeme	40.25	13.07
Bakım-yedek parça	15.60	2.22
İşçilik	67.00	15.10
Makina maliyeti	54.00	4.42
Toplam	180.55	34.97

Bu kıyaslama yapılırken, beklenenin aksine, KGAM ile günde 2 m, elektro-hidrolik delici kullanılarak yapılan delme-patlatma çalışmasında ise günde 5 m ilerleme yapıldığı göz ardı edilmemelidir. Bu kıyaslama makine seçiminde önemli bir hatanın yapıldığının somut olarak göstermektedir. Buradaki temel sorun makinayla öngörülen ilerleme hızlarına ulaşamamış olması ve keski tüketimlerinin çok fazla olmasıdır. Şüphesiz bu kıyaslamada; makinayla kazıda posta kaldırma, tahkimat yapma v.b faaliyetlerdeki teknolojik kolaylıkların getirdiği dolaylı katkılar göz ardı edilmiştir.

Yukarıdaki tespitler; Akçın vd. (2005) tarafından daha önce yapılan çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde havza kömür çevre kayaçlarının kazısında daha güçlü

(kesme gücü 200 kW'ın üzerinde) ve daha ağır galeri açma makinalarının kullanılması gerektiğini kanıtlamaktadır.

Yaralı (2005, 2010), Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçları üzerinde yaptığı aşındırıcılık çalışmalarının sonucunda makinayla kazıda keski tüketimlerinin çok yüksek olacağını ve buna bağlı olarak da kazı maliyetlerinin beklenenden daha fazla olacağını belirtmiştir. Havzada kullanılacak kollu galeri açma makinası tipi için de Akçın vd. (2005) ile benzer sonuçlara ulaşmıştır (Yaralı 2008). Bu da Gelik İşletmesin'deki makinanın seçimi ve kullanımının hatalı yapıldığının önemli bir göstergesidir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Madencilik sektöründe hazırlık çalışmalarının hızlı ve ekonomik olarak yapılabilmesi önemini her zaman için korumaktır. Burada başvurulabilecek en uygun çözüm kazı yapılacak kayaca ve kazı amacına uygun bir makine seçiminden geçer. Makina seçim sürecinde yapılması gereken çalışmalar makine tasarımı etkileyebileceği gibi seçilen makinanın performansının önceden belirlenmesinde de belirleyici olacaktır.

Zonguldak Havzası'nda galeri ilerlemesi yapmak üzere taahhüt altına giren bir özel şirketin kollu galeri açma makinası olarak denenmesi ve bunun başarısız olması makina seçiminin öneminin vurgulanması açısından dikkat çekici olumsuz bir örnektir. Makine üreticisi firmaların çoğunlukla sözel olarak vermiş olduğu makine performans garantilerine güvenerek makine seçilmesinin mali yükü telafi edilemez boyutlara ulaşmakta ve uluslararası tahkim mahkemelerine gidilmesine yol açmaktadır. En başta yapılması gereken çalışmaların daha sonradan yapılmış olması sorunları çözmektedir. Kazı yapılacak formasyonlara ve yapılacak kazının amacına uygun bir kazı makinası seçimi için arazide ve laboratuarda yapılacak çalışmaların önemi ortadadır. Havzada yeni ocak kurmaya çalışan özel sektör firmalarının makina seçiminde bu hususları dikkate

almaları kendileri ve ülkemiz için yararlı olacaktır. Üstelik, ülkemizde makine seçimi sürecinde yapılması gereken kazılabilirlik ve aşındırıcılık deneylerini yapabilen tam donanımlı laboratuvarlar bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akçın, N A, Bilgin, N ve Kel, K, 2005. Zonguldak Havzası'nda Galeri Açma Makinesi Kullanımının Araştırılması, *Türkiye Uluslararası 19. Madencilik Kongresi Kitabı*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, İzmir, s.177-185.
- Akkaş, E, 2010. *Gelik İşletmesi'nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansına Etki Eden Etkenlerin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 75 s.
- Bacak, G ve Çitiroğlu, H K, 2006. *Petrografik ve Mineralojik Analiz Raporu* (yayımlanmamış). ZKÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 8 s.
- Balcı, C, 2004. *Mekanize Kazı Makinalarının Seçiminde Küçük Boyutlu Kazı ile Tam Boyutlu Kazı Deneylerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi* (yayımlanmamış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, s. 125-152.
- Bilgin, H A, 2006. *Karadon Yeni Servis Kuyusu Bağlantı ve -540 Kat Galerileri İş Kaya Numunelerinin Tek ve Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları*. YAPI-TEK Proje Raporu (yayımlanmamış), ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekanikliği Laboratuvarı, Ankara, 7 s.
- Bilgin N, Çopur H, Feridunoğlu, C ve Tumaç, D, 2006. *Zonguldak Karadon Bölgesinden Getirilen Formasyonların Kazılabilirlik Özellikleri*. YAPI-TEK Proje Raporu (yayımlanmamış), İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 9 s.
- İpek, K, 2009. Kişisel görüşme. Yapı-Tek İnş. San.ve Tic. A.Ş. Şantiye Şefi. Zonguldak.
- Kel, K, 2003. *Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi*. Doktora Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s.
- Mc Feat-Smith and Fowell R, J, 1979. The selection and application of roadheaders for rock tunneling. *Proceedings of Rapid Excavation and Tunneling Conference*. AIME, Atlanta USA. pp. 261-279
- ODTÜ, 1989. *TTK Gelik İşletmesi Kömür ve Kayaçlarının Kaya Mekanikliği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkarılmasının Araştırılması*, Final Raporu, Proje Kod No:88-03-05-01-05 ODTÜ ve HÜZMF Maden Mühendisliği Bölümleri, 98 s.
- TTK, 2010. *Türkiye Taşkömürü Kurumu İstatistikleri*, Zonguldak.
- Yapı-Tek, 2005. TTK Karadon İşletme Müessesesi Müdürlüğü Karadon Yeni Servis Kuyusu Kat Bağlantı Galerileri ve Su Atım Tesisleri ile - 540 Kat Hazırlık Galerilerinin Stürülmesi İşine Ait Sözleşme, Zonguldak.
- Yaralı, O, 2005. Zonguldak Taşkömür Havzası kömür çevre kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerinin araştırılması, *Türkiye Uluslararası 19. Madencilik Kongresi Kitabı*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, İzmir, s.243-251.
- Yaralı, O, 2008. Türkiye Taşkömürü Kurumu galeri ilerlemelerinde kollu galeri açma makinalarının kullanımının araştırılması. *Türkiye 16. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, s. 77-89, Zonguldak.
- Yaralı, O, 2010. Zonguldak Bölgesi kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi. *Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, Zonguldak, s. 203-201.

Türkiye Yeraltı Kömür Madenlerinde Kullanılan Patlayıcı Maddeler ve Yaşanan Grizu Kazalarındaki Olası Etkileri

Explosives Used at the Underground Coal Mines of Turkey and Its Possible Effects on the Firedamp Accidents Happened

M.Erdil

HM Patlayıcı Maddeler Ltd Şti, Ankara

ÖZET Türkiye yeraltı kömür madenlerinde, taşortamda sürülen galerilerde ve ayaklarda kömürü gevşetmek amacıyla patlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, yapısal özelliklerinden ötürü, yanıcı ve patlayıcı gazlar içeren kömür madenciliğinde kullanılan patlayıcı maddeler, diğer madenlere göre farklı özellikler taşımaktadır. Bu özellikler ve kullanım şekilleri kanun, tüzük ve yönetmeliklerle uyulması zorunlu kurallar haline getirilmiştir. Hali hazır uygulamada olan bu mevzuat, gelişmiş ülkelerdeki yer altı kömür madenciliği mevzuatı ile karşılaştırıldığında hayli yetersiz kalmaktadır. Ayrıca patlayıcı maddeler sektöründeki yeniliklere de ayak uyduramamaktadır. Tüzük ve yönetmeliklerin yetersizliğinin yanı sıra, ya bilgisizlik, ya da ekonomik koşullar nedeniyle yeraltı kömür madenciliğinin bilimsel yapısına aykırı patlayıcı maddelerin kullanımı, kaza riskini artırmaktadır. Son yıllarda ülkemizde grizu patlaması sonucu birçok ölümlü kaza yaşanmıştır. Bu kazalarda, metanın ateşlenmesine neden olan kaynakların ne olduğu net olarak ortaya konulamamıştır. Bu bildiri de, yetersiz mevzuat, yanlış patlayıcı maddeler ve kullanımının, söz konusu kazalarda patlama kaynağı olarak ne derece etkin olabileceği tartışılarak, Türkiye yer altı kömür madenciliğinin gündemine taşınması amaçlanmaktadır..

ABSTRACT Explosives are used to loosen coal at faces and headings driven in stone in underground coal mines in Turkey. It is known that, as a nature of coal structure, the explosives must have special features because of dangerous gases found in coal mine atmosphere which can be fired or exploded. The application and features of the explosives are arranged and obliged by laws. The existing regulations in Turkey is not sufficient when compared with the developed countries. In addition, it couldn't matched up to developments in explosives industry. Besides the insufficient regulations, usage of nonpermitted explosives or mistakes in application due to ignorant staff or economical reasons cause potential risks for accidents. In recent years, many firedamp accidents which resulted with deaths were occurred in Turkey. Also, the sources of ignition causing the firedamp explosions were not defined clearly. In this paper, insufficient regulations and effects of the usage of inaccurate explosives in firedamp accidents will be discussed and put on the agenda of Turkish underground coal mining.

1 GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde bir çok ölümlü grizu kazası yaşanmıştır. Bunların yakın tarihli olanları ve kazada hayatını kaybedenler;

- 17 Mayıs 2010 tarihinde Zonguldak-Karadon ikisi maden mühendisi olmak üzere toplam 30 maden işçisi,
- 10 Aralık 2009 Bursa-Mustafakemalpaşa, 19 maden işçisi
- 02 Haziran 2006 Balıkesir-Dursunbey, 17 maden işçisi,
- 21 Nisan 2005 Kütahya-Gediz, bir maden mühendisi, 18 maden işçisi
- 22 Kasım 2003 Konya-Ermenek, 10 maden işçisidir.

Ölümlerin yarattığı üzüntü, grizu patlamasına neden olan ısı kaynağının nereden ortaya çıktığı hakkındaki tartışmalar, uzun süre kamuoyu gündemini meşgul etmiştir. Kazaların nedenleri üzerinde çeşitli düşünceler ortaya atılsa da, grizu patlamasının yıkıcı ve ağır tahribatı, kazaya neden olan ısı kaynağının tespitini olanaksız hale getirmektedir. Bunun sonucu olarak da, kazaların tekrarı önlenememektedir. Fransa'da yaşanan grizu kazalarının incelenmesi sonucunda, patlamaların en az %40 oranında patlayıcı maddelerden kaynaklandığı belirtilmektedir (Vaillaume-Bigourd1986). Bu bildiri de ocaklarda kullanılan patlayıcı maddeler tartışılarak, olası bir kaynak masaya yatırılacaktır.

2 GRIZU

Metan gazının (CH₄) hava ile karışımı grizu olarak tanımlanmaktadır. Metan gazı renksiz ve kokusuz bir gazdır. Havaya göre özgül ağırlığı 0,554 gr/cm³ dür. Metan gazı, kömürün oluşumundan itibaren kömürün içinde veya çevre kayalarda sıkışmış olarak bulunmaktadır. Kömür üretimi sırasında ise, yeraltı çalışma yerlerine, kömürden veya çevre kayalardan kolayca, havadan 1,6 kat daha hızlı bir şekilde sızarak tehlikeli bir ortamın oluşmasına neden olmaktadır (Skochinsky & Komarov 1969).

Grizu patlamaları, havada %5-15 arası metan bulunduğunda, en şiddetlisi ise, bu oranın %9-9.5 civarında olması halinde meydana gelmektedir. Grizu patlamasının olabilmesi için üç etkenin bir araya gelmesi gerekir. Bunlar; metan gazı, oksijen ve karışımın patlamasına neden olan bir kıvılcım veya bir ısı kaynağıdır (Güyağüler 2002).

Metanın ateşlenme ısısı 650-750°C' dir. Ancak özelliği itibarıyla, hemen değil, ısı kaynağının belirli bir süre uygulanması sonucunda ateşlenebilir. Isı kaynağının sıcaklık derecesi ve ne kadar süre ile uygulandığı arasında ilişki bulunmaktadır. Buna göre 650°C lik bir ısı kaynağı 10 saniyede ateşlerken, 1000°C lik bir ısı kaynağı ile bu süre 1 saniyeye düşmektedir. Yapılan bir araştırmada %6,5 metan içeren karışım 700°C deki kuvarz elektrikli fırında 11 saniyede ateşlenmiş, fırının sıcaklığı 1200°C ye çıkartıldığında ise süre 20ms ye düşmüştür (Skochinsky & Komarov 1969).

Metan gazının bu özelliklerini bilmek, grizu ile güvenli patlayıcılar arasında olan ilişkiyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

3 GRIZU GÜVENLİ PATLAYICI MADDELER VE ATEŞLEME SİSTEMLERİ

Yer altı kömür madenlerinde kullanılacak olan patlayıcı maddeler ve ateşleme sistemleri kanun, tüzük ve yönetmelikler ile sıkı kurallara bağlanmıştır. Bu tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de böyledir. Nitekim, işgüvenliği ile ilgili Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzüğün 14. maddesi, grizulu, kömür tozlu ocaklarla kökürt ocaklarında kullanılacak patlayıcı maddelerin, bu ocakların güvenliğini sağlayacak, uygun nitelikte olması gerektiğini belirtmektedir.

3.1 Patlayıcıların Özellikleri

Yer altı kömür madenlerinde kullanılacak güvenli patlayıcıların temel özelliği, infilak sırası ve sonrasında oluşan sıcaklık derecelerinin, diğer benzeri patlayıcılardan

daha düşük olmasıdır. Bu özelliği sağlayan madde, grizu güvenli patlayıcı maddelerin içerisine katılan sodyum klorür tuzudur (NaCl). Sodyum klorür, ısı düşürücü, soğutma yapabilen ve hatta ateş kaynağı üzerinde, ince tuz taneciklerinden oluşan oksijensiz kabuk oluşturarak örtü görevi yapabilen özelliğe sahiptir. Bu yüzden grizu güvenli patlayıcılar haricinde, yangın söndürücüleri oluşturan kimyasal karışımlarda da kullanılır.

Örnek olarak MKEK Barutsan ürünü patlayıcı maddelerin infilak ısı ve sıcaklık ile özgül enerji değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 1. MKEK dinamitleri teknik değerleri (Barutsan ürün kataloğu)

Cinsi	İnfilak Isısı (kj/kg)	İnfilak Sıcaklığı (°C)	Ozgül Enerji (kj/kg)
Jelatin Dinamit	4738	3245	1128
GOMIA1	4860	3470	1140
Grizutin Dinamit	2600	2290	880

Çizelge 1' de de görüldüğü üzere grizu güvenli dinamitlerin infilak ısı ve sıcaklıkları, diğer normal dinamitlerden oldukça aşağıdadır. Bunun nedeni içerisine konulan sodyum klorürden gelmektedir. Ancak her ne kadar sıcaklık ve ısı değerlerinde olumlu yönde düşme sağlanmasına rağmen, patlayıcıdan elde edilecek enerji de düşmektedir. Çünkü tuz, yakıt özelliği olmayan ve tepkimeye girmeyen inört madde olması nedeniyle, patlayıcının birim miktarından elde edilecek enerjiyi olumsuz yönde düşürmektedir. Bu yüzden, özellikle taşa sürülen galerilerde atım verimi, diğer patlayıcılara göre daha düşük olmaktadır.

Grizu güvenli patlayıcı maddelerin içerdiği tuz miktarı, patlayıcı maddenin cins ve üreticisine bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir. Aynı miktardaki tuzu emülsiyon bazlı patlayıcıya eklemek ile nitrogliserin bazlı patlayıcıya eklemek, patlayıcıdan elde edilecek verimi etkilemektedir. Bu değişkenlikler nedeniyle, üreticilerin formüle ettiği ürünler, kömür

madenlerinde kullanılmadan önce zorunlu olarak, özel enstitülerde bulunan galeri testlerine tabi tutulmalıdır.

3.2 Türkiye'de Üretilen Grizu Güvenli Patlayıcı Maddeler

Türkiye'de iki ayrı firma tarafından iki farklı grizu güvenli patlayıcı üretilmektedir. Bunlardan ilki ve en eskisi MKEK Barutsan tarafından üretilen nitrogliserin bazlı grizutin klorür dinamitidir. Bu patlayıcı Fransız teknolojisi ve formülasyonu ile üretilmeye başlanmıştır. Formülasyon teknolojiyi getiren firma tarafından, Fransa'da üretilerek, galeri testleri muhtemelen CERCHAR (Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France) enstitüsünde yapılmıştır. Fransız grizu güvenli patlayıcı sınıflandırmasına göre, "Couche ameliores" sınıfındadır. Bu sınıftaki patlayıcılar kömür ayaklarında, taşa veya kömürde sürülen galerilerde kullanılabilir. Ancak delik başına azami patlayıcı miktarı 2 kg'ı geçemez. Gecikmeli kapsül kullanımı durumunda ise bir aynada toplam 400ms, deliklerarası gecikme de 125ms gecikme süresi ile sınırlandırılmıştır. Kömür tozlarından en az 15 metre uzakta patlatılması tavsiye edilir.

Diğer ürün ise Orica Nitro AŞ tarafından üretilen emülsiyon bazlı Super Ajax isimli kapsüle duyarlı patlayıcıdır. Bu patlayıcı aynı formülasyon ile, eski adıyla ICI Explosives (şimdiki adı Orica Explosives) tarafından İngiltere'de üretilerek, galeri testleri HSE işçi sağlığı ve iş güvenliği laboratuvarlarında yapılmıştır. İngiliz grizu güvenli patlayıcı sınıflandırmasına göre P1 sınıfındadır. Yani her türlü yer altı kömür madeni şartlarında kullanılamaz, sadece aynasında 30 cm den az kömür damarı içeren ve eski imalat yerlerine azami 5 metre uzaktaki taşa sürülen galerilerde kullanılabilir. Ayrıca bu ürünün kartuş çapı en az 32 mm, en çok ise 37 mm ile sınırlandırılmıştır. Tamamen taşa sürülen galerilerde, delik başına azami 1,4 kg, diğer yerlerde 1,05 kg doldurulmaya izin verilmektedir.

3.3 Grizu Güvenli Ateşleme Sistemleri

Grizu güvenli ateşleme sistemleri açık alev çıkarmayan ve yapısındaki malzemeler ısıyı tutmayan veya kolay yanabilir özellikte olmamalıdır. Genel ateşleme sistemlerini ele alındığında, 8 nolu tahrip kapsülü + emniyetli fitil, infilaklı fitil ve şok tüp esaslı (nonelektrik) kapsül sistemleri açık alev içermesi nedeniyle yer altı kömür madenlerinde kullanılamaz. Elektrikli kapsül ve elektronik kapsüller ise kullanılabilir. Ancak bu kapsüllerin dış gövdeleri hızlı ısı iletkenliğine sahip, ısıyı bünyesinde en az tutan özellikte veya yanarak ilave ısı enerjisi yaratmayan özellikte olmalıdır. Amaç bölüm 2 de açıkladığımız metanın ateşlenmesi için gerekli ısı kaynağı süresini asgariye düşürebilmektir. Bu yüzden grizu güvenli kapsüllerin dış gövdesi hızlı ısı iletkenlik özelliğine sahip ve yanma sırasında ilave ısı üretme özelliği düşük olan bakır olmalıdır.

Çizelge 2. Bazı metallerin ısı iletkenlik katsayıları ve özgül ısı kapasitesi (*The Engineering Tool Box*)

Cinsi	Isı İletkenlik Katsayısı- k (W/mK)	25 °C	Ozgül Isı Kapasitesi- Cp (kcal/kg°C)
Bakır	401		0.092
Aliminyum	250		0.220
Demir	80		0.108
Çinko	116		0.093

4 YASAL MEVZUAT

Tehlike sınıfı yüksek olan madencilik işkolunda, yeraltı kömür madenciliği işgüvenliği açısından en hassas üretim şeklidir. Bu nedenle, tüm dünyada çok sıkı yasal düzenlemeler yürütülür.

4.1 Türkiye’de Uygulanan Mevzuat

Türkiye’de madenlerde patlayıcı madde kullanımı ile işgüvenliği maddeleri içeren, iki tüzük bulunmaktadır. Birincisi “87/12028 sayılı Tekel Dışı Brakılan Patlayıcı Maddelerle İlgili, Av Malzemesi ve Benzerlerinin Usul ve Esaslarına İlişkin

Tüzük” diğeri ise, “84/8428 sayılı Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük” tür.

Bu iki tüzük içerisinde, yer altı kömür madenciliğine özel delme ve patlatma uygulamalarını içeren maddeler sadece “84/8428 sayılı Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük”te yer almaktadır. Bu maddeler;

- Madde 14 - Maden ve taş ocaklarıyla tünel yapımında, ancak, Bakanlığın izin verdiği türden patlayıcı maddeler kullanılabilir. Grizulu, kömür tozlu ocaklarla kükürt ocaklarında kullanılacak patlayıcı maddelerin, bu ocakların güvenliğinin gerektirdiği nitelikte olması gerekir.
- Madde 26 - Patlayıcı maddenin boyu, delik derinliğinin yarısını geçemez. Artan boşluk, sıkılama maddesiyle doldurulur....
- Madde 27 - Yanıcı ve parlayıcı gazlar bulunan, tozların yanması ve patlaması tehlikesi olan ocaklarda, fitille ateşleme yapılamaz...
- Madde 35 - ... Grizulu ve kömür tozlu ocaklarda grizuya karşı güvenli elektrikli ateşleme aracı kullanılacaktır...
- Madde 38 - c) Gecikmeli kapsüller, kömür ocaklarında, ancak, taş içerisinde yapılan ateşlemelerde kullanılabilir;
 - d) Kömür ocaklarında ani grizu çıkmasından kuşulanılıyorsa veya lağımlar kömür damarına yaklaşıyorsa, gecikmeli kapsül yerine emniyetli kapsül kullanılır
- Madde 39 - a) Kömür ocaklarında, lağımlar, yalnızca, elektrikli kapsülle ateşlenebilir.
 - b) Kömür ve kükürt ocaklarında, alüminyum kovanlı kapsül kullanılamaz
- Madde 40 - a) Emniyet lambası veya metan detektörleriyle yapılan

ölçümlerde % 1 veya daha çok metan bulunan kısımlarda,

b) Grizu bulunması muhtemel ve grizu kontrolü yapılamayan eski ve yeni imalat boşlukları ve çatlakları olan yerlerde,

c) Tıkanmış kömür, bür ve siloların açılmasında,

d) Kapatılmış yangın barajlarının açılmasında, patlayıcı madde kullanılması yasaktır.

Görüldüğü üzere Türkiye yer altı kömür madenciliğinde patlayıcı madde kullanımı ile ilgili özel kurallar, oldukça sınırlıdır. Günümüzde gelişen patlayıcı madde veya delici makinelerle ilgili ihtiyaçları karşılamaktan uzaktır.

4.2 Gelişmiş Ülkelerde Mevzuat

Gelişmiş ülkeler olarak ABD, İngiltere, Fransa gibi ülkelerin bu konudaki mevzuatları incelendiğinde, bizdeki durumun aksine yer altı kömür madenciliğine özel çok daha detaylı delme ve patlatma yasal kurallar içerdiği görülmektedir. Sadece ABD de uygulanan mevzuatı inceleysek bile ülkemiz mevzuatına göre ne kadar detay içerdiği görülecektir.

4.2.1 ABD Mevzuatı

Amerika Birleşik Devletlerinde madencilik iş güvenliği MSHA (Mine Safety & Health Administration) tarafından yönlendirilmekte ve kontrol altında tutulmaktadır. Bu büronun yeraltı kömür madenciliği patlayıcı madde kullanımı ile ilgili ülkemizden farklı bazı kurallar aşağıda listelenmiştir.

- ✓ Yeraltı kömür madenlerinde sadece grizu güvenli (permitted) patlayıcılar kullanılabilir.
- ✓ Alüminyum gövdeli elektrikli kapsüller veya alüminyum kablolu kapsüller kesinlikle kullanılamaz
- ✓ Kapsül takılı patlayıcı kartuşu, deliğe ilk doldurulur.
- ✓ Sıkılama malzemesi yanıcı olmayan malzemeden yapılır. Su kartuşları

kullanıldığında, kartuş yırtılmaya veya tutuşmaya dirençli olmalıdır.

- ✓ Kömürde yapılan atımlarda, delikler arası veya serbest yüzeye olan uzaklık 60 cm den, taştta sürülen galerilerde 46 cm den daha az olamaz.
- ✓ Patlatılacak patlayıcılar mutlaka delik içerisinde (confined) patlatılır.
- ✓ Farklı çaplarda veya markalara sahip patlayıcı maddeler aynı delik içerisine doldurulamaz.
- ✓ Taştta hariç, kömürde yapılan patlatmalarda bir deliğe koyulan patlayıcı madde miktarı 3 pound (1.36 Kg) geçemez.
- ✓ Bir seferde 20 den fazla deliğin patlatılması MSHA bürosunun özel iznine bağlıdır.
- ✓ Gecikmesiz ve gecikmeli elektrikli kapsüller aynı devrede birlikte kullanılamaz.
- ✓ Bir atımdaki toplam gecikme süresi 1000 ms yi geçemez. Delikler arası gecikme 50 ile 100 ms olarak sınırlandırılmıştır.

5 ÜLKEMİZDEKİ FİİLİ DURUM VE GÖZLEMLER

5.1. Yer altı Kömür Üretimi

Maden İşleri Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre 2009 yılı itibarıyla, Türkiye’de özel sektör veya devlete ait 250’nin üzerindeki yer altı kömür madeninden yaklaşık 19,5 milyon ton tüvenan kömür üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu rakamın 5,1 milyon tonu Çayırhan yer altı ocaklarından ve 2,8 milyon tonu ise Zonguldak TTK tarafından üretilmiştir. Kalan 11,6 milyon ton ise, 7 milyon tonu TKİ-Ege Linyitleri İşletmelerine bağlı 5 özel sektör yer altı ocağı, 1,2 milyon tonu ise yine TKİ Garp Linyitleri işletmesine bağlı iki ocağtan, bunlardan arta kalan 3,4 milyon ton da, iki yüzden fazla irili ufaklı yer altı kömür madeninden elde edilmiştir.

5.2. Patlayıcı Tüketimi

Yine 2009 yılı itibarıyla, iki üretici tarafından toplam 528 ton grizu güvenli

patlayıcı Türkiye pazarına satılmış ve bu yıl içerisinde herhangi grizu güvenli patlayıcı ithalatı olmamıştır.

Bakır gövdeli grizu güvenli kapsül pazarı incelendiğinde, tek üretici olan MKEK Kapsül fabrikasınca 1,57 milyon adet bakır gövdeli kapsül piyasaya satılmıştır. Buna ilave olarak 2,15 milyon adet de ithal edilerek, toplam 3,72 milyon adet bakır kapsül yeraltı kömür madenlerine verilmiştir.

Çizelge 3. 2009 yılı Türkiye grizu güvenli patlayıcı satışları

Cinsi	2009 Yılı Satış Miktarı
MKEK Grizutin Klorür Dinamit	378 Ton
Orica-Nitro S.ajax Emülsiyon patlayıcı	~ 150 Ton
Toplam Grizu Güvenli Patlayıcı	528 Ton
MKEK Bakır Elektrikli Kapsül	1.570.000 Adet
Toplam İthal Bakır Elektrikli Kapsül	~2.155.000 Adet
Toplam Grizu Güvenli Kapsül	~ 3.725.000 Adet

Çayırhan yeraltı ocaklarında tam mekanizasyon nedeniyle, patlayıcı tüketimi önemsenmeyecek miktardadır. T.T.K. Zonguldak tarafından 2009 yılında satın alınan patlayıcılar ise;

- 250 Ton Grizutin Dinamit
- 994.000 adet Bakır Elektrikli Kapsüldür.

Bu rakamları diğerlerinden ayırdığımızda, 11,6 milyon ton tüvenan kömür üretimi için, 250 yer altı kömür ocağının tükettiği grizu güvenli patlayıcılar, 278 ton grizu güvenli patlayıcı ve 2.731.000 adet bakır elektrikli kapsüldür.

Birkaç madenden elde edilen verilere göre, klasik çalışan bir yeraltı kömür ocağında hazırlıklar ve kömür üretiminde kullanılan birim patlayıcı miktarı 0,10-0,20 kg/ton tüvenan kömür, kapsül tüketimi ise, 0,25 – 0,35 adet/ton tüvenan kömür, arasında değişmektedir.

Bu tüketim rakamları dikkate alındığında yukarıdaki 11,6 milyon ton kömür üretimi için Türkiye pazarına verilmesi gereken grizu güvenli patlayıcı miktarları, dinamit için, 1160 – 2320 ton, kapsül için de 2.900.000 – 4.060.000 adet arasında olması gerekir. Ancak satış rakamları bunu doğrulamamaktadır.

5.3. Uygulama

Ülkemiz yeraltı kömür madenciliğinde delme ve patlatma açısından uygulanan yasal mevzuatın, örnek olarak verilen ABD mevzuatından ne kadar farklılıklar içerdiği görülmektedir.

Farklılığı yaratan en önemli maddeler, delik aralıklarına konan sınırlama ile infilak halindeki patlayıcının maden atmosferi ile irtibatının sınırlandırılması, deliğe koyulan patlayıcı miktarı, bir seferde patlatılan delik sayısı, gecikme sürelerinde kısıtlama ve kesinlikle grizu güvenli patlayıcı ve ateşleme sistemlerinden başkasına izin verilmemesidir.

Şimdi ülkemizdeki yeraltı kömür madenleri için şu soruları sormamız gerekmektedir;

- ABD de uygulanan bu farklı yasal zorunluluklar, mevzuatımızda olmamasına rağmen, ülkemizdeki teknik elemanlarca bilinmekte midir? Eğitimi verilmekte midir?
- Delikler arası uzaklıklar yeterli midir?
- Bir deliğe konulan patlayıcı miktarı aşırı mıdır?
- Gecikmeli kapsül kullanımı durumunda toplam gecikme süresi nedir?
- Bir seferde kaç delik patlatılmaktadır?
- Grizu güvenli olmayan patlayıcılar ve kapsüller ocaklarda kullanılmakta mıdır?

Bilindiği üzere yasal zorunluluk olarak uygulamaya konulan iş güvenliği tedbirleri, deneyimler ve meydana gelen kazalar sonucu ortaya çıkmıştır. Grizu tüm dünyada aynı olduğuna göre, yukarıda ki sorulardan bir veya birkaçına olumsuz cevap vermek,

nedeni çözilemeyen grizu facialarında olası sebep olarak öne çıkabilir.

Vuillaume P.M.&Bigourd J.U. 1986, French Permitted Explosives, Propellants, explosives, pyrotechnics 11,123-128

6. SONUÇ

Bu bildiriye, Türkiye yeraltı kömür madenlerinde yaşanan grizu patlamalarının sebeplerinden biri olabilecek, delme ve patlatma uygulamaları mercek altına alınmıştır. Yukarıda sunulan bilgiler ışığında;

- a) Yeraltı kömür madeni işletmeciliğini denetleyen mevzuat eksik ve yetersizdir,
- b) Gelişmiş ülkelerdeki işgüvenliği detaylarının Türkiye’de yasal zorunluluk olmadan uygulandığını söylemek zordur,
- c) Tüm ocaklarda grizu güvenli patlayıcı maddeler ve kapsüller kullanılmamaktadır,
- d) Gelişmiş ülkelere benzer olarak, ülkemizde patlayıcı madde testlerinin yapılabildiği veya işgüvenliği açısından eğitici, yol gösterici bir enstitü yoktur.

Bu konuda çok büyük eksiklikler olduğu, yaşanan grizu facialarında muhtemel şüpheli olarak, yapılan delme ve patlatma uygulamalarını göstermek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Erdil, M, 1998. Türkiye Yeraltı Kömür Madenleri Galeri İlerlemelerinde Delme Patlatma Sorunları, 3. *Delme ve Patlatma Sempozyumu, 1998* ISBN 975-395-265-1
- Güyağüler, T, 2002. Türkiye’de Meydana Gelen Grizu Patlamalarının İrdelenmesi ve Önlem Önerileri, *Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*.
- ICI Nobel’s Explosives Company Limited, Explosives in Coal Mining
- Skochinsky A & Komarov V., 1969. *Mine Ventilation*, Mir Publishers, Moscow, 580
- The Engineering Tool Box. Web site, www.engineeringtoolbox.com material properties.
- Verakis, H.C. MSHA’s New Regulations for Explosives Used in Coal Mines, MSHA web sitesi

TH (Geçme) Çelik Galeri Bağlarının Çalışma Performanslarının İncelenmesi

Investigation of the Working Performance of the Steel TH Arches

T. ÜNLÜ

ZKÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

Ö. YILMAZ

ZKÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada, TH (Toussaint-Heintzmann) bağların aksel yük altında çalışma performanslarının incelenmesi için yapılan laboratuvar çalışmalarına yer verilmiştir. Yapılan testlerde, TH bağların iki farklı bağlantı mekanizması olan tırnaklı ve tırnaksız kelepçe düzenekleri kullanılmıştır. Son olarak, test sonuçları irdelenmiş ve TH bağların yeraltı madenciliğinde etkin kullanımına ilişkin bazı önemli hususlar tartışılmıştır.

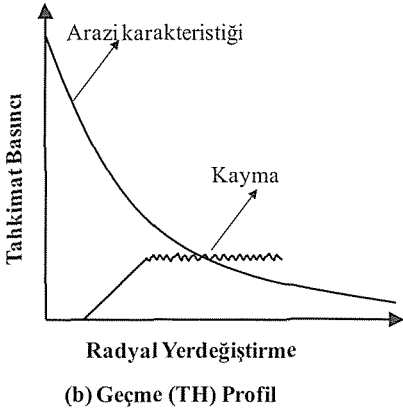
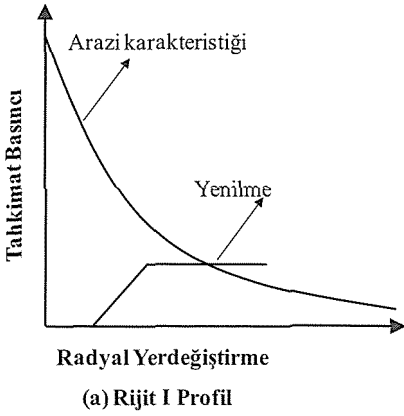
ABSTRACT In this study, a number of laboratory tests have been carried out to investigate working performances of TH (Toussaint-Heintzmann) arches under axial loads. Two different type of clamping mechanisms (i.e. plain and indented) have been employed for performance tests. Finally, results from the tests were given and some important issues have been discussed concerning effective usage of TH arches in underground mining.

1 GİRİŞ

Bilinen en eski tahkimat malzemesi olarak ahşabın kullanımı, günümüz şartlarında, küçük ölçekli maden ocaklarında ve arazi şartlarının düzensiz ve zorlu olduğu madenlerle sınırlı bir alana sahiptir. Ahşap tahkimat genellikle mekanize olmayan ocakların üretim yerlerinde (ayaklarda) ve küçük ölçekli işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Büyük ölçekli işletmelerde ahşap yerini daha çok rijit çelik tahkimata bırakmıştır. I profilden üretilen rijit çelik bağlar, tabaka hareketlerinden kaynaklanan noktasal yükler altında belirli bir yük sınırına kadar elastik, ancak bu limitin aşılması durumunda plastik deformasyon gösteren bir tahkimat türüdür. Diğer taraftan, geçme çelik bağlar (TH bağlar), yük taşıma kapasiteleri aşıldığında iç içe kayarak yeni bir denge durumuna ulaştıklarından, rijit bağlar gibi plastik deformasyona uğramazlar (Şekil 1). Bundan

başka, mukavemet özellikleri karşılaştırıldığında TH profillerin I profile olan belirgin üstünlüğü de bu tür tahkimatin önemini yansıtan diğer bir durumdur.

Bu çalışmada önce, yeraltı madenciliğinde kullanılan tahkimat sistemlerinin (kaya saplaması, püskürtme beton, ahşap ve çelik bağ) kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve bu tahkimat sistemlerinin bazı temel farklılıkları üzerinde durulmuştur. Birçok ülke madenlerinde yaygın olarak kullanılmasına karşın ülkemizde henüz ilgi ve kullanım alanı bulmaya başlayan TH (Toussaint-Heintzmann) bağların çalışma performanslarının incelenmesi için yapılan laboratuvar çalışmalarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Rijit I profili (a) ve TH profilin (b) tipik bir performans eğrisi.

2 KAYA SAPLAMALARI VE PÜSKÜRTME BETON TAHKİMATI

2.1 Kaya Saplamları

Yeraltı açıklıklarının kısa ve uzun süreli desteklenmesinde dünyada yaygın olarak uygulama alanı bulan kaya saplama ve/veya püskürtme beton gibi tahkimat türleri, çalışma prensiplerine göre aktif ve/veya pasif tahkimat elemanları olarak uygulanabilmektedirler. Kaya kütlesi duraylılığını mümkün olan en iyi şekilde sağlamak için kaya saplamları sıklıkla çelik hasır ve püskürtme beton ile birlikte kullanılırlar.

Genişleme başlıklı kaya saplama en çok kullanılan mekanik ankrajlı kaya saplama türü olup, mekanik ankrajlı diğer tüm çeşitlerin temel çalışma prensipleri genel olarak aynıdır. Ucuz olmaları, kurulduktan hemen sonra yük taşımaya başlamaları ve belirli bir torkla sıkılarak gerdirmeye uygulanabilir olmaları, mekanik ankrajlı saplamlarının başlıca avantajları arasındadır. Bu tip saplamlar, özellikle zayıf kayalarda ve patlatma etkisiyle titreşim oluşan formasyonlarda gevşeme eğilimindedirler. Tahkimatın galeri veya taban yolu arımına çok yakın kurulması gerektiği veya zaman içerisinde gerilme durumunda değişiklik olması beklenen koşullarda (ayak ilerlemesi) dolgu saplamlar mekanik ankrajlı saplamların yerine kullanılabilir. Dolgu kaya saplama, herhangi bir mekanik ankraj içermeyen, genellikle nervürlü çelik çubuktan ibaret, kaya kütlesi içerisinde açılan deliğe yerleştirilen ve delik boyunca bir dolgu maddesi (reçine veya çimento) ile delik çeperine yapışması sağlanan bir sağlamlaştırma elemanıdır. Etkili bir kullanım için dolgu saplamlar kaya kütlesinde aşırı bir yer değiştirme olmadan uygulanmalıdır.

Aşırı yük ve gerilmeler nedeniyle çatlayan ve/veya kırılan kaya formasyonlarında mekanik ankrajlı saplamlar ankraj kapasitelerini kaybedebilirler. Bu durumu önlemek için mekanik ankraj sistemi ile dolgu sistem birlikte kullanılabilir.

Kaya saplamlarının uygulandığı kaya kütlesinin aşırı yer değiştirmelere maruz kalması sonucu rijit çelikten imal edilmiş normal bir kaya saplama eğilebilir, kırılabilir veya kayadan kayarak çıkabilir. Bu gibi durumlarda dolgu esnek kablolar daha rijit olan saplamların yerine kullanılabilirler.

Kablolu kaya saplamları, genelde çelikten yapılan değişik boy ve tiplerdeki kabloların çimento dolgusu ile birlikte gerdirmesiz veya gerdirmeli olarak kaya kütlesi içerisinde açılan deliklere yerleştirilmesi esasına göre uygulanmaktadır. Dar galerilerde bile istenilen uzunlukta

uygulanabilir olmalarını dolaylı saptama boyu tasarımıda sorun yaratmaz.

Kaya saptamaları ile tahkimat teknolojisinde en son gelişmelerin ürünü sürtünme ankrajlı kaya saptamalarıdır. Sürtünme ankrajlı kaya saptamaları çabuk yerleştirilmeleri ve dolguya ihtiyaç göstermemeleri nedeniyle büyük avantaja sahiptir. İki tip sürtünmeli kaya saptaması vardır; "Split Set" ve "Swellex". İki tipte de kaymaya karşı sürtünme tepkisi delik duvarına uygulanan radyal kuvvetle sağlanır. Sürtünme ankrajlı saptamalar hem saptama boyunca delik yüzeyine karşı radyal bir kuvvet uygular, hem de bu kuvvet ile oluşan sürtünme direnci ile ankraj sağlar.

Kaya saptamalarının kullanılmasında dikkat edilmesi gereken husus, kaya saptamalarının kullanılmasıyla artan eğilme dayanımının tavan kirişi üzerine fazladan bir tabaka yükü oluşturabilmesidir. Kiriş artan eğilme dayanımı nedeniyle çekme modunda yenilmeyebilir ancak kirişin her iki ucunda kesme modunda yenilebilir. Bu durum, açıklığın bir ya da her iki üst kenarından düşey veya düşeye yakın bir şekilde yukarı doğru oluşan ve ilerleyen bir çatlak oluşmasıyla başlar. Bu çatlak kaya saptamalarının yatay ankraj yüksekliğinden ve/veya zayıf tabakalaşma düzlemlerinden daha üst bir seviyeye uzandığında kütleli bir tavan düşmesi gerçekleşmektedir. Bazen daha uzun saptama kullanımı sadece düşen kaya yüksekliğini arttırmaktadır. Bu durumlarda galeri köşelerine yakın yerlerden yan duvar içine doğru eğimli saptamalar da kullanılabilir. Bu saptamalar olası kesme yenilmelerine karşı tavan kirişine ilave destek sağlamaktadırlar (Peng, 1986).

2.2 Püskürtme Beton

Esas uygulama alanı yeraltı açıklıklarının tahkimatı ve şev kaplaması olan püskürtme beton teknolojisi, kazı yüzeyine açılır açılmaz uygulanması ve yüksek uygulanma hızına sahip olması gibi özellikleri nedeniyle, geleneksel betona göre daha ekonomiktir.

Çelik hasır donatının yerleştirilmesi için gereken uzun zaman alıcı işlemlerin azaltılması, hatta ortadan kaldırılması için

püskürtme betona lif malzemeler eklenir. Özellikle delme-patlatma yöntemi ile açılan tünel ve galerilerde çelik hasır donatının kayanın girintili çıkıntılı olan düzensiz yüzeyine tutturulması ve yerleştirilmesi oldukça zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Püskürtme betonda lif kullanıldığında çelik hasıra gerek kalmadığı için malzeme, zaman ve işçilikten tasarruf edilmektedir.

Püskürtme betonun tek başına bir tahkimat olarak kullanıldığı uygulamalar çok enderdir. Bu yüzden, yalnızca püskürtme beton tahkimatını göz önünde bulunduran tasarımlar çok azdır.

Geçici tahkimat uygulamalarında temel amaç; tünelin veya galerinin yeni kazılan kısmının, arazinin kendini tutma süresi içerisinde desteklenmesidir. Ancak, püskürtme beton yapılan tünel veya galerilerde, yüzey hazırlanması (kavlak düşürülmesi, yüzeyin temizlenmesi) işlemleri püskürtme beton performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Püskürtme beton kuru, tozlu veya donmuş kaya yüzeyine doğrudan uygulanmamalıdır. Çalışılacak alan genellikle hava-su jeti ile temizlenerek kırılmış kaya ve tozlar yüzeyden temizlenir. Nemli kaya püskürtme betonun ilk katının yapışması için iyi bir yüzey oluşturur (Hoek, 2007).

3 ÇELİK GALERİ TAHKİMATI

Kaya saptamaları ve püskürtme beton gibi tahkimat sistemleri genelde, galeri ve/veya tünel arınında, geçici/kalıcı tahkimat olarak uygulamak için çok uygundur. Bununla birlikte, yeraltında karşılaşılan ağır tavan koşullarında (tabanyolları vb.) daha güvenli bir tahkimat sisteminin mümkün olan en çabuk şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu tip kalıcı tahkimat sistemlerinde ahşap veya çelik kullanılmaktadır. Kaya saptamaları ile birlikte çelik bağ uygulamaları da bu şartlarda uygulanan yöntemlerdendir.

19. yüzyılın ortalarında yeraltı tahkimat malzemesi olarak çelik kullanılmaya başlanırken 20. yüzyılın başlarında tahkimata uygun özel profiller üretilmiştir. 1924 yılında eklemeli "moll" bağları uygulanmaya

başlanmış ve 1931 yılında trapez bağlardan kemerli (kavisli) bağlara geçiş yaşanmıştır. T-H geçme bağ profili ise 1932 yılında yeraltı kömür madencilğinde kullanılmaya başlanmıştır (Heintzmann, 19..).

Tahkimat malzemesi olarak çelik kullanımının ahşaba göre başlıca avantajları ve dezavantajları şunlardır;

- ✓ Homojen ve izotropik bir malzemedir.
- ✓ Young Modülü büyüktür.
- ✓ Yapısındaki kusurlar diğer malzemelere kıyasla daha azdır.
- ✓ Dayanımı, şekli ve boyutları istenilen şekilde imal edilebilir.
- ✓ Doğal koşullardan etkilenmesi çok azdır (ısı nem zaman).
- ✓ Şekli bozulduğu zaman tekrar düzeltilerek kullanılabilir.
- ✓ Birim dayanımın maliyeti ahşaba kıyasla düşüktür.
- * İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- * Korozyon etkilerine açıktır.
- * Taşınması kurulması, sıkılanması zahmetli olup özen gerektirir.
- * Şekillendirilmesi genellikle ocak dışında olup özel bağlantı eleman ve düzenekleri gerektirir.

3.1 Rijit Galeri Tahkimatı

Rijit çelik bağlar, tabaka hareketlerinden kaynaklanan yükler altında belirli bir yük sınırına kadar şekil değiştirmeyen, ancak bu limitin aşılması durumunda plastik deformasyon gösteren bir tahkimat türüdür. Genellikle maden açıklıklarının kalıcı tahkimatı için kullanılırlar. Bunlar açıklığın şekline göre dörtgen, kavisli (kemerli), elips veya dairesel kesitlerde olabilirler. Pratikte yaygın olarak kullanılanlar, dörtgen şekilli trapez bağlar ile kavisli rijit çelik bağlardır.

İyi bir tahkimat sisteminin görevi kaya kütleşi aşırı deformasyona uğramadan oluşan konverjansı kontrol etmektir(kayanın kendi kendini taşınmasına yardımcı olma prensibi). Genel olarak kavisli tahkimat şekli trapez tahkimat şekline oranla daha duraylı bir yapıdadır. Bununla birlikte, damar yapısına uygun olan taban yollarında, özellikle sağlam tavan şartlarında, trapez kesit şeklinin daha uygun olduğu ileri sürülmektedir. Trapez

bağlar ağaç bağlara benzer bir şekilde, ray veya I profilindeki çeliklerin kesilip bir biri üzerine pabuç adı verilen bağlantı parçaları ile tutturularak uygulanmaktadır.

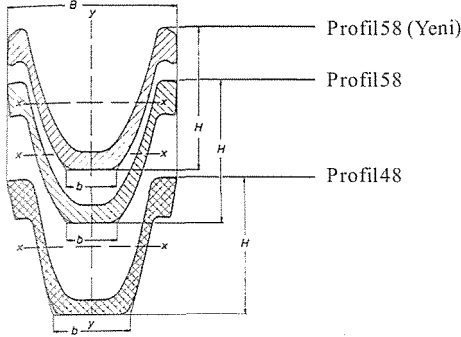
Kavisli rijit çelik bağlar, I ve H profilindeki çeliklerin kemer şeklinde bükülmesiyle elde edilmektedir. İki, üç veya dört parçalı kavisli elemanlar çoğunlukla yarı dairesel şekilde oluşturulurlar. Bu bağlarda segmentler, pabuç adı verilen, profilin yanakları içine giren veya profili üstten kavrayan bir çift kalın saç parçasıyla birleştirilirler. Pabuçlar bağa civata-somun veya perno-kama elemanları yardımıyla bağlanırlar. Kavisli rijit bağlarda en zayıf kesimler profillerin bu bağlantı yerleridir. Pabuçlar zorlanmalar karşısında deformasyona uğrayıp çelik bağ parçaları arasındaki bağlantının yitirilmesine sebep olabilmektedir.

Galeri tahkimatında çelik bağın yük taşıyacak şekilde kaya ile temasının sağlanması gerekmektedir. Çelik bağları birbirine irtibatlandırmak için bağlar arasına yuvarlak direklerden hazırlanmış ahşap veya çelik fırçalar yerleştirilmektedir. Çelik bağ ile çevre kaya arasındaki boşluğun doldurulması ve gevşeme gösteren çevre kayacın açıklığa doğru akmasının önlenmesi için daire veya yarım daire kesitli direklerden oluşan ahşap kama veya sürenler kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, tavanda oluşabilecek geniş büyük boşluklar ise domuzdamı direkleri ile doldurulmaktadır.

3.2 Esneyen Çelik Bağlar (TH Bağlar)

Almanya'nın Bochumer Eisenhütte'de 1932 yılında, ilk defa Heinrich Toussaint ve Egmont Heintzmann tarafından tasarılan bu tip bağlar (kısaca TH geçme bağ), özellikle zor madencilik koşullarına uyum sağlaması nedeniyle madencilik endüstrisindeki yeraltı açıklıklarının desteklenmesinde yurt dışında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk üretimler güç arazi koşullarında (yüksek basınç ve deformasyonlar) denenmiş ve bu uygulamalardan elde edilen tecrübelerle 1948 ve daha sonra da 1958 yılında dayanım özelliklerinin ve çalışma performanslarının

geliştirilmesi amacıyla tekrar tasarımı yapılmıştır. 1970 yılında, "TH 58" modeli üzerinde yapılan değişikliklere, daha ağır parçaların birbiri üzerinde kayabilme kabiliyetlerinin artırıldığı son tasarımla, TH bağların çalışma kabiliyetleri oldukça geliştirilmiştir. Şekil 2'de farklı TH profillerin özellikleri ve Şekil 3'de yük deformasyon davranışları gösterilmektedir.



Profil Tipi (kg/m)	Tip	Eski					
		13	16	21	25		
Yükseklik H (mm)		85	86	118	118		
Genişlik B (mm)		98	98	124	135		
	b (mm)	36	36	35	38		
Kesit alanı (cm ²)		16	20	27	32		
Kesit ağırlığı (kg/m)		13	16	21	25		
Eylemsizlik I _{xx}		137	176	341	484		
Momentleri (cm ⁴) I _{yy}		150	196	398	560		
Mukavemet W _{xx}		32	40	61	80		
Momentleri (cm ³) W _{yy}		31	40	64	83		
Profil Tipi (kg/m)	Tip	Yeni					
		29	34	36	40	42	44
Yükseklik H (mm)		124	136,5	138	145	146,4	147,8
Genişlik B (mm)		150,5	171	171	172	172	172
	b (mm)	44	50,5	50,5	50	50	50
Kesit alanı (cm ²)		37	43	46	51	53	56
Kesit ağırlığı (kg/m)		29	34	36	39,9	42	44
Eylemsizlik I _{xx}		616	892	969	1125	1197	1265
Momentleri (cm ⁴) I _{yy}		775	1205	1265	1446	1505	1564
Mukavemet W _{xx}		94	128	136	155	164	171
Momentleri (cm ³) W _{yy}		103	141	148	168	175	182

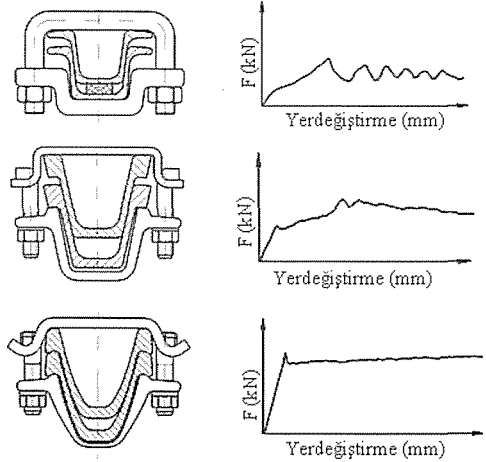
Şekil 2. Farklı TH profillerinin özellikleri (Heintzmann, 19..).

TH bağların I veya H profillere karşı üstünlüğünün en önemli göstergelerinden biri profil kesitindeki her iki doğrultuda da (z-z ve y-y eksenleri) mukavemet momentlerinin (section modulus) çok büyük farklılıklar göstermemesidir (Şekil 4). Bu da bağın yüklenme doğrultularındaki değişimlerden fazlaca etkilenmemesini (bağın olası burkulma riskinin azalması) sağlamaktadır.

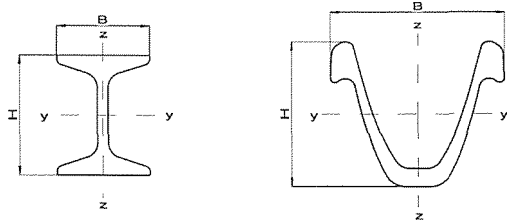
Yaklaşık aynı birim ağırlıktaki (kg/m) I ve H profiller ve TH profiller karşılaştırıldığında bu avantaj açık olarak gözlenmektedir. Örneğin;

$$GI-110 \text{ 24.5 kg/m} \quad W_{xx}=103 \text{ cm}^3 \quad W_{yy}=24.5 \text{ cm}^3$$

$$TH \text{ 25 25 kg/m} \quad W_{xx}=80 \text{ cm}^3 \quad W_{yy}=83 \text{ cm}^3$$



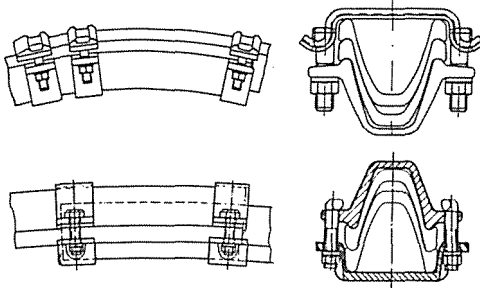
Şekil 3. Farklı TH profillerinin yük-deformasyon eğrileri (Podjadtke et al., 2010).



Şekil 4. I ve TH profil kesitleri.

Ayrıca, kurulma ve sökülme kolaylıkları, bağlantı yerlerinde üstün sağlamlık, aşırı yüklenme ve ani bozulma olmaksızın arına oldukça yakın kurulabilmeleri (özellikle gevşek arazi şartları için olumlu bir durum), açılan boşluğa göre ayarlanarak yan cidarlara maksimum temas sağlanmasının mümkün olması, iç içe geçtikçe (kaydıkça) dayanımlarının artması, galeri kesitinde düzgün daralma sergilemeleri bu bağların diğer avantajlı yönlerindedir. Geçme bağlar kömür madenciliğindeki ağır çalışma şartlarının yanı sıra diğer yeraltı madenlerinde, tünellerde, hidroelektrik santralleri için açılan açıklıklarda vb. yerlerde başarıyla uygulanmaktadır.

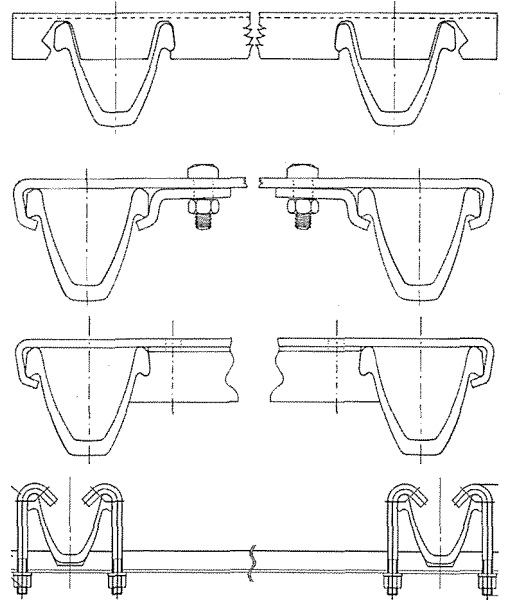
Çok parçalı simetrik, asimetrik, içe büküm /dışa büküm veya rijit tiplerde de tasarımılandırılmaktadırlar (Şekil 5). Profil özelliklerinin diğer çelik galeri bağlarına üstünlüğü bu bağların her geçen gün kullanımını daha da yaygınlaştırmaktadır.



Şekil 5. İçe ve dışa bükülmüş TH profiller (Heintzmann, 19..).

TH bağların başlıca aksesuarları bağlantı kelepçeleri ve bağların birbiriyle irtibatlı çalışmasına olanak veren fırça düzenekleridir. Bağların çalışma performansının artırılmasını sağlamak amacıyla çok çeşitli kelepçe ve fırça tasarımları gerçekleştirilmiştir. Fırçalar I profil kesitli bağların zayıf eksenleri yönünde burkulmasını önlemede de oldukça önemli bir görevi olmasına karşın, TH bağlarda bu derece etkili değildir. Şu ana kadar geliştirilen fırça türleri (Şekil 6) bağ aralıklarını düzenlemede, bağların galeri

eksenine dik pozisyonda kalmasına ve bağ arkası dolgu malzemesine destek vermesi gibi hususlarda tahkimata yardımcı olmaktadır. Profil kesiti yapısı itibarıyla bu tür bağlarda kullanılacak fırçalar sadece iç veya dış yüzeyden değil, her iki yüzeyden bağı desteklerlerse daha etkin görev üstlenebilirler.

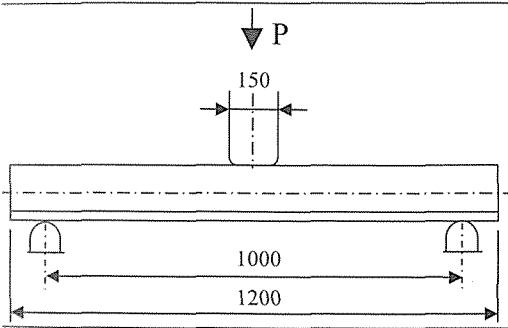
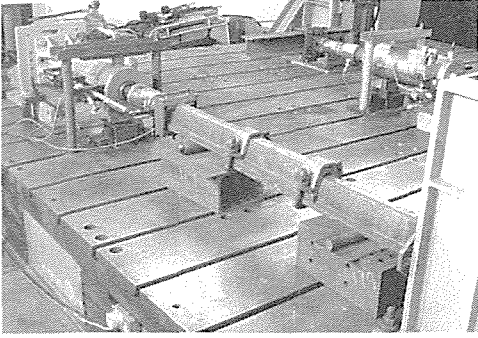


Şekil 6. Bazı TH fırça türleri (British Steel Corporation, 1985).

4 TH BAĞLARIN ÇALIŞMA PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Geçme bağ profillerini birbirine bağlayan kilit düzenekleri, genellikle pabuçları ve sıkıştırmayı sağlayan civatalar veya nadir olarak da kamalardan oluşur. T-H bağlarında istenilen amaca ulaşmanın en önemli noktası, bu kelepçe düzeneklerinin tasarımı ve amaca uygun olarak sıkıştırılmasıdır. Uygun bağlamada üst üste binme (çakışma) mesafesi (overlap distance) ve civatalara uygulanacak tork değerleri kritik faktörlerdendir. Düşük torka göre ayarlanmış bağlantılarda bağların yük taşıma kapasitesi (kaymanın istenilen yük seviyesinden daha

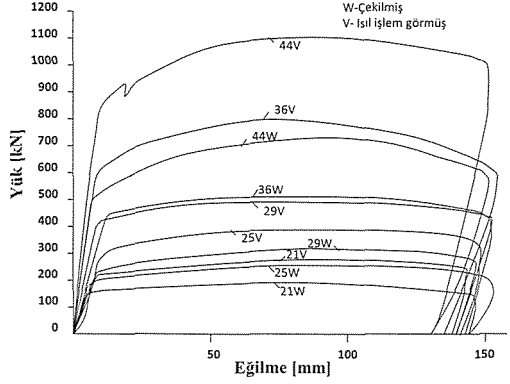
erken oluşması) azdır. Düşük torklmalarda, tabaka yüklerinde esneyen bağlarda erken kapanmaya yol açmak ve galeri kesitinde istenmeyen erken daralmalar oluşmaktadır. Aşırı torklama da kelepçelerin esneme kabiliyetini bozarak parçaların birbirinden ayrılmasına ve bağlantı elemanların yenilmesine veya bağın kaymadan plastik deformasyonuna neden olmaktadır. Bu nedenle, bağlantı mekanizması tasarımında cıvatalara uygulanan tork ile esneme yükü arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Bu ilişki DIN-21530-4-2003-05 (2003) standartlarında belirtilene benzer bir düzenek ile laboratuvar şartlarında gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. TH bağların laboratuvarında (kayma-üste, eğilme altta) test edilmesi (British Steel Corporation, 1985).

Diğer taraftan bağların eğilme dayanımı da kayma yükü kadar önemlidir. Bu tür bağların eğilme dayanımının artırılması için gerçekleştirilen yüzey sertleştirilmesi de eğilme dayanımını etkileyen önemli

faktörlerdendir (Şekil 8). Ancak sertleştirilen malzemelerin kırılabilirliği de artacağından, bağların tekrar düzeltilip kullanılmasında bu hususa dikkat edilmelidir.



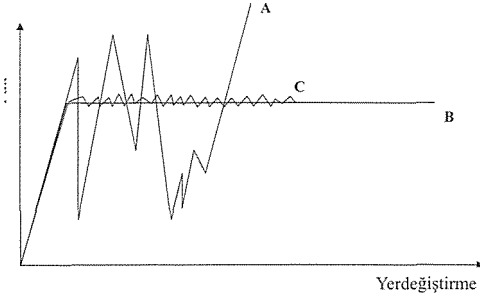
Şekil 8. TH profillerin yüzey sertleştirilmesi ile eğilme dayanımının artırılması (Heintzmann, 19..).

TH bağlarda, amaca uygun olarak tasarımılandırılmış bir kelepçe sisteminde, profil ile kelepçeler birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Kelepçeler geniş sürtünme yüzeylerine izin verebilecek, yüksek taşıma gücüne sahip olmalı ve uygun ve dengeli şekilde torklanmalıdır (çapraz sıkılama). Ayrıca kullanılacak kelepçeler bağın dayanımına uygun kalınlıkta ve dirençte olmalıdır. Bu şartlar sağlandığında;

- Bağlar hep aynı yük altında düzenli olarak esner (kayar),
- Tahkimat kurulduktan sonra kelepçeler bakıma ihtiyaç duymadan otomatik olarak çalışır,
- Bozuk ortamlarda güvenli ve düzenli (uniform) bir esneme sağlar.

Kelepçeler torklanıp sıkıldıktan sonra cıvata ve somunlar gres yağı ile yağlanır ise olumsuz ortam şartlarında korozyondan korunmuş olacak ve söktüm sırasında kolaylık sağlayacaktır. Kötü tasarlanmış veya sıkılmış kelepçe aşağıda Şekil 9 (A) da gösterildiği gibi davranacaktır. İdeal kaymanın (B) de gösterildiği gibi olması

beklense de, pratikte kayma 10 mm/min yüklemde (DIN-21530-4-2003-05) çok küçük dalgalanmalara (C) deki gibi gerçekleşmektedir. Bu tür kayma da kabul edilebilir sınırlar içinde ve ideale yakındır.



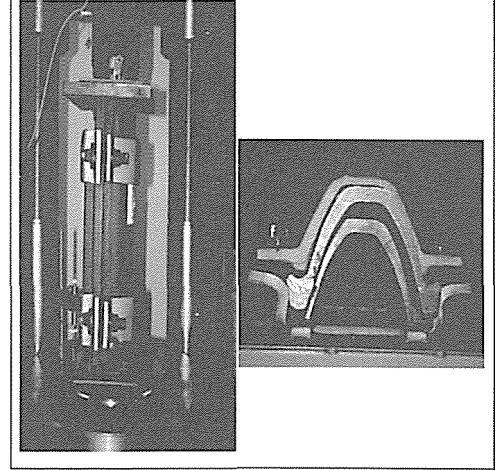
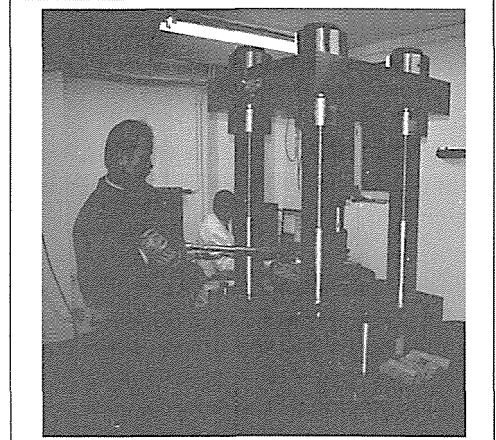
Şekil 9. TH bağlarla ilişkin gerilme yer değiştirme davranışı.

4.1 Deneysel Çalışmalar

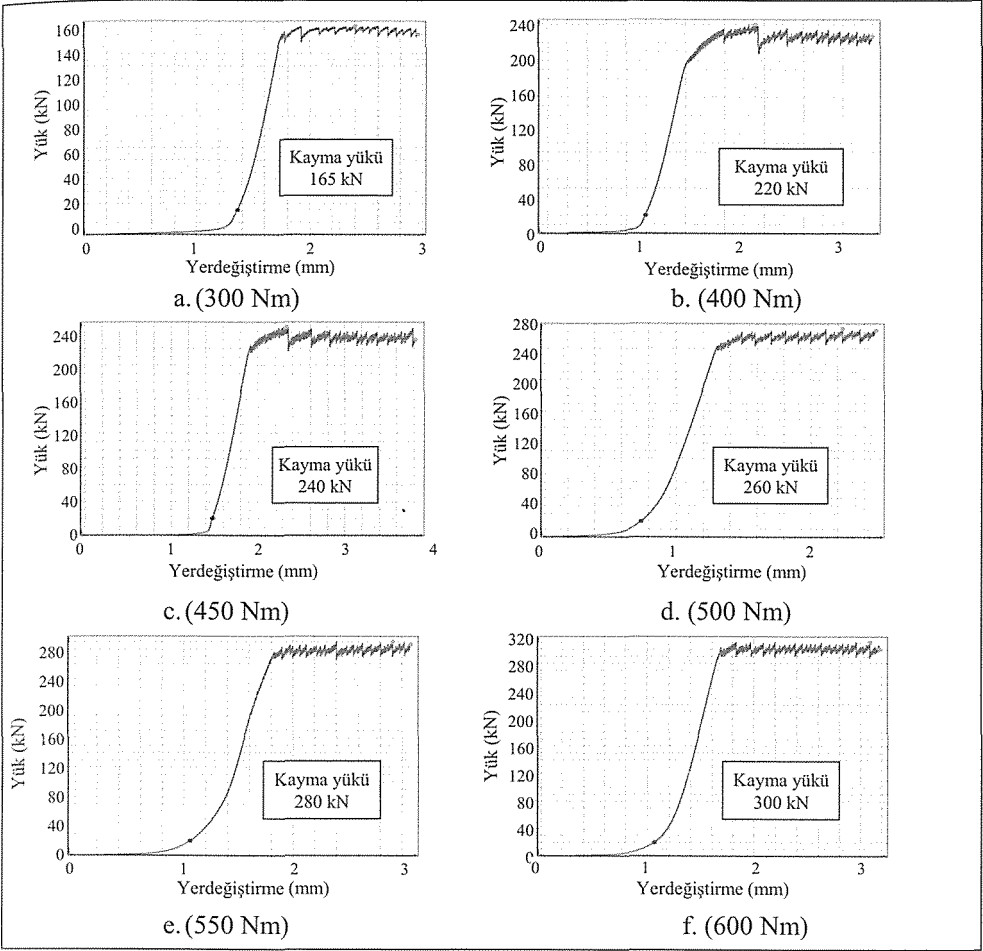
Bu çalışmada, TH bağların bağlantı elemanlarından olan tırnaklı ve tırnaksız kelepçe düzeneklerinin çalışma performansları laboratuvar ortamında incelenmiştir (Şekil 10). Bu bağlamda, TH bağ kelepçeleriyle birleştirilmiş düz (kavissiz) bağlantılı TH profilleri üzerinde, 300 Nm den 600 Nm tork değerlerine kadar değişen aralıklarda sıkılanan bağ parçaları üzerinde yavaş (2 mm/dak) ve hızlı (10 mm/dak) yüklem testleri yapılmıştır. Deneyler için 350 MN kapasiteli bilgisayar destekli servo kontrollü, elektro-hidrolik katı yüklem makinesi kullanılmıştır. Deney deformasyon kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. DIN standartlarına göre gerçekleştirilen testlerde bağ elemanlarının yük-yer değiştirme davranışları gözlenmiştir.

Şekil 11-12'de tırnaklı kelepçelere ait 2 ve 10 mm/dk hızında yapılan deney sonuçları farklı tork değerleri için sunulmuştur.

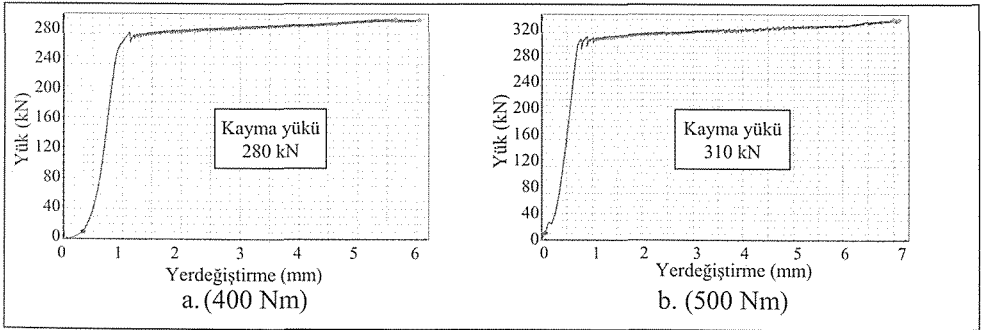
Şekil 13'de ise tırnaksız kelepçelere ait 2 mm/dk hızında yapılan deney sonuçları farklı tork değerleri için sunulmuştur.



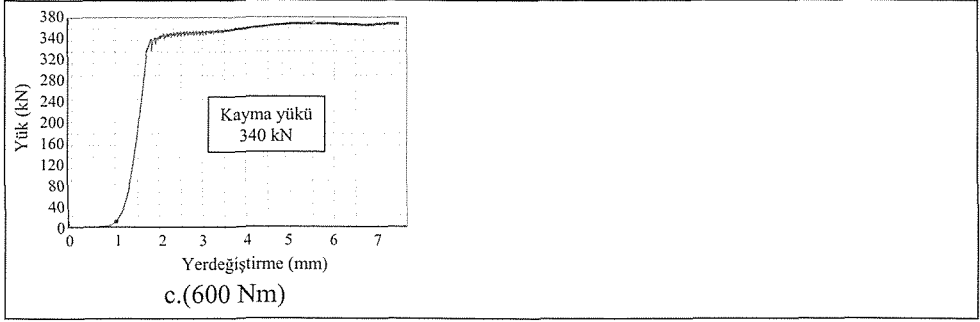
Şekil 10. Laboratuvar ortamında TH bağların test edilmesi.



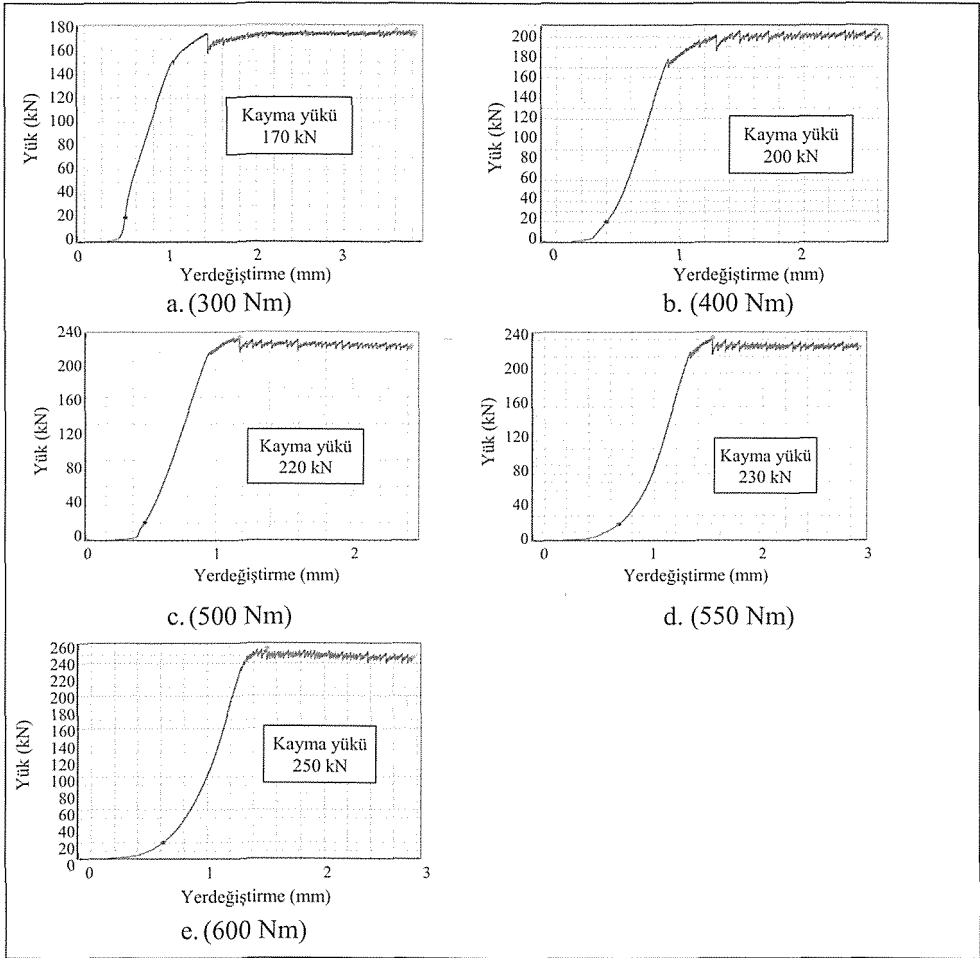
Şekil 11. Farklı tork değerlerinde sıkılan 2 mm/dk yerdeğiştirme hızında yapılan tırnaklı kelepçe testleri.



Şekil 12. Farklı tork değerlerinde sıkılan 10 mm/dk yerdeğiştirme hızında (DIN standartlarına göre) yapılan tırnaklı kelepçe testleri.



Şekil 12. (devam ediyor).



Şekil 13. Farklı tork değerlerinde sıkılan 2 mm/dk yerdeğiştirme hızında yapılan tırnaksız kelepçe testleri.

5 SONUÇLAR

Tırnaklı ve tırnaksız kelepçeler üzerinde gerçekleştirilen kayma testi sonuçları grafikler halinde verilmiştir. Tırnaklı kelepçeler iki farklı yerdeğiştirme hızında yüklenerek yerdeğiştirme hızının (yavaş ve hızlı yükleme) kayma direnci üzerindeki etkilerinin görülmesi sağlanmıştır. Yapılan testlerden elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Tork değerleri arttıkça kayma değerleri de buna paralel olarak artış göstermektedir. Bu da pratikte kaymanın başladığı an tahkimata etkiyen kaya yükünün tahmini açısından önemlidir.
- Aynı sıkılama (tork) değerlerinde, tırnaklı kelepçeler ile tırnaksız kelepçeler arasında bir miktar farklılık görülse de (örn. 600 Nm tork değerinde, tırnaklı 300 kN, tırnaksız 250 kN gibi) bu farklılığın her zaman olabileceğini kanıtlamak için çok sayıda tekrara gereksinim vardır. Pratik açıdan bakıldığında tırnaksız kelepçelerde kayma sırasında yer değıştirme gözlenmemiştir (birbirlerine uzaklıkları ve pozisyonları sabit kalmıştır).
- Hızlı yüklemelerde beklenildiği gibi dalgalanmalar azalmış ve kayma yük değerleri artmıştır (Tırnaklı kelepçeli 2 mm/dk ve 10 mm/dk yükleme hızları). Ancak ocak içerisinde hızlı yüklemekten ziyade yavaş ve zamana bağlı yük artışının beklenmesi daha gerçekçi olacaktır. Farklı yükleme hızlarında testler devam ettirilip yükleme hızının kayma direncine etkisinin araştırılması yerinde olacaktır.
- Tırnaklı kelepçeler düzenli aralıklarda kelepçelemeyi sağlamada kolaylık sunmaktadır.

Sonuç olarak yapılan testlerde tutarlık ve beklenen davranışlar gözlenmiştir. Ancak, testlerin düz parçalar üzerinde yapıldığı göz ardı edilmemelidir. Bindirilen parçalar (overlap) eğimlidir bu yüklemeye bağ eksenine dik kuvvetlerin etkisi de mevcuttur. DIN standartlarının bu konuda bir isteği olmamakla birlikte, tüm bağ üzerinde gerçekleştirilecek (full scale tests) denemelerle arazi yükleme koşulları

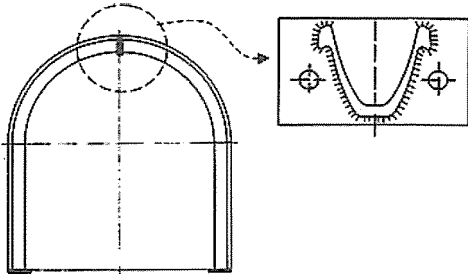
benzeştirilerek, daha da gerçekçi sonuçlar elde edilebilecektir. Deney sonuçlarına ilişkin detaylar grafikler üzerinden elde edilebilir (tahkimat katılığı, kayma dirençleri vb.).

Bazı yeraltı TH uygulamalarında, iki kelepçe ile desteklenen yaklaşık 5 m uzunluktaki doğrusal TH parçalarının yüklenme sonrasında başlangıç tork değerlerinden bir miktar aşağıya düştüğü gözlemlendiği belirtilmektedir (Yazıcı, 2010). Bu durumlarda, direklerdeki tork değerlerini düzeltmek için tekrar torklama gerekmektedir. Bu da zaman ve işçilik israfına neden olmaktadır. Laboratuvar deneylerinde kısa elemanlar üzerinde gerçekleştirilen testlerde bu tür tork düşmesi değerleriyle karşılaşılması, olayın nedeninin bağdaki burkulma nedeni ile, bağ parçalarını birleştiren kelepçeler üzerinde oluşan deformasyonlar sonucu veya yeterli kalınlık ve dayanımda olmayan malzeme kullanımından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

6 ÖNERİLER

Dayanım özellikleri göz önüne alındığında, I profilden elde edilen çelikler, tahkimat malzemesi olarak boyunduruk işlevini etkin olarak yerine getirebilirler ancak dikme olarak kullanıldıklarında burkulma dayanımı açısından eşdeğer ağırlıklı TH profile göre oldukça zayıftırlar. Diğer bir deyişle, yaklaşık aynı ağırlığa (kg/m) sahip TH ve I profillerden mukavemet özellikleri daha iyi olan TH yerine I profil malzemeyi bağ olarak kullanmak çok kötü bir seçim olacaktır. Kavisli veya kavissiz bağ uygulamalarında, ülkemizde I profilin neden bu denli yaygın olarak kullanıldığını anlamak mümkün değildir. Bunun nedeninin yerli üretim teknolojisinin üretim çeşitliliğindeki zayıflığından kaynaklandığı söylenebilir.

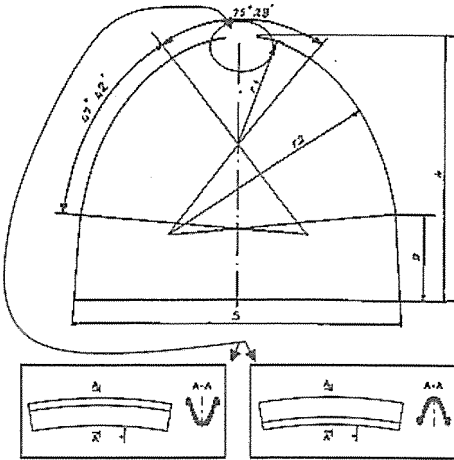
TH bağlar I profil bağlara benzer şekilde rijit bağ olarak da kullanılabilirler. Bu durumda I profil bağlara göre çok az daha ağır (kg/m) ancak dayanım açısından çok daha verimli bir şekilde hizmet verebilirler. Literatürde bu tür üretimler de mevcuttur (Şekil 14).



Şekil 14. TH profilin rijit tahkimat olarak kullanımı (Heintzmann, 19..)

TH bağların rijit çelik tahkimat olarak kullanılmasına ilişkin diğer bazı öneriler şu şekildedir;

Kavisli TH bağlar içe veya dışa bükümlü iki parçalı ve üstten TH eklemli olarak da üretilebilir. Üst parça her bir bağ parçasına tırnaklı kelepçelerle tutturulabilecek şekilde ancak yeterince kısa tutulmalıdır (Şekil 14). Bu üst parça hem bağda bir miktar yer değiştirmeye izin verecek şekilde kayıcı hem de pabuç vazifesini verecek şekilde çalışacaktır. Eğriliği (radius) iki ana parçaya uyumlu olacak şekilde olmalıdır.



Şekil 14. TH bağların üst bağlantı parçası ile birleştirilmesi.

Terse bükülmüş TH bağın arkasını sıkılamak (kamalamak ve/veya takozlamak) daha kolaylık sağlayacak şekilde görünmektedir.

Ancak, bağın gerçek performansının belirlenmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi (düz bükülmüş profil ile) için yükleme testleri yapılması gerekmektedir. Uygulama kolaylığı açısından da iki türün yeraltında denenmesi uygun olacaktır. Kamalamanın cıvatalara bağlı olmaması kısa süreli işlerde (tabanyolu gibi) daha doğru bir işlem olarak görünmektedir. Kolay kurulma sağlar. Bu tipte olanlar tekrar kullanılabilir ancak arada sıkıtma yerlerinde aşırı yükleme sonucu deformasyon oluşup bozulma riskleri mevcuttur. Cıvatalı tipler de kullanılabilir (sökülüp tekrar kullanımı yapılabilir). Bağın tabana batma riski taşıyan zayıf taban koşullarında bağ pabuçları da tahkimata yardımcı olmak amacıyla kullanılabilir.

Teşekkür: Yazarlar, laboratuvar deneylerinin gerçekleştirilmesinde malzeme ve alet temini için verdikleri destekten dolayı Özkan Demirçelik A.Ş. ye teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- British Steel Corporation (1985) General Steel Group, Underground Roadway Supports, BSC S 801 3.6.85.
- Heintzmann (19..) Bochumer Eisenhütte Heinzmann GmbH&CoKG.
- Hoek, E. (2007) *Practical Rock Engineering*, Course Notes, http://download.rocscience.com/hoek/pdf/Practical_Rock_Engineering.pdf
- DIN-21530-4-2003-05 (2003) Madencilik tahkimat çalışmaları, DIN Demir ve Çelik Standartları Komisyonu.
- Peng, S.S. (1986) *Coal Mine Ground Control*, Second Edition, John Wiley & Sons, Canada, 491 pp.
- Podjadtko, R., Witthaus, H. and Breedlove, J. (2010) Development in steel roadway support - a track record, 27th International Conference On Ground Control In Mining, 8 pp.
- Yazıcı, O (2010) Kişisel görüşme, *Park Teknik AŞ.*, Çayırhan, Ankara.

Farklı Kömürleşme Derecesine Sahip Kömürlerde Düşük Sıcaklık Oksidasyonu

Low-Temperature Oxidation of Coals Having Different Ranks

K. Barış

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

V. Didari

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Bu çalışmada; sıcaklık, tane boyutu, kömür petrografisi ve kömürleşme derecesinin düşük sıcaklıkta oksidasyon üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla dört farklı kömür örneği üzerinde oksidasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu etkilerin gözlemlenmesi amacıyla bir gaz kromatografi vasıtasıyla CO ve CO₂ yayımları tespit edilmiş ve oluşum oranları hesaplanmıştır. Ayrıca, oksidasyon gelişiminin gözlenmesine yönelik olarak CO/CO₂ oranları da hesaplanmıştır. Kömür örneklerinin petrografileri detaylı olarak incelenmiş ve örne yapularının oksidasyona etkileri araştırılmıştır.

Deneyler sonucunda sıcaklığın etkisi net olarak gözlemlenirken, oksidasyon ürünlerinin oluşumlarının özellikle düşük sıcaklıklarda tane boyutundan bağımsız oldukları saptanmıştır. Petrografik analizler sonucunda ise inertinit grubu maserallere en yüksek sahip olan örneğin daha kolay okside olduğu dolayısıyla daha fazla CO ve CO₂ oluşumuna neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, daha yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerin daha kolay okside olduğu, ancak bu örnekler için oksidasyon zamanla azaldığı saptanmıştır. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürler için ise, özellikle yüksek sıcaklıklarda, oksidasyonun ilerlediği görülmüştür.

ABSTRACT In this study, oxidation tests were performed at low-temperatures for four coals to determine the effect of temperature, particle size, coal petrography and rank on low-temperature oxidation. In order to observe these effects, CO and CO₂ emissions were measured and corresponding formation rates were calculated. Moreover, to observe the progress in oxidation CO/CO₂ ratio was also calculated. Petrography of coal samples were analysed in detail and its effect on the process was investigated.

The effect of temperature was observed clearly whereas it was found that the formation rates of CO and CO₂ are independent of particle size especially at lower temperatures. Petrographic analysis showed that the coal sample having the highest inertinite group macerals was oxidized more easily thus yielding more CO and CO₂. It was assessed that relatively higher rank coals were oxidized more easily but oxidation diminishes with time. On the contrary, oxidation progresses with time for lower rank samples especially at relatively higher temperatures.

1 GİRİŞ

Kömürün düşük sıcaklıkta oksidasyonu, kömür ve oksijen arasındaki reaksiyonun kendiliğinden ısınma ve kendiliğinden yanmaya neden olması nedeniyle literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılan bir

konudur (Polat ve Harris 1983, Kaji vd. 1985, Clemens vd. 1991, Itay vd. 1988, Krishnaswamy 1996, Wang vd. 1999, 2002, 2003). Temel olarak, güvenlik sorunlarına neden olmasının yanı sıra, oksidasyon kömürün moleküler yapısında değişimlere

sebepl olmakta, kömürün kütlesinde ve elementer bileşimi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Kömürün kendiliğinden yanması endüstride; kömürün çıkarılması, taşınması ve depolanmasında ciddi sorunlara yol açmaktadır. Çin'de her yıl 100-200 milyon ton yüksek kalite taşkömürün kendiliğinden yanma sebebi ile kaybedildiği ve kendiliğinden yanma nedeniyle oluşan yangınların dünya CO₂ yayılımlarına %2-3 oranında katkıda bulunduğu bildirilmektedir (ITC 2011). Ülkemizde de hem linyit hem de taşkömürü madenciliklerinde kendiliğinden ısınma ve yanma problemleri ile sıklıkla karşılaşmaktadır.

Kömürün düşük sıcaklıkta oksidasyonu, kendiliğinden yanmaya neden olan temel etken olduğundan, kömür ile oksijen arasındaki reaksiyonun anlaşılması kendiliğinden yanmanın önlenmesi açısından oldukça önem kazanmaktadır. Wang vd. (2003) kömürün düşük sıcaklıkta oksidasyonunun (< 100°C) oldukça karmaşık bir süreç olduğunu ve dört temel basamak içerdiğini bildirmişlerdir. Bu basamaklar; (i) oksijenin kömür taneciklerinin yüzeyine transferi, (ii) kömür ve oksijen arasındaki kimyasal reaksiyon, (iii) ısı oluşumu ve (iv) gaz ürünlerin yayılımıdır. Kömürün heterojen yapısından kaynaklı olarak kömürlerin kimyasal yapısında ve fiziksel özelliklerindeki çeşitlilik ve kömürün gözenekli yapısı da olayın karmaşıklığını arttırmaktadır.

Düşük sıcaklıklarda kömür ve oksijen arasındaki reaksiyon çeşitli iç ve dış faktörlere bağlıdır. İç faktörler, kömürün bileşimi ve fiziksel özellikleri, oksidasyon geçmişi ve tane boyutu gibi faktörleri içerirken, dış faktörler ise sıcaklık, nem içeriği, oksijenin kısmi basıncı ve gaz ortamın nem içeriğidir.

Bu makalede, oluşan gaz ürünlerin karakteristikleri incelenerek, sıcaklık ve tane boyutunun farklı kömürleşme derecesine sahip kömürlerin düşük sıcaklıkta oksidasyonuna olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, kömür örneklerinin petrografik yapıları incelenerek oksidasyona olan etkileri de ortaya konmuştur.

2 ÖRNEK KARAKTERİZASYONU

Çalışmada iki adet linyit ve iki adet taşkömürü olmak üzere 4 kömür örneği kullanılmıştır. Linyit örnekleri Mengen-İncesu (Bolu) ve Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek 7C/2 panosundan (Kütahya), taşkömürü örnekleri ise Türkiye Taşkömürleri Kurumu'na (TTK) bağlı Amasra (Kalın Damarı) ve Üzülmöz (Acun Damarı) Müesseseleri'nden (Zonguldak) alınmıştır. Örnekler laboratuvara getirildikten sonra -425+212, -212+150 ve -150+106 µm olmak üzere üç farklı tane boyutunda sınıflanmıştır. Metin içinde bu boyut grupları sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak anılacaktır. Ayrıca, yazımda kolaylık sağlanması amacıyla kömür örnekleri de sırasıyla MEN, GLI, AMS ve UZM olarak adlandırılacaktır. Örneklerin karakterize edilmesi için gerçekleştirilen kısa ve uzun analiz sonuçları Tablo 1'de, petrografik analiz sonuçları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1'den elde edilen veriler kullanılarak örneklerin kömürleşme dereceleri ASTM sınıflandırmasına göre yapılmıştır. Buna göre; MEN ve AMS örnekleri Yüksek Uçuculu C Bitümlü, UZM örneği Orta Uçuculu Bitümlü ve GLI örneği ise Alt Bitümlü B olarak tanımlanmıştır. Ancak, her ne kadar AMS ve MEN örnekleri aynı kömürleşme derecesine sahip görünseler de saptanan vitrinit yansıtma değerlerine (R_{max}) göre AMS örneğinin (R_{max}: %0,71) MEN örneğine (R_{max}: %0,58) göre daha olgun olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla, örneklerin olgunlukları UZM>AMS>GLI>MEN şeklindedir.

3. DENEYSEL YÖNTEM

Deneylerde kullanılan tüm örnekler, deney öncesi oksidasyonun engellenmesi amacıyla halihazırda çalışan arınlardan yaklaşık 5'er kg'lık bloklar halinde taze olarak alınmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerin boyutları, sırasıyla çeneli ve koni kırıcıda küçültülmüş ve hava sızdırmaz bir bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütülen örnekler daha sonra havasız ortam kabininde azot gazı altında elenmiş, üç boyut grubunda sınıflanmış ve her boyut grubundan 125'er gr'lık örnekler

Çizelge 1. Kısa ve organik elementer analiz sonuçları.

Örnek	Boyut	Kısa Analiz (kuru bazda)				Organik Elementer Analiz (kuru-külsüz)				
		Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Toplam Kükürt (%)	Isıl Değer (kcal/kg)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)
MEN	tüvenan	7,20	48,62	44,18	13,10	6654	60,10	5,12	1,35	14,35
	1	7,06	48,60	44,34	12,60	6665	59,52	5,11	1,36	15,61
	2	7,20	48,44	44,36	13,70	6651	60,51	5,24	1,38	13,22
	3	6,86	48,72	44,42	13,00	6681	60,33	5,23	1,43	14,41
TUNC	tüvenan	25,43	39,08	35,49	1,95	4651	48,75	4,80	1,57	17,82
	1	25,70	38,08	36,22	2,16	4632	50,65	4,54	1,67	15,58
	2	25,43	38,30	36,27	1,60	4660	50,88	4,70	1,74	15,95
	3	27,72	34,64	37,64	1,95	4495	50,09	4,60	1,66	14,29
UZM	tüvenan	5,52	29,03	65,45	0,81	7730	83,17	4,92	1,08	4,69
	1	5,62	28,77	65,61	0,88	7712	81,99	4,95	1,04	5,73
	2	4,79	29,25	65,96	0,83	7788	83,94	4,92	1,15	4,51
	3	4,38	29,13	66,49	0,74	7820	83,47	4,90	1,13	5,53
AMS	tüvenan	27,68	32,21	40,11	0,50	4948	55,56	4,16	0,94	11,34
	1	23,88	33,28	42,84	0,42	5252	60,91	4,49	1,10	9,37
	2	23,57	33,36	43,13	0,44	5276	60,01	4,53	1,09	10,50
	3	23,75	33,44	42,81	0,54	5261	59,52	4,34	1,00	10,99

Çizelge 2. Petrografik analiz sonuçları.

Örnek	MEN			GLI			AMS			UZM		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Boyut Grubu												
Vitrinit (%)	92,7	90,7	94,4	82,9	90,1	91,9	68,7	69,7	71,1	93,2	93,9	92,1
Liptinit (%)	1,0	1,6	0,6	2,8	2,3	1,9	10,9	12,2	8,0	0,3	0,2	0,4
Semi-Fusinit (%)	0,8	1,0	1,4	10,3	5,8	3,5	9,5	6,5	7,2	3,6	3,5	3,6
İnertinit (%)	2,0	1,6	1,0	3,1	1,2	1,9	10,9	11,6	13,7	2,1	2,2	3,7
Pirit (%)	3,5	5,1	2,6	0,9	0,6	0,8	-	-	-	0,8	0,2	0,2
Yansıtma (R _{max}) (%)	0,50	0,51	0,50	0,58	0,58	0,57	0,71	0,71	0,71	1,11	1,10	1,05

hazırlanarak kilitli plastik torbalara konmuştur.

Oksidasyon deneylerinde kullanılan deney seti temel olarak; iç çapı 40mm ve boyu 200mm olan krom-nikelden imal ettirilirmiş bir yanma reaktörü, bir fırın, termçoift, bir oksijen analizörü, gaz ürünlerin ölçülmesi için HP 5987 Series II tipi bir gaz kromatografi, gaz bağlantıları ve vanalardan oluşmaktadır. Deney setine ait detaylı bilgiye yazarların diğer bir çalışmasından ulaşılabilir (Baris vd. 2011). Çalışma için yeni tasarlanan reaktör yaklaşık 150 gr örnek alabilmekte ve 45ml/dk'luk bir gaz debisinde yaklaşık 5,6 dk'luk bir kalma süresi (residence time) sağlamaktadır.

Deneylere başlamadan önce 125 gr'luk örnek havasız ortam kabiniinde azot gazı altında reaktöre konmakta ve fırın içerisine yerleştirildikten sonra 65°C'de 15 saat süreyle azot gazı akışında kurutulmaktadır. Kurutma işlemi sona erdikten sonra fırın sıcaklığı deneyin yapılacağı sıcaklığa getirilmekte ve fırın sıcaklığı ile reaktör içindeki kömür örneğinin sıcaklığının dengelenmesi beklenmektedir. Denge sağlanır sağlanmaz sisteme %99,6 saflıkta ve 45±0,5 ml/dk debide oksijen gazı verilmekte ve deney başlatılmaktadır.

Gaz kromatografında her bir oksidasyon deneyi için arka arkaya 20 analiz yapılmıştır. Her bir analiz 22,5 dakika sürmüş ve dolayısıyla toplam oksidasyon

süresi 450 dakika olmuştur. Oksidasyon deneyleri 40, 60 ve 90°C'de her bir boyut grubu için tekrarlanmıştır. Gaz kromatografi tarafından ppm cinsinden elde edilen CO ve CO₂ yayımları Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak oluşum oranlarına, (kmol/[(kg kömür)(s)⁻¹], dönüştürülmüştür. Ayrıca, oksidasyon ortamındaki değişimlerin değerlendirilmesi için oldukça kullanışlı olan CO/CO₂ oranları da hesaplanmıştır.

$$R_{CO} = \frac{C_{CO}}{W} V_{gaz} \quad (1)$$

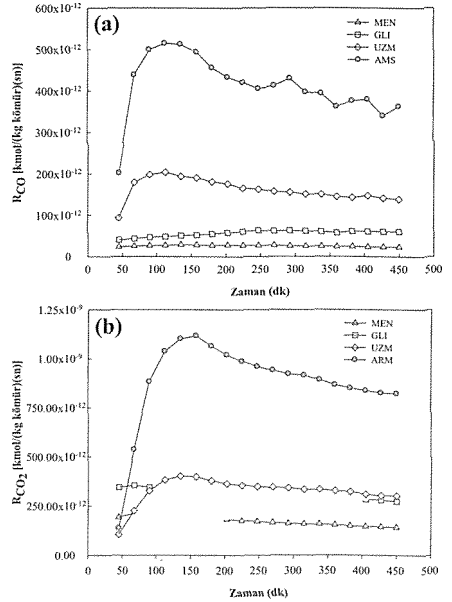
$$R_{CO_2} = \frac{C_{CO_2}}{W} V_{gaz} \quad (2)$$

Burada; C_{CO} ve C_{CO₂} sırasıyla reaktör çıkışındaki CO ve CO₂ konsantrasyonlarını, W kömür örneğinin ağırlığını ve V_{gaz} ise gaz debisini simgelemektedir.

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneylerden elde edilen genel eğilimlerin irdelenmesinden önce bazı temel gözlemlerin sunulması yerinde olacaktır. Bu çalışmada deney sonuçları değerlendirilirken gaz kromatografından elde edilen ilk analizler dikkate alınmamıştır. Bunun nedeni, ilk analizlerde reaktör çıkışında ölçülen oksijen konsantrasyonlarının beklenenden çok düşük olmasıdır. Deneyler sırasında oksijen konsantrasyonunun beklenen seviyeye ulaşması yaklaşık 1-1,5 saat sürmüştür. Temel olarak 45 ml/dk debi ile sistemin kalma süresi (residence time), gaz bağlantıları dahil, yaklaşık 10 dakikadır. Her ne kadar bu süre örnek tarafından adsorbe edilen azotun oksijen ile yer değiştirmesi için yeterli olarak düşünülse de kömür gözeneklerinin halihazırda azot gazı ile dolmuş olması nedeniyle bu süre pratikte daha uzun olmuştur. Ayrıca, gaz debisinin sistemin her noktasında, örneğin kömür yatağının kenarlarında, eşit olmaması da bu süreyi uzatmaktadır.

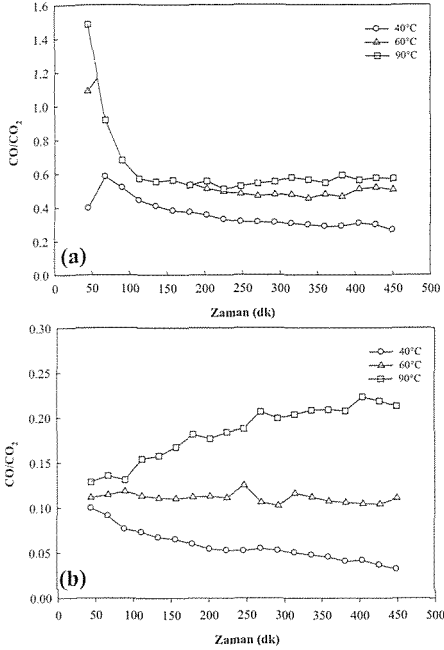
Deneyler sonucunda gözlenen genel eğilimler incelendiğinde elde edilen temel sonuç tüm sıcaklık ve tane boyutlarında CO₂ oluşum oranının CO oluşum oranından yüksek olmasıdır. Bu sonuç oksidasyonunun temel gaz ürününün CO₂ olduğunu göstermiştir. Bu bulgu literatürdeki bazı çalışmalarla da uyumludur (Itay vd. 1988, Wang vd. 2003, Kelemen ve Freund 1990). Deneylerden elde edilen diğer bir eğilim ise deneylerin ilk analizlerinde oksijen konsantrasyonunun beklenen seviyeye ulaşması sırasında, özellikle 90°C'de kömür örneklerinin gösterdiği reaksiyondur. Bu süreçte taşkömürü örneklerine ait CO ve CO₂ oluşum oranları oksijen konsantrasyonundaki artışa paralel bir artış göstermiş, linyit örneklerinde ise önemli bir artış gözlenmemiştir (Şekil 1).



Şekil 1. 90°C'de okside edilmiş -150+106 µm boyutlu kömür örneklerine ait (a) CO ve (b) CO₂ oluşum oranlarındaki değişim.

Deneylerde gözlenen diğer bir temel eğilim ise CO/CO₂ oranında gerçekleşmiştir. Taşkömürü örnekleri için elde edilen CO/CO₂ oranları her sıcaklık koşulunda

deneyler boyunca bir azalma gösterirken, bu oran linyit örnekleri için 40°C'de azalmış, 60°C'de sabit kalmış ve 90°C'de ise artış sergilemiştir (Şekil 2).

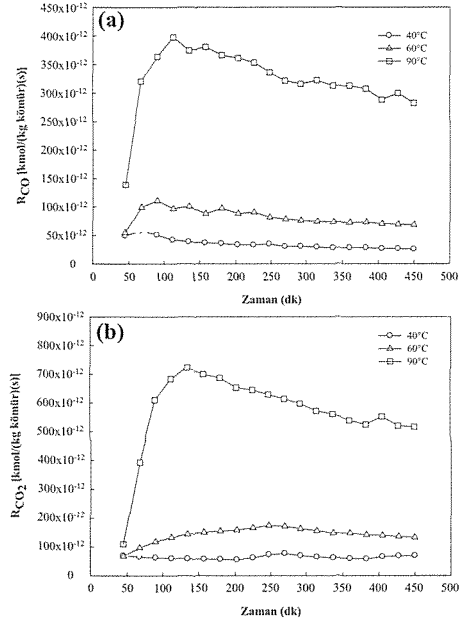


Şekil 2. 40, 60 ve 90°C'de okside edilmiş -212+150µm boyutlu (a) AMS örneğine, (b) GLI örneğine ait CO/CO₂ oranlarındaki değişim.

4.1 Sıcaklığın Etkisi

Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen oksidasyon deneylerinde sıcaklığın etkisini net olarak gözlemlemek mümkün olmuştur. Analiz sonuçları 90°C'de elde edilen CO ve CO₂ oluşum oranlarının 40°C'dekine göre 2-10 kat fazla olduğunu göstermiştir (Şekil 3). Bu bulgu literatürdeki rapor edilen bulgularla uyum göstermektedir (Wang vd. 2002, Winmill 1914-1915, Schmidt 1940, Carpenter 1964). Sıcaklık artışına bağlı olarak nispeten yüksek kömürleşme derecesine sahip örnekler (UZM ve AMS) ait CO ve CO₂ oluşum oranları düşük kömürleşme derecesine sahip örnekler göre oldukça yüksek gerçekleşmiştir. Ayrıca, yüksek

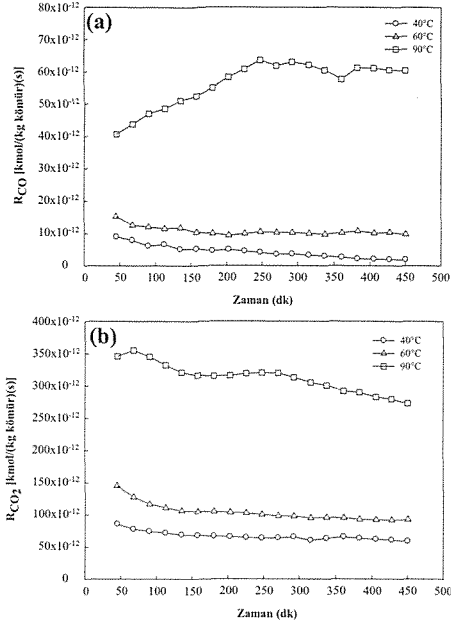
kömürleşme derecesine sahip örnekler için CO ve CO₂ oluşum oranları oksijen konsantrasyonunun beklenen seviyeye gelmesini takiben deneylerin sonuna kadar, hızlı bir azalma sergilemiştir. Bunun nedeninin oksijenin bu örnekler tarafından daha hızlı tüketimi, dolayısıyla daha hızlı bir oksidasyon sürecinin gerçekleşmesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. -425+212µm boyutlu AMS örneğine ait (a) CO ve (b) CO₂ oluşum oranlarının sıcaklığa bağlı değişimi.

Düşük kömürleşme derecesine sahip örnekler içinse durum biraz farklıdır. Bu örnekler için CO ve CO₂ oluşum oranları 40 ve 60°C'de gerçekleştirilen deneylerde azalan bir eğilim göstermişlerdir. 90°C'de ise; CO₂ oluşum oranları deneylerin başlangıcında oksijen seviyesindeki artış nedeniyle bir artış göstermiş, daha sonra azalan bir eğilim sergilemiştir. Bu örnekler için CO oluşum oranları ise 90°C'de artan bir davranış sergilemişlerdir. Bu da sıcaklığın bu örnekler için oksidasyon lehine olduğunun bir göstergesidir. Bu örnekler için karakteristik

eğilimler Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. -150+106 μ m boyutlu GLI örneğine ait (a) CO ve (b) CO₂ oluşum oranlarının sıcaklığa bağlı değişimi.

CO/CO₂ oranları incelendiğinde de sıcaklığın etkileri net olarak görülmektedir. Sıcaklık arttıkça deneylerin başlangıcında ölçülen CO/CO₂ oranlarının da arttığı görülmüştür. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlere ait CO/CO₂ oranları deneyler süresince, özellikle deneylerin başlangıcında, oldukça hızlı bir azalma eğiliminde göstermiştir. Dolayısıyla, sıcaklık arttıkça yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerin daha hızlı okside oldukları açıktır. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlere ait CO/CO₂ oranlarının ise 40°C'de azalma, 60°C'de sabit kalma ve 90°C'de artma eğiliminde olduğu saptanmıştır. Bu örnekler için sıcaklık artışının oksidasyon lehine olduğu ve örneklerin nispeten yüksek sıcaklıklarda aktive olduğu net olarak anlaşılmıştır. Ayrıca, 90°C'de bu örneklerin deney sonuna gelindiğinde oksidasyonlarının artarak devam ettiğine dikkat edilmelidir (Şekil 2b). Ancak yine

de deneylerin sonunda, düşük kömürleşme derecesine sahip örneklere ait CO/CO₂ oranları yüksek kömürleşme derecesine sahip örneklerinkinden düşük seviyelerdedir.

4.2 Tane Boyutunun Etkisi

Deneysel sonuçlar incelendiğinde, her ne kadar CO₂ oksidasyonun temel ürünü olarak saptansa da, CO oluşum oranlarının tane boyutunun etkisinin incelenmesi için daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni, CO₂'nin suda çözünebilir olması ve yüksek nem içeriğine sahip örneklerde hatalı ölçümlere yol açabilecek olmasıdır. Ancak, deneysel sonuçlarda elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda tane boyutunun etkisi net olarak gözlenememiştir. Oksidasyon işlemi oldukça yavaş olduğundan 40 ve 60°C'de yapılan deneylerde tane boyutunun etkisi gözlemlenememiş, 90°C'de gerçekleştirilen deneylerde ise, birkaç istisna dışında, -425+212 μ m boyutlu örneklere ait CO oluşum oranlarının -212+150 ve -150+106 μ m boyutlu örneklerden daima düşük olduğu görülmüştür. Ancak, -212+150 ve -150+106 μ m boyutlu örnekleri birbirinden ayırmak oldukça güç olmuştur. Bu noktada, örneklerin petrografik yapılarının da bu etkinin gözlemlenememesinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Tane boyutu etkisi ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar Kaji vd. (1985) ve Wang vd. (2002)'nin bildirdiği sonuçlarla benzerdir. Her iki araştırmacı da gerçekleştirdiği çalışmalarda tane boyutunun kömürün düşük sıcaklıklarda oksidasyonu üzerindeki etkisini net olarak gözlemleyememiştir.

4.3 Petrografik Yapının Etkisi

Bu çalışma kapsamında örneklerin petrografik yapıları detaylı olarak incelenmiştir. Örneklerin petrografik yapılarıyla ilgili temel bulgular aşağıda verilmiştir.

MEN örneğinin petrografik yapısı

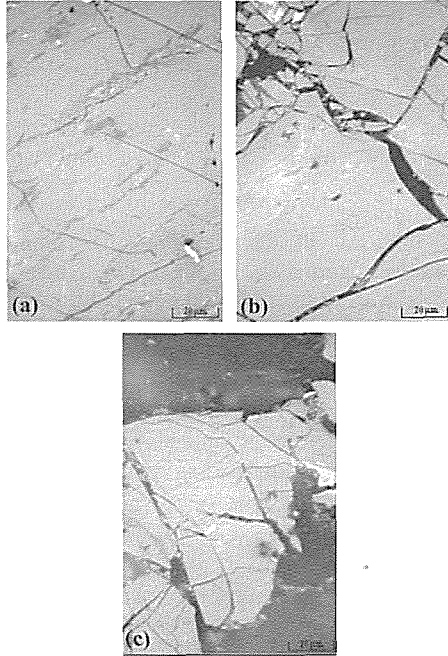
incelendiğinde temel yapının kolinit ve telinitlerin oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, örnek yapısında yüksek oranda ince taneli, framboidal ve dağınık halde pirit rastlanmıştır. Ancak, bünyede bulunan bu pirit varlığının oksidasyona olan etkilerine rastlamak ancak 90°C'de mümkün olmuştur. Buradan da piritin etkisinin net olarak gözlemlenmesi için daha yüksek sıcaklıklarda mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Örnek yapısında bulunan mikro-çatlaklar, özellikle -425+212µm boyutlu örnekler için, genellikle dolgulu olmasına rağmen, kırılma mekanizmasına bağlı olarak örnek bünyesinde taze mikro-çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çatlaklanma -212+150 µm boyutlu örneklerde diğer boyutlara göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, -212+150 ve -150+106 µm boyutlu örneklerin yüzey alanları birbirine yakın olacağından, tane boyutunun etkisinin gözlemlenememiş olması bu sebebe bağlanabilir.

GLI örneğinde ise temel maseral bileşenin vitrinit olduğu saptanmıştır. Tüm taneciklerde mineral bantlarının varlığı tespit edilmiştir. Bu örnekte de MEN örneği kadar olmasa da yoğun pirit varlığı gözlenmiştir. Mikro-çatlak oluşumunun -425+212 µm boyutlu örneklerde sınırlı, -212+150 µm boyutlu örneklerde oldukça yaygın ve -150+106 µm boyutlu örneklerde çok sınırlı olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, -212+150µm boyutlu örneklere ait yüzey alanlarının yüksek olacağı beklenmektedir. Bu nedenle, -212+150 µm boyutlu örneklere ait CO ve CO₂ oluşum oranları, -150+106µm boyutlu örneklerinkine yakın ya da yüksek değerler almıştır.

UZM örneğinin petrografik yapısında temel maseral bileşeni vitrinittir (>90%). İneritnit grubu maseraller ise çok sınırlı miktardadır. Pirit ve mineral madde varlığı bu örnek için yok denecek kadar azdır. Stach vd. (1982)'nin belirttiği üzere elde edilen yüksek CO ve CO₂ oluşum oranlarının örnek yapısında bulunan vitrinit nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Mikro çatlak oluşumu -425+212µm boyutlu

örneklerde sınırlı, -212+150 ve -150+106µm boyutlu örnekler içinse yaygındır (Şekil 5).

AMS örneğinin petrografik yapısında ise vitrinit maseralleri yaygın değilken yüksek miktarda inertinit grubu maserale rastlanmıştır (≈%20). Stach vd. (1982) ve Misra ve Singh (1984) inertinit grubu maserallerin gözenekli yapıda olduğunu ve dolayısıyla bu maserallerin bünyelerinde iyi gaz tutacaklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle, örnek bünyesinde yüksek oranda inertinit grubu maserallerin varlığı, bu örnek için elde edilen yüksek CO ve CO₂ oluşum oranlarını açıklamaktadır.



Şekil 5. UZM örneğine ait ve kırılma mekanizması sonucu oluşan mikro-çatlaklar (a) -425+212µm, (b) -212+150µm ve (c) -150+106µm.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, CO ve CO₂ oluşum oranları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan CO/CO₂ oranları kullanılarak; sıcaklık,

tane boyutu ve petrografik yapının kömürün düşük sıcaklıkta oksidasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada genel olarak CO ve CO₂ oluşum oranlarının sıcaklığa duyarlı olduğu ve deneyler süresince bir azalma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ancak, tane boyutunun oksidasyon üzerine etkileri net olarak izlenememiştir.

Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürler için tüm koşullarda, özellikle deneylerin başlangıcında, oldukça hızlı bir azalma sergilemiş olan CO/CO₂ oranları bu örneklerin daha hızlı okside olduğunu göstermiştir. Nispeten düşük kömürleşme derecesine sahip örnekler içinse 40 ve 60°C'de tam olarak görülmeyen reaktivite 90°C'de kendini göstermiştir.

Petrografik açıdan ise; bünyesinde fazlaca inertinit grubu maserallere sahip olan örneğin daha fazla okside olduğu görülmüş, mikro-çatlak oluşumunun da oksidasyon sürecinde etkili olduğu saptanmıştır.

Kömürün oksidasyon mekanizmasının oldukça karmaşık olması ve birçok faktörün olay üzerinde etkisinin bulunması nedeniyle, bu faktörlerden sadece bir tanesi ya da birkaçı oksidasyon üzerinde etkili olabilmektedir. Dolayısıyla, farklı kömür damarlarının ya da örneklerin oksidasyon karakteristikleri özel oksidasyon koşulları altında ele alınmalı ve karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Baris, K, Aydın H, Didari V, 2011. Statistical modeling of the effect of rank, temperature, and particle size on low-temperature oxidation of Turkish coals, *Combustion Science and Technology*, 183, 2, s.105-21.
- Carpenter, DL, Sergeant GD, 1964. The initial stage of oxidation of coal with molecular oxygen I. Effect of time, temperature, and coal rank on the rate of oxygen consumption, *Fuel*, 43, 4, s.247-66.
- Clemens, AH, Matheson, TW and Rogers, DE, 1991. Low temperature oxidation studies of dried New Zealand coals, *Fuel*, 70, s.215-221.
- Itay, M, Hill, C and Glasser, D, 1988. A study of the low temperature oxidation of coal, *Fuel Process Technol*, 21, s.81-97.
- ITC, 2011. The burning problem-Short introduction, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, www.itc.nl/external/coal_fire/problem/china_coalfire.html, (Ocak 2011).
- Kaji, R, Hishinuma, Y and Yoichi, N, 1985. Low temperature oxidation of coals: Effect of pore structure and coal composition, *Fuel*, 64, s.297-302.
- Kelemen, SR and Freund, H, 1990. Oxidation kinetics of Wyoming Powder River Basin coal in oxygen between 295 and 398 K, *Energ Fuel*, 4, 2, s.165-171.
- Krishnaswamy, S, Bhat R, Gunn R, Agarwal P K, 1996. Low temperature oxidation of coal, *Fuel*, 75, s.333-343.
- Misra, BK, Singh BD, 1994. Susceptibility to spontaneous combustion of Indian coals and lignites: an organic petrographic autopsy, *Int J Coal Geol*, 25, 3-4, s.265-86.
- Polat, S and Harris, I, 1983. Low-temperature oxidation of Victorian brown coal, *Fuel*, 63, s.669-72.
- Schmidt, L, Elder JL, 1940. Atmospheric oxidation of coal at moderate temperatures: rates of of the oxidation reaction for representative coking coals, *Ind Engng Chem*, 32, s.249-56.
- Stach, E, Mackowsky MTH, Teichmuller M, Taylor GH, Chandra D, Teichmuller R, 1982. *Stach's textbook of coal petrology*, Gebrüder Borntraeger Berlin, Stuttgart, s.
- Wang, H, Dlugogorski, BZ and Kennedy, EM, 2003. Pathways for production of CO₂ and CO in low-temperature oxidation of coal, *Energ Fuel*, 17, s.150-158.
- Wang, H, Dlugogorski, BZ and Kennedy, EM, 1999. Theoretical analysis of reaction regimes in low-temperature oxidation of coal, *Fuel*, 78, s.1073-81.
- Wang, H, Dlugogorski, BZ and Kennedy, EM, 2002. Thermal decomposition of solid oxygenated complexes formed by coal oxidation at low temperatures, *Fuel*, 81, s.1913-1923.
- Winnill, TF, 1914-1915. The adsorption of oxygen by coal. IV. Influence of temperature, *Trans Inst Min Engngs*, 48, s.514-20.

TKİ-ELİ Eynez Panosu Dekapaj Nakliyatı İçin Alternatif Yöntem: Bant Nakliyatı

For Overburden Transport a Method at TKI - ELI Eynez Section: Band Transport

Ö. Uysal

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

M. S. Agdağ

TKİ - Ege Linyitleri İşletmeleri Müessesesi Müdürlüğü, Manisa

ÖZET Açık ocaklar derinleştikçe dekapaj mesafeleri uzamaktadır. Dekapaj mesafesinin uzunluğu ise dekapaj nakliye maliyetini arttırmakta, sonuçta da açık ocak sınırnı belirleyen önemli bir parametre olmaktadır. Ekonomik nedenlerle, son yıllarda dünya madenciliğinde klasik kamyon nakliyatı yerine, ocak içi kırıcı-bant konveyör sistemleri hızla yaygınlaşmaktadır. Bu sayede, ekonomik açık ocak sınırı değerleri de değişmeye başlamıştır. Bu çalışmada, ocak içi kırıcı-konveyör sisteminin genel özellikleri, dünyadaki uygulama örnekleri ve bu sistemin Ege Linyitleri işletmesi-Eynez açık ocaklarında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kamyon nakliyatının birim işletme maliyeti 2,31 \$/m³, kamyon-kırıcı-bant konveyör sisteminde ise birim işletme maliyeti 1,91 \$/m³ olarak hesaplanmıştır.

ABSTRACT As a result of depending of open pits, dumping distances increase. Dumping distance defines the hauling cost. Hauling cost is factor on determination of the maximum working depth of the pit. To lower hauling cost, mobil crusher-conveyor systems have been used instead of conventional systems, excavator-truck haulage, recently. By this way, the economic open pit depths are changed. In this study, a general knowledge about crusher-belt conveyor systems, application examples, and applicability of this system at ELI (Aegean Lignite Establishments)-Eynez open pits are considered. The result of this study, unit cost of truck haulage and unit cost of truck-crusher-belt conveyor have been determined as 2.31 \$/m³ and 1.91 \$/m³ respectively.

1 GİRİŞ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler madencilik sektöründe de yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir. Özellikle iş makinelerindeki kapasite artışları ve teknik gelişmeler açık işletme çalışma sınırının daha derinlere inmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla daha büyük örtü kazı oranları ile çalışmak ekonomik olabilmektedir. Kazı ve yükleme makinelerinin yanı sıra nakliye sistemlerinde yaşanan gelişmeler dekapaj malzemesinin derin ocak çukurlarından uzun mesafelere taşınmasını teknik ve ekonomik yönden olanaklı hale getirebilmektedir. Örtünün nakledilmesinin ucuza mal edilmesi, son yıllarda dünya madenciliğinde hızla yaygınlaşan, klasik kamyon nakli yerine kullanılmaya başlayan, ocak içi kırıcı-bant konveyör sistemleri sayesinde başarılmaktadır. Böylece, ekonomik açık ocak sınır örtü-kazı oranı değerleri de değişmeye başlamıştır. Dünya madenciliğinde kullanımı gittikçe yaygınlaşan, ocak içi kırıcı-bant konveyör sistemlerinin kullanılması ile açık ocak üretim maliyetlerini düşürmek ve işletilebilir rezervlerin yeniden gözden geçirilerek açık işletme yöntemi ile üretilebilecek rezerv miktarlarının artırılması mümkündür (Hustrulid, 1998).

Bu çalışmada, açık ocaklarda kamyon taşımacılığına alternatif olarak kullanılan, ocak içi kırıcı-bant konveyör sisteminin dünyadaki uygulama örnekleri incelenmiş ve bu sistemin Türkiye'de uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, yılda yaklaşık 25 milyon m³ dekapajın yapıldığı Türkiye Kömür İşletmelerine bağlı Ege Linyitleri İşletmeleri (ELİ) Soma Açık Ocak Eynez Panosu örnek seçilmiş ve bu sistemin uygulanabilirliği, maliyet analizleri yapılmak suretiyle teknik ve ekonomik yönden araştırılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2 EGE LİNYİTLERİ İŞLETMELERİ

Türkiye'de, işletme hakkının önemli bir kısmı devlet sektöründe bulunan ve yaklaşık %70'inin alt ısı değeri 2.000 kcal/kg'dan düşük olan, yüksek oranda kül, kükürt ve su içeren; Dünya linyit rezervinin %2'si oranında, 8,3 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Türkiye'nin linyit üretimi 65 milyon ton/yıl dolayında olup, bunun 40 milyon ton/yılı TKİ tarafından üretilmekte ve büyük kısmı, termik santrallerde tüketilmektedir. ELİ, TKİ üretiminin yaklaşık %25'ini tek başına karşılamaktadır. Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Müessesesi Müdürlüğü, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak, Manisa ilinin Soma ilçesinde faaliyet göstermektedir. Soma, Manisa İl merkezine 90 km, Balıkesir İl merkezine 80 km, İzmir'e ise 140 km. uzaklıktadır. Üretilen linyit kömürü, yaklaşık 50 ilimizin teshin kömür ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca Kurum, Soma Termik Santrali (SEAŞ), TCDD, Demir-Çelik, Şeker, Çimento, Tuğla ve Seramik fabrikalarına kömür göndermektedir. Soma'da üretilen, teshin kömürlerine TSE tarafından 1994 yılında 1. Sınıf linyit kömürü kalite belgesi verilmiştir.

2.1 Eynez Panosu

Soma havzasında, mostradan başlayarak derine doğru yapılan kazı yöntemi uygulanmaktadır. İşletmelerde en fazla esnekliği olan, ekskavatör-kamyon kombinasyonu tercih edilmiştir. Bu yöntem, tabaka eğiminin 20 derecenin üzerinde olması, topoğrafyanın engebeli oluşu, örtünün sert ve tabakalaşma gösteren formasyonlardan oluşması, gibi nedenlerden dolayı seçilmiştir.

Delme-patlatma yöntemi ile gevşetilen örtü toprağı, ekskavatörlerle kazılıp kamyonlara yüklenmekte ve döküm harmanına götürülüp dökülmektedir. Ekskavatör-kamyon yöntemi bazı yöntemlere göre, genelde daha pahalı olmakla beraber, topoğrafyaya uyum sağlayabilmesi, sert ve iri parçali

malzemenin kazısında kullanılabilmesi, panolar arası yer değiştirmenin kolay olması, gibi üstünlükleri nedeniyle, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'nin bütün işletmelerinde başarıyla uygulanmaktadır.

İşletmedeki örtü malzemesi genel olarak, orta sert ve sert marndır. Dekapaj çalışmalarında, ayna 228,6 mm. (9 inç) delicilerle 6-8 m. aralıklarla 17 m. derinliğinde delinmektedir. Deliklere AN-FO karışımı ve "emülite" konularak patlatılmaktadır. Patlatılarak gevşetilen malzeme 13-15,3 m³ (17-20 yd³) kepçe kapasiteli ekskavatörlerle 78,5-154,2 ton (85-170 s.ton)'luk kamyonlara yüklenip, döküm yerine götürülür ve dökülür.

Eynez panosunda uygulanmakta olan ekskavatör-kamyon yöntemi; enerji temini, makine parkı, ortalama 30°-35°'lik genel eğim açısı (şev açısı) ve 15 m basamak yüksekliği kriterlerine göre belirlenmiştir. Panoda örtü malzemesinin delme-patlatma sonucu iri parçalar halinde halatlı ekskavatörler ile doğrudan kamyonlara yüklenebilmesi, engebeli arazi şartlarına uyum sağlayarak panolar arasında kolayca yer değiştirebilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı ekskavatör-kamyon yöntemi seçilmiştir. Havzada halen üretim yapılmakta olan sahaların birbirlerine uzak olması, aynı pano içinde de faylanmalara bağlı olarak oluşan bloklaşmalar üretim ve taşıma sistemlerine alternatifler düşünülmesine engel olmuştur. Bu nedenle, ekskavatör-kamyon yöntemi küçük kapasitelerden başlayıp, sürekli artış göstererek geçmişten günümüze kadar uygulanmaktadır (Bahar vd., 1997).

Bu yöntemde ocak içi ve dışındaki taşımada kamyon kullanılmaktadır. Kamyonlar çift taraflı geri manevralı yükleme yöntemine uygun şekilde çalıştırılmaktadır. Özellikle örtü hacmi az olan üst basamaklarda kamyon kullanımı, esneklik avantajından yararlanılmasını sağlamaktadır.

3 MOBİL VE YARI MOBİL KIRICI-BANT NAKLİYAT SİSTEMİ

3.1 Ekskavatör-Mobil Kırıcı- Bant Konveyör Nakliye Sistemi

Bu yöntemde patlatılarak gevşetilmiş örtü malzemesi ekskavatör ile ya doğrudan kazılarak ya da kamyon ile mobil kırıcıya verilmekte, burada bantlı konveyörün taşıyabileceği boyuta (kırıcıda maksimum 35cm) kadar ufalandıktan sonra bir bant arabası ya da kırıcıya ait boşaltma bandı ile mobil (yer değiştirebilir) ocak içi bandına verilmektedir. Daha sonra kırılmış malzeme mobil ocak içi bandından sabit ocak dışı bandına aktarılmaktadır. Aktarılan örtü malzemesi mobil aktarıcı ve dökücü yardımı ile ya kömürü alınmış ocak çukuruna iç döküm olarak ya da ocak dışına dış döküm olarak dökülmektedir.

3.2 Ekskavatör-Yarı Mobil Kırıcı-Bant Konveyör Nakliye Sistemi

Bu yöntemde patlatılarak gevşetilmiş örtü malzemesi ekskavatörlerle kamyonlara yüklenmekte, kamyonlarla da ocak çıkışında uygun bir yere yerleştirilmiş tek bir yarı mobil veya sabit kırıcıya beslenmekte, burada malzeme konveyörün taşıyabileceği boyuta kadar ufalandıktan sonra sabit konveyöre aktarılmaktadır. Aktarılan örtü malzemesi döküm sahasına taşınmaktadır.

3.3 Sistemin Elemanları

3.3.1 Halatlı ekskavatör

Günümüzde, halatlı ekskavatörler, açık ocaklarda yaygın olarak kullanılan kamyon taşımacılığının değişmez nitelikteki tamamlayıcısıdır ve 300 tonluk maden kamyonlarını en düşük maliyette maksimum verimle yükler. En sert kayaların kazılması için tasarlanmışlardır ve yüksek verimler elde edilmiştir. Bu tip ekskavatörler son zamanlarda ocak içi kırma sistemini uygulayan açık ocaklarda büyük kapasiteli mobil kırıcıları beslemek amacıyla da kullanılmaktadır (Saunders, 1984).

3.3.1 Kırıcılar

Kırıcılar, ağır ve büyük boyutlu olduklarından 7,64 m³ (10 yd³) kepçe kapasiteli ekskavatörden daha ağır ve büyüktür) hareket yetenekleri sınırlı ve problemlidir. Yarı mobil ve sabit (istasyon) kırıcıları, çeneli kırıcı, konik kırıcı, impakt kırıcı, tek ve çift tamburlu çekiçli kırıcı, dişli merdaneli kırıcı ve panzerli kırıcılar oluşturmaktadır. Mobil kırıcılar ise genelde çeneli, konik, impakt (şoklu) ve merdaneli kırıcı tiplerinde görülmektedir (Johnson, 1972).

3.3.2 Bant konveyör sistemi

Bir bant konveyör sisteminin uygun boyutlarda tasarlanması için en önemli faktörlerden biri taşınması zorunlu olan malzeme miktarıdır. Bant konveyör parçalarının seçiminde tasarımcıya yardımcı olması için birçok katalog bulunur. Üretici firmalardan elde edilen bu kataloglardaki veriler, tasarımcıya tesis içindeki diğer mekanize sistemlerle beraber bant konveyörün de uygun şekilde çalışacağı bir tesis kurmasına olanak sağlar. Tedbirli tasarımcı; soğuk hava, alışılmış tamir-bakım ve tesisin düzenli çalışmasını etkileyebilen diğer yöresel faktörlerden dolayı azalan çalışma günlerini göz önüne alacaktır. Uygun kapasitede bant konveyör kurulacağı zaman taşınacak malzemenin de göz önüne alınması gerekir. Eğer malzeme, kırıcıyı besleyen silolara belirli bir boşaltma döngüsü içinde kamyonlar tarafından iletilirse, durma sürelerinde boşaltma noktalarında kamyon kümelenmesi ile sonuçlanan durumların olacağı bilinmektedir. Kamyonların durması sonucu meydana gelen malzeme eksikliğinin olduğu durumlarda, bu sorunun üstesinden gelmek için boşaltma silosunu yeterli hacimde inşa etmenin yanı sıra, hem silo hacmini genişletip hem de boşaltma silosundan malzemeyi kırıcıya aktaran konveyör sisteminin (kırıcı besleyicisi) kapasitesini artırıp ikisi arasında uyum sağlamak en ekonomik çözümü oluşturur (Van Kleunen, 1972).

4 EYNEZ +200 PROJESİ

4.1 Proje Bilgileri

Yapılan çalışma sonucu +200 kotuna kadar olan kısmın açık ocak işletme yöntemi ile alınabileceği sonucuna varılmıştır. +200 kotunun üzerinde 55.853.038 ton KM2. 6.900.000 ton KM3 olmak üzere 62.753.038 ton kömür bulunmaktadır (ELİ, 2000).

Saha +200 kotuna göre projelendirilmiş ve kesitlerden 661.820.568 m³ dekapaj hesaplanmıştır.

62.753.038 ton kömürün %10'unun üretim aşamasında kayıp olacağı öngörülmüş ve üretilecek rezervin 56.477.734 ton olduğu hesaplanmıştır. Yaklaşık 23 yıllık üretim planlaması ile 2.500.000 ton/yıl üretim öngörülmüştür.

Sahada 3 yıl evvel dekapaj çalışmalarına başlanacağı öngörülmüş ve dolayısıyla 26 yıl dekapaj yapılacağı kabul edilmiştir. Bu durumda yapılması gereken dekapaj;

661.820.568 m³: 26 yıl = 25.600.000 m³/yıl olacaktır.

Açık işletme projesinde P2 ve P1 formasyonun da şev açısı 33°, M3 ve M2'de ise 36° alınmıştır. Taban killerin heyelan yapmaması, iç döküm yapılması ve heyelanların önlenmesi için çalışmanın alt kotlardan başlaması ancak kuzey güney istikametinde tabaka meyline paralel olarak yapılması gerekmektedir.

Eynez sahasında kömürün yatımı Güney doğu-Güney batı istikametindedir. Sahadaki mevcut açık işletme; Güney doğu-Güney batı istikametinde yapılmakta ve en üst kotlardan başlamıştır. Sahanın +200 kotuna kadar açık işletme yapılması halinde hem iç döküm yapmak, hem de taban killerin kaymasını önlemek bakımından; sahanın Kuzey-Güney istikametinde tabaka yatımına paralel olarak çalışılması ve bununla an alt kottan başlanması uygun olacaktır. Bunun için ilk panonun kömürün mostra verdiği Karanlıkdere vadisinde yapılması düşünülmüştür. Projenin ekonomik

değerlendirmesi ise aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Toplam Masraflar	
Amortisman	= 16.456.280 \$/yıl
Malzeme ve Enerji	= 6.745.871 \$/yıl
İşçilik	= 4.035.900 \$/yıl
Tamir-Bakım	= 8.467.489 \$/yıl
Sigorta	= 40.750 \$/yıl
Toplam	= 35.746.290 \$/yıl

Buna göre, dekapaj Maliyeti;
 $35.746.290 \$ / 15.000.000 \text{ m}^3 = 2.38 \$ / \text{m}^3$
olarak hesaplanmıştır.

4.2 Malzeme Özellikleri ve Döküm Sahaları

Örtü malzemesini taşımada uygulanması düşünülen “kırıcı-bant konveyör” sistemlerinin ocağa uygunluğunun araştırılması, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve sistemin ocağa uygun olarak tasarlanması amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bahar vd., 1997).

Kırılmış malzemenin saha içinden döküm alanlarına kadar kat etmesi gereken yol güzergahları uzunluklarıyla Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Seçilen bu yolların ortalama eğiminin hem kamyon hem de bant nakliyatı için uygun olduğu görülmektedir. Bir açık ocakta kamyon nakli için işletme gideri açısından

1,5 km’lik yol uzunluğu ekonomik olmasına rağmen, toplam yol uzunluklarının bu değerler çok üzerinde olması bant konveyör nakliyatına olan gereksinimi göz önüne sermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 1. Gidiş yönü harman yolları ve eğimleri

Güzergah No.	Taşıma Yolları Uzunluğu ve Eğim						Döküm Harmanı	Toplam Yol Uzunluğu (m)
	Saha İçi (m)	%	Bağlantı Yolu (m)	%	Harman İçi (m)	%		
I	566 446	-8.7	1408	+0.5	492	0	Eynez1	2912
II	626	-2	1408	+0.5	492	0	Eynez1	2526
III	168	0	1408	+0.5	492	+3	Eynez1	2068
IV	334	-0.9	554 1470	+3.6 -1.2	100	0	Kuşak	2458
V	356	+1.5	554 1470	+3.6 -1.2	100	0	Kuşak	2480

4.3 Kırıcı-Bant Nakliye Sistemlerinin Panoya Uygulanması

Ekskavatör-Mobil Kırıcı-Bant sisteminde, ekskavatörle kazılarak mobil kırıcıya beslenen ve boyutu küçültülen malzeme, ocak içi mobil bantlara yüklenecektir. Ocak çıkışında, transfer istasyonlarında ocak dışı banda geçen malzeme, döküm sahasına kadar taşınacaktır. Bu sistemin sürekliliği ve sağlıklı çalışabilmesi için ekipman kapasitelerinin (ekskavatör kepçe kapasitesi, kırıcının kapasitesi, bandın taşıma kapasitesi) birbirleriyle uyumlu olması gerekmektedir.

Çizelge 2. İncelenen nakliye sistemleri için oluşan işletme ve ilk yatırım giderleri.

Gider Türü	Kamyon Nakliye Sistemi		Kamyon-Kırıcı -Bant Konveyör Sistemi			
	Kamyon	Kamyon	Kırıcı	Bant Konveyör Sistemi	Aktarma Yayma Ünitesi	TOPLAM
Lastik (\$/yıl)	1.605.674	688.146	0	0	0	688.146
Akaryakıt (\$/yıl)	3.000.000	1.285.714	0	0	0	1.285.714
Yağ (\$/yıl)	728.334	312.143	97.200	77.760	38.880	525.983
Elektrik (\$/yıl)	301.500	301.500	259.200	235.612	135.432	931.744
Tamir - Bakım (\$/yıl)	3.112.368	2.469.511	750.000	846.000	450.000	4.515.511
Yedek Parça (\$/yıl)	5.355.121	3.325.118	975.000	1.099.800	585.000	5.984.918
İşçilik (\$/yıl)	4.035.900	1.729.671	528.000	316.800	104.960	2.679.431
Amortisman (\$/yıl)	16.456.280	7.243.286	1.500.000	2.115.000	1.125.000	11.983.286
Sigorta (\$/yıl)	40.750	17.464	30.000	42.300	9000	98.764
İşletme Gideri Toplam (\$/yıl)	34.635.927	17.372.553	4.139.400	4.733.272	2.448.272	28.693.497
İlk Yatırım (\$)	84.674.890	57.946.290	12.000.000	16.920.000	9.000.000	95.866.290
TOPLAM	119.310.817	75.318.843	16.139.400	21.653.272	11.448.272	124.559.787

Eynez panosunda patlatma sonucu elde edilen örtü-kazı malzemesinin, kırıcıya ortalama 30 cm boyutunda sert ve bloklulu malzeme (marn) olarak beslenmesi gerekeceğinden, ideal olarak konik ya da çeneli kırıcı önerilebilir. Çünkü konik ve çeneli kırıcılar, hem dayanıklı hem de sağlam yapıda oldukları için sert ve aşındırıcı malzemeleri kırmak amacıyla seçilir. Aynı zamanda büyük besleme açıklıklarından dolayı, büyük bloklulu malzemelerin beslenmesine uygundur. Bant ile nakliye söz konusu olduğundan, kırma bölümünün dairesel şekle sahip olması ve çeneli kırıcıya göre daha kübik boyutlu ürün elde edilmesi düşünüldüğünde, bir başka deyişle, köşeli ve aşındırıcı olmayan ürün meydana getirdiği için konik kırıcı bu noktada üstünlük kazanabilir (Duyar, 2002).

Kırıcıya ait diğer bir önemli seçim, hareket etme sistemidir. Basamaklarda çalışan mobil kırıcılar, kazı yüzeyinden doğrudan yüklendiği için patlatma sırasında tehlikeli bölgenin dışına çekilmek zorundadır. Bölgenin jeolojik yapısının bozuk olması, dolaylı olarak engibeli arazi yapısı, paletli taşıma sistemini ön plana çıkaracaktır. Kırıcının zaman zaman düzensiz yükleme şartları ile karşı karşıya kalacağı bilinmelidir. Bu nedenle motor gücünün, aksamayan bir çalışma ve düzensiz yüklemenin kırıcıya vereceği zararı elimine etmesi için kapasitenin mümkün olduğunca üstünde seçilmesi gerekebilir. Çünkü yük altında durmuş bir kırıcıyı tekrar çalıştırmak, kırma bölümünü temizlemeyi gerektirmekte, bu durum, zaman kaybına sebep olmaktadır. Kırıcının besleme haznesinde, boşaltılan bloklulu malzeme parçalarının çoğu zaman besleme açıklığı üzerinde tıkanmalara sebep olacağı unutulmamalıdır. Bu olumsuzluğu aşmak için bloklulu malzeme boyutuna uygun, titreşimli mekanik ızgaralar ile kırıcı üzerinde bulunan ve köprüleşme oluşturup tıkanmalara neden olan parçaları yerinden oynatan ve kıran kayaç kırıcıları düşünülebilir.

Kırılmış malzemenin ocak içinde ve dışında bant konveyör ile taşınması planlandığından, taşıma yollarının stabilitesinin sağlanmış olması gerekir. Öncelikle ocak içi yolların duraylılığının sağlanması için, üretilecek kömürün %90'ünün alınması öngörülmektedir. Böylece bırakılan yüksek dayanımlı kömürün taban kabarmalarını önleyerek, yolun stabilitesinin sürekliliğini sağlayacağı düşünülmüştür. Taşıma yolları için düşünülecek bir diğer önemli konu, bant nakliye sistemine uygun eğimlerin oluşturulmasıdır. Yol tasarımında eğim ocak içinde kamyon için %5, bant için %10 olarak alınabilir (Bahar vd., 1997).

Mobil kırıcıdan çıkan malzemenin, kırıcıya ait olan hareketli nakil bandıyla ilk besleneceği yer ya mobil bant arabası ya da kaydırılabilir (itilebilir) bant konveyör sistemidir. Her bir mobil kırıcı tesisi ile ocak içi kaydırılabilir bant konveyör arasına mobil bant arabası konulması, seçilen basamak yüksekliğinden (15 m) daha yüksek bir basamak oluşturulması durumunda ve ekskavatör-mobil kırıcı hareketliliğine daha çabuk uyum sağlaması açısından düşünülebilir. Bununla birlikte araya bant arabası koymadan doğrudan ocak içi kaydırılabilir banda kırılmış malzeme aktarılabilir. Kırıcıdan, ocak içi itilebilir banda malzeme aktarırken kapasiteye uygun, yine ocak içi bandın üzerinde monteli olduğu ray sistemi üzerinde hareket eden bir bunker düşünülmelidir. Bunker sistemiyle bant üzerine düzenli bir besleme sağlanabilecektir.

Kırıcıyla birlikte uygun kapasitede çalışacak olan bir bant konveyör sisteminin kurulmasında, taşınacak örtü-kazı malzemesi olan sert marn ve yapışkan kilin de dikkate alınması gerekir. Bant konveyör hacimle ilgili bir nakliye aracı olduğu için dikkat edilmesi gereken nokta, örtü-kazı malzemesi olan marnın yerinde hacminin, kazılmış ve konveyöre boşaltılmış halinden daha küçük olduğudur. Bir başka ifade ile kazılmış malzemenin kabarma faktöründen dolayı

birim hacim başına düşen kütle miktarının azalmasıdır. Bant üzerinde taşınan malzeme yoğunluğunun gerçek değerinden fazla tahmin edilmesi durumunda banda fazla malzeme yüklenmesine ve banttan dökülmelere neden olacağı unutulmamalıdır.

Taşınacak malzemenin fiziksel özelliklerinden olan nem içeriği ve boyutun değişmesi ile bantta ortaya çıkacak aşırı yüklenmelere karşı bir emniyet faktörü olarak, yüklemeye yüzdesinin tespit edilmesi gerekebilir. Hesaplanacak olan malzeme yığın kesit alanı, bu yüzdelere ile çarpılarak yüklemeye kontrolü sağlanabilir.

Bant konveyörle nakliyatında, taşınacak malzemenin parça boyutu ve boyut dağılımına bağlı bant hızının belirlenmesi diğer önemli konudur. Seçilecek olan bant genişliğinin, alacağı maksimum yük oranına uygun bant hızı seçilmelidir. Bant hızının yüksek seçilmesi aşırı makara ve rulman aşınmasına, yüklemeye noktasında bant aşınmalarına, fazla toz oluşumuna ve boşaltma silolarında aşınmalara sebep olacağı unutulmamalıdır. Bunun yanında bant oluklaşmasına sebep olan makara dizaynının iyi belirlenmesi gerekecektir. Çünkü bant oluklaşmasının artışı ile aynı kapasitedeki yükün daha düşük hızlarda taşınmasının dikkate alınması gerekebilir. Genel olarak bant hızının 6 m / sn.yi geçmemesi gerektiği gözden kaçırılmamalıdır.

Bant taşımacılığı ile ilgili dikkat gerektiren diğer bir konu da killi malzemenin bant taşıma yüzeyine yapışmasıdır. Eğer önlem alınmaz ise, malzemenin dönüş tamburu ve makaralar ile tahrik tamburuna yapışarak konveyörün çalışmasını aksatacağı bilinmelidir. Bantı temizlemek için sabit sıyırıcılar ya da uzun konveyörlerde uygulanan, bantın taşıyıcı yüzünü dönüştürme yoluyla 180° döndürerek yukarı bakar hale getirmek ve konveyör sonunda tekrar 180° döndürerek eski haline getirmek uygun olabilir. Böylece bantın tamburlara sarılan yüzüne birikmiş olabilecek malzemenin dökülmesi sağlanır.

Ocak içinde seçilecek konveyör sistemi, sadece itilebilir ocak içi bantı olarak düşünülmemelidir. Çünkü bu bant sisteminin basamaklarda yapılan patlatmalar sırasında güvenilir bir alana çekilmesinin sorun yaratacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle kendilerine ait yürüme sistemlerine sahip (paletli, lastik tekerlekli ve yürüme ayaklı), kırıcı ile ocak çıkışında kurulan sabit bant konveyör arasında uygun bir hat oluşturan mobil bant konveyörler düşünülebilir. Böylece hem mobil kırıcı ile uyum içinde hareket ettirilebilme olanağı sağlanır hem de patlatma sırasında güvenli bölgeye mobil bant konveyörün çekilebilmesi mümkün olur.

Ocak çıkışında, ocak dışı sabit bant konveyöre düzenli bir besleme için silo ve oluk sistemi düşünülebilir. Oluklar malzeme akışının daha kolay hale gelmesi ve aşınmaların minimum seviyeye inmesi için kanallı bir yapıda oluşturulmalıdır.

Malzemeyi döküm sahasına taşıyacak olan sabit bant konveyör, ocak sahasının dışı düşünüldüğünde, oldukça engebeli bir arazi üzerinde çalışacağı bilinmelidir. Bu nedenle uzun bir hat boyunca oluşturulacak sabit bant konveyörün yüklemeye şartlarının değişimine ve engebeli arazi yapısına uygun bir şekilde dizayn edilmesi gerekeceği unutulmamalıdır.

Bu tasarım görüşü altında, yüklemeye şartları sırasında büyük değişimler beklendiği zaman, sabit bant konveyörlerin hem baş hem de kuyruk kısmına kurulan, geri kayan yüke göre oluşan güce uygun tahrik ünitelerinin, güç üretme şartlarını daha iyi sağlayacağı unutulmamalıdır. Böylece bant konveyör üzerinde geri kayan malzemenin potansiyel enerjisinin, sisteme ait taşıma mekanizmasının sürtünme gücünü aşması önlenmiş olacaktır. Bu şartlarda çalışan bant konveyörün yüklemeye şartları ne olursa olsun kontrol altında yükü taşıyabileceği bilinmelidir.

Eynez panosuna kurulması düşünülen mobil kırıcı-bant sisteminin, işletmede çalışan yönetici ve teknik kadroların elde

bulunan kamyon filosunu atıl hale getireceği endişesini taşınması bu sisteme yaklaşımı güçleştirmektedir. İşletme çalışanları bu sistemin yerine ocağın uygun bir yerine kurulacak istasyon (sabit) ya da yarı mobil kırıcı tesisi ile hem kamyonların atıl hale getirilmesinin önüne geçileceğini, hem de birden fazla kırıcı ve bant ünitesiyle uğraşmanın zahmetli ve yoğun emek gerektiren bir iş olduğunu düşünmektedir.

Ancak unutulmamalıdır ki tek bir kırıcı istasyonuna yoğunlaşan çalışmalar tesisin arızalanması ile üretimde aksamalara sebep olacaktır. Ayrıca işletme çalışanlarının bir başka düşüncesi de ocak çukuruna kamyon nakliyatı için daha yakın olan eski döküm sahalarının kırıcı-bant sistemiyle boşaltılıp buralara örtü kütlesinin tekrar kamyon nakliyle devamının sağlanması yönündedir. Bununla birlikte eski örtü malzemesini taşıyacak olan bant konveyörün, işletme bünyesinde imal edilebileceği görüşü hakimdir.

Ekskavatör-Kamyon-Yarı Mobil Kırıcı (veya sabit kırıcı)-Bant Konveyör sisteminde ise, ekskavatörle kazılarak kamyonu yüklenen malzeme, ocak çıkışındaki kırıcıya beslenmekte ve boyutu küçültülen malzeme, harman sahasına kadar uzanan sabit bant konveyörle taşınmaktadır. Yani mobil kırıcı ve mobil konveyör yerine klasik kamyon taşımacılığı vardır.

5 EYNEZ PANOSUNDA YAPILAN KAMYON YÖNTEMİ VE YARI MOBİL KIRICI-BANT KONVEYÖR YÖNTEMİ KARŞILAŞTIRMASI

5.1 Kamyon nakliyat sistemi

Yaygın olarak açık işletmelerde kullanılan kamyon nakliyatı sağladığı avantajlar ile her durum için alternatif nakliye sistemlerindedir. Bu alternatif de, +650/+400 kotları arasında yapılan 1500000 m³'lük dekapajın 912 m'lik bölümü ocak içi ve yaklaşık 2000 m. harman sahası yolu olmak üzere toplam 2912 m. mesafe boyunca nakledilerek +550 harman

sahasına taşınması durumu değerlendirilmektedir. Sistem ile ilgili teknik veriler Çizelge 3'te görülmektedir. İşletmede oluşacak ilk yatırım maliyeti, 84.674.890 \$, yıllık işletme giderleri ise toplam 34.635.927 \$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Kamyon nakliyatı alternatifinde oluşan birim işletme giderleri Çizelge 4'te verilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi kamyon nakliyatı sisteminde toplam birim işletme gideri 2,306 \$/m³ olarak gerçekleşmiştir. Bu birim işletme giderinin %20,33'lük kısmını akaryakıt ve işçilik giderleri oluşturmaktadır.

Çizelge 3. Alternatif sistemlere ait teknik veriler.

	Kamyon Nakliyesi	Kamyon-Kırıcı-Bant Konveyör Sistemi
Gerekli Kamyon Sayısı	35	10
Taşıma Mesafesi (m)	2912	350
Kamyon Çevrim Sür. (s.)	1298	370
Kamyon Kapasitesi (t/h)	340	1190
Bant Konveyör Kapasitesi (t/h)		6621
Bant Hızı (m/sn)		4,7
Bant Boyu (m)		1650
Bant Eğimi (%)		-6
Bant Genişliği (mm)		1600
Tahrik Motoru Gücü		900
Kırıcı Kapasitesi (t/h)		2x2000

5.2 Kamyon-kırıcı-bant konveyör nakliye sistemi

İncelenen bu alternatifte, +650/+400 kotları arasında gerçekleştirilecek 15.000.000 m³ dekapaj kazısının +600 kotundaki bunker ağzına kadar kamyonla beslenmesi düşünülmektedir. Ocak içi ağırlıklı yol mesafesi 350-750 m'dir. Malzeme kırıcıda istenilen boyuta indirildikten sonra 2000 m'lik bant konveyör ile nakledilerek +550 harman sahasına taşınacaktır. Sistem için belirtilen teknik ayrıntılar Çizelge 3'te verilmiştir. Sistem ekonomik olarak kamyon nakliyatı giderleri, kırıcı tesisi giderleri, bant konveyör sistemi giderleri, aktarma ve yayma ünitesi sistemi giderleri olarak ayrı ayrı değerlendirilmiş ve işletme giderleri bu sistemlerin toplamı alınarak yıllık bazda hesaplanmıştır. Sistemin ilk yatırımı 95.866.290 \$ olarak hesaplanmış ayrıca işletme giderleri, lastik, akaryakıt, yağ, elektrik, tamir-bakım, yedek

parça, işçilik, amortisman ve sigorta giderleri olarak hesaplanmış ve detayları Çizelge 2’de verilmiştir. Buna göre sistemin yıllık işletme gideri 28.693.497 \$/yıl olarak belirlenmiştir. Kamyon-kırıcı-bant konveyör sistemi birim işletme giderleri olarak Çizelge

4’te verilmektedir. Buna göre sistemin toplam birim işletme gideri 1,912 \$/m³ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan işletme giderinin %4,44’lük kısmı akaryakıt, %3,24’lük kısmını elektrik giderleri oluşturmaktadır.

Çizelge 4. İncelenen nakliye sistemleri için oluşan birim işletme maliyetleri.

Gider Türü	Kamyon Nakliye Sistemi	Kamyon-Kırıcı-Bant Konveyör Sistemi				TOPLAM
	Kamyon	Kamyon	Kırıcı	Bant Konveyör Sistemi	Aktarma Yayıma Ünitesi	
Lastik (\$/m ³)	0,107	0,045	0,000	0,000	0,000	0,045
Akaryakıt (\$/m ³)	0,200	0,085	0,000	0,000	0,000	0,085
Yağ (\$/m ³)	0,048	0,020	0,006	0,005	0,002	0,035
Elektrik (\$/m ³)	0,020	0,020	0,017	0,015	0,009	0,062
Tamir - Bakım (\$/m ³)	0,207	0,164	0,050	0,056	0,030	0,301
Yedek Parça (\$/m ³)	0,357	0,221	0,065	0,073	0,039	0,398
İşçilik (\$/m ³)	0,269	0,115	0,035	0,021	0,006	0,178
Amortisman (\$/m ³)	1,097	0,482	0,100	0,141	0,075	0,798
Sigorta (\$/m ³)	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,006
İşletme Gideri Toplam (\$/m ³)	2,306	1,158	0,275	0,315	0,163	1,912
Kırıcı Kurulu Gücü (KW)						2x400

6 SONUÇ

Çalışma kapsamında Soma Eynez Bölgesinde dekapaj malzemesinin döküm sahasına taşınması için değişik nakliye alternatifleri ekonomik analizleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Çalışma kapsamında kamyon ile dekapaj malzemesinin nakliyesi işletme gideri ve birim işletme giderleri hesaplanmıştır. Buna göre işletme gideri yıllık 34.635.927 \$/yıl olarak hesaplanmış, birim işletme gideri 2,306 \$/m³ olarak belirlenmiştir.

- Kamyon-kırıcı-bant konveyör kombine sistemi ile dekapaj malzemesinin nakliyesi işletme gideri ve birim işletme gideri hesaplanmıştır. İşletme gideri yıllık 28.693.497 \$, birim işletme gideri 1,912 \$/m³ olarak hesaplanmıştır.

- En pahalı nakliye tamamen kamyon nakliyatına dayalı alternatifte 2,306 \$/ m³ olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bahar, D., Özçelik, Y., Kulaksız, S. (1997). ELİ Soma Güney Işıklar açık ocak işletmesinde örtü kütlesi taşımacılığında alternatif sistemlerin incelenmesi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, s. 101-108.
- Duyar, T., 2002, Açık işletme madenciliğinde nakliye sistemlerinin ekonomik analizi (Soma örneği), Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 4-47 s.
- ELİ, 2000, Eynez Sahası +200 Projesi, ELİ Etüd Proje Şb. Müd., Soma.
- Hustrulid, W.A.. and Kuchta, M., 1998, Open pit mine planning & Design, A. A. Balkema, Rotterdam, 636 pp.
- Johnson, R. E., 1972, Crushing and ore loading. surface mining. New York, p. 725-733.
- Saunders, J., 1984, Goes for optimum combination to boost production: The surface miner. Chicago, s. 8-10.
- Van Kleunen, P.J., 1972, Belt conveyors. Surface Mining. New York, s. 589-601.

5. BÖLÜM

MERMER VE DOĞALTAŞ



Pandül ve Yüzey Pürüzlülük Deneyleri ile Mermerlerde Kayma Emniyeti Analizi

Slip Safety Analysis of Marbles by using Pendulum and Surface Roughness Experiments

A. Sarıışık

AKÜ, Mühendislik Fak. Maden Müh. Bölümü, Afyonkarahisar, TURKEY

H. Akdaş

ESOGÜ, Mühendislik Mim. Fak., Maden Müh. Böl., Eskişehir, TURKEY

G. Sarıışık

AKÜ, İncehisar Meslek Yüksekokulu, İncehisar/Afyonkarahisar, TURKEY

G. Çoşkun

Cumhuriyet Üni., Meslek Yüksekokulu, Sivas, TURKEY

ÖZET Bu çalışma, kayma emniyetinin yüksek olması istenilen alanlarda, ayakkabı ile yürünen ve farklı mermerlerin kullanıldığı zeminlerde uygun yüzey işlemlerin belirlenmesinde, yayaların emniyetini artırıcı olarak yapılan bir araştırmayı kapsamaktadır. Yüzeyleri işlenmiş mermerlerin, zemin kaplama malzemesi olarak kullanılmasında önemli parametrelerden biri olan kayma direnci, TS EN 14231 “Pandül Deney Donanımıyla Kayma Direncinin Tayini” standardı kullanılarak saptanmıştır. Değişik boyutlarda, farklı yüzey işleme teknikleri ile işlenmiş ve oluşumlarına göre sınıflandırılmış olan 5 farklı tür mermer üzerinde, yüzey pürüzlülük özelliklerine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Mermer plakaların kayma direnci değerlerini etkileyen parametrelerin yüzey işleme teknikleri ve yüzey pürüzlülüğü olduğu tespit edilmiştir. Bu parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için istatistiksel analiz yapılmıştır. Mermer plakaları, belirlenen istatistiksel analiz sonuçları dikkate alınarak, kayma direnci ve yüzey pürüzlülüklerine bağlı olarak emniyetli kullanım yerlerine göre sınıflandırılmıştır.

ABSTRACT The present work attempts to determine the most suitable surface processing techniques to reduce the slipping risk of pedestrians while walking wearing shoes on marble coverings. In this study, slip resistance, one of the most important parameters in floor covering, have been determined by applying TS EN 14231 Standard (Determination of Slip Resistance with Pendulum Friction Test Equipment) on three different dimensioned and surface-processed marbles. Slip angles and surface slip resistances have been determined by using pendulum method on five different types of dimensioned - classified marbles applied polishing, honing, tumbled and patinato surface processing techniques. It was found that the parameters which affected slip resistance values of the marbles were the applied surface processing techniques and surface roughness. Obtained results have been statistically correlated with slip resistance and surface roughness values. Finally, the marbles were classified according to safe utilization places depending on slip resistances and surface roughness.

1 GİRİŞ

Doğal yapı taşları zemin kaplama malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Doğal taşların zemin kaplama malzemesi olarak kullanımında, dikkat edilecek özelliklerinden en önemlilerinden biri de kayma direncidir (Grönqvist 1995; Rowland vd, 1996; Kim 1996; Chang 1999; Manning vd, 1998). Kayma vakaları, deneyi yapan kişi, deney ortamı, kirleticiler (su, yağ, donma, toz) gibi çevresel faktörler, yetersiz zaman, sıcaklık ve aydınlatma, ayakkabı ve yürünölen zeminin özellikleri dahil bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanır (Kim 2001). Tüm bu unsurlar, sürtünme kuvvetinin (ya da yüzey kayma direncinin) kaymayı önlemeye yeterli olup olmadığına karar vermek için birleştirilebilir. Doğal taş plakalarında kayganlık, yüzey ve yüzeyle etkileşen nesnenin çekme ya da sürtünmesinden oluşan etki olarak tanımlanabilir. Adams'a göre (1997) yayaların yürürken, kayma kazalarının artmasıyla kaymayı önleme çalışmalarının önemi belirgin olarak artırmıştır. Kayma direnci, ayakkabı tabanı ile zemin kaplama malzemesi yüzeyinin etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bunun için insanların (yayaların) ayakkabı ile emniyetli hareket edebilmesi için, zemin kaplama malzemesi olarak kullanılacak doğal taş plakalarının ıslak ve kuru zeminlerde de kayma emniyetinin belirlenmesi gerekmektedir. Kayma direncini etkileyen en önemli faktörün yüzey pürüzlölüğü olduğu incelenen literatürde belirtilmiştir (Chang, 1998). Buna göre, zemin kaplamalarında yüzey pürüzlölüğü de sürtünmeyi etkilemektedir. Yüzey kaplamasının pürüzlölük özelliğinin artması, kaymayı önemli bir şekilde azaltmaktadır (Chang, 1999; Chang vd, 2001; Chang, 2003; Chang vd, 2004; Manning vd, 1998; Manning ve Jones, 2001). Doğal taş plakaların kayma emniyetinin belirlenmesi için yüzeyleri işlenmiş doğal taş plakalarının kayma açısının laboratuvar ortamında test edilmesi gerekli hale gelmektedir. Literatürde kayma direncinin belirlenmesinde birçok farklı test

cihazı kullanılmaktadır (Grönqvist vd, 1999; Leclercq 1999; Saruşık vd, 2007; Saruşık 2009).

Doğal taşlar üzerinde iki temel amaç ile yüzey işleme teknikleri uygulanmaktadır. Birincisi cazibesini, albenisini, estetiğini ya da genel görünümlünü geliştirmektir. İkinci amaç ise, yayaların kaymalardan kaynaklanan kazaların riskini azaltmak için yapılmaktadır. Doğal taşlara yüzey işleme tekniği uygulanmasıyla, kullanım yeri, parlaklık, cila alma ve kaymazlık özellikleri doğrudan etkilenmektedir (Saruşık vd, 2003; Saruşık, 2009; Saruşık, vd., 2010).

Ayakkabı ile kayma güvenliliğinin analiz edildiği ortamlar özellikle, nem ile sıklıkla etkileşen iç mekânlar (alışveriş merkezleri, yemek alanları, otel giriş salonları, ortak soyunma odaları, iç mekân basamakları, banyo, depo, çamaşırhane) ve dış mekânlar (yürüyüş yolları, yüzme havuzu çevresi, dış mekân basamakları ve eğimli alanlar) kayma ihtimali yüksek ortamlardır. Bu mekânlarda sabun artıkları, mutfak yağları ve gıda maddesi gibi diğer kirleticilerle temas halinde olunduğu ve kullanıldığı için kayma riski yüksek olmaktadır.

Genellikle, havuzlarda kullanılan doğal taş plakalarının yüzeylerindeki, su, havuz tuzları, şampuan artıkları ve vücut yağı atıkları kaymayı kolaylaştırıcı yönde etkilemektedir. Bunun sonucu olarak, havuz etrafında düşmelere ve ciddi yaralanmalara neden olmaktadır (Gürcan 2006). İnsanların çıplak ayakla ve ayakkabı ile ıslak zemin kaplamalarında kayma riskini en aza indirmek için doğal taş plakaların yüzey işleme yöntemi ve uygun boyutların belirlenmesi gerekmektedir (Saruşık vd, 2010).

Bu araştırmada, inşaat sektöründe, özellikle ıslak ve nemli ortamlarda kullanılan metamorfik kayaçlar seçilmiştir. Metamorfik kayaç olan gerçek mermerlerden 5 adet farklı mermer incelemek için tercih edilmiştir. Kayma direnci düşük olan mermer plakaların honlama, eskitme ve patinato gibi yüzey işlemelerinin daha dikkatli ve standartlara göre yapılarak, insanların ayakkabı ile kullandıkları

alanlarda kayma riskini en aza indirmek hedeflenmiştir. Bu nedenle, ayakkabı ile yürünen yerlerde kullanılan zemin kaplamalarının kaymayı önleyici özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yayaların ayakkabı ile ıslak zeminlerde kayma emniyeti en düşük seviyede olması çalışmaya önemli hale getirmektedir. İncelenen literatürde, ayakkabı ile mermer plakaların kayma emniyeti belirleyen başka bir çalışmaya rastlanmamış olması, çalışmanın önemini ve değerini arttırmaktadır. Kullanılan mermer plakaların doğal desenleri, sanatsal ve görsel özelliklerinin insanlara sunulmasının yanı sıra, kayma emniyeti analiz sonuçlarına göre inşaat sektöründe uygulanması ve kullanılması ile bu çalışmanın hedefine ulaşacağı beklenilmektedir.

Bu araştırmada, ayakkabı ile kayma direncinin belirlenmesi amacıyla, ayakkabı altlığını temsilen 4S lastik pençe ile kayma direncinin belirlenmesi için pandül test cihazı kullanılmıştır. Mermer plakalarının yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde de yüzey pürüzlülük cihazı (Mitutoyo SJ – 400) kullanılmıştır. Mermerler ile zemin kaplamalarının kaymayı önleme özelliğinin belirlenmesi için TS EN 14231 “Pandül Deneysel Donanımıyla Kayma Direncinin Tayini” standartları kullanılmıştır. Belirlenen standartlara uygun olarak yapılan testlerde 30,5x30,5x1,0 cm boyutlarında plakalar kullanılmıştır. Cilalı, honlu, eskitme ve patinato yüzeylere sahip bu plakalar için kayma dirençleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Mermer, son yıllarda kaplama malzemesi olarak insan dolaşımının fazla olduğu, alışveriş merkezleri, hastaneler, otogar, tren istasyonları, okullar, yüzme havuzları gibi toplu kullanım alanlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Deneysel kullanılan mermerler ve kodlanması

Ticari İsim	Numune Kodu	Yüzey İşleme Metodu	Plaka Boyutu (cm)
Kütahya Mermer	M1		
Afyon Menekşe	M2		
Dolomitik Mermer	M3	Cilalı Honlu	30,5 × 30,5 × 1,0
Afyon Şeker	M4	Eskitme	
Blue King	M5	Patinato	

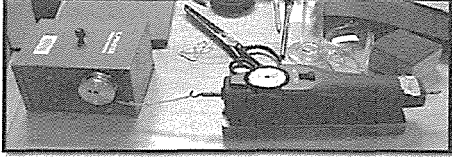
Bu alanlarda kayma sonucu oluşan kazaları, en aza indirmek amacıyla, kaplama malzemesi olarak kullanılan mermerlerin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özelliklere göre, mermer grubu doğal taşların optimum kullanımı belirlenecektir. Deneysel kullanılan mermerlerin ticari ismi, kodu, plaka boyutu ve yüzey işleme metodları Çizelge 1’de verilmektedir.

2.2 Metod

1950 sonlarında, kayma direnci ile ilgili geliştirilen çok farklı araç ve cihazlar bulunmaktadır. Bu araç ve cihazlar pürüzsüz yüzey ya da kayma direnci, dinamik veya statik sürtünme katsayısının ölçümleri için geliştirilmiştir. Uygulamalar için doğru testi seçmek önemlidir. Bu kaymazlık testleri için geliştirmiş; sürtünme ölçüm metresi, yatay dinamometre, james machine, pandül testi ve eğik düzlem test cihazları bulunmaktadır (Grönqvist vd, 1999; Leclercq 1999; Saruışık vd, 2007; Saruışık 2009).

2.2.1. Yatay Sürtünme Ölçüm Metresi

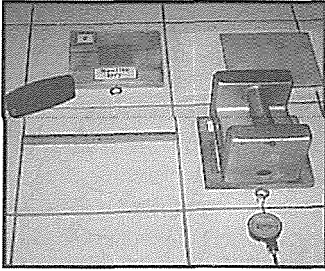
Bu deney cihazı, sürüklenme kızağına sahip bir mesnet üzerinde yatay bir kuvvetle çekilirken, nesneyi hareket ettirmesine sebep olan noktayı ölçer (Şekil 1). İyi bir sonuç için, yatay çekme kuvveti, naylon ipele bağlanan bir küçük motorla uygulanır (Saruışık vd, 2007).



Şekil 1. Yatay sürtünme ölçüm metresi (Anonim, 2004)

2.2.2. Yatay Dinamometre

Yatay dinamometre cihazı farklı bir çekme kızığı testidir. Sürtünme katsayısı ölçümü yatay kuvvetin dik kuvvete bölünmesiyle kaydedilir (Şekil 2). Ölçümlerle ilgili, el tarafından itilen bu aletle işlemlerde değişmeler olabileceği belirtilmektedir. ASTM test protokolü tarafından, hem kiremit zeminlerde, hem de yol yüzeylerini test etmek için kullanılabilen kabul edilmiştir (Anonim, 2004).



Şekil 2. Yatay dinamometre (Anonim, 2004).

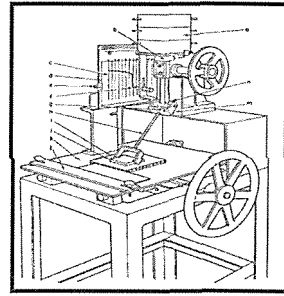
2.2.3. James Makinesi

James makinesi, 1975'de zemin - yüzey ürün imalatçılarının ortaklığı ve ASTM D2047 sponsorluğunda sürtünme katsayısının hesaplanması için yapılan bir laboratuvar cihazıdır. En eski ve diğer standartlar için de devamlı ve çoğunlukla uygulanan bir deney tekniğidir. James makinesi, yüzey ile deney malzemesinin yerleştirildiği, parça kolunun itme hareketine bağlı olarak hesaplama yapan bir düzenekten oluşur (Şekil 3). Sürtünme katsayısı; motor gücüyle hareket eden parça kolunun, örneğin kaydığı andaki

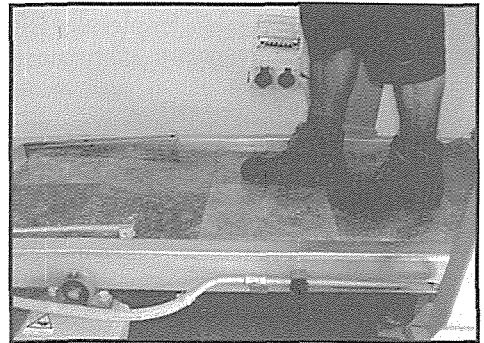
noktayı grafiğe aktararak, buradan kayma anındaki açının hesaplanmasıyla bulunur (Saruşık vd, 2007).

2.2.4. Eğik Düzlem Test Cihazı

Eğik düzlem test cihazı, kontrollü şartlar altında kişinin yürümesine bağlı olarak kaplama malzemesinin kayma açısının bulunmasında kullanılan bir yöntemdir. Eğik düzlem test cihazı, seramik ya da doğal taşlar için kullanılabilir. Bu yüzden, ıslak sarkaç testinden daha geniş aralıktaki ürünler için kayma açısı hesaplanabilir. Islak-yalın ayak test yöntemiyle; insan yoğunluğunun fazla olduğu ıslak alanlarda daha güvenli bir yüzeyi belirlemede kullanılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. James Makinesi (Marpet 2001)



Şekil 4. Eğik düzlem test cihazı

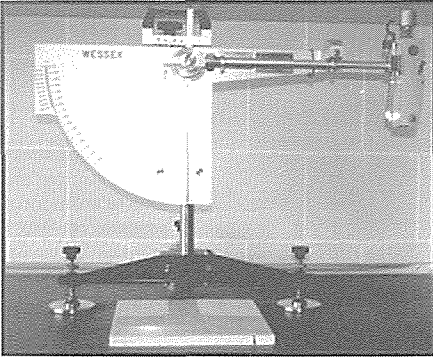
Eğik düzlem test cihazı, yüzeylerin kaymazlık özelliklerini belirleyen DIN

51130, DIN 51097 ve ISO 10545-17 standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Bu test cihazı, kaygan yüzeylerin dinamik sürtünme katsayılarının tayininde de kullanılan bir cihazdır.

Test cihazı, 600 mm genişliğinde ve 2000 mm uzunluğuna sahip, eğimi uzunlamasına 0 ile 45° arasında ayarlanabilen, düz ve eğilmeyen bir döşemeden oluşur. Test cihazına yan taraftan takılan, test edici tarafından görülemeyen bir açı ölçme cihazı, döşemenin eğim açısını yatay eksene göre 1° olarak göstermektedir. Test edicinin emniyeti açısından, test cihazının kenarlarına parmaklık yerleştirilmiştir.

2.2.5 Pandül Test Cihazı

Doğal taşlarda sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ), Maden Mühendisliği Laboratuvarında bulunan pandül cihazı (WESSEX, S885 Model) kullanılmıştır. Bu cihaz, kaydırıcı ve deney yüzeyi arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Pandül deney cihazı

Pandül deneyi test cihazı yüzeylerin kaymazlık özelliklerini BS EN standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Pandül test cihazı, kaydırıcı ve deney yüzeyi arasındaki

sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer vermek üzere tasarlanmıştır.

Bu çalışmada TS EN 14231 standardı dikkate alınmış olup, bu standart yapıların zeminlerinde kullanılan doğal taşların yüzeylerinin kaymaya karşı direncinin tayini metodunu kapsamaktadır.

Test aşamasında; deney numuneleri, mamulün tamamı veya birimin üst yüzeyini ihtiva edecek özellikte kesilmiş bir parçası olmalıdır. Her bir numune, 136 x 86 mm bir deney alanı sağlamalıdır. Bu çalışmada deney numuneleri nihai ürün olan 30,5x30,5x1,0 cm plaka boyutu kullanılmıştır. Bu alan, C skalası üzerinde okumaların yapılacağı, 126 mm'lik kayma uzunluğunda ve 76 mm genişliğinde bir kaydırıcının kullanımıyla deneye tâbi tutulmalıdır.

Sürtünme deney donanımı, kaydırıcı ve numuneler, deneyin başlamasından en az 2 saat önce (20 ± 5)° C'lık oda sıcaklığında laboratuvar ölçümleri için muhafaza edilir. Numunenin büyüklüğüne göre uygun kaydırıcı ve deney skalası seçilmelidir.

Çalışma yerlerinin zeminlerinde yapılacak ölçümlerde, deney için belirlenmiş yüzeylerde bulunan ince taneler fırça ile temizlenir ve suyla yıkanarak uzaklaştırılır. Deney yüzeyi ve kaydırıcının sıcaklığı 1 °C yaklaşımla ölçülür. Yüzeyin sıcaklığı 5 °C ilâ 40 °C aralığının dışında işe, deney yapılmamalıdır. Sürtünme deney cihazı, sert, düz bir yüzey üzerine yerleştirilir. Destek kolunu düşey olacak şekilde seviye ayar vidalarıyla ayarlanır. Sonra, pandül kolunun serbestçe salınım yapması için pandülün askı eksenini yükseltir. Pandül kolu ve ibre, sağ yatay konumdan bırakıldığında deney skalasında sıfır işaretinde duracak şekilde ibre mekanizmasındaki sürtünme ayarlanır. Deney numunesi, uzun tarafı pandül hattında olacak ve lâstik kaydırıcıya ve pandül süspansiyon eksenine göre merkezde bulunacak şekilde sıkı biçimde

yerleştirilerek, lâstik kaydırıcı ve pandül askı eksenine göre merkezlenir. Kaydırıcı hattının, kayma mesafesi boyunca numunenin uzun eksenine paralel olması sağlanır. Belirli kayma uzunluğunda ve lâstik kaydırıcının tüm genişliği boyunca temas ettiği numunenin üzerinden geçen pandül kolunun yüksekliği ayarlanır.

2.2.5.1. Kuru Şartlarda Deney İşlemi

Çizelge 1'de özellikleri verilen numuneler, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (105 ± 5) °C sıcaklıkta kurutulur. Pandül cihazında ibre başlangıç konumuna getirilir. Yüze yapılan işlemler cihazın serbest bırakma düğmesine basılarak pandül kolunun serbest olarak hareketi sağlanır ve kaydırıcının deney yüzeyine yeniden temas etmesinden önce geri dönüş hareketinde tutulur. Skalada okunan değer kaydedilir. Hazırlanmış mekanizmayla kaydırıcı ve yüzeyin temasını sağlayacak şekilde, kol ve ibre yeniden başlangıç konumuna getirilir. Aralarında üç birimden daha fazla bir farkın olmadığı art arda beş okuma (C skalası üzerinde) alınacak şekilde aynı işlemler tekrar edilir. F skalası kullanılırsa, art arda yapılan beş okuma arasında 0,03'ten daha fazla fark olmamalıdır. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler kontrol edilerek tekrarlanır.

2.2.5.2. Yaş Şartlarda Deney İşlemi

Bu deneylerde numuneler, laboratuvar ölçümleri için deneyin yapılmasından önce (20 ± 5) °C sıcaklıktaki su içerisinde en az 2 saat süreyle bekletilir. Pandülün her kaymasından önce deney yüzeyi ve kaydırıcı, (20 ± 5) °C sıcaklıktaki damıtık veya deiyonize su ile devamlı olarak ıslatılır. Yüzey üzerinde hareket eden deney cihazının başlığı yukarı kaldırılır ve sıfır

hata için serbest kayma kontrol edilir. Laboratuvar ölçümleri için numune, 180° döndürüldükten sonra yeniden yerleştirilir ve bütün işlemler tekrar kontrol edilerek tekrarlanır.

Her bir numune veya her bir deney alanı için kuru ve yaş şartlarının her ikisinden ve zıt doğrultularda ölçülmüş beşli grup halindeki okuma değerlerinin ortalaması hesaplanır. Hesaplamaları yapılan pandül değerleri kayma direncine göre (Çizelge 2) ve kayma potansiyeline göre sınıflandırılır (Çizelge 3).

Çizelge 2. Kayma Direncinin Sınıflandırılması

Pandül Değeri	Kayma Direnci
0-24	Tehlikeli
24-34	Sınırlı
35-64	Yeterli
>65	Çok İyi

Çizelge 3. Kayma potansiyelinin sınıflandırılması (TS EN 14321, 2004; Bowman, 2004).

Sınıf	Pandül değeri	Kayma potansiyeli	Uygulama alanları
V	>54	Çok düşük	Dış mekân eğimli alanlar
W	45-54	Düşük	Dış mekân yürüyüş yolları, yüzme havuzu çevresi, Dış mekân basamaklar
X	35-44	Orta	Alışveriş merkezleri, yemek alanları, otel giriş salonları, ortak soyunma odaları, iç mekân basamaklar
Y	25-34	Yüksek	Banyo, depo, çamaşırhane
Z	<24	Çok yüksek	Alışveriş merkezleri

2.2.6. Yüzey İşleme Yöntemleri

Islak ortamlarda yoğun olarak kullanılan mermerler, en çok kullanılan yüzey işleme tekniklerinden cilalama, honlama, eskitme ve patinato yapılarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan mermer plakaların yüzeylerinin işlenmesi için tesis boyutunda

yüzey işlemlerinde kullanılan kalibre ve abrasif başlıkları, su miktarı, bant hızı, basınç oranı ve mermer yüzeyinin durumu Şekil 6'da verilmektedir.

2.2.6.1. Cilalama

Cilalama işlemi temelde kontrollü bir aşındırma işlemidir. Cilalama işleminde, silim-cila hattında bulunan makineler kullanılır. Mermer silim hattında, aşındırıcılar ile mermer yüzeyinde kesim esnasında oluşan çizikler veya parçacıkların uzaklaştırılması ile yüzeyin pürüzsüz bir hale getirilme işlemi yapılmaktadır (Şekil 6) (Engin 2007). Çalışmada kullanılan mermerler plaka hattı (3+12) (DEMMAK DCM 650-700S) silim makinesinde (kalibre motor gücü 18,4 kW/1400 d/d ve cila motor gücü 7,4 kW/1000 d/d), cilalama işlemi yapılmıştır.

2.2.6.2. Honlama

Honlama işlemi, yüzeyde tane boyutu küçük olan (30–320 grit) abrasif kullanılarak yapılır. Honlama işlemi için istenilen matlık talebine göre 220, 320 abrasifle silim yapılır (Şekil 6) ve ardından 1 kafa honlama keçesi ile abrasif izleri silinir. Honlama işlemi sonucunda düz, cilalıya göre pürüzlü ve daha mat bir yüzey elde edilir. Yüzey cilasız olduğu için kaymayı önleyici ve daha emniyetli bir yürüyüş imkânı elde edilmektedir.

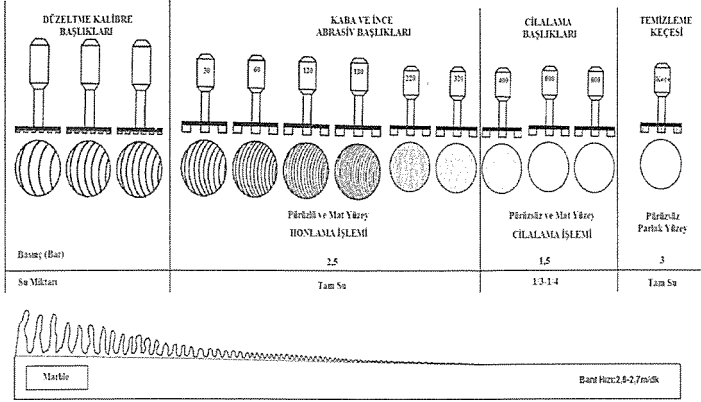
2.2.6.3. Eskitme

Doğal taşlarda eskitilmiş yüzey, doğal taş yüzeylerinin aşındırıcılar ile uzun sürede işlenme sonucu elde edilmektedir. Doğal

taşlar, su ve aşındırıcı parçacıklarla beraber eskitme teknesinin içine konulur. Makinenin değişik mekanik hareketleri sonucunda aşındırıcılı sulu karışımla birlikte ve hareketli ortamda karışarak aşınır. Doğal taş parçaları titreşim, salınım, çalkalama hareketleri yapan teknenin içinde değişik formlarda aşındırıcı, kimyasal veya metal malzemelerle birlikte işleme tabi tutulur. Eskitme işleminde, kenar ve köşelerde daha fazla aşınma oluşmaktadır (Engin, 2007). Çalışmada kullanılan mermerler, 1800 litre kapasiteli, (Doğal taş plaka boyutu max. 60x90 cm olan) tambur tipi makinelerde (KROMAŞ (VM Y 900)) 15–20 dakika çalkalanarak eskitme yapılmıştır.

2.2.6.4. Patinato

Çeşitli kalınlıkta çelik telden oluşan fırçalar taşın yüzeyine dairesel hareketlerle otomatik silim hattında olduğu gibi sırayla sürtülür. Bu esnada yüzeydeki yumuşak bölgelerden bir miktar talaş malzeme kaldırılır. Sonuçta taşın yüzey ve kenarlarında pürüzlü ve engebeli bir yüzey oluşarak taş eskimiş bir görüntüye kavuşturulmuş olur. Bu tip yüzeye sahip olan taşlara "patinato" adı verilmektedir. Bu yöntemle taş çok yumuşak ve doğal bir görünüm kazanır, bu yüzden fırçalama oldukça talep gören bir yöntemdir. Kullanılan aşındırıcıya da bağlı olarak oldukça düşük düzeyde pürüzlülük, düzgün olmayan ama gözle görülebilir bir parlaklık ve özellikle büyük plakalarda fark edilen belirgin yüzey ayrıntıları göze çarpan özelliklerdendir (Kulaksız, 2007). Çalışmada kullanılan doğal taşlar cila makinesinde 46-60-80-120-180-240 ve 320 nolu silisyum karbürü patinato fırçalarından geçirilerek, yüzey işlemi yapılmıştır.



Şekil 6. Testlerde kullanılan mermer plakaların honlama-cilalama işlemelerinin şematik görünümü (Şentürk vd, 1996, Kulaksız, 2005)

2.2.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Çalışmada honlu, cilalı, eskitilmiş ve patinatolu doğal taş plakaların yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için yüzey pürüzlülük cihazı (Mitutoyo SJ – 400) kullanılmıştır. DIN standardına göre çalışan bu cihazda 0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8, 12,5, 25 mm tarama boyu ve 0,00125 µm okuma hassasiyeti ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 12,5 mm'lik tarama boyu kullanılmıştır.

Doğal taş numunelerinde, öncelikle yüzey üzerinde düşey olarak 12,5 mm mesafeli 36 ölçüm hattı belirlenmiştir. Sonra her bir doğal taş numunesi için, 36 tane yüzey pürüzlülük (Rz) değeri ölçülmüş ve 2 adet aynı tür numune üzerinde toplamda 72 adet değerin aritmetik ortalaması alınarak, yüzeyi tek bir metod ile işlenmiş mermer plakasının pürüzlülük (Rz) değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplanan pürüzlülük (Rz) değerler Çizelge 4'de verilen değerlere göre irdelenmiştir.

Çizelge 4. Islak ortamlarda yüzey pürüzlülük test sonuçları (Carpenter J, vd, 2006; Bowman, R., 2003)

Yüzey pürüzlülüğü, Rz (µm)	Kayma potansiyeli
≤10	Yüksek
10 -20	Orta
20 – 30	Düşük
>30	Çok düşük

3. Deneyler ve Verilerin Analizleri

3.1. Mermer Plakaların Pandül Yöntemi ile Kuru ve Islak Ortamında Kayma Direnci Analizleri

Deneyde kullanılan cilalı, honlu, eskitme ve patinato mermer plakaların zemin kaplamalarında çokça tercih edilen 30,5x30,5x1,0 cm plaka boyutlarındaki, 5 farklı mermer, 4 farklı yüzey işleme metodu, 2 adet numune, 6 pozisyon, 2 farklı ortam, 5'er adet alınan kayma direnci değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Mermerlerde 10 tane kayma direnci değeri 6 farklı pozisyon ile üç faktörlü varyans (ANOVA) analizi (5 mermer x 4 yüzey işleme x 6 pozisyon x 2 ortam) uygulanmıştır. Toplamda mermerlerde 2400 veri elde edilerek değerlendirilmiştir. Şekil 7'de sonuçlar toplu olarak verilmektedir.

Kuru ortamda, cilalanmış yüzeylerin kayma direnci değerleri düşük iken honlu yüzeyler için kayma direnci değerleri yükselmektedir. Cilalı yüzeyler için M1 numunesi aritmetik ortalama 31,02 ile en düşük değeri alırken, honlu yüzeylerde M2 numunesi aritmetik ortalama 53,72 ile en yüksek kayma direnci değerini vermiştir.

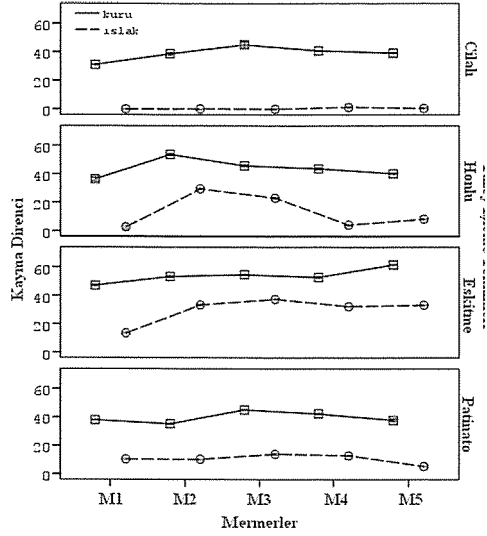
Kuru ortamda, patinatolu yüzeylerin kayma direnci değerleri cilalı ve honlu

yüzeyle göre daha yüksektir. Patinatolu yüzeyli M3 numunesi aritmetik ortalama 45,03 ile en yüksek kayma direnci değerini vermiştir. Eskitilmiş yüzeylerde ise M5 numunesi aritmetik ortalama 61,70 ile en yüksek kayma direncine sahiptir. Kuru ortamda, eskitilmiş yüzeyli tüm numuneler, en yüksek kayma direncine sahip olduğu için tercih edilebilir.

Kuru ortamda olduğu gibi, Islak ortamda da, cilalı, honlu ve patinatolu yüzeyler için kayma direnci değerleri düşerken, beklenildiği gibi eskitilmiş yüzeylerde yükselmektedir. Islak ortamda, cilalı yüzeyler için M1 ve M3 numuneleri aritmetik ortalama 0 ile en düşük değeri alırken, eskitilmiş yüzeylerde M3 numunesi 37,40 ile en yüksek değeri almıştır. Honlu yüzeylerde ise, M4 numunesi 4,23 aritmetik ortalama ile en düşük değeri vermiştir.

Genel olarak bakıldığında, cilalı, honlu, eskitilmiş ve patinatolu yüzeylere sahip mermer plakaların kuru ortamdaki kayma direnci değerleri, ıslak ortamdaki değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 7). Ayrıca mermer plakaların pandül yöntemi ile kuru ve ıslak ortamda kayma direnci değerlerinin, küçükten büyüğe doğru olmak üzere, cilalı<honlu<patinato<eskitme sıralaması elde edilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre, ıslak ortamda, cilalı, honlu ve patinatolu yüzeyli mermer plakalarının

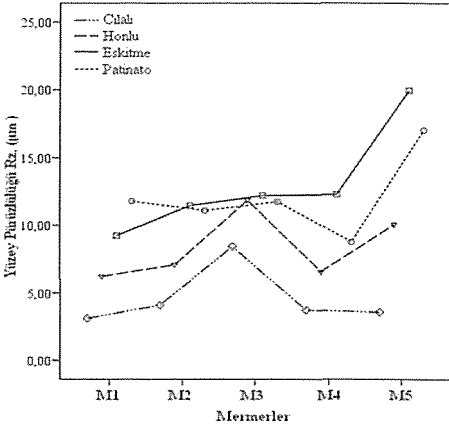
kayma riski yüksek olduğu için zemin kaplama ve kullanım yeri seçiminde dikkat edilmelidir. Islak ortamda, cilalı, honlu ve patinatolu yüzeyli tüm mermer plakaları, düşük kayma direncine sahip olduğu için kullanılması önerilmemektedir.



Şekil 7. Cilalı, honlu, eskitme ve patinatolu yüzeylere sahip mermer plakaların pandül yöntemi ile kuru ve ıslak ortamda elde edilen kayma direnci değerleri

3.2. Mermer Plakaların Yüzey Pürüzlülük Analizi

Kuru ortamda yapılan yüzey pürüzlülük deneylerinde, mermer plakalarının cilalı, honlu, eskitme ve patinato yüzey pürüzlülüğü değerleri, istatistiksel olarak analizi yapılmıştır. Mermer plakalarında 72 tane yüzey pürüzlülük (Rz) değeri ile iki faktörlü varyans (ANOVA) analizi (5 farklı mermer x 4 yüzey işleme x 2 adet numune x 36 yüzey pürüzlülük (Rz) değeri) uygulanmıştır. Toplamda mermerlerde 1440 veri kullanılmıştır. Mermer plakalarında kayma açısı bakımından $p < 0.001$ anlamlılık düzeyinde yüzey işlemler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 8 de verilmektedir.



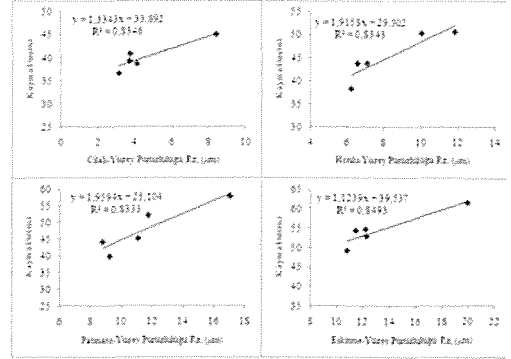
Şekil 8. Cilalı, honlu, eskitme ve patinatolu yüzeylerde mermer plakaların yüzey pürüzlülüğü (Rz) değerleri

Tüm mermer plakaların cilalı ve honlu yüzeylerinde (Rz) değeri 10 µm'dan küçük olduğu için kayma potansiyeli çok yüksek seviyededir. Patinatolu yüzeyli M2, M3 ve M5 mermer plakalarında ve eskitme yüzeyli mermerlerin tamamında (Rz) değeri 10–20 µm arasında olduğu için kayma potansiyeli orta seviyededir. Mermer plakalarda cilalı, honlu ve patinatolu yüzeylerde (Rz) değeri daha düşük iken, eskitilmiş yüzeylerdeki (Rz) değeri daha yüksektir. Ayrıca mermer plakaların yüzey pürüzlülük değerlerinden, küçükten büyüğe doğru olmak üzere, cilalı<honlu<patinato<eskitleme sıralaması elde edilmiştir. Buna göre, mermer plakalarda yüzey pürüzlülüğü artıka, kayma direnci artmaktadır. Aynı zamanda zemin kaplama amaçlı kullanımlarda, yüzey işlemlerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir.

3.3. Mermer Plakalarında Kayma Direnci ile Yüzey Pürüzlülük Arasındaki İlişki

Doğal taş plakalarda kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında basit doğrusal regresyon yapılmıştır. Mermer plakaların yüzey işleme temelinde, yüzey pürüzlülüğü ve kayma direnci arasındaki ilişkiler Şekil 9'

da verilmektedir. Bu analizde, mermer plakalarda cilalı, honlu, eskitilmiş ve patinatolu yüzeylerde $R^2 > 0,83$ regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Kayma direnci ile cilalı, honlu, eskitilmiş patinatolu doğal taş plakaların yüzey pürüzlülüğü arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Mermerlerin kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki regresyon modelleri

3.4. Mermer Plakaların TS EN 14231 Standardına ve Yüzey Pürüzlülük Değerlerine Göre Sınıflandırması

Mermer plakalarında TS EN 14231 standardına göre yapılan analizler sonucunda kayma direnci değerleri belirlenmiştir. Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini TS EN 14231 standardı dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre hangi mermerlerin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 5'de verilmektedir.

Çalışmada kullanılan mermer plakaları, kuru ortamda, cilalı yüzeyli M1, M2, M4 ve M5 numuneleri ile, honlu yüzeyli M1, M2 ve M4 numuneleri, patinatolu yüzeyli M1, M4 numuneleri kayma direnci değeri 35'den büyük olduğu için X sınıfında yer almaktadır. X sınıflandırmasında yer alan mermerler alışveriş merkezlerinde yemekhane alanları, ortak soyunma odaları, iç mekânlarda basamaklar ve otel girişlerinde kullanılabilir. Kuru ortamda, cilalı yüzeyli M3 numunesinde, honlu yüzeyli M3, M5 numunesinde, patinatolu

yüzeyle M2, M3 numunesinde ve eskitilmiş yüzeyle M1, M4 numunesinde kayma direnci değeri 45'den büyük olduğu için W sınıfında yer almaktadır. W sınıflandırmasında yer alan mermerler dış mekânda yürüyüş alanları, yüzme havuzu alanları ve dış mekân basamakları için önerilmektedir.

Kuru ortamda patinatolu yüzeyle M5 numunesinde ve eskitilmiş yüzeyle M2, M3, M5 numunesinde kayma direnci değeri 54'den büyük olduğu için V sınıfında yer almaktadır. V sınıflandırmasında yer alan mermerler, dış mekânda eğimli alanlarda kullanılabilir. Islak ortamda, honlu yüzeyle M2, M3 mermer plaka numuneleri ve patinatolu yüzeyle M2 numunesi, eskitilmiş yüzeyle M2, M3, M4, M5 numuneleri hariç kayma direnci değeri 24'den küçük olan diğer numuneler Z sınıfında yer almaktadır. Z sınıflamasında yer alan mermerler alışveriş merkezlerinde tercih edilebilir.

Çizelge 4'deki yüzey pürüzlülük Rz (μm) sınıflandırması dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre hangi mermerlerin hangi sınıflama içinde yer aldığı Çizelge 6'da verilmektedir. Buna göre, cilalı yüzeylerde tüm mermer numuneleri yüzey pürüzlülüğü 10 μm ' dan düşük olduğu için kayma potansiyeli yüksek seviyededir. Honlu yüzeylerde M3 ile M5 numunesi, patinatolu yüzeylerde ise M1 ile M4 numunesi hariç, diğer numuneler yüzey pürüzlülük değeri 10-20 μm arasında olduğu için kayma potansiyeli orta seviyede yer almıştır. Eskitilmiş yüzeylerde de, mermerlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri 10-20 μm arasında ve honlu yüzeylere göre kısmen artarak, kayma potansiyeli orta seviye olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu deneysel çalışmalar sonucunda, zemin kaplama malzemesi olarak kullanılacak mermerlerin, TS EN 14231 standartları kullanılarak 5 farklı tür mermer; cilalı, honlu, eskitme ve patinatolu yüzeylerindeki kayma dirençleri ve yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Mermer

plakalarda kayma direnci ve yüzey pürüzlülüğü bakımından $p < 0,001$ anlamlılık düzeyinde tüm boyutlar ve yüzey işlemler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermer plakalarının zemin kaplamalarında kullanımında plaka boyutları, yüzey işleme teknikleri ve yüzey pürüzlülüğü oldukça etkili olduğu görülmektedir. Mermerlerin yüzey işleme yöntemlerine bağlı olarak, kayma direnci değerinin önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir. Buna göre cilalı yüzeyden, honlu, patinato ve eskitilmiş yüzeye doğru (cilalı < honlu < patinato < eskitme) mermerlerin yüzey pürüzlülüğü arttığı için kayma direnci de artmaktadır.

Bu çalışmada, mermerlerin deneysel ve istatistiksel analizleri sonucu belirlenen kayma dirençlerine göre TS EN 14231 standartları dikkate alınarak emniyetli kullanım yerlerine göre sınıflandırılması önerilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülük Rz (μm) sınıflandırması dikkate alınarak, elde edilen değerlere göre de bu mermerlerin kayma potansiyeli sınıflaması içindeki konumları belirlenmiştir. Kuru ortamlarda, pandül ile tüm yüzeyler ve plaka boyutlarında mermer plakaların kayma direnci yükseldiği için kayma potansiyeli azalmaktadır. Pandül yönteminde, ıslak ortamlarda kayma direnci düştüğü için tüm yüzeylerde, kayma potansiyeli ve riski daha yüksektir. Buna göre zemin kaplamalarında kuru ortamlarda, mermer plakaları daha emniyetli olarak kullanılabilir. Islak ortamda, mermer plakalarının kayma direnci değerleri düştüğü için, özellikle cilalı yüzeylerde kayma potansiyeli ve riski oldukça yüksektir. Pandül yönteminden elde edilen sonuçlara göre, ıslak zeminlerde, mermerlerin kullanılması zorunlu olduğunda, yüzeyleri eskitilmiş plakaların seçilmesi daha isabetli ve yerinde olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Komisyonu'nun 30.04.2010 tarih ve 14 Numarası: 108M624) tarafından sayılı kararı ile (proje numarası: 201015016) desteklenmektedir. Katkılarından dolayı ve TÜBİTAK-1002 Projesi (Proje teşekkür ederiz.

Çizelge 5. Mermer plakaların TS EN 14231 Standardına göre sınıflandırması

Mermerler	M1		M2		M3		M4		M5		
	Kayma Direnci	Sınıf	Kayma Direnci	Sınıf	Kayma Direnci	Sınıf	Kayma Direnci	Sınıf	Kayma Direnci	Sınıf	
Kuru	Cilalı	36,55	X	38,67	X	45,02	W	40,78	X	39,22	X
	Honlu	38,22	X	43,72	X	50,65	W	43,73	X	50,27	W
	Eskitme	49,12	W	54,37	V	54,65	V	52,8	W	61,7	V
	Patinato	39,85	X	45,15	W	52,04	W	44,2	X	57,78	V
Islak	Cilalı	0	Z	0,12	Z	0	Z	1,27	Z	0,43	Z
	Honlu	2,62	Z	29,53	Y	24,13	Y	4,17	Z	8,23	Z
	Eskitme	13,467	Z	33,36	Y	37,4	X	32,23	Y	34,4	Y
	Patinato	10,33	Z	10,22	Y	13,93	Z	12,87	Z	5,33	Z

Çizelge 6. Mermer plakaların yüzey pürüzlülük (Rz) değerine göre sınıflandırması

Mermerler	M1		M2		M3		M4		M5		
	Rz	Sınıf	Rz	Sınıf	Rz	Sınıf	Rz	Sınıf	Rz	Sınıf	
Yüzey	Cilalı	3,12	Y	4,10	Y	8,44	Y	3,72	Y	3,69	Y
Pürüzlülük	Honlu	6,22	Y	7,09	Y	11,87	O	6,56	Y	10,06	O
Değeri (µm)	Eskitme	10,79	O	11,46	O	12,20	O	12,28	O	19,96	O
	Patinato	9,24	Y	11,10	O	11,76	O	8,77	Y	17,05	O

Y: Yüksek O: Orta

KAYNAKLAR

- Adams, N., 1997; "Slips and Falls-Some Arguments About Measuring Coefficients of Friction (COF)", *Ergonomics*.
- Anonim, 2004; "Slip Resistance of Hard Flooring", Technical Paper, www.cmit.csiro.au/brouchures/serv/slipresist.
- Bowman, R., 2003; "Slip Resistance Ignorance: A Recipe for Costly Falls", www.infotile.com/tiletoday/issues/pdf/40article.pdf.
- Bowman, R., 2004; Practical Aspects of slip resistance of stone, www.discoveringstone.com,
- Carpenter, J., Lazarus, D., Perkins, C., 2006. Safer surfaces to walk on reducing the risk of slipping. *Construction Industry Research and Information Association (CI RIA) C652*.
- Chang, W.R., 1998, The Effects of Surface Roughness on Dynamic Friction Between Neolite and Quarry Tile. *Safety Science*, 29, 89-105.
- Chang, W.R., 1999; "The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 299-313.
- Chang, W.R., 2003; "The Role of Surface Waviness in Friction at Shoe and Flor Interface", *Proceedings of The Ergonomics Society Annual Conference*, Edinburg, UK, 105-110.
- Chang, W.R., Hirvonen, M., Grönqvist, R., 2004; "The effects of cut-off length on surface roughness parameters and their correlation with transition friction", *Safety Science* 42, 755-769.
- Chang, W.R., Kim, I.-J., Manning, D.P., Bunterngehit, Y., 2001; "The role of surface roughness in the measurement of slipperiness", *Ergonomics* 44, 1200-1216.
- DIN EN 51097, 1992; "Testing of floor Coverings; Determination of The Anti-Slip Properties; Wet Loaded Barefoot Areas; Walking Method-Ramp Test", *Deutsche Norm*, Berlin.
- DIN EN 51130, 1992; "Testing of Floor Coverings; Determination of The Anti-Slip Properties; Workrooms and Fields of Activities with Slip Danger; Walking Method; Ramp Test", *Deutsche Norm*, Berlin
- Engin, İ.C., 2007; "Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri", Dekoratif Taş İşletmeciliği, Ürün çeşitlendirme Yöntem ve Makineleri, Ankara, 8, 594-595.
- Gürçan, S., 2006; "Doğal yapı malzemelerinde kaymazlık testi ve kayma direncinin belirlenmesi", Yüksek lisans tezi, A.K.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Afyon
- Grönqvist, R., 1995; "Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear sales on contaminated metals", *Ergonomics*, 38, 224-41.

- Grönqvist, R., Hirvonen, M., Tohy, A., 1999; "Evaluation of three portable floor slipperiness testers", *International Journal of Industrial Ergonomics* 25, 85-95.
- Kim, I.J., 1996; "Microscopic investigation to analyze the slip resistance of shoes", *Proceedings of the Fourth Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics*, November. Taiwan, ROC, 68-73.
- Kim, I.J., 2001; "Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28, 17-29.
- Kulaksız S., 2007; "Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri", Ankara.
- Leclercq, S., 1999; "The prevention of slipping accidents: a review and discussion of work related to the methodology of measuring slip resistance", *Safety Science*, 31, 95-125.
- Manning, D.P., Jones, C., 2001; "The effect of roughness, floor polish, water, oil and ice on underfoot friction: current safety footwear solings are less slip resistant than microcellular polyurethane", *Applied Ergonomics*, 32, 185-196.
- Manning, D.P., Jones, C., Rowland ,F.J., Roff, M., 1998; "The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces", *Journal of Safety Research*, 29, 275-283.
- Marpert, M., 2002. Improved characterization of tribometric test results. *Safety Science*, 40, 705-714.
- Rowland, F.J., Jones C., Manning D.P., 1996; "Surface roughness of footwear soling materials: Relevance to slip resistance", *Journal of Testing and Evaluation*, 24 (6),368-376.
- Sarışık, A., Çelik, M.Y., Gürcan, S., 2003; "Mermerlerin Mineralojik-Petrografik Özelliklerinin Jeomekanik Parametrelere Olan Etkileri", *20. Yıl Sempozyumu*, Isparta, 203.
- Sarışık, A., Gürcan, S., Şentürk, A., 2007; "Description of slipping test methods and application study on travertine by ramp slip meter", *Building and Environment*, 42,1707-1710.
- Sarışık, A., 2009; "Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas", *Safety Science*, 47(10), 417-428.
- Sarışık, A., Sarışık G., 2010; "Doğal Taş Nihai Ürünlerinin Kayma Açısını Etkileyen Parametrelerin İstatistiksel Analizi", *Madencilik Dergisi*, 49(1), 17-30.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y. I., Sarışık, A., 1996; "Mermer Teknolojisi", Isparta.
- TS EN 14321, 2004; "Doğal taşlar - Deney metotları - Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini", Türk Standartları Enstitüsü.
- WESSEX Catalog, 2010; "Pendulum Test Equipment".

Çubuk Yöresi Agatlarının Karakterizasyonu ve Süstaşı Olarak İşlenebilirliğinin Araştırılması

Characterization of the Agates Collected from Çubuk Region of Turkey and Processability of these Agates as Ornamental Stone

P. Daşcı, G. Sarıışık

AKÜ, İncehisar Meslek Yüksekokulu, İncehisar/Afyonkarahisar, TÜRKİYE

M. Alpaslan

M.Ü. Mühendislik Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, Mersin, TÜRKİYE

ÖZET Bu çalışmada, Çubuk (Ankara) ilçesinde bulunan andezitik ve riyolitik birimlerde köşe ve kanal dolgusu olarak gelişen ve bunun dışında içinde kendine özgü çubuksu kristalleri bulunan Çubuk agatlarının karakterizasyonu ve süstaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda agat numuneleri üzerinde bir dizi karakterizasyon (XRD, SEM, FTIR, Mineralojik ve Petrografik inceleme, kimyasal ve gemolojik özellikleri) çalışması yapılmıştır. Petrografik incelemeler agatların lifsi kalsedon bantlarının tekrarlanmasıyla karakteristik bir görünüm kazandıklarını göstermektedir. SEM çalışmaları kalsedon bantlarının farklı zamanlarda çekilen kuvars polimorfları olduğunu belirtmektedir. XRD ve FTIR çalışmaları agatların silis polimorflarından opal- CT, kalsedon, kristobalit ve kuvarstan oluştuğunu göstermektedir. Yapılan gemolojik çalışmalar agatların mohs sertliğinin 6,5, özgül ağırlığının $2,61 \text{ g/cm}^3$, kırılma indisinin 1,545 ve su emme oranının % 0,4 olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonunda, agattan üretilebilecek dekoratif ürünler, özellikle süstaşı işleme makineleri ile yapılabilecek objelerin (kadeh, mumluk, havan) işlenebilirliği öngörülmüş, bazı dekoratif ürünlerin kolaylıkla üretilebileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT This study aimed the characterization of the agates which develop as edge and channel filling in andesitic and the rhyolitic units and which have a unique, twiggy crystalline structure- collected from Çubuk Region of Ankara Province, Turkey. Present study also searched processability of these agates as ornamental stones. In this scope, a set of characterization analysis (mineralogical and petrographic analyses, XRD, SEM, FTIR, chemical and megological characteristics) were made on the agate samples. Petrographic analysis showed that agates had an appearance characterized by repetition of thready chalcedony bands; SEM analysis that chalcedony bands had quartz polymorphs taken at different times; XRD and FTIR analyses that agates consisted of the silica polymorphs of opal-CT, chalcedony, cristobalite and quartz; and gemological analysis that hardness value was 6.5, specific weight was 2.61 g/cm^3 , refractive index was 1.545 and water absorption rate was 0.4% for the agate samples. The results of the present study suggest that the decorative products, particularly the objects carved via ornamental stone lathes (such as sphere, candlestick, mortar and jewelry products), to be produced from agates are processable and that there are some decorative products which can be produced from agates easily.

1 GİRİŞ

Süstaşları ya da kıymetli taşlar olarak tanımlanan malzemeler yarı değerli ve değerli süstaşları olmak üzere iki grup altında incelenmektedirler. Süstaşları doğada yaygın olarak bulunan karbon, alüminyum, silisyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elementler tarafından değişik fiziko-kimyasal koşullar altında oluşturulmaktadır. Mohs sertlikleri genelde 6'nın üzerindedir. Genel anlamda süstaşları denildiğinde doğal kökenli taşlar kastedilmekle beraber, süstaşı kavramı bazı organik materyalleri (mercan, kehribar, inci gibi) ve gelişen teknolojinin bir sonucu olarak sentetik ve imitasyon malzemeleri de içermektedir. Sentetikler, gerek kimyasal gerekse fiziksel anlamda taklit edildikleri taşın tam bir kopyasıdır. İmitasyonlar ise sadece görünüş olarak taklit edildikleri taşa benzerler. İmitasyonlar için genellikle cam ve plastik kullanılmaktadır (Türel vd., 2000)

Ülkemizde işletilen süs taşlarının büyük bir çoğunluğu, SiO₂ bileşimli (kuvars grubuna ait) süs taşlarıdır. Süs taşları yatakları çoğunlukla Türkiye'nin batı bölgelerinde yoğunlaşmakla beraber volkanik aktivitenin görüldüğü bölgelerde de bulunmaktadır. Bu birimlerde en çok görülen süs taşı kalitesindeki materyal agatlardır (Hatipoğlu ve Dora 2000).

Agatlar genellikle volkanik ana kayacın vesikülasyonu ile oluşan boşluklarda gelişen silisçe zengin oluşumlardır (Moxon vd., 2006). Agatlar kriptokristalin silis, kalsedon, ince-kuvars ve kuvars gibi bir dizi silis mineralinden oluşmaktadır. Agattaki mikrokristalin silis mineralleri görece olarak yüksek saflıkta silis içermektedir ve bunların uçucu olmayan impürütelerinin içeriği %1'den daha azdır (Flörke vd., 1991; Graetsch, 1994). Bu mineraller değişken miktarlarda kristal su (H₂O ve Si-OH) içermektedirler. Kristal su içerikleri, mineral türlerini birbirinden ayırmada kullanılmaktadır (Graetsch vd., 1994).

Agatlar, Kalkolitik dönemden itibaren kullanılmış, mitlere konu olmuş ve önemini yitirmeden günümüze kadar gelmiştir. Ayrıca agatların laboratuvar ortamında üretilmevişi bilimsel çevrede kendisine ayrı

bir önem kazandırmıştır (Hatipoğlu ve Dora 2000).

Kalsedon mineralinin en önemli çeşidi olan agatlar, diğer çeşitlerden (oniks, sardoniks) daha fazla kullanılmaktadır. Birbirinden kolaylıkla ayrılabilen belirgin renkler ve mat tabakalardan oluştuğundan, bantlı veya çizgili bir görünüme sahiptir. Bu farklı tabakaların renkleri ve şeffaflıkları benzer olduğunda bantlı görünüş daha az belirgin olmakla beraber, tipik agat, daima keskin şekilde birbirine zıt renklerde bantlar göstermektedir.

Agat oluşumunda en yaygın teori düşük P – T (basınç – sıcaklık) koşulları altında, hidrotermal sirkülasyonun varlığındaki silis sistemidir. Silisin kristallenme sırası göz önüne alındığında (silis jeli, opal – CT, kalsedon, kuvars), agatın yeri opal ve kuvarsı da içinde barındıran amorf ve kristalin arası (kriptokristalin) bir bölgedir (Hatipoğlu ve Dora, 2000).

Agatlar, bilim ve teknolojiye geniş bir uygulama alanına sahip olmamakla birlikte takı ve havan yapımında, dekorasyonda kullanılmakta ayrıca kaplama malzemesi olarak da sektörde yerini almaktadır. Uygun yatırımların yapılması halinde gelir getiren küçük ölçekli bir sanayi üretimi sağlanabilir.

Kriptokristalin özellik gösteren agatlar hakkında bugüne kadar yapılan araştırmaların büyük kısmı yabancı kaynaklı olmakla (Flörke vd., 1982; Götze vd., 2001; Frondel 1982; Heaney ve Davis 1995; Moxon 2009; Pabian ve Zarins 1994; Petráněk 2004; Wang ve Merino 1995) beraber ülkemizde agat ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sınırlıdır (Hatipoğlu 1996; Hatipoğlu ve Dora 2000; Hatipoğlu ve Türk 2009; Daşçı 2010).

Ankara – Çubuk yöresi agatları şekilsiz küçük yumrular halinde gözenek boşluklarını ya da çatlak boşluklarını doldurmuş katmansız kütleler halinde ve dış kabuksuz olarak bulunmaktadır. Ayrıca agat oluşum koşullarının düşük basınç – sıcaklık olduğunu, köken hidrotermal sirkülasyonun yüksek silis konsantrasyonunda ve 7 – 9 Ph'a sahip olduğunu ileri sürülmektedir (Hatipoğlu ve Dora, 2000).

Bu çalışmada, Çubuk (Ankara) ilçesinde bulunan andezitik ve riyolitik birimlerde köşe ve kanal dolgusu olarak gelişen ve içinde kendine özgü çubuksu kristalleri bulunan Çubuk agatlarının makroskopik ve mikroskopik özelliklerinin incelenmesi ve süstaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda agat numuneleri üzerinde bir dizi karakterizasyon (XRD, SEM-EDX, FTIR, Mineralojik ve Petrografik inceleme ve gemolojik özellikleri) çalışması yapılmıştır. Petrografik incelemeler agatların lifsi kalsedon bantlarının tekrarlanmasıyla karakteristik bir görünüm kazandıklarını göstermektedir. SEM çalışmaları kalsedon bantlarının farklı zamanlarda oluşan kuvars polimorfları olduğunu belirtmektedir. Çalışma sonunda, agattan yapılabilecek üretimde dekoratif ürünler özellikle süstaşı işleme makineleri ile yapılabilecek objelerin (küre, mumluk, havan ve takı ürünleri) işlenebilirliği öngörülmüş, bazı dekoratif ürünlerin kolaylıkla üretilebileceği belirlenmiştir.

2 MATERYAL VE METOT

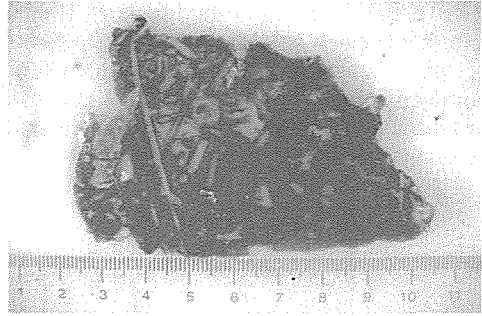
2.1 Materyal

Bu çalışmada Ankara / Çubuk ilçesinin doğu ve kuzeydoğu yataklarından temin edilmiş olan 3 tip agat örnekleri kullanılmıştır. Çalışma alanında gözlenen agatlar volkanik birimlerin içerisinde ikincil olarak gelişen çatlaklar içerisinde 1 mm den 20 cm kalınlığa kadar çatlak dolguları şeklinde gözlenmiştir. Deneylerde kullanılan agatların bölgeleri, kodu ve tipleri Çizelge 1'de ve doğal görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyde kullanılan agatların bölgeleri, petrografik ismi ve tipleri

Bölge	Numune Kodu	Petrografik İsmi	Agat Tipi
Çubuk-Susuz	A1	Agat	Çubuk
Çubuk-Kuyumcuköy	A2	Agat	Çatlak Dolgulu
Çubuk-Bodurlar	A3	Agat	Uruguay

Agatların bazı gemolojik özelliklerinden sertlik, özgül ağırlık, kırılma indisi, su emme gibi özellikleri belirlenmiştir. Agatların kimyasal analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) XRF (ICP-ES) yöntemi ve İndüktif birleşik plazma-kütle spektrometre cihazıyla yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında derlenen örneklerin, petrografik tanımlamaları yapılarak mineralojik, petrografik, dokusal ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ince kesitleri yapılmıştır.



Şekil 1. Çubuk agatın(A1) doğal görünümü

İnce kesitlerin mikroskopta incelenmesi sonucunda mineralojik analiz için uygun olan örnekler belirlenmiş ve ayrıca elektron mikroskop analizleri gerçekleştirilecek agat örnekleri tespit edilmiştir. İnce kesit tanımlamalarının ardından bütün ince kesitlerden OLİMPUS marka fotoğraf makinesi ataçmanlı polarizan mikroskobu ile agatların dokusal özelliklerini yansıtan resimler çekilmiştir. Petrografik ince kesit çalışmaları Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır. X-Işınları Difraksiyon Yöntemi (XRD) çalışmaları özellikle ince kesit incelemeleri sonucunda kesin sonuç alınmayan örnekler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca agat örneklerinde kuvars grubu mineraller haricinde hangi minerallerin olabileceğini araştırmak amacıyla da bu yöntem kullanılmıştır. A1, A2 ve A3 agat örneklerinden öğütülerek elde edilen toz numunelerin XRD çekimleri yapılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada elektron mikroskobu incelemeleri yardımıyla

agatların morfolojisi, boyut ve birbirleri ile olan dokusal ilişkileri ve agatlardaki bantların kimyasal bileşimi saptanmıştır. Bu analiz için örneklerden 1 cm^3 'lük parçalar kesilmiş ve örneklerin doğal engebeli yüzeyleri altınla kaplanmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) incelemeleri Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada agat örneklerinin FTIR incelemeleri yapılmıştır. Bu analizde klasik KBr tablet yöntemi kullanılmıştır. Bunun için incelenecek örnek toz haline getirilerek, belirli oranlarda potasyum bromür (KBr) homojen hale getirilmiş ve daha sonra belirli bir basınç altında tablete dönüştürülerek analizi yapılmıştır.

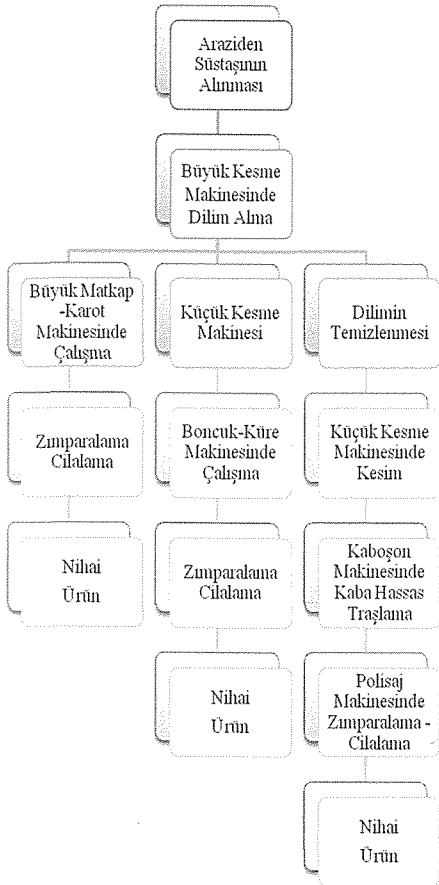
2.2 Agatların Üretim Yöntemi

Çalışma alanından alınan agat örnekleri öncelikle basınçlı su ve çelik fırçayla temizlenmiştir. Daha sonra büyük boyutlu parçalar tam muhafazalı, daldırmalı büyük kesme makinesinde dilimlenerek daha küçük parçalar haline getirilmiştir (Şekil 2a). Alınan dilimler temizlendikten sonra kullanım amacına uygun olarak, dilim üzerine şablonlar yardımıyla istenen şekiller alüminyum kalemle çizilmiştir. Çizimi yapılmış dilimler muhafazasız, üstten akıtmalı küçük kesme makinesinde bu şekiller dilimden ayrılarak kesilmiştir (Şekil 2b). Elde edilen parçalar kaboşon makinesinde ilk olarak kaba aşındırma disklerinde aşındırılmıştır. Bu disklerde taşın üstte kalacak bölümü aşındırılarak ana hatları belirlenmiş, yapılan kavisin yüksekliği belirlenmiştir.



Şekil 2. Agatların üretim yönteminde kullanılan makineler

Kaba aşındırma işleminden kalan çizgisel düzlüklerin giderilmesi için daha hassas bir aşındırma diski kullanılarak taşın yüzeyi pürüzsüz hale getirilmiştir (Şekil 2c). Hassas aşındırmada yüzeyin dokusu önemli olmaktadır. Bu işlemden sonra istenen şekilde kaboşon işlenen materyal, polisaj makinesinde (yatay lab) demir disk üzerinde az su kullanılarak 240/280 mesh (tane boyu) silisyum karbür aşındırıcıdan başlanmak üzere sırasıyla 400, 600, 800 ve 1000 mesh silisyum karbür aşındırıcı tozlarıyla yüzeyi pürüzsüz hale getirilmiştir (Şekil 2d).



Şekil 3. Agatların üretim yöntemi akım şeması

Yıkıncı temizlenen süstaşları ardından seryum oksit, alüminyum oksit gibi oksitlerle polisaj makinesinde keçe üzerinde

bol su ile cilalanarak nihai ürün olarak kullanılacak hale getirilmiştir. Büyük kesme makinesinde dikdörtgen prizma şekli verilen agat blok, soğutucudan arındırıldıktan sonra küre/boncuk makinesinde uygun diskler yardımıyla dış yüzeyi şekillendirilmiş ardından büyük matkap-karot makinesine takılan elmas uçlarla istenen şekilde havanın içi boşaltılmıştır. Ve yine uygun aparatlar yardımıyla ürünün zımpara ve cila işlemi gerçekleştirilerek nihai ürün olarak kullanılacak hale getirilmiştir (Şekil 2e). Büyük kesme makinesinde uygun kalınlıkta alınmış olan dilimler, küçük kesme makinesinde istenen ebatlarda dikdörtgen prizma ve küp olacak şekilde kesilmiş ve küre/boncuk makinesinde uygun diskler yardımıyla formları verilmiştir. Zımpara ve cila işlemlerinden sonra dekoratif amaçlı kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir (Şekil 2f). Agatların üretim proseslerinin akım şemaları Şekil 3'de verilmiştir.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Karakterizasyon

Çalışma alanından derlenen agat örneklerinden hazırlanan ince kesitler incelenerek, agatın içinde geliştiği kayaçların karakteristik optik mineralojik özellikleri yorumlanmıştır. Agat oluşumlarına yataklık eden volkanik kayaçlar genel olarak andezitik karakterdedir. Makroskobik olarak porfirik dokuda gözlenmekte olup fenokristal olarak plajiyoklaz ve biyotit mineralleri gözle tanınabilmektedir. Mikroskobik olarak hipokristalin porfirik doku göstermektedirler (Şekil 4)

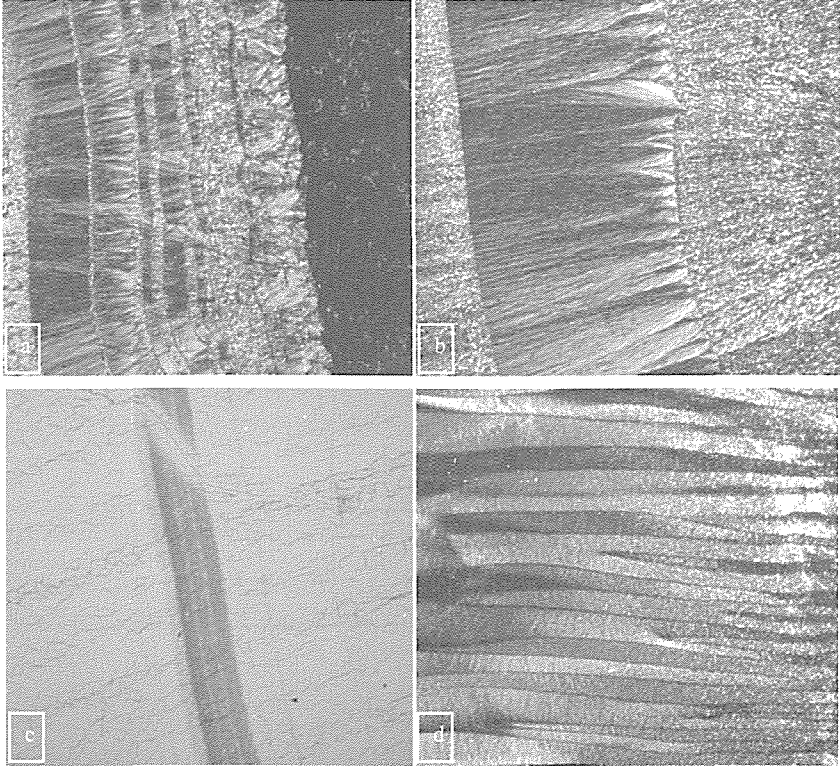
Ana kayaçtan itibaren sferulitik kalsedon kristallenmesi ve bunu izleyen evrede ise kalsedon liflerinin tekrarlanmasıyla oluşan kalsedon bantlaşması gözlenmektedir (Şekil 5a). Agat içerisinde gelişmiş olan lifsi kalsedon batlarının uzunluğu değişken olabilmektedir. Kalsedon liflerinin boyutlarının kristal yapı içerisindeki hidroksil anyonlarının miktarı ile ilişkili olduğu ileri sürülmektedir (Frondele 1982).

Şekil 5b'de kısa ve uzun liflerden oluşan kalsedon bantlaşması gözlenmektedir. Kalsedon bantlarının içerisinde agatı oluşturan silisçe zengin çözeltiler içerisindeki impüritelere bağlı olarak opak mineral taneciklerinden oluşan bantların varlığı da gözlenmektedir (Şekil 5c). Opak mineral taneciklerinden oluşan bu bantlar kısa gelişmiş kalsedon liflerinin içerisinde yer almaktadır. Bazı agat örneklerde oniks yapısı izlenmektedir. Oniks agat olarak isimlendirilen yatay bantlaşmaların gözleendiği agatlar, Uruguay tipi agat olarak da adlandırılmaktadır. Yatay bantlar opal-CT' den oluşmakta olup kriptokristalin malzemenin girift bir şekilde

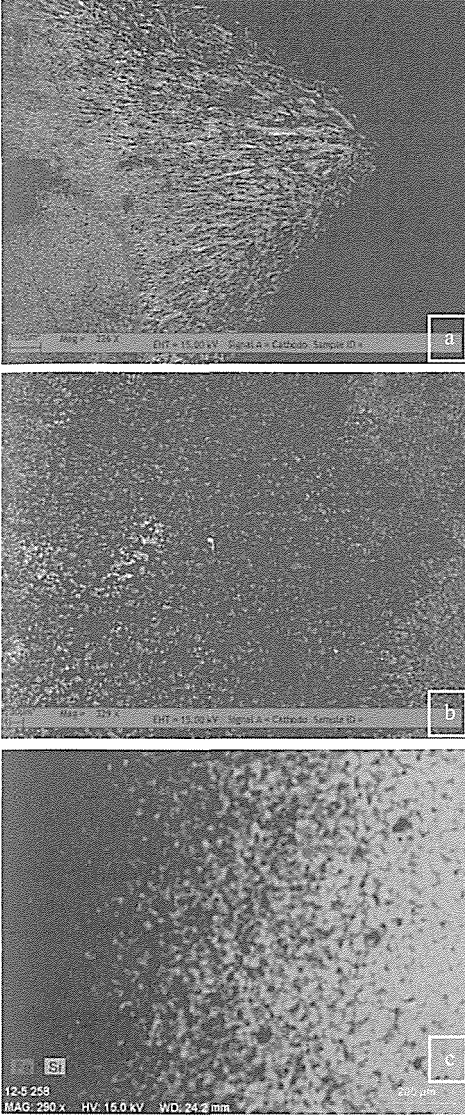
düzenlenmesiyle karakteristik olarak tanınabilmektedir (Şekil 5d).



Şekil 4. Ana kayanın çift nikoldeki görünümü (Büyütme 4X, bi: biyotit, plj: plajiyoklaz)



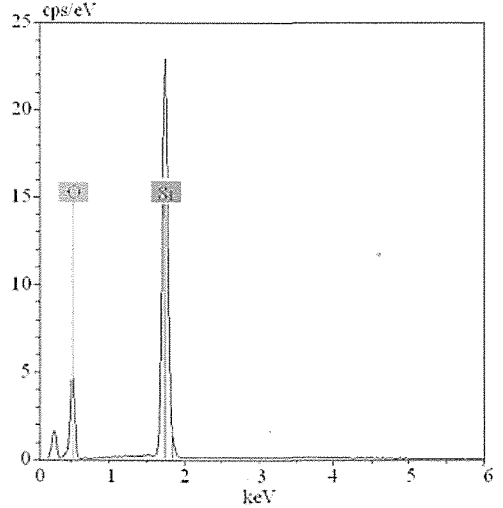
Şekil 5. Agatların ince kesit görünüşleri (a- Ana kayaktan itibaren kalsedon bantlarının dizilimi (Çift nikol, Büyütme 4X), b- Agat içerisinde lifsi kalsedon bantları, (Çift nikol, Büyütme 4X), c- Agat bantları içerisinde demiroksitçe zengin bandın görünümü, (Tek nikol, Büyütme 4X, d- Uruguay tipi agatlarda yatay bantlarda gelişen opalin görünümü, (Çift nikol, Büyütme 4).



Şekil 6. Susuz yöresi agat örneklerinin SEM analizi (a-Sferulitik kalsedon liflerinin dizilimi (BSE görüntüsü), b-Kalsedon liflerinin bitiminden itibaren gözlenen kuvars kristallerinden oluşan bant (Katodoluminesans görüntüsü), c- Fe elementinin agat içerisinde saçınımlı bir şekilde görünümü (WDS araması)).

Susuz yöresi agatlarından seçilen örneklerden hazırlanan parlak kesitler, karbon kaplanarak taramalı elektron

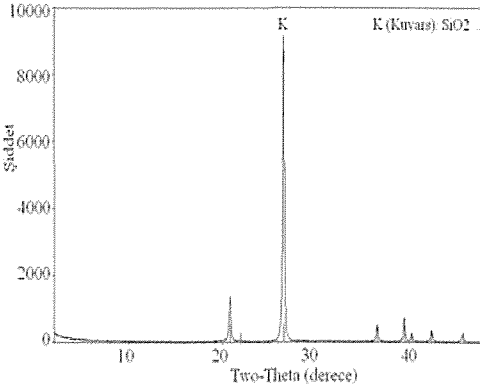
mikroskopunda (SEM) minerallerin morfolojik, dokusal özellikleri ve bileşimi incelenmiştir. Optik mineralojik incelemelerde sferulitik dizilim gösteren kalsedon liflerinin boyunun yer yer 20 μm ' ye kadar çıktıkları görülmektedir (Şekil 6a). Lifsi kalsedon bandının bitiminde yuvarlağımsı-oval şekle sahip kristalitler olarak adlandırılan kuvars kristallerinden oluşan bantın varlığı izlenmektedir (Şekil 6b). Bileşimsel olarak bakıldığında örnek içerisinde demir elementinin saçınımlı bir şekilde yer aldığı gözlenmektedir (Şekil 6c).



Şekil 7. Agatın SEM Görüntüleri 250 büyütmede ve EDS nokta analizi/kalitatif elementer analizi (SEM fotoğrafında gösterilen A-B tarama alanı)

Çubuk agatının mikro yapısını detaylı olarak gösteren SEM fotoğrafları ve görüntü üzerinde rastgele seçilen A ve B alanlarında EDS analizi yapılmıştır(Şekil 7). Gelişen yapıdaki bantlarda gelişen renk kontrastı her bir bant arasındaki bileşimsel farklılıktan kaynaklanmaktadır. Bu bantlarda koyu renkte (B) gözlenenler kristalin kuvarstan oluşurken açık renkte (A) gözlenenler kriptokristalin SiO_2 ' den oluşmaktadır. EDS analizine göre B alanındaki Si elementi A alanındaki Si elementinden %1 fazla olduğu tespit edilmiştir.

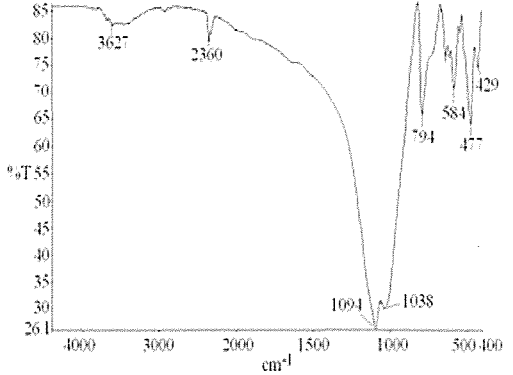
Agat örneklerin XRD grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 200 ve 300'de 2 pik görülmektedir. Bu pikler sırasıyla Kuvars mineraline aittir. Kuvarsin 100'lük piki $2\theta = 26.65^\circ$ dedir. 2θ 20-300 aralığı haricinde pik olmaması da bu yargıyı desteklemektedir. XRD verisine göre numunemizde kuvars hariç kristobalit mineralleri yapıda bulunmaktadır. Ayrıca agat örneklerinde kuvars ve kristobalitin yanı sıra az miktarda ortoklaz ve eser miktarda kil mineralleri izlenmektedir.



Şekil 8. Agatın XRD paterni

Agatların FTIR spektrumunda 400 ve 800 cm^{-1} 'deki pikler yapıyı oluşturan amorf kuvarsin Si-O eğilme titreşimlerinden, 1100 cm^{-1} civarındaki kuvvetli pik Si-O gerilme titreşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Diğer önemli pik 3600 cm^{-1} civarında olup numunenin dışarıdan adsorpladığı suyun (nemin) OH gerilme titreşimlerini gösterir (Grim, 1968). Kuvars mineralinin FTIR

spektrumu incelendiğinde genel olarak agat için görülen 400, 800 ve 1050 cm^{-1} civarındaki piklerin kuvars da da ufak kaymalar olmakla beraber varolduğu ama bundan başka 350-800 cm^{-1} aralığında diğer bazı zayıf piklerin de varolduğu görülmektedir(Şekil 9).



Şekil 9. Agatların FTIR spektrumu

Çalışmada kullanılan agatların, gemolojik ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Agatın kimyasal analizi sonucu kimyasal kompozisyonunun en önemli temel bileşeni SiO_2 olup bundan başka az miktarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO, K_2O ve Na_2O , diğer bazı metal oksitler ve Ba, Sr, Zr gibi iz elementler de yapıda yer almaktadır (Çizelge 2). XRD'de demir içerikli bir mineral olmamasına karşın kimyasal analizinde demiroksit bulunması, demir içeren mineralin de yapıda bulunabileceği, ancak ağırlıkça miktarının düşük olması nedeniyle XRD verilerinde gözükmediğine işaret etmektedir. Ayrıca demiroksit miktarının fazla olması hem renk olarak agatın rengini koyulaştırır. Buna göre demiroksit miktarı yüksek olan A1 numunesinin rengi koyudur.

3.2 Agatların Süstaşı Olarak İşlenebilirliği

Yapılan arazi çalışmalarında agatların oldukça geniş bir rezerve sahip olduğu gözlenmiştir. Rezerv açısından uzun yıllar ekonomik olarak üretim yapılacağı düşünülen sahada kesin bir rezerv hesabı yapılamamıştır.

Çizelge 2. Ankara/Çubuk agatlarının kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	SI Birim	A1	A2	A3
SiO ₂	(%)	97.41	97.39	97.54
Al ₂ O ₃	(%)	0.19	0.04	0.12
Fe ₂ O ₃	(%)	1.28	1.14	1.10
MgO	(%)	0.04	<0.01	<0.01
CaO	(%)	0.08	0.02	0.07
Na ₂ O	(%)	0.04	0.02	0.04
K ₂ O	(%)	0.04	0.01	0.04
TiO ₂	(%)	<0.01	<0.01	<0.01
P ₂ O ₅	(%)	0.01	0.01	0.01
MnO	(%)	0.04	0.23	<0.01
Cr ₂ O ₃	(%)	<0.002	<0.002	<0.002
Ba	ppm	80	1678	161
Ni	ppm	<20	<20	<20
Sr	ppm	7	66	7
Zr	ppm	45	19	6
Y	ppm	<3	<3	<3
Nb	ppm	<5	16	<5
Sc	ppm	<1	1	<1
LOI	%	0.9	1.0	1.1
Total	%	100	100	100
Gemolojik Özellikler		A1	A2	A3
Sertlik	Mohs	6.5	6.5	6.5
Ö.Ağırlık	g/cm ³	2.61	2.60	2.60
K.İndisi	-	1.545	1.545	1.545
Su Emme	(%)	0.35	0.40	0.40

Bu önemli kaynağın uygun yöntemlerle üretilmesi ve en yüksek katma değerde işlenmesi oldukça önemlidir. Ham halde agatların fiyatı, kabaşon işlenmiş örneklerin fiyatının çok altında bulunmaktadır.

Parlatılmış plaka ya da takoz türü örnekler ise, boyutlarına göre değişmekle birlikte yaklaşık 10 \$/ parça olarak fiyatlanabilmektedir. Yarı kıymetli süstaşı grubuna giren agatlar, dilinimsiz yapıya sahip olmaları, oldukça bol bulunmaları nedeniyle işleme maliyetinin daha düşük ve seri üretimin yapılabildiği kabaşon türü modellerde işlenirler. Boncuk, yarım damla, yarım küre, yarım oval şeklinde simetrik formlarda veya düzensiz asimetrik formlarda işlenenler, muhtelif takılarda altın ya da gümüş kullanılarak değerlendirilebilirken, büyük parlatılmış takozlar veya dilimlenmiş plakalar dekoratif objeler olarak kullanılabilirler.

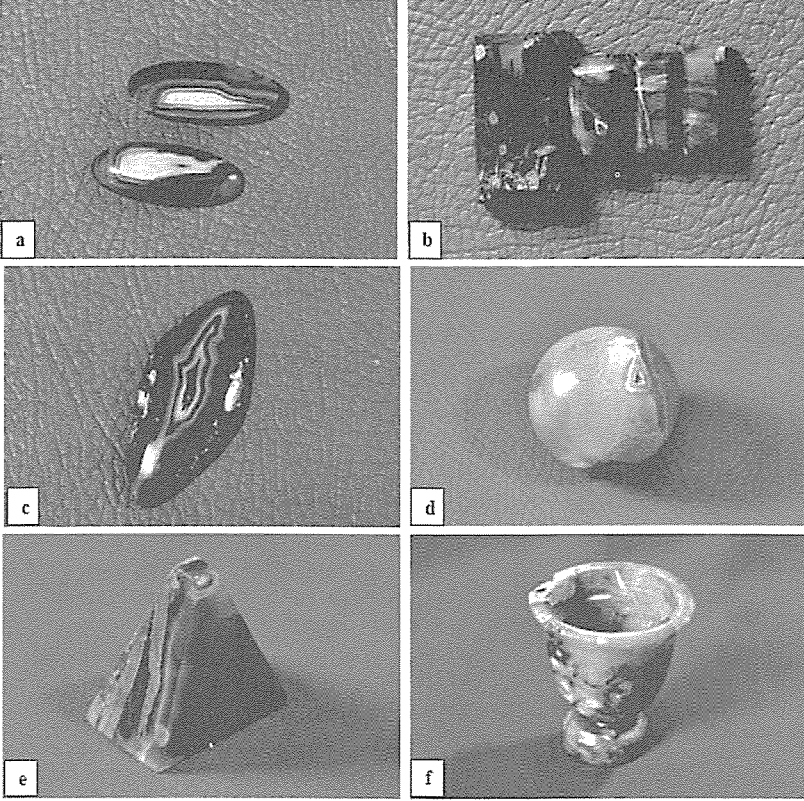
Agatların üretimi, işletilmesi basit madencilik yöntemleriyle gerçekleştirilir. Genellikle kazma, kürek ve kayacı kırıcı olarak el murçları ve gerektiğinde ufak benzinli kırıcı ve deliciler kullanılır. Bölgede ciddi işletme mevcut değildir. Genelde istenen özelliklerdeki taşlar yüzeyden elle toplanılmakta ve küçük stoklar haline getirilmektedir.

Çalışmada karakterizasyonu yapılan agat örneklerinden Şekil 10'da görüldüğü gibi çatlak dolgusu (A2) agatlardan küpe için üretilen oval formlarda kabaşon ürünler (Şekil 10a), çubuk tipi (A1) agat örneklerinden kolye, küpe ve yüzük için pahlı işlenmiş dikdörtgen formda ürünler (Şekil 10b, Şekil 10c), dekoratif amaçlı küre (Şekil 10d), piramidal formda ürünler (Şekil 10d) ve havan (Şekil 10e) yapılmıştır.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çubuk yöresi agatlarının mineralojik özellikleri ve süstaşı olarak işlenebilirliğine yönelik olarak yapılan bu çalışmanın sonucunda aşağıdaki değerlendirmelere ulaşılmıştır:

Çalışma alanında gözlenen volkanik kayalar içerisindeki boşluk ve çatlaklarda yaygın olarak agat oluşumları gözlenmektedir. Optik mineralojik çalışmalarda agatlar içerisinde gözlenen kalsedonların ana kayaktan itibaren sferulitik yapıda geliştiği ve bu yapının bitiminde mikrokristalin kuvarsın geliştiği belirlenerek tabakalı yapının oluştuğu gözlenmiştir. Agatlarda gözlenen bantların kalınlıkları aynı örnek içerisinde değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. XRD ve FTIR çalışmalarında agatlardaki silis polimorflarından opal-CT, kalsedon, kristobalit ve kuvars olduğu saptanmıştır. SEM çalışmalarında bantlaşmalar arasındaki sınırlar ondüasyonlu olduğu belirlenmiştir. Bu veriyeye göre agatlardaki bantlaşmaların farklı zamanlarda agat oluşumunun devam ettiği boşluğa giren silisçe zengin çözeltilerden kaynaklandığı belirlenmiştir.



Şekil 10. Agatlardan yapılan dekoratif ürünler

Kriptokristalin kuvars grubunda yer alan agatlar mat olduklarından bombeli (oval ve yuvarlak kaboşon) ve neredeyse düz (tabla, plaka) kesim şekillerine uygundur. Bunların dışında serbest kesim dekorasyon unsurları ile süsleme ve takı elemanlarının yapımına uygundur. Çubuk yöresinde yaygın olarak gözlenen agat oluşumlarının ekonomiye kazandırılması bölge halkı açısından oldukça olumlu sonuçlar doğurabilecektir. Bu nedenle bölgedeki agat oluşumlarının bilinçsiz bir şekilde toplanması ve bölge dışına çıkartılması engellenmelidir. Bölgede ekonomik anlamda bir üretim söz konusu değildir. Agattan yapılabilecek üretim sadece takı ile sınırlı kalmayıp dekoratif ürünler de (mücevher kutusu, vazo, saat, masa süsleri, küçük heykelcikler) ortaya çıkabilmektedir. Özellikle süstaşı işleme

makinelere ile yapılabilecek objeler (küre, mumluk, havan ve takı ürünleri) yöre halkına ciddi maddi getiri sağlayabilecek niteliktedir. Bunun içinde sert olan bu taşları işleyecek gerekli teknik donanımın devlet desteği ile ülkemize getirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akyürek, B, Bilginer, E, Çatal, E, Dağ, Z, Soysal, Y. ve Sunu, O, 1980. "Eldivan- Şabanözü (Çankırı), Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) Dolayının Jeolojisi", MTA derleme, No: 6741.
- Daşçı, P, 2010. "Çubuk (Ankara) Yöresi Agatlarının Mineralojik Özelliklerinin İncelenmesi ve Süstaşı Olarak İşlenebilirliğinin Araştırılması", Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 92 s.

- Flörke, O. W, Köhler-Herbertz, B, Langer, K, Tonges, I, 1982. "Water in microcrystalline quartz of volcanic origins: agates", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 324-333.
- Fronde, C, 1982. "Structural hydroxyl in chalcedony (Type B quartz)", *American Mineralogist*, 67: 124-1257.
- Gül, B, 2006. "Çubuk (Ankara) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası", Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 92 s.
- Gotze, J, Tichomirowa, M, Fuchs, H, Pilot, J, Sharp, Z. D, 2001. "Geochemistry of agates: a trace elements and stable isotope study", *Chemical Geology*, 175: 523-541.
- Graetsch, H, 1994. "Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. In: Heaney P. J, Prewitt C. T, ve Gibbs G. V, eds. Silica. Physical Behaviour, *Geochemistry and Materials Applications*, 209-232. Reviews in Mineralogy 29, Mineralogical Society of America, Washington, USA.
- Grim, R, 1968. "Clay Mineralogy", McGraw-Hill Book Company, New York, 596 s.
- Hatipoğlu, M, 1996. "Mineralogical and Gemological Investigation of Banded and Banded Agates of Çubuk (Ankara) Area", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı [Dokuz Eylül University, İzmir. 128 s.
- Hatipoğlu, M, Dora, Ö, 2000. "Ankara Ağatının Mineralojisi ve Banlı Yapının Kökeni", *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 22 (2000), 1-12.
- Hatipoğlu, M, Türk, N, 2009. "A combined polarizing microscope, XRD, SEM, and specific gravity study of the petrified woods of volcanic origin from the Çamlıdere-Çeltikçi-Güdül", Fossil Forest, in Ankara, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 53(4-5), 141-157.
- Heaney, P. J, Davis, A. M, 1995. "Observation and origin of self-organized textures in agates", *Science*, 269(5230): 1562-1565.
- Moxon, T, 2009, "Studies On Agate, Microscopy, Spectroscopy, Growth, High Temperature and Possible Origin", Terra Publications, S. Yorks, England, 96 s.
- Pabian, R, Zarins, A, 1994. "Banded Agates-Origins and Inclusions", University of Nebraska-Lincoln, Educational Circular No.12, 32s.
- Petránek, J, 2004. "Gravitationally banded ("Uruguay-type") agates in basaltic rocks – where and when?", *Bulletin of Geosciences*, 79(4): 195-204.
- Türeli, K., Teşrekli, R., Çelebioğlu, N., Bektur, Z., Besbelli, A., Erdem, E., Sayılı, S., Lüle, Ç., Atakay, E., Kadirioğlu, T., Özcan, H. ve Esat, K., 2000, "Türkiyenin Kıymetli Ve Yarı Kıymetli Taşlarının Araştırılması Projesi", MTA, 62s.
- Wang, Y., Merino, E., 1995; "Self-organizational origin of agates: banding, fibretwisting, composition and dynamic crystallization model", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(6), 1627-1638.

Adana ve Mersin Bölgesinde Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılan, Bazı Doğaltaş Türlerinin, Radyoaktivite, Kimyasal ve Mineralojik Açından Değerlendirilmesi

Radioactivity, Chemical and Mineralogical Evaluations of some stones, used as an industrial materials in Adana and Mersin Region

A.Ş. Aykamış

MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana

A.M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Bu çalışmada, Adana ve Mersin bölgesine ait ve bu yörede inşaat sektöründe, kırma-blok taş, çimento ve boya katkı hammaddesi olarak kullanılan kireçtaşı ve kireç türlerini; ayrıca, cam-seramik-porselen sektörüne hammadde sağlayan Mersin yöresi kuvarsit türlerine ait örneklerin: radyoaktivite, kimyasal ve mineralojik analizleri irdelenmiştir. Bu amaçla yukarıda bahsedilen 2 bölgeye ait endüstriyel hammadde türlerinde, örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve toplam 5 farklı doğaltaş türü üzerinde testler uygulanmıştır. Sonuç olarak, çalışılan örneklerden elde edilen; doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türler ait, kimyasal ve mineralojik özellikler ve yorumlar ayrı ayrı anlatılmıştır. Genel olarak, her iki farklı bölgeye ait elde edilen veriler ışığında, tüm değerler riskli seviyelerin altındadır.

ABSTRACT In this study, Gamma-ray spectrometric measurements, chemical and mineralogical analysis were examined on limestone and lime samples of which are the most commonly used in crushed block aggregates, cement and color industries in Adana-Mersin region and also the quartzite rock samples of which are the most commonly used in glass, ceramic and porcelain industries as building materials in Mersin region of Turkey. For this reason, the samples belonged to two different industrial raw material regions were tried to be taken and the several tests were performed on 5 different stone types totally. Finally, gamma-ray spectrometric analysis, dose and hazard index calculations and also chemical and the mineralogical features concerning the anomalous data on gamma-ray spectrometric measurements in some types of stones were commented separately. In general, these results indicate that the radioactivity data in two different regions are under the risk levels.

1 GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır.

Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok etmen vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu etmenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (TAEK, 2007).

Özellikle önemi henüz anlaşılan ve sadece nükleer bilim dalında zararları olduğu yaygın kanı olarak bilinen radyasyonun, aslında doğal ve kapalı çalışma ortamlarında, insan ve işçi sağlığını, ne derece tehdit ettiği, yapılan çalışmalarla henüz anlaşılabilmiştir. Toplumlarda ortaya çıkan çevre bilinciyle beraber, bu tip olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi ile ilgili hassas çalışmalar son 10 yılda daha da artmıştır.

Yerkabuğundaki tüm maddeler radyonüklid içermektedir. Gerçekte, yerin derinliklerinde bulunan doğal radyoaktivitenin bozunmasından meydana gelen enerjinin, yer kabuğunun şekillenmesinde önemli katkısı vardır. Bu enerjinin önemli bir kısmı uranyum, toryum ve potasyumdan gelmektedir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır.

Uranyum-238 birçok elementin uzun radyo nüklid bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı kurşun-206 haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan radon radyoizotopu (Rn-222) atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder. Toryum da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve Toryum-232, başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır.

Potasyum-40 kararlı elementin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturur (TAEK, 2007).

Yeryüzündeki radyonüklidlerin yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücut radyasyona maruz kalır. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar bina dışında olduğu gibi bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Alınan radyasyon dozu bölgenin jeolojik yapısına ve yapı malzemesine bağlıdır

Yerkabuğu orijinli ham yapı malzemelerinde veya işleminden geçirilmiş yapı ürünlerinde, ^{238}U (yerkabuğundaki derişimi; yaklaşık 2-4 ppm) ile başlayan uranyum-radyum ve ^{232}Th (yerkabuğundaki derişimi; yaklaşık olarak 10-12 ppm) ile başlayan toryum serilerine ait radyonüklitler ve ^{40}K radyoizotopu (doğal potasyumdaki

bolluk oranı % 0,0118) mevcuttur. Çoğu alfa yayımlayıcısı olarak da bilinen bu radyonüklitlerin miktarları veya derişimleri, alındıkları bölgeye ve jeolojik şartlara göre değişebilmektedir (TAEK, 2007).

Radyonüklitlerden yayınlanan gamma radyasyonu, tüm vücut dozuna, bazı durumlarda da beta radyasyonu, deri dozuna katkıda bulunur. Ayrıca uranyum ve radyumun zehirli olmasının yanında özellikle ^{226}Ra (radyum)'nın ürün çekirdeği ^{222}Rn (radon) asal gazı, serbest kalması sonucunda solunum yoluyla vücuda girerek zarar verebilir.

Dolayısıyla, bireylerin maruz kaldıkları radyasyon dozları, radyoaktivitesi normal düzeyin üzerinde olan yapı malzemelerinin kullanıldığı meskenlerde ve iş yerlerinde yaşamaları halinde artabilir.

• Bu yüzden yapıtaşlarında, bu doğal radyoaktif serilere ait radyonüklitlerin ve ^{40}K (potasyum) radyoizotopunun özgün aktivite derişimlerinin belirlenmesi,

• Bu tür malzemelerin kullanımı sonucunda bireyler için mümkün radyolojik riskin ve biyolojik zararın değerlendirilmesi,

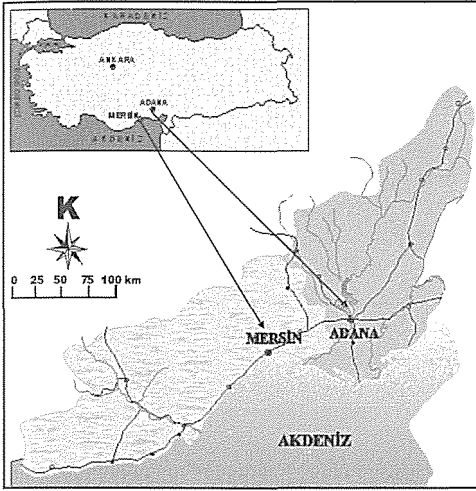
• Çalışma yerlerinde ve meskenlerde yaşayan bireylerin yıllık alması gereken doza, yapı malzemelerinden gelen katkının hesaplanması,

Yapı malzemeleri endüstrisinde kullanılması zorunlu olan malzemeler ile ilgili standartların oluşturulması, geliştirmesi ve bu malzemelerin kullanımı ve yönetimi için yol gösterici bilgilerin hazırlanması açısından çok önemlidir (TAEK, 2007).

Yukarıda bahsedilen bilgilerden yola çıkılarak, bu çalışmada, Adana ve Mersin bölgesine ait ve bu yörede inşaat sektöründe, kırma-blok taş, çimento ve boya katkı hammaddesi olarak kullanılan kireçtaşı ve kireç türleri; ayrıca, cam-seramik-porselen sektörüne hammadde sağlayan Mersin yöresi kuvarsit türlerine ait örneklerin: radyoaktivite, kimyasal ve mineralojik analizleri irdelenmiştir (Şekil 1).

Kireçtaşı kimyasal ve organik etkilerle çöken maddelerin oluşturduğu bir kayacıdır. Bütün jeologlar kireçtaşının safsızlıklar hariç, kalsit, aragonit, dolomit ve manyezit gibi dört ana mineralden oluştuğunu

belirtmektedir (Boynton, 1980; Önem, 1997). Hidrotermal etki ile oluşan kireçtaşı genellikle kristalli yapıdadır. Değişik granit türlerindeki kalsiyum karbonat hidrotermal etkilerle oluşmaktadır. Genel olarak pek çok maden yatağında sülfür içeren maden yataklarında kalsiyum karbonat oluşmaktadır. Maden yatağını oluşturan tüm mineraller kristallendikten sonra kalsiyum karbonat kristallenmektedir. Kireç tüfü içeren maden yatakları, bileşiminde ayrıca aragonit ve kalsiyum karbonat da bulundurmaktadır (Grout, 1932; Betechin, 1957).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Karbonik ve diğer mineral asitleri içeren çözeltilerin ve aşınmanın etkisi ile yapısında kalsiyum bulunduran kayalar parçalanırlar. Bu şekilde serbest kalan kalsiyum akarsularla denize taşınmaktadır. Çözünmüş haldeki kalsiyum karbonatın bir kısmı deniz suyundaki düşük çözünürlük nedeni ile tortullaşmaktadır (Othmer, 1978). Kireçtaşı içeren mağaralardaki dikitler, kireç içeren tuzlu çözeltilerden yapısında karbondioksit bulunan kireçlerin çökmesi ile oluşmaktadır. Tuzlu çözelti oyuklara sızmakta ve su, ısı etkisi ile buharlaşmaktadır. Çözelti bu şekilde doymuş hale geldiğinden, çok iyi dağılmış olan tortular ayrılmakta, yavaş

yavaş sertleşmekte ve süregelen dehidrasyon sonucunda da kristalleşmektedir.

Özellikle geniş ölçekli deniz tabanlarında, kalsiyum karbonat çökelleri oluşmaktadır. Bu kütleler, ilk önce kireç çamuru halinde oluşurlar. Kurumuş deniz bitkileri ve omurgasız hayvanlar, bu kireç çamuru içindeki kirecin iskeletini oluşturmaktadır. Bütün bu maddeler daha sonra kireçtaşı haline dönüşmektedir (Betechin, 1957).

Dünyada kireç ürünleri kadar çok çeşitli kullanım amacı olan bir başka ürün mevcut değildir. İnsanlığın kireçtaşını ne zaman fırınlarda yakıp sönmemiş kirece dönüştürdüğü ve daha sonra suyla söndürüp harç yapımında kullandığı tam olarak bilinmemekle beraber, Türkiye'nin doğusunda bulunan kireç harçlı kalıntıların tarih öncesi dönemlere ait olduğu yapılan arkeolojik çalışmalar ile belirlenmiştir (Kılıç, 2005).

Kireç ürünleri, sanayide belli boyutlarda veya öğütülmüş olarak doğrudan kireçtaşı şeklinde kullanıldığı gibi, örneğin beton ve çimento yapımı, baca gazı desülfürizasyonu gibi alanlarda sönmüş ve/veya sönmemiş kireç formunda da tüketilmektedir (Çiçek, 1999).

Dünyada toplam yıllık üretimi yaklaşık 300 milyon ton olduğu tahmin edilen kireç, en çok demir-çelik sektöründe kullanılmaktadır (Toplam üretimin yaklaşık %40'ı). Bunu kimya sanayi ve diğer sanayi dalları (%17) ile çevresel uygulamalar (%15) izlemektedir (ILA, 2002).

Bir çökeltme ortamında, genelde yatay düzlemler boyunca biriken ufak kuvars kristal taneleri geniş alanlara yayılır ve santimetreden başlayıp metrelerce kadar varan kalınlıklar gösterir. Tanelerin arasındaki boşluklarda, başlangıçta bir birleştirici yoktur; bu kütleler kum çökelleridir. Ancak zamanla bu boşluklar, doğal çimento olarak nitelenen birleştirici maddelerle doldurulurlar. Böylece kütle taşlaşmış; kum yerine kumtaşı niteliği kazanmış olacaktır.

Doğal çimento denen madde çoğunlukla kalsiyum karbonat, bazen kil, bazen de bu ikisinin karışımıdır. Eğer bunlar mevcutsa,

ortaya çıkmış olan formasyon türü kumtaşıdır.

Doğal çimento maddesi silisyum dioksitten (SiO_2) ibaretse, yani kuvars kristalleri yine kuvars olan bir madde ile birleşmekteyse, böylece hasıl olmuş kayaca kuvarsit veya orto-kuvarsit denir. Bu sedimanter tür kuvarsitin birleştirici silisi çoğunlukla amorfudur.

Böyle bir kuvarsit daha sonra metamorfizma geçirirse, çimento maddesi olan amorf kuvars tamamen kristalli hale dönüşür; böylece metamorfik güçler para - kuvarsit adlı ikinci türü meydana getirmiş olurlar. Karışmış başka mineraller dışında, her iki cins kuvarsit te tamamen kuvarstan ibarettir (Önem, 1997).

Zamanla, orto-kuvarsitteki amorf silis kristalleşir. Bu olayın ilgi çekici yönü, amorf birleştiricinin kuvars kristal tanelerinin etrafında ve onların kristal eksen boyutları doğrultusunda kristalleşmesi, diğer bir ifadeyle, eski tane kristallerin giderek büyümesidir. Mikroskop altında, orijinal kuvars kristal tanesi ile, sonra-dan onun çevresindeki ek kristalleşme açıkça görülür.

Kuvarsitlerin bünyesinde en az %95 oranında bulunan SiO_2 'nin dışında, az nispetde feldispat, mika, manyetit, hematit, granat ve rutil mineralleri veya parçacıkları ile, kil ve kireçtaşı noktacıları bulunabilir.

• Cam sanayiinde kullanılacak kuvaristlerin en az: % 96 SiO_2 , en fazla %2 Al_2O_3 , en fazla %0,4 Fe_2O_3 ve en fazla %0,25 $\text{CaO}+\text{MgO}$ içermesi gerekir.

• Ferro-krom sanayii için, en az % 96 SiO_2 , en fazla %1,5 Al_2O_3 , en fazla %1,5 Fe_2O_3 bileşiminde olmalıdır.

• Demir-çelik sanayinde ise, en az %91 SiO_2 , en fazla %2 Al_2O_3 ve en fazla %2 Fe_2O_3 içerikli olması şartı aranır.

Hafif gaz-beton (ytong) üretiminde istenen oranlar, en az %90 SiO_2 , en fazla % Al_2O_3 ve en fazla %2 Fe_2O_3 'tür.

2 MATERYAL VE METOD

2.1 Örneklerin Ölçüme Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında, öncelikli olarak, Adana bölgesine ait kireçtaşı-kireç ve

Mersin bölgesine ait kuvarsit ocaklarından radyoaktivite ölçümlerinin yapılmasına yönelik örnekler alınmıştır.

Yapılan ölçümlerde, her bir endüstriyel hammadde türü için, TAEK tarafından öngörülen miktarlar olan, 5 ila 10 adet, 500-1000 gr arasında ve alındığı ocağı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve yapılan hesaplamalarda ise, bu numunelerin aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi) ile yapılan görüşmeler neticesinde, örnekler, ocakları genel olarak temsil edecek ve kot farkları gözetilerek sistematik olarak toplanmıştır. Toplanan örnekler, plastik saklama poşetlerinde ve karton kutularda, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Kırma ve Öğütme laboratuvarlarına getirilmiştir. Burada, örnekler, ilk olarak çeneli ve konili kırıcılar vasıtasıyla, öğütülmek için uygun boyutlara getirilmiş ve daha sonra ise merdaneli kırıcı ve pülverizatör vasıtasıyla 50μ ve altındaki tane boyutlarına elenmiştir. Sonraki aşamada ise, uygun boyutlara getirilerek etiketlenmiştir.

Örnekler, içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra karton üzerine serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında kurutulmuştur. Örnekleri kurutmanın amacı, örneklerde bulunan nemi buharlaştırma ile azaltmak ve çok küçük parçacıklar haline gelecek şekilde öğütebilmektir. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ise ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

2.2 Gamma Spektrometrik Sistemi Kullanılarak Ölçümlerin Yapılması

Gamma spektrometresi çevre örneklerinin analizinde yaygın kullanımı olan bir tekniktir. Deneysel çalışmamızda, Adana bölgesine ait kireçtaşı-kireç ve Mersin bölgesine ait kuvarsit ocaklarından toplanan örneklerin gamma spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta germanyum detektörü kullanılarak yapılmıştır.

Çok kanallı analizör 4096 kanallı olarak kullanılan Canberra Model 767 Gamma spektrometre cihazı, 0.33 MeV de %15-16'lık bir relatif verime sahiptir. Gamma spektrometresi; yüksek saflıkta Ge detektörü (HPGe), analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC (Analog to Digital Converter) sistemi ve çok kanallı analizörden oluşmaktadır (TAEK, 2008).

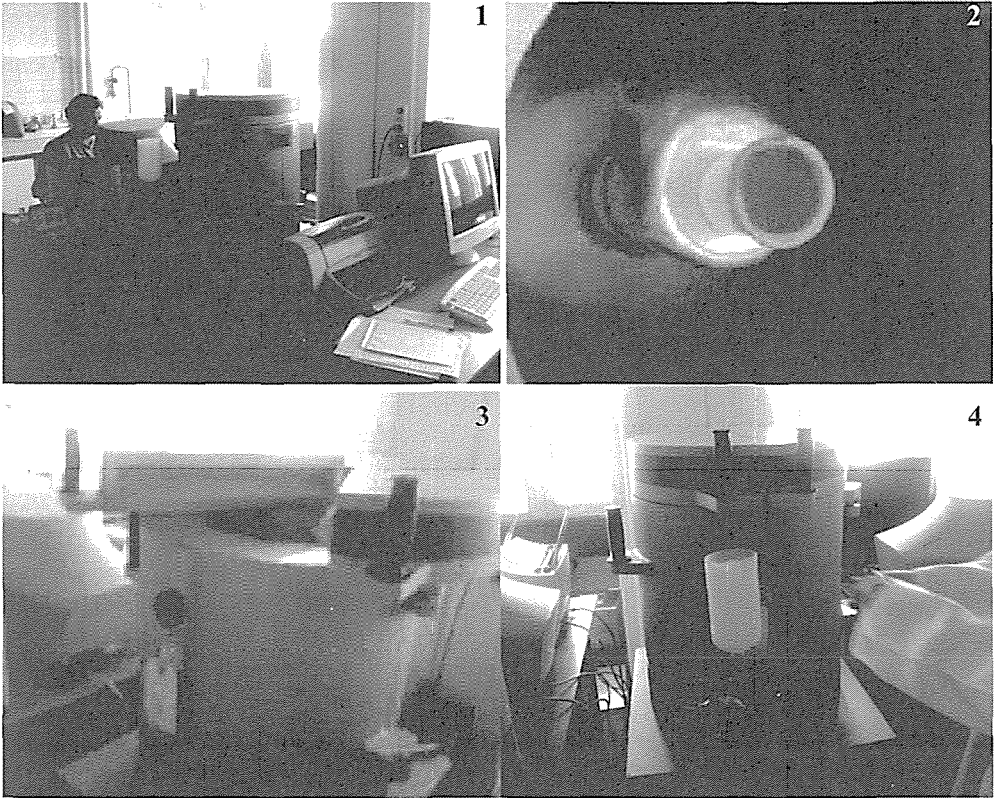
Canberra Model 767 Gamma spektrometre cihazı, Şekil 2'de ve deney düzeneği ise Şekil 3'de ve görülmektedir.

Detektörle iyi bir enerji çözünürlüğü elde edebilmek için detektör sıvı azot kullanılarak soğutulmaktadır.

Kozmik ışınlardan ve ortamdan kaynaklanan afonun detektöre ulaşmasını

engellemek için detektör, 10 cm kalınlığında kurşun zırh içinde bulunmaktadır. Uzun süreli ölçümlerde sapma olmaması için laboratuvar ortamı periyodik ölçümlerle 19-22 °C sıcaklık ve %42-48 nem aralıklarında tutulmaktadır.

Örneklerdeki ^{238}U ve ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklitlerin bozunum ürünleri olan doğal radyonüklitlerin gamma piklerinden hareketle tayin edilmektedir. ^{238}U 'e ilişkin radyoaktivite konsantrasyonu belirlenirken bozunum serisi içinde yer alan ^{214}Pb 'nin 351 keV ve ^{214}Bi 'nin 609 keV enerjili piklerinden yararlanılmıştır.

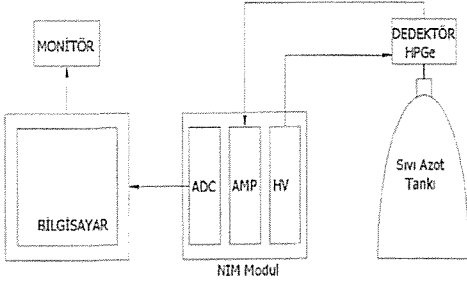


Şekil 2. Canberra Model 767 gamma spektrometre cihazı (1-2-3-4).

Her iki bozunum ürünü radyonüklide ait aktivite konsantrasyon değerlerinin

ortalaması alınarak ^{238}U 'in aktivite konsantrasyonu bulunmuştur (TAEK, 2008).

^{232}Th 'in radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken ise bu serideki ^{208}Tl (583 keV) ve ^{228}Ac ' in (911 keV) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır.



Şekil 3. Gamma spektroskopi sisteminin çalışma düzeni.

Ayrıca, örneklerde, ^{226}Ra 'nın 186 keV ve ^{40}K 'ın 1460 keV enerjilerdeki piklerinden yararlanılarak bu radyonüklitlere ilişkin radyoaktivite konsantrasyon değerleri de belirlenmiştir (TAEK, 2008).

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

Bütün yapı malzemeleri değişik miktarlarda doğal radyonüklitler içermektedir. Kayalardan ve topraktan elde edilen malzemeler genellikle uranyum (^{238}U) ve toryum (^{232}Th) serilerinin doğal radyonüklitleri ile potasyum (^{40}K) radyoaktif izotopunu içermektedir. Uranyum serilerinde ^{226}Ra ile başlayan bozunma serisi önem arz ettiğinden, referanslar genellikle uranyum yerine radyuma yapılmaktadır (European Commission Report, 1999).

Dünya genelinde, toprak katmanlarındaki radyum, toryum ve potasyum konsantrasyonları sırasıyla 40 Bqkg^{-1} , 40 Bqkg^{-1} ve 400 Bqkg^{-1} 'dir. Eşdeğer aktivite konsantrasyon limit değeri ise 370 Bqkg^{-1} olarak kabul edilir (European Commission Report, 1999).

Bu amaçla, Adana ve Mersin bölgesine endüstriyel hammadde sağlayan kireçtaşı ve kuvarsit ocaklarından örnekler tedarik edilmeye çalışılmış ve genel olarak toplam 5 farklı doğaltaş türü üzerinde testler uygulanmıştır.

Çalışılan örneklerden elde edilen, doğal radyasyon analizleri, doz ve tehlike indeksi hesaplamaları, doğal radyasyon ölçümlerinde anomali gösteren türlere ait, kimyasal ve petrografik özellikler içeren gerekli bilgiler ve yorumlar ayrı ayrı anlatılmıştır.

3.1 Analizlerde Kullanılan Endüstriyel Hammadde Türlerinin Gamma Spektrometresi ile Ölçülen Doğal Radyoaktivite Değerleri

Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan alınan numunelerin, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivasyon değerleri, sırasıyla, 34,9; 9,1; 20,5 Bq/kg, 32,4; 3,0; 34,1 Bq/kg ve 28,3; 2,2, 19,3 Bq/kg olup, endüstriyel türler içinde en yüksek aktivasyonu olan türlerdir ve limit değerlerin altındadır.

Numunelerin, eşdeğer radyum aktivite, Ra_{eq} ölçümlerinde de yine en yüksek değerler sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 49,49, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 39,31 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan alınan numuneler için 32,93 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Tüm ölçülen, endüstriyel hammadde türlerinde, dünyada kabul gören 370 Bq/kg 'ın altında değerler mevcuttur (Çiz. 1).

Hesaplanan radyonüklid konsantrasyon değerlerinden, analizi yapılan endüstriyel hammadde türlerinin yerleşim birimlerinde, iç ve dış kaplama malzemesi ya da başka amaçlı kullanımlarının uygun olup olmadığı ile ilgili harici (H_{ex}) ve dahili (H_{in}) tehlike indekslerinin de hesaplanması gerektiğinden, 5 farklı endüstriyel hammadde türüne ait en yüksek H_{ex} , sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,13, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0,11 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,09 olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler, uluslararası kabul gören 1 değerinden oldukça düşüktür. Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları ve Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları türleri için de, harici

tehlike (H_{ex}) indeks değerleri uluslararası kabul gören 1 'den oldukça küçüktür.

H_{in} indeksinde ise aynı durum söz konusu olmakla beraber, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,23, Adana Karaisalı

Bölgesi Kireç Ocakları için 0,19 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0.17 olarak hesaplanmıştır.

Tüm endüstriyel hammadde türlerinin H_{in} değerleri 1 mSv/yıl'ın altındadır.

Çizelge 1. Analizleri yapılan endüstriyel hammadde türlerinin gamma spektrometresi ile ölçülen doğal radyoaktivite değerlerine bağlı hesaplanan doz ve tehlike indeksleri.

Endüstriyel Hammadde Türleri	Radyasyon Aktivite Ortalama Değerleri (Bq/kg)			Ra_{eq} (Bq/kg)	H_{ex}	H_{in}	I	Soğurulmuş Doz Hızı (nGy h ⁻¹)		Etkin Doz Hızı (mSv/y)	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K					Dahili	Harici	Dahili	Harici
Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	28.3	2.2	19.3	32.93	0.09	0.17	0.11	30.0	15.2	0.148	0.019
Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	32.4	3.0	34.1	39.31	0.11	0.19	0.13	35.8	18.2	0.176	0.022
Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	21.2	5.6	26.5	31.24	0.08	0.14	0.15	27.8	14.3	0.137	0.018
Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	34.9	9.1	20.5	49.49	0.13	0.23	0.16	43.8	22.5	0.215	0.028
Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	6.9	7.3	140.0	28.11	0.08	0.09	0.05	25.6	13.4	0.126	0.016

*MDA (Minimum Detectible Activity) değerleri sayım süresine bağlı olarak ²²⁶Ra için 2,7 Bq/kg.ila 4,2 Bq/kg arasında, ²³²Th için 2,5 Bq/kg ila 4,7 Bq/kg arasında, ⁴⁰K için 7,3 Bq/kg ila 14,8 Bq/kg arasında değişmektedir.

Normal malzemeler için kullanılan aktivite konsantrasyon indeksi I, tüm endüstriyel türlerde, ölçülmüş: Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,16, Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları için 0,15, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0,13 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,11 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin, limit değer olan yıllık 1 mSv, doz oranını yaklaşık 1/10'una yakındır.

Endüstriyel türlere ait numunelerin, dahili ve harici soğurulmuş doz hızları, ayrı ayrı

hesaplanmıştır; tüm türlerde, dahili soğurulmuş doz hızında, limit değer olan 84 nGyh⁻¹'in altında değerler hesaplanmıştır. Buna göre, en yüksek değerler sırasıyla Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 43,8, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 35,8 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 30 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 43,8 nGyh⁻¹'lık değer, limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahiptir.

Harici soğurulmuş doz hızında ise, sırasıyla, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 22,5, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 18,2 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 15,2 nGyh⁻¹ olarak hesaplanmış ve Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'nın limit değerlere en yakın dahili soğurulmuş doz oranına sahip olduğu görülmüştür.

Diğer endüstriyel türlerin harici soğurulmuş doz hızları da, limit değer olan 55 nGyh⁻¹'in altındadır.

Ayrıca, 5 farklı endüstriyel hammadde türünün en son olarak dahili ve harici etkin doz hızları hesaplanmış; dahili etkin doz hızında, yıllık limit değer olan 1 mSv'ı aşan türler belirlenmeye çalışılmıştır (Çiz. 1).

Buna göre en yüksek değerler sırasıyla, yine Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,215, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0,176 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,148 mSv/yıl'dır ve uluslararası kabul gören yıllık 1 mSv'in altındadır. Harici etkin doz hızında ise yine, en yüksek değerler, sırasıyla Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,028, Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları için 0,022 ve Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları için 0,019 mSv/yıl'dır. Tüm endüstriyel türler, harici etkin doz hızı limit değeri olan 0,46 mSv/yıl'ın altındadır (Aykamış, 2008).

3.2 Doğal Radyoaktivite Değerleri'ne Bağlı Anomali Gösteren Endüstriyel Hammadde Türlerinin Kimyasal ve

Mineralojik Analiz Sonuçları ve Yorumlanması

Bu endüstriyel türlerin radyasyon aktivite değerlerinin hangi nedenle; düşükte olsa, radyoaktif değerler içerdiğini saptamak amacıyla, mineralojik-petrografik yapılarını belirlemek, mineral ve mineral kompozisyonlarını incelemek gerekmektedir.

Bu amaçla, kendi içlerinde anomali gösteren endüstriyel türlerin, yine TAEK-SANAEM'de XRF ve XRD analizleri yapılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

Değerlendirmeler yapılırken, koyu renkte yazılmış endüstriyel hammadde türleri, mineral türleri ve elementler, anomali gösteren türlere ait olup, başında *, ibaresi bulunan endüstriyel hammadde türleri ise diğerlerine oranla, düşük radyoaktivite değerleri içeren örneklerden toparlanmıştır.

Bu amaçla hangi mineral guruplarının ve elementlerin radyasyona neden olduğu gözle görülebilecektir. Radyoaktif hesaplamalarda, aktivite konsantrasyon ve doz oranları yüksek çıkan ve yöresel olmaları da göz önünde tutularak, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları ve Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları hakkında mineralojik yorumlar aşağıda verilmiştir.

Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'ndan, elde edilen kimyasal veriler, bu endüstriyel türdeki, doğal radyasyon düzeyine, diğer doğaltaş türlerinde olduğu gibi, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ gruplarındaki yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları diğerlerine nazaran, değerler, itibariyle mümkündür.

Çizelge 2. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait kimyasal analiz sonuçları.

Bazı Endüstriyel Hammadde Türleri	Kimyasal Analiz Değerleri (XRF) (%)								
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti
Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	-	61,8	0,15	0,04	0,52	0,49	0,03	-	0,09
Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	0,38	68,5	0,16	-	0,75	0,02	0,05	0,35	0,08
Adana Ceyhan Bölgesi Kireç	0,21	69,9	0,18	-	0,81	0,04	0,04	0,25	0,12

Ocakları									
Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	-	62,2	0,24	0,14	0,50	0,05	0,03	-	0,21
Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları	1,79	1,3	0,09	0,45	0,65	0,42	0,05	43,13	0,42

Çizelge 3. Radyasyon hesaplamalarında anomali gösteren bazı endüstriyel hammadde türlerine ait tali element analiz sonuçları.

Element Türü	Bazı Endüstriyel Hammaddelerde Türlerinde Tali Elementlerin PPM Cinsinden Miktarları				
	* Adana Ceyhan Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları	*Adana Ceyhan Bölgesi Kireç Ocakları	Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları	*Mersin Bölgesi Kuvarsit Ocakları
Sc	52	48	65	54	28
V	7	9	11	4	3
Cr	12	7	9	9	1
Mn	71	181	198	70	23
Co	-	-	-	3	-
Ni	4	3	3	3	2
Cu	-	-	72	-	-
Zn	2	65	-	2	3
Ga	-	-	-	-	-
As	-2	1	2	-	-
Rb	1	1	1	1	1
Sr	234	502	743	234	150
Y	1	-	-	1	1
Zr	1	3	2	1	8
Nb	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-
Cs	14	17	12	6	5
Ba	-	62	80	-	-
La	3	2	4	4	6
Ce	-	-	-	-	-
Nd	4	5	4	7	3
W	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-
Th	-	1	1	2	1
U	4	1	1	4	2

*Diğer endüstriyel hammadde türlerine göre düşük seviye radyoaktiviteye sahip türler

Ayrıca hiçbir minerale bağlı olmaksızın görülen, U ve Th elementleri, tali mineral kristalleri arasında veya bazı minerallerin (özellikle biyotit ($K_2O_6(MgFe)OAl_2O_3 \cdot 6(SiO_2 \cdot 2H_2O)$) kristal ağlarındaki devamsızlıklarda yer alır.

Bu bileşiklerdeki minerallerin, endüstriyel hammadde türlerini oluşturan, kayalarda görülen, Zirkon ($Zr(SiO_4)$), pirit (FeS_2), rutil (TiO_2) ve hematit (Fe_2O_3) tali mineral

gruplarından olması ihtimali Heinrich (1958)'in kuramına uygundur.

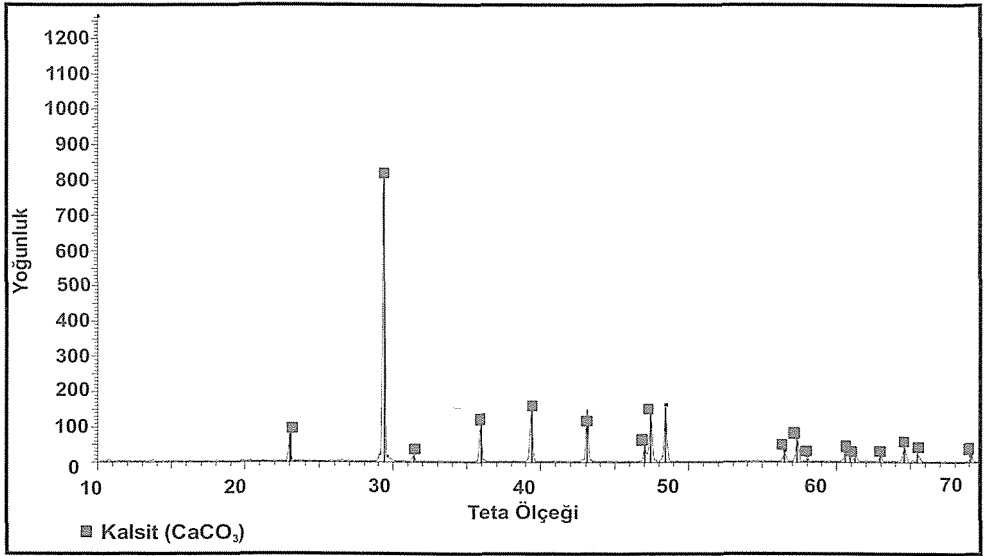
Şekil 4'de görülen Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'nın XRD diyagramında, Kalsit 'i oluşturan $CaCO_3$ minerali oldukça yüksek oranda görülebilir fakat bu radyoaktivite bazda önemli bir faktör değildir (Aykamış, 2008).

Bu endüstriyel türün, düşük de olsa, eser miktarlarda, Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Sr (stronsiyum)

elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle Sr (stronsiyum) elementi değerinin 234 ppm ve ayrıca Mn (mangan) elementinin 70 ppm olması da nadiren eksenit (Y,Ce, U, Th(Ca, Mg,Mn)₂(Ti, Nb, Ta(Fe₃)O₆) ve kolumbit ((Fe₃Mn)(Ta, Nb)₂O₆) mineralinin olabileceğini göstermiştir.

Doğal radyoaktivite düzeyi bakımından, ikinci sırada olan, fakat yöresel bazda,

mineralojik açıdan bir farklılık gösteren Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'ndan elde edilen numunelerin, ölçülen kimyasal veriler ışığında, doğal radyasyona, yine aynı faktörlerin, yani Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları değerler itibarıyla olasıdır.



Şekil 4. Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'na ait örneklerine ait bir XRD diyagramı.

Doğal radyoaktivite düzeyi bakımından, ikinci sırada olan, fakat yöresel bazda, mineralojik açıdan bir farklılık gösteren Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'ndan elde edilen numunelerin, ölçülen kimyasal veriler ışığında, doğal radyasyona, yine aynı faktörlerin, yani Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, P₂O₅, TiO₂ gruplarındaki, yüzde, Fe, K, Na, P ve Ti elementlerinin neden olabileceği; aldıkları değerler itibarıyla olasıdır.

Ayrıca, endüstriyel hammadde türlerini oluşturan, kayalarda görülen, Zirkon (Zr(SiO₄)), pirit (FeS₂), rutil (TiO₂) ve hematit (Fe₂O₃) tali mineral gruplarından

olması mümkündür. Şekil 5'de görülen Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları'nın XRD diyagramında, Kalsit (CaCO₃) az miktarlarda ve Kireçi oluşturan CaO bileşikleri oldukça yüksek oranda görülebilir fakat bu radyoaktivite bazda önemli bir faktör değildir.

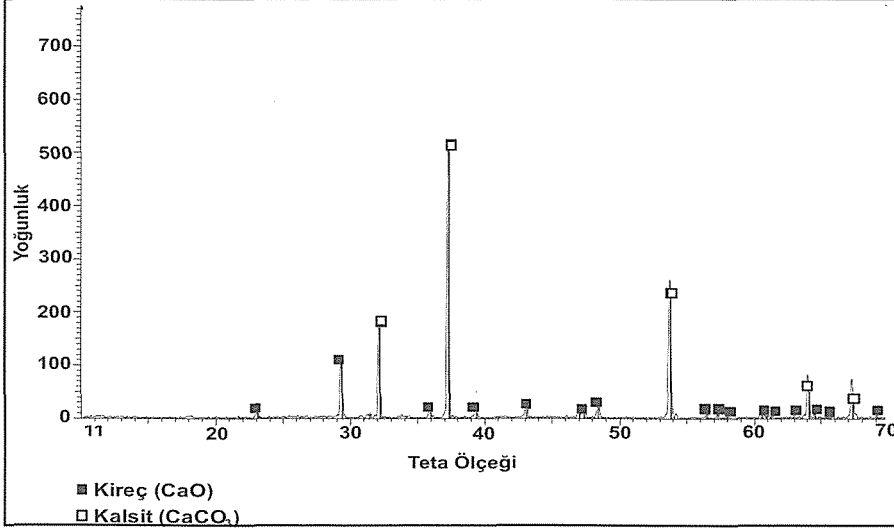
Bu endüstriyel türün de tıpkı, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları gibi, düşük de olsa, eser miktarlarda, Ce(seryum), Th (toryum), U (uranyum), Zr (zirkon) ve Sr (stronsiyum) elementleri de radyoaktivitesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle Sr (stronsiyum) elementi değerinin 502 ppm ve ayrıca, Mn (mangan)

elementinin 181 ppm olması da doğal radyoaktiviteyi artıran bir unsurdur.

örneklerinden hesaplanan tüm radyoaktivite değerleri, limitlerin altında olup, endüstriyel türlerden en yüksek değere sahip olanlardır.

4 SONUÇLAR

Sonuç olarak, hammadde türleri içinde, Mersin Bölgesi Kireçtaşı Ocakları ve Adana Karaisalı Bölgesi Kireç Ocakları



Şekil 5. Adana Bölgesi Kireçtaşı Ocakları'na ait örneklerine ait bir XRD diyagramı.

Bu sonuçlara bağlı olarak en yüksek radyoaktivite anomali gösteren bu iki türe ait kimyasal ve mineralojik analizlerde (XRF-XRD) ise, radyoaktiviteye sebep olabilecek mineral, mineral grupları ve tali elementler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Beş farklı bölgeden alınan endüstriyel hammadde türlerine ait örneklerden hesaplanan, ortalama doğal radyoaktivite değerleri, uluslararası limitlerin çok altında olup, bu yapıtaşlarının, yapı malzemesi olarak kullanılmasında, çevre ve insan sağlığı açısından, tehlike limitlerinde radyasyon seviyelerine rastlanmamıştır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmanın, yürütülmesi esnasında, doğal radyoaktivite ölçümlerine ve kimyasal analizlere yardımcı olan Türkiye

Atom Enerjisi Kurumu-SANAEM'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Aykamış, A.Ş. 2008. Türkiye'de Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Bazı Doğal Taşlardaki Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenerek, Kimyasal ve Mineralojik Bileşim İlişkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Adana.
- Betechin, A., G., 1957. Deutsche Redaction: Leutwein, H. F. Sommer M., Prescher, H., Tölle, H., Lehibuch der. *Speziellen Mineralogie*, Porta Verlag, München, 346-356.
- Boynton, R., S., 1980. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. 2. Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Çiçek, T., 1999. Kireç ve Kullanımı, 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- EUROPEAN COMMISSION REPORT, 1999. Avrupa Komisyonu'nun Radiation Protection 112. *Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials*.
- Grout, F. F., 1932. *Petrography and Petrology*, Mc Graw Hill Company, New York, 286-292.

- Heinrich, E.W., 1958. Mineralogy and geology of radioactive raw materials. McGraw Hill Book. Comp. New York.
- Kılıç, Ö., 2005. Klasik Eberhart Tipi Kireç Fırınları İle Paralel Akışlı Maerz Fırınlardaki Kalsinasyon Parametrelerinin Karşılaştırılması ve Çukurova Bölgesi Kireçtaşları Üzerine Uygulamalar, *Fen Bilimleri EnstMaden Müh. Anabilim Dalı Tezi,Doktora Tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- ILA (International Lime Association), 2002. *Lime and Limestone Statistics*, Arlington, U.S.A
- Othmer, K., 1978. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol. 14, 3. Edition, John Wiley and Sons, New York, 343-381.
- Önem Y., 1997. Sanayi Madenleri Kitabı *Bilgi Dökümanları*
- TAEK, 2008, Endüstriyel Radyasyon ve Radyografi Kaynakları.

Kalsiyum Karbonatlı Kayaçların Standart Özelliklerinin İncelenmesi

Examination of Standart Properties of Calcium Carbonate Rocks

Ahmet Teymen

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana.

Alaettin Kılıç

İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Zehra Funda Türkmenoğlu

Maden Yüksek Mühendisi, Adana.

ÖZET Bu çalışmada, kalsiyum karbonatlı bazı kayaçların fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada yedi adet kireçtaşı, beş adet mermer ve iki tane de traverten kullanılmıştır. Deney sonuçları sırasıyla TS 10449, TS 11137 ve TS 11143'e göre değerlendirilmiştir.

Deneysel sonuçlara göre; eğilme dayanımı 8,72-19,12 MPa, Böhme aşınma dayanımı 6,21-20,3 cm³/50cm², b. hacim ağırlık 2,36-2,70 g/cm³, ağ. su emme oranı % 0,11-2,09, don kaybı değerleri % 0,03-1,93 arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra kayaçlara shore sertlik ve nokta yük dayanım testleri de uygulanmıştır. Ayrıca kayaçlar, petrografik analiz, asitlere dayanıklılık, açık hava tesirlerine dayanıklılık ve pas tehlikesi deneyleri açısından incelenmiştir. Kireçtaşları ve travertenlerde pas tehlikesi gözlenirken mermerlerde böyle bir risk yoktur. Ayrıca kayaçların hiçbirinde, asitlere dayanıklılık testine göre, renk ve görünüş değişimi olmamıştır. Genel özellikleri itibariyle, incelenen tüm kayaç özelliklerinin standartlarda belirtilen aralıklarda olduğu görülmüştür. Özellikle dayanım açısından, kireçtaşı grubunda Hatay ve Ceyhan kireçtaşlarının, mermer grubunda ise Yeşil mermer ve Marmara beyaz mermerler iyi özellikler göstermiştir. Çalışmanın son bölümünde, bazı kayaç özellikleri arasındaki basit korelasyon analizleri yapılmış ve yüksek korelasyon katsayısına sahip olanlar belirlenmiştir.

ABSTRACT In this study, physical, mechanical and petrographical properties of some calcium carbonate rocks were examined. Seven limestone, five marble and two travertine samples were used in this study. The test results were evaluated according to TS 10449, TS 11137 and TS 11143 respectively.

According to the test results; flexural tensile strength ranges from 19,2 to 8,72 MPa, Bohme surface abrasion resistance vary from 6,21 to 20,3 cm³/50cm², unit weight ranges from 2.70 to 2.36 g/cm³, water absorption ranges 0,11- 2,09 %, frost loss values ranges from 0.03 to 1.93%. In addition, shore hardness and point load tests were applied to rocks too. Also, rocks were examined in terms of petrographic analysis, acid resistance, resistance of open-air effect and rust hazard. While the rust hazard were observed at the limestones and travertines, there is no such a risk for marbles. In addition, there were no color and appearance changes in rocks according to the acid resistance test.

As general features, it was seen that the examined all rock properties were found to be at specified intervals defined in the standards. Especially, Hatay and Ceyhan limestones in limestone class and green and Marmara marbles in marble class exhibited good results in terms of strength. In the last section, simple correlations between some rock features were analyzed and identified those with the highest correlation coefficient.

1 GİRİŞ

Dünyanın en zengin doğal taş oluşumlarının bulunduğu Alp-Himalaya dağ kuşağında yer alan Türkiye, çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervine sahiptir. Türkiye, bu kaynaklara ilaveten gelişmekte olan sanayisi ve üretimde kullandığı teknoloji ile dünyanın en önemli doğal taş üreticileri arasında yer almaktadır. Bu önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Afyon, Bilecik, Balıkesir, Denizli, Muğla, Amasya, Elazığ ve Diyarbakır rezervlerin yoğunlaştığı illerdir. Ülkemizde 80'in üzerinde değişik yapıda, 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi belirlenmiştir.

Doğal taşların, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanması dünya doğal taş üretiminin artmasına neden olmuştur. Özellikle son on yılda görülen artış, kazanım ve işleme teknolojisindeki gelişmelere paralellik göstermektedir. Giderek daha verimli hale getirilen işleme teknikleri ile doğal taş, daha kolay ve ekonomik olarak istenen şekilde işlenmekte ve birçok yeni kullanım alanı bulmaktadır.

Dünya doğal taş sektöründe Çin, İtalya, İspanya, Türkiye, Hindistan, Brezilya ve Portekiz dünya doğal taş üretiminin yaklaşık % 70'ni gerçekleştirmekte, üretimini arttıran ülkeler sıralamasında Çin, Türkiye ve Brezilya ilk üç sırada yer almaktadır.

Dünya doğal taş rezervlerinin yaklaşık % 40'ına sahip olan Türkiye dünya doğal taş sektöründe üretimde % 3,1'lik bir payla dokuzuncu, ihracatta ise % 2,3'lük bir payla sekizinci sırada yer almaktadır (TMMOB, 2005).

Doğal yapı taşları, petrografik ve teknolojik yönlerden yapılarda kullanılmaya elverişli olan, çeşitli minerallerin bir araya gelmesiyle doğal olarak meydana gelen mineral topluluğudur. Doğal taşların duvarlarda kullanılmasıyla mimari yönden estetik görünüm elde edilebilir. Doğal taşlar renk, doku yönüyle yapılara çeşitli özellikler kazandırması yanında, kaplama ve taşıyıcı bir eleman olarak da kullanılabilir (Yılmaz ve Safel, 2004).

Doğal yapı taşları renk ve doku özelliğine göre; estetik görünümü, homojen yapılı,

fiziksel-mekanik-kimyasal etkilere dayanıklı, oyma ve süslemelerin yapılabilmesi için yeterli mukavemete sahip olmalıdır. Yapı malzemesi olarak kullanılacak doğal taşlarda; tasarımcıların, mühendislerin, mimarların, uygulamacıların, TS 699'a (Doğal Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları) göre bilinmesi gereken fiziksel ve mekanik deneylerin nasıl yapılacağı belirtilmiştir (Koçu, 2006).

Ülkemizde günümüze kadar olan uygulamalarda piyasaya yeni sunulan mermerlerde; renk, cila alma kapasitesi ve sertlik temel unsur olmakta, diğer önemli fiziko-mekanik özellikler test edilmemekte ve sadece deneme yanılma metodu ile sonuca gidilmek istenmektedir. Bütün bunlar ekonomiye olumsuz bir külfet getirmekte ve mermerimize hâkim olamamanın verdiği maddi değer kaybı da kaçınılmaz olmaktadır.

Doğal yapı taşlarında aranan özellikler genel olarak; renk özelliği ve desen homojenliği, blok verme özelliği ve kesilip cilalanma, jeomekanik ve fiziksel özellikler, atmosferik ve kimyasal etkilere dayanım olarak sıralanabilir (Şentürk ve Ark., 1995).

Bu çalışmada, Türkiye genelinde yaygın olarak bilinen ve satılan mermer, kireçtaşı ve travertenlerden bazılarının fiziksel, mekanik ve petrografik özellikleri incelenerek, ilgili standartlara göre değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışma ile yaygın olarak kullanılan bu yapı taşlarının kullanıcılarına, amaçlarına uygun seçim yapmalarına yardımcı olabilecek bazı değerlendirmelerin sunulması da amaçlanmıştır.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kuşçu (1990)'da "Belence (Eğirdir-Isparta) Siyah Mermer Yataklarının Ekonomik Jeolojisi" adlı çalışmada; Belence Siyah Mermerlerinin jeolojik, mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemiştir.

Ceylanoğlu ve arkadaşları (1999)'da bazı kayaçların sertlik özellikleri ile diğer malzeme özellikleri arasındaki korelasyonları belirleyen bir çalışma yayınlamışlardır.

Gündüz, Şentürk ve arkadaşları 1996'da mermer işletmeciliği ve ülkemiz

mermerlerinin mühendislik özelliklerinin kapsamlı olarak değerlendirildiği Mermer Teknolojisi adlı bir kitap yayınlamışlardır. Bu kitapta, bu bildiride de çalışılan Marmara beyaz, Afyon beyaz ve Sivrihisar beji gibi mermerlerin de bulunduğu birçok kayacın standartlara uygun özelliklerini belirlemişlerdir.

Özpinar ve Arkadaşları, (2001)'de yaptıkları çalışmalarında; Kocabaş (Denizli) travertenlerinin jeolojik incelemesini yapmışlar ve fiziko-mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Bu amaçla fiziko-mekanik deneyler, agrega deneyleri ve beton karışım hesaplamaları yapmışlardır.

Yavuz ve Arkadaşları, (2002)'de yaptıkları çalışmada; Muğla yöresi mermerlerinin mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Çiftepala ve Arkadaşları (2003)'de yaptıkları çalışmalarında Meşe bağları (Toplu köy-Çermik-Diyarbakır kireçtaşı mermerlerinin fiziko mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, Meşe bağları yöresinden aldıkları kireçtaşı ve mermer örneklerini TS 699 TS 1910 ve TS 2513'e göre deneylere tabii tutmuşlar ve bu kireçtaşı mermerlerinin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini belirleyerek uygun kullanım alanlarını ortaya çıkarmışlardır.

Çavumirza ve Arkadaşları (2003)'de "Mucur (Kırşehir) Yöresi Kireçtaşı Mermerleri ve Travertenlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri" adlı çalışmalarında Mucur yöresi kireçtaşı mermer ve travertenlerinin mineralojik, petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeyi ve TS standartlarına göre uygun kullanım alanlarını ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır.

Uysal ve Arkadaşları (2003)'de bazı mermer türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit ederek, inşaatlarda yapı ve kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Yaşar ve Erdoğan 2004 yılında yaptıkları bir çalışmalarında Çukurova Bölgesinde yaygın olarak kullanılan bazı kayaların mühendislik özelliklerini belirlemiş ve bu özelliklerin kayaların sertlikleri ile ilişkilerini araştırmışlardır. Bu bildiride bazı

özellikleri incelenen Ceyhan bej kireçtaşına ait bir kısım test sonuçları da, Yaşar ve Erdoğan'ın makalesinde incelenmiştir.

Yetiş ve Arkadaşları (2006)'da yaptıkları bir çalışmalarında Değirmenci uşağı (Kozan) dolaylarındaki karbonatların mermer olarak değerlendirilmesini incelemişler ve mermerlerin sertlik, renk, gözeneklilik, su emme oranı, özgül ağırlık, yüzey parlaklığı, kesilmeye ve aşınmaya karşı direnç gibi özelliklerini belirlemişlerdir.

Yavuz ve arkadaşları 2008'de ülkemizde bilinen karbonatlı kayaların, literatürde sıkça rastlanmayan böhme aşınma dayanım değerleri ile diğer önemli mühendislik özelliklerinin korele edildiği bir çalışma yayınlamışlardır.

Kılıç ve Teymen (2008)'de, farklı kökenlerden 19 kayacın mekanik özellikleri ile basit deney yöntemleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

3 MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Çalışmada mermer atölye ve fabrikalarında Türkiye genelinde yaygın olarak bilinen ve satışı yapılan, mermer statüsünde değerlendirilen toplam 14 farklı kayacın kullanılmıştır. Toparlanan plaka halindeki numuneler laboratuvarlarda standartlarda belirtilen boyutlara uygun olarak kesilip hazırlanmıştır. Deneyler TS 699 ve ISRM standartlarında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bulunan deney sonuçları ilgili yapı ve kaplama taşı standartlarına göre değerlendirilmiş ve çalışmada kullanılan mermer, kireçtaşı ve travertenlerin yer döşemesi, duvar kaplaması, merdiven basamağı v.b. kullanım alanlarına uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Şekil 1'de çalışmada kullanılan kayaların görülmektedir. Kayaların petrografik tanımları ve ticari isimleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kayalar.

3.2 Metod

Çalışmayı oluşturan testlerde TS 699 ve ISRM standartları esas alınmıştır. Birim hacim ağırlık ve görünür porozite TS EN 1936, ağırlıkça su emme oranı TS EN 13755, eğilme dayanımı TS EN 12372, Böhme aşınma dayanımı TS EN 14157, petrografik analiz TS EN 12407, donma ve çözünmeye karşı direnç testleri TS EN 1367-1'de belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Açık hava tesirlerine dayanıklılık, pas tehlikesi tayini ve asitlere dayanıklılık testleri TS 699'da tanımlı esaslara göre yapılırken, shore sertlik ve nokta yük dayanım indeksi testlerinde ISRM'de tanımlanan test yöntemleri kullanılmıştır.

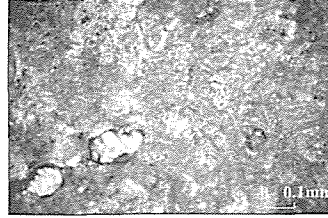
4 ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Ticari isimleri olan doğal taşların petrografik tanımları

Kayaçtan petrografik inceleme için hazırlanmış ince kesitler petrografi mikroskobunda, içinden geçen ışının kazandığı özelliklerin saptanmasıyla tanımlanmıştır. Burada kayaçları oluşturan mineraller arasındaki dokusal ilişkiler, gözeneklilik, bozuşma ürünleri ve dağılımlarına bakılarak, bu parametrelerin kayaçların mekanik özelliklerine etkileri anlaşılmasına çalışılmıştır.

4.1.1 Golden bej

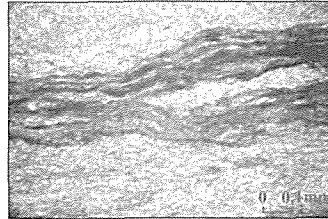
Kayaç, nümülitler, alg fosilleri ile oldukça yoğun, ince kristalli, kalsit matrisli biyomikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Golden Bej ince kesit görünümü.

4.1.2 Yeşil mermer

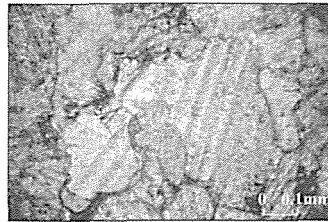
Kayaç kısmi metamorfizma geçirmiş, kristal yönelimleri oldukça belirgin mikrokristalen kalsitten oluşmuştur. Yer yer spari kalsit kristalleri mevcuttur. Az miktarda demir alterasyonu gözlenen kayaç mermerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Yeşil Mermer ince kesit görünümü.

4.1.3 Afyon beyaz

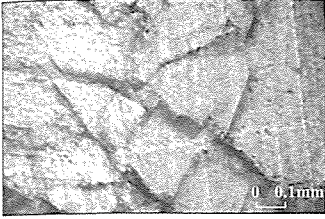
Kayaç % 90 kalsit minerallerinden oluşan mermerdir. Mineraller eş boyutludur. Fosil ve matris yoktur (Şekil 4).



Şekil 4. Afyon Beyaz ince kesit görünümü.

4.1.4 Uşak beyazı

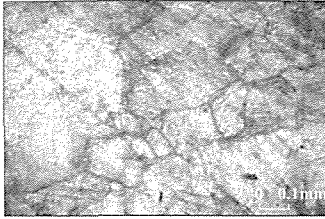
Kayaç içerisinde hakim mineral kalsittir ve iri boyutlu kalsit mineralleri mikro kristalen hamur maddesi ile çimentolanmıştır. Kalsitler yer yer ksenomorf görünümündedir. Kayaç sakkoridal yapıli mermerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Uşak Beyazı ince kesit görünümü.

4.1.5 Marmara beyazı

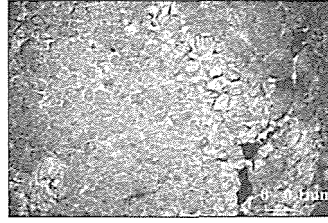
Matriks yoktur. Kesit bünyesinde, keskin röliyefi ile belirgin dolomit kristalleri, yer yer deformasyon izleri görülen kalsit kristalleri bulunmaktadır. Kayaç mermerdir (Şekil 6).



Şekil 6. Marmara Beyaz ince kesit görünümü.

4.1.6 Ceyhan bej

Mikrokristalin kalsit baskın mineraldir. Mineral boyutları oldukça küçük ve yer yer damar dolgusu şeklinde olsa da iri boyuttaki minerallere de rastlanmaktadır. Fosil yoktur, çok mikritik bir matrikse sahiptir. Kayaç kireçtaşıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Ceyhan Bej ince kesit görünümü.

4.1.7 Diyarbakır bej

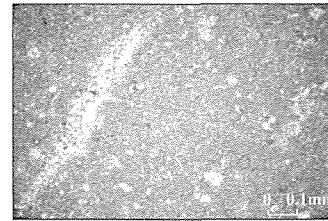
Kayaç içerisinde iri boyutlu, değişik kökenli çok miktarda fosil bulunmaktadır. Kalsit minerali üzerinde deformasyon izleri belirgindir. Kayacın adlandırılması fosilli kireçtaşı olarak yapılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Diyarbakır Bej ince kesit görünümü.

4.1.8 Karaisalı bej

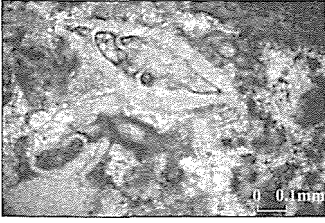
Kayaç içerisinde hakim mineral kalsittir. Farklı boyutlarda fosiller bulunmaktadır. Taneler arasında boşluk yoktur. Kayaç, fosilli kireçtaşıdır (Şekil 9).



Şekil 9. Karaisalı Bej ince kesit görünümü.

4.1.9 Diyarbakır pembe

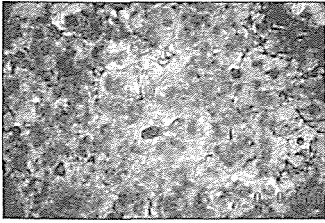
Kayaç çok iri boyutta ve bol fosil içerir. Mikrokristalen kalsitle çimentolanmıştır. Kırık ve çatlaklar boyunca alterasyon ürünü olarak demirli damarlar bulundurulur. Kayacın adlandırılması fosilli kireçtaşıdır (Şekil 10).



Şekil 10. Diyarbakır Pembe ince kesit görünümü.

4.1.10 Denizli traverten

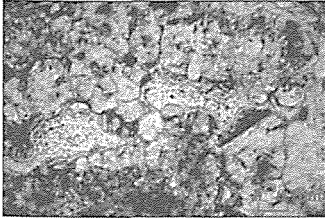
Baskın olan mineral kalsittir. Kayaçta yer yer bitki izleri gözlenmektedir. (Şekil 11).



Şekil 11. Denizli Traverten ince kesit görünümü.

4.1.11 Denizli (pembe) traverten

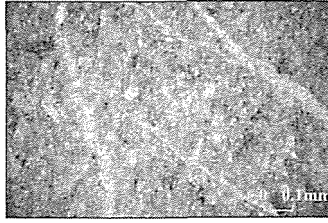
Baskın mineral kalsittir. Mikrokristalin halde yer yer bitki izleri gözlenmektedir. Kristaller kalsitin ağırlıkta olduğu bir matriksle çevrilidir (Şekil 12).



Şekil 12. Denizli Pembe Traverten ince kesit görünümü.

4.1.12 Hatay siyah

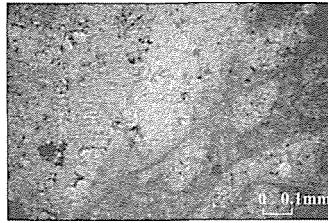
Kayaç siyah renkli mikritik yapılı, kıt dolomitli bir kireçtaşıdır. Kayaçta farklı yönlerde gelişmiş sparikalsit dolgulu, orta kalınlıkta kırıklar mevcuttur.



Şekil 13. Hatay Siyah ince kesit görünümü.

4.1.13 Sivrihisar bej

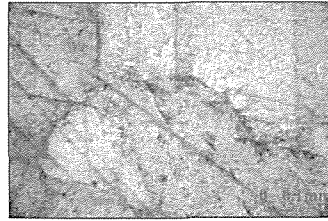
Kayaçta ince spari kalsit dolgular mevcuttur ve % 2 orta kristalen dolomitlidir. Fosil gözlenen kayaç mikritik ya da biyomikritik kireçtaşı olarak adlandırılabilir. (Şekil 14).



Şekil 14. Sivrihisar Bej ince kesit görünümü.

4.1.14 Muğla beyazı

Baskın mineral kalsittir. Kalsit mineralleri oldukça iri ve eş boyutludur. Mineraller birbirine kenetlenmiş durumda ve matriks yoktur. Kayaç içerisinde fosil bulunmamaktadır. Kayacın adlandırılması mermer olarak yapılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Muğla Beyazı ince kesit görünümü.

Kayaçlara, TS 699'da belirtilen pas tehlikesi tayini, açık hava tesirlerine dayanıklılık ve asitlere karşı dayanım gibi bazı fiziksel testler uygulanmış, sonuçlar ve yorumlar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Kayaçlara uygulanan mekanik ve fiziksel test sonuçları ise Çizelge 2'de görülmektedir. Çizelge 3'te mermer, kireçtaşı ve traverten olarak sınıflandırılan

kayaçlarla ilgili standartlar (TS 10449, TS 11137 ve TS 11143) ve bu standartlarda belirtilen limit değerler verilmiştir.

Çizelge 1. Kayaçların kökenleri ve atmosferik test sonuçları.

No	Ticari adı	Petrografik Tanımı	Pas Tehlikesi	Açık Hava Tesirlerine Dayanıklılık	Asitlere Karşı Dayanıklılık
1	Golden Bej	Kireçtaşı	Var	Renkte koyulaşma, demirli bölgelerde belirgin sararma	Değişim yok
2	Yeşil Mermer	Mermer	Yok	Renkte matlaşma ve çatlaklarda belirginleşme	Değişim yok
3	Afyon Beyaz	Mermer	Yok	Renkte sararma	Değişim yok
4	Uşak Beyaz	Mermer	Yok	Renkte çok fazla sararma	Değişim yok
5	Marmara Beyaz	Mermer	Yok	Renkte sararma	Değişim yok
6	Ceyhan Bej	Kireçtaşı	Var	Renkte sararma	Değişim yok
7	Diyarbakır Bej	Kireçtaşı	Var	Renkte az miktarda koyulaşma, demirli bölgelerde belirgin sararma	Değişim yok
8	Karaisalı Bej	Kireçtaşı	Var	Renkte sararma, dolgularda koyulaşma ve kalsit bölgelerinde çukurlaşma	Değişim yok
9	Diyarbakır Pembe	Kireçtaşı	Var	Renkte matlaşma ve damar çatlaklarında belirginleşme	Değişim yok
10	Denizli Traverten	Traverten	Var	Renkte çok fazla sararma	Değişim yok
11	Denizli Pembe Trav.	Traverten	Var	Çok fazla asit etkisi ve renkte koyu pembeye dönüşme	Değişim yok
12	Hatay Siyah	Kireçtaşı	Var	Çatlaklarda belirginleşme	Değişim yok
13	Sivrihisar Bej	Kireçtaşı	Var	Hafif kahverengi lekeler	Değişim yok
14	Muğla Beyaz	Mermer	Yok	Renkte sararma	Değişim yok

Çizelge 2. Kayaçların fiziksel ve mekanik test sonuçları.

Kayaç Adı	Eğilme Dayanımı (N.mm/mm ³)	Nokta Yük İndeksi (MPa)	Aşınma Dayanımı (cm ³ /50cm ²)	Shore Sertlik	Don Kaybı (%)	B.Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Ağ.Su Emme Oranı(%)	Görünür Porozite (%)
1 Golden Bej	11,49	4,71	17,38	47,1	1,14	2,495	1,407	3,509
2 Yeşil Mermer	14,14	6,70	13,32	52,3	0,63	2,701	0,175	0,472
3 Afyon Beyaz	13,2	5,87	20,30	48,8	0,46	2,694	0,112	0,311
4 Uşak Beyaz	13,34	5,87	15,61	50,3	0,03	2,684	0,122	0,328
5 Marmara Beyaz	13,85	5,90	15,01	49,1	0,49	2,697	0,104	0,298
6 Ceyhan Bej	16,33	8,81	7,83	64,6	1,07	2,681	0,122	0,326
7 Diyarbakır Bej	15,86	8,29	7,78	55,4	1,79	2,609	1,012	2,640
8 Karaisalı Bej	13,79	7,68	10,07	55,6	1,93	2,632	0,970	2,560
9 Diyarbakır Pembe	13,75	6,49	11,62	51,0	1,53	2,649	0,630	1,668
10 Denizli Traverten	9,84	5,53	15,59	40,7	1,24	2,360	2,092	4,790
11 Dnzl.Pembe Traverten	9,64	5,26	18,00	41,4	0,77	2,449	1,390	3,414
12 Hatay Siyah	19,12	10,11	6,21	66,5	1,13	2,703	0,335	0,587
13 Sivrihisar Bej	13,93	7,15	8,17	54,1	0,97	2,672	0,120	0,250
14 Muğla Beyaz	8,72	4,28	17,16	43,3	0,79	2,678	0,170	0,450

Çizelge 3. Standartlarda belirtilen limit değerler.

Özellik	TS 10449-Mermer	TS 11137-Kireçtaşı	TS 11143 -Traverten
1 Eğilme dayanımı (N.mm/mm ³)	6	-	-
2 Birim hacim ağırlık (g/cm ³)	-	2,16	2,30
3 Aşınma dayanımı (cm ³ /50cm ²) (Yerdöşemesi – Duvar kaplama)	15- 25	10- 15	15-20
4 Don kaybı (%)	1	2	5
5 Su emme (%)	0,4	4	3

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kayaçlar Çizelge 4'te belirtilen sınıflamaya göre porozite açısından değerlendirildiğinde, mermerlerin tamamının ve bazı yüksek dirençli kireçtaşlarının çok kompakt sınıfında (<1), travertenlerin ve nispeten daha zayıf kireçtaşlarının ise az ya da orta boşluklu sınıfında yer aldığı görülmüştür.

Çizelge 4. Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması.

Kaya sınıfı	Porozite (%)
Çok kompakt	< 1
Az boşluklu	1-2,5
Orta boşluklu	2,5-5
Oldukça boşluklu	5-10
Çok boşluklu	10-20
Çok fazla boşluklu	> 20

Kayaçların nokta yük dayanım değerleri Çizelge 5'e göre değerlendirilmiştir. Hatay siyah, Ceyhan bej ve Diyarbakır bej kireçtaşları çok yüksek dirençli sınıfında yer alırken diğer kayaçların tamamı yüksek dirençli sınıfında yer almaktadır. Plaka olarak temin edilen kayaçlara tek eksenli basınç dayanım testi uygulanamamıştır. Buna karşılık tek eksenli basınç dayanımı ile nokta yük dayanımı arasındaki anlamlı ilişki, literatürde yaygın olarak çalışılan ve kanıtlanan bir konudur. Nokta yük dayanımından hareketle literatürdeki bu korelasyonlarla tahmin edilen tek eksenli basınç dayanımlarına göre de çalışmada kullanılan kayaçların yüksek dirençli olduğu görülmektedir. İlgili standartlarda 50 MPa sınır değer olduğu düşünüldüğünde kayaçların tamamı standartlara uygun dayanım özellikleri göstermektedir.

Çizelge 5. Kayaçların nokta yük direncine göre sınıflandırılması.

Kaya sınıfı	Nokta yük indeksi (MPa)
Çok düşük dirençli	< 1
Düşük dirençli	1-2
Orta dirençli	2-4
Yüksek dirençli	4-8
Çok yüksek dirençli	> 8

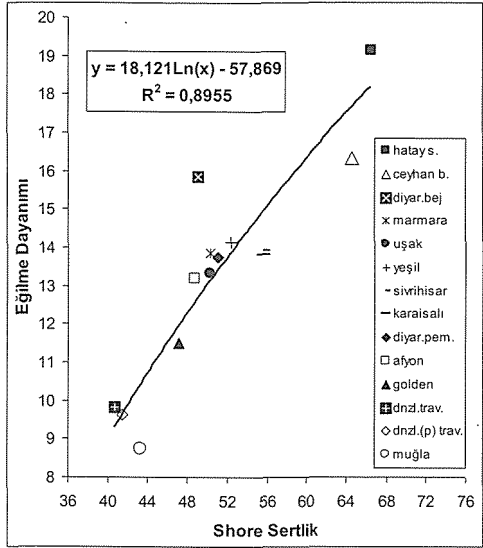
Kayaçların ağırlıkça su emme oranı ve birim hacim ağırlık değerlerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri karşıladığı görülmüştür.

Kayaçların tamamının, eğilme dayanım değerlerinin standartlarda alt limit olarak verilen 6 MPa'dan büyük olduğu görülmektedir.

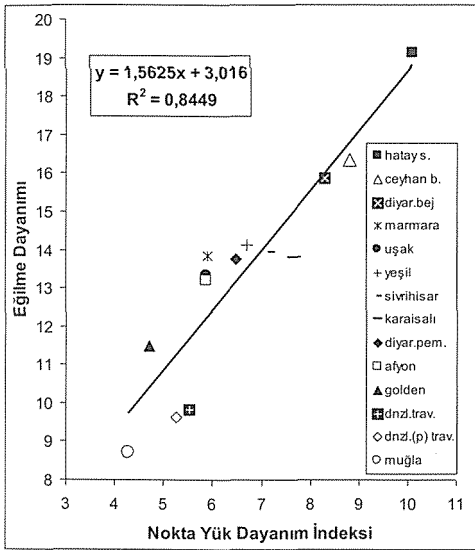
Tamamen karbonat minerallerinden oluşan mermerlerin sertliği içerdiği minerallerin rekristalleşme derecelerine ve aralarında boşluk bırakıp bırakmadıklarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bilgiler ışığında kayaçlara shore sertlik testi uygulanmış ve bir skala yardımıyla bu değerlerin takribi mohs karşılıkları belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre kayaçların mohs sertliklerinin 3,5-4,5 arası değiştiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre çalışmada kullanılan mermerlerin yumuşak ve orta sertlikte olduğu söylenebilmektedir. Çalışmada üç sınıfta tanımlanan kayaçların don kaybı değerlerinin ilgili standartlarda belirlenen limitleri aşmadığı belirlenmiştir. Böhme Aşınma Dayanımı testi sonucunda; Golden bej kireçtaşı dışında tüm kireçtaşlarının yer döşemesi ve duvar kaplaması için belirlenen limitleri karşıladığı görülmektedir. Mermer ve traverten grubunda değerlendirilen kayaçların duvar

kaplaması için gerekli standartları sağladıkları görülürken, merdiven ve yer döşemesi için belirlenen limitlerin üzerinde aşınmaya uğradıkları belirlenmiştir. Genel olarak incelenen kayalar birçok özellikleri bakımından standart değerleri karşılamaktadır.

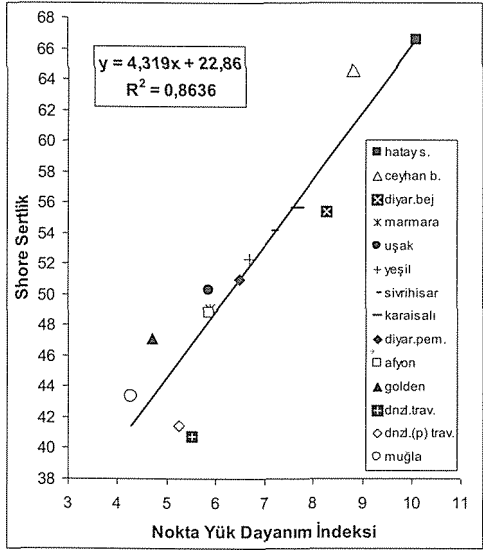
Çalışmanın amaçlarından bir tanesi de kalsiyum karbonat esaslı kayaların test edilen bazı özellikleri arasındaki ilişkilerin basit regresyon analizleri ile belirlenmesidir. Kayaç özellikleri arasındaki korelasyonların araştırılmasının temel amacı, numune hazırlamanın her zaman mümkün olmadığı, zor ve zahmetli deneylerin daha pratik ve çabuk sonuç alınabilen deneyler aracılığıyla tahmin edilmeye çalışılmasıdır. Shore yüzey sertliği ve nokta yük dayanım deneyleri laboratuvar ve arazi koşullarında pratik bir uygulama imkânı sunan standart deneylerdendir.



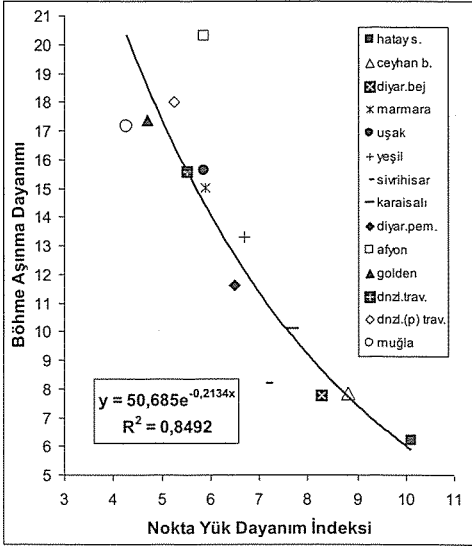
Şekil 17. Eğilme dayanımı ve shore yüzey sertliği arasındaki korelasyon grafiği.



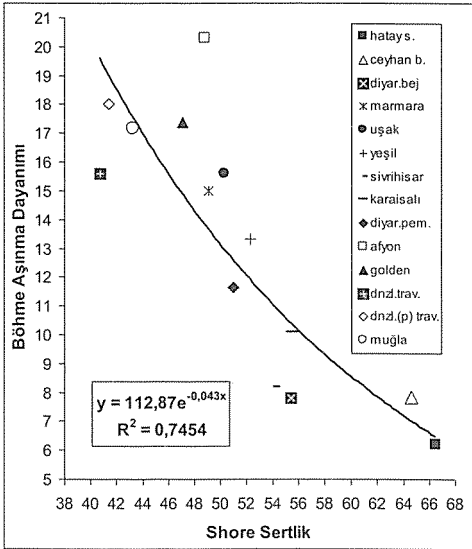
Şekil 16. Eğilme dayanımı ve nokta yük dayanımı arasındaki korelasyon grafiği.



Şekil 18. Nokta yük dayanımı ve shore yüzey sertliği arasındaki korelasyon grafiği.



Şekil 19. Aşınma dayanımı ve nokta yük dayanımı arasındaki korelasyon grafiği.



Şekil 20. Aşınma dayanımı ve shore yüzey sertliği arasındaki korelasyon grafiği.

Buna karşın, eğilme dayanımı ve böhme aşınma dayanımı deneyleri, standartlarda belirlenmiş boyutlarda hazırlanması zorunlu prizmatik deney numunelerine ihtiyaç duyulan uygulanması zor ve zaman alıcı deneylerdir. Buradan hareketle bu çalışma kapsamında eğilme dayanımı ve böhme aşınma dayanım değerlerinin, shore yüzey sertliği ve nokta yük dayanım indeksi değerleri ile aralarındaki korelasyonlar belirlenmiştir. Şekil 16-20'de bu deneyler arasındaki logaritmik, doğrusal ve üstel olarak belirlenen korelasyonlar ve korelasyon katsayıları verilmiştir. Belirlenen korelasyonlar incelendiğinde nokta yük dayanımı ve shore sertlik gibi pratik deneylerle, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı gibi hazırlık gerektiren yapılması zor ve zahmetli deneylerin tahmin edilebileceği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara ait korelasyon katsayıları, sözü geçen kayaç özelliklerinin tahmininde fikir edinilmesine yardım edebilecek düzeydedir.

Çalışma sonucunda gözlemlenen önemli bir husus eğilme dayanım değerlerinin doğruya en yakın şekilde tespit edilebilmesindeki zorluklardır. Zira yetersiz sayıda numune ile çalışılması ya da çok yüksek yüklemeye hızlarında çalışılması durumunda hatalı sonuçlara ulaşılması kaçınılmazdır. Özellikle benzer kökenli kayaçlar söz konusu olduğunda, kayaçlardaki mevcut çatlak ve dolguların varlığı, deneyin gerçekleştirilmesi ile ilgili olarak yukarıda değinilen hususların önemini artırmaktadır.

Çalışmada kullanılan karbonatlı kayaçlar, sedimanter oluşumlu kireçtaşları, mermerler ve travertenlerden oluşmaktadır. Bu kayaçlar oluşum ve petrografik özellikleri itibarıyla farklılıklar göstermektedir (Şekil 2-15). Örneğin iri kristalli oldukça kompakt bir metamorfik kireçtaşı oldukça yüksek birim hacim ağırlık ve çok düşük porozite değerine sahip olabilmektedir. Buna karşın bir traverten petrografik yapısı gereği oldukça yüksek porozite ve daha düşük birim hacim ağırlığa sahiptir. Ancak bu iki kayaç fiziksel özellikleriyle oldukça uyumsuz mekanik özellikler gösterebilmektedir. Özellikle sedimanter ve metamorfik kayaçlarda tabakalanma, şistozite, yapraklanma gibi

yapısal unsurların kayaçların mukavemet özellikleri üzerindeki etkileri çok önemli düzeydedir. Bazı araştırmacılar tabakalanma, klivaj gibi parametrelerin açı ve konumlarının kayacın mekanik özellikleri üzerinde oluşturduğu farklılıkları ortaya koyan deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu durum doğal taş sektöründeki uygulamalarda da oldukça fazla önem arz etmektedir. Bu tür problemlere mermer-kireçtaşı grubu kayaçlarda, volkanik-mağmatik kayaçlara oranla daha sık rastlanmaktadır. Yapılan korelasyon çalışmalarında yukarıda detayları izah edilmeye çalışılan problemler açık bir şekilde gözlenmiştir. Fiziksel özelliklerle oluşturulan korelasyonların sahip olduğu korelasyon katsayılarının nispeten düşük değerlerde olması, bu tür kayaçların petrografik ve sedimentolojik yapılarının bir sonucudur.

Literatürde kayaçların malzeme özelliklerinin ve bu özellikler arasındaki korelasyonların incelendiği ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlanmış bir çok çalışma bulunmaktadır. Bahsi geçen çalışmaların çoğunu, tek eksenli basınç dayanımı, P dalga hızı, schmidt sertlik, nokta yük dayanımı, brazilian dolaylı çekme dayanımı gibi parametrelerin incelendiği ve birbirleri ile korele edildiği çalışmalar oluşturmaktadır. Bunların bir kısmı bu bildiri kapsamında da incelenen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan mermer statüsünde değerlendirilen kayaçlarla ilgili olanlardır. Ancak literatürde, özellikle eğilme dayanımı ve aşınma dayanımı gibi parametrelerin incelendiği ve birbirleri ile korele edildiği çok az çalışma mevcuttur.

KAYNAKLAR

- Ceylanoglu, A., Arpaz, E., Görgülü, K., 1999. Bazı kaya birimlerinin sertliklerinin belirlenmesi ve diğer malzeme özellikleri ile ilişkileri. Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s: 49-56.
- Çavumirza, M., Kılıç, Ö., Anıl, M., 2003. Mucur (Kırşehir) yöresi kireçtaşı mermerleri ve travertenlerinin fiziko -mekanik özellikleri. Türkiye IV. Mermer ve Doğal taş Sempozyumu (MERSEM'2003) Bildiriler Kitabı, s: 117-126.
- Çiftelapa, M., Kılıç, Ö., Anıl, M., 2003. Meşe bağları (toplu köy-çermik- diyarbakır) kireçtaşı mermerlerinin fiziko mekanik özellikleri. Türkiye IV. Mermer ve Doğal taş Sempozyumu (MERSEM'2003) Bildiriler Kitabı, s: 221-230.
- Gündüz, L., Şentürk, A., Tosun, Y.İ., Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi, Tuğra Ofset, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Isparta.
- ISRM., 1981., Rock characterization, testing and monitoring – Commission on standardization laboratory and field results. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Part 4, p:102-103, Pergamon, Oxford.
- ISRM., 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr. 22, 51 – 62.
- Kılıç, A., Teymen, A., Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67: 237-244: 2008.
- Koçu.N., 2006. Doğal taşların duvarlarda yapı malzemesi olarak kullanılması, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deney yöntemleri. 30. Yıl Fikret Kutman Jeoloji Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Kuşçu, M., 1990 Belence (Eğridir-Isparta) siyah mermer yataklarının ekonomik jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği. s:36, II-17, 1990.
- Özpinar, Y., Heybeli, H., Semiz, B., Baran, A., Kocan, B.; 2001. Denizli travertenleri ve kömürçüoğlu (Kocabaş) travertenlerinin jeolojik ve petrografik olarak incelenmesi ve bunların teknolojik açıdan değerlendirilmesi.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Sarıışık, A., 1995. Yapı taşı olarak kullanılan endüstriyel kayaçlara teknik bir bakış. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 21-22 Nisan 1995, s: 333-334.
- TMMOB., 2005. Doğal Taş ve Mermer Raporu, Maden Mühendisleri Odası Genel Merkez, Ankara.
- T.S.E., 1992. TS 10449, Mermer-kalsiyum karbonat esaslı-yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan. Kasım 1992, Ankara.

- T.S.E., 1993. TS 11137, Kireçtaşı(Kalker)- Yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan. Kasım 1993, Ankara.
- T.S.E., 1993. TS 11143, Traverten yapı ve kaplama taşı olarak kullanılan. Aralık 1993, Ankara.
- T.S.E., 2005. TS EN 14157, Doğal taş - Aşınma direncinin tayini. Mart 2005, Ankara.
- T.S.E., 2007. TS EN 12372, Doğal Taşlar - Deney Metotları - Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini. Temmuz 2007, Ankara.
- T.S.E., 2008. TS EN 12407, Doğal taşlar - Deney metotları - Petrografik inceleme. Ocak 2008, Ankara.
- T.S.E., 2009. TS EN 13755, Doğal taşlar - Deney metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini. Mart 2009, Ankara.
- T.S.E., 2009. TS 699, Doğal Yapı Taşları- İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri. Mart 2009, Ankara.
- T.S.E., 2009. TS EN 1367-1, Agregaların ısı ve bozunma özelliklerini tayin için deneyler - Bölüm 1: Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini Haziran 2009, Ankara.
- T.S.E., 2010. TS EN 1936, Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini. Ocak 2010, Ankara.
- Uysal, Ö., Akçakoca, H., Topal, İ., 2003. Bazı doğal taşların tekno mekanik özellikleri ve uygun kullanım alanlarının belirlenmesi. MERSEM'2003-Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı. s: 343- 351, Afyon.
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., 2004. Estimation of rock physicomechanical properties using hardness methods. Engineering Geology. 71 (2004) 281-288.
- Yavuz, A.B., Türk, N., M.Y., 2002. Muğla yöresi mermerlerinin mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri. Jeoloji Mühendisliği. Araştırma Makalesi.
- Yavuz, H., Uğur, I., Demirdağ, S., 2008. Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. 45 (2008) 260-267.
- Yetiş, C., Anıl, M., Akyıldız, M., Yapıcı, N., 2006. Değirmenciusağı (Kozan-Adana) dolaylarındaki karbonatların mermer olarak değerlendirilmesi.
- Yılmaz, H., Safel, R., 2004. Mermer Sektörü. Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. İktisadi Araştırmalar ve Mevzuat Yönetmeliği, Sektör Araştırmaları Serisi.

Dairesel Testereli Kesim Makineleriyle Kireçtaşı Kesiminde Farklı Kesim Koşullarının Çamur Tane Boyuna Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of the Different Cutting Conditions to the Sludge Size for Limestone Cutting with Circular Sawing Machines

Y. Özçelik, E. Yılmazkaya

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

F. Bayram, N. E. Yaşıtli

Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Aksaray, TÜRKİYE

M. Başyigit

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET Bu çalışmada, doğal taş işlemeciliğinde yaygın olarak kullanılan dairesele testereli kesim yönteminde, dairesele testerenin ilerleme hızı ve çevresel hızı değişimlerinin bir kireçtaşının kesimi sırasında ortaya çıkan çamurun tane boyuna etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla Sivrihisar Bej ticari isimli kireçtaşı örneği üzerinde farklı ilerleme hızı (400, 500, 600, 700, 800 ve 900 mm/dk) ve çevresel hız (40, 50, 60, 70 m/sn) değerlerinde Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde geliştirilen tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesele testereli kesim makinesi kullanılarak kesimler gerçekleştirilmiştir. 24 farklı kesim koşulunda yapılan her bir kesimin belirli bir noktasında dairesele testereli kesim makinesinin önünden çamur örneği alınmıştır. Bu örneğin içerdiği parçalanmış-kopmuş malzemenin tane boyu dağılımı hassas bir şekilde sulu ölçüm yapabilen lazerli tane boyu ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan tüm kesimler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Sivrihisar Bej kireçtaşı için kesim sırasında ortaya çıkan çamurun ortalama tane boyu (d_{50}) değişimi ile kesim koşulları (çevresel hız ve ilerleme hızı) arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

ABSTRACT In this study, it is aimed to put forward the effect of the variation of advance rate and peripheral speed of the circular saw that is commonly used for natural stone processing to sludge size which occurred during the cutting process of a limestone. For this purpose, a limestone namely Sivrihisar Beige was sawed in laboratory on different advance rates (40, 50, 60, 70 m/s) and peripheral speeds (400, 500, 600, 700, 800, 900 mm/min) with full automatic servo controlled circular sawing machine designed by Hacettepe University Mining Engineering Department. In a certain point of each cutting process made on 24 different cutting conditions, sludge occurred during the cutting process were sampled in front of the machine. Particle size distribution of this sludge sample containing crushed+broken natural stone particles was determined by using the laser sizer machine which makes highly sensitive wet measurement. By using the results of all these cutting processes, the relationships between average grain size of the sludge (d_{50}) occurred during the cutting process and cutting conditions (peripheral speed and advance rate of circular saw) were revealed for Sivrihisar Beige limestone.

1 GİRİŞ

Eski çağlardan beri mermer, önemli bir yapı ve süsleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Yeterince sağlam olması, cazip renk ve desenler göstermesi, kullanışlı olması gibi nedenlerden dolayı mermer, yapı ve süsleme malzemesi olarak tercih edilmektedir Doğal taş ocaklarından çıkarılan bloklar bazı aşamalardan geçerek insanların kullanımına sunulmaktadır. Bloklardan levha/plaka üretimi için, işleme tesislerinde çeşitli makineler kullanılmaktadır. Doğal taş işlemeciliğinde, ocaktan gelen ham blokların fiziki durumları göz önünde bulundurularak işleme yöntemi ve makineleri seçilmektedir. Mermer işleme tesislerinde, S/T adı verilen dairesel testereli blok kesme makineleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Bayram vd. 2003, Bayram 2008).

Doğal taş bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan doğal taş işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ve istenilen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda doğal taş işleme tesislerinde verimli bir biçimde işlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir. Doğal taş işleme tesisleri yatırım maliyetleri oldukça yüksek makinelerden oluşmaktadır. Bu makinelerin

bilinçli ve verimli kullanımları, mevcut mermer işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir (Bayram 2008).

Genel olarak dairesel kesicilerle kesme işleminde kesmeyi etkileyen parametreler Çizelge 1’de verilmiştir (Özçelik vd. 2009).

Günümüze kadar birçok araştırmacı Çizelge 1’de verilen dairesel testere ile kesme işleminde etken parametreler üzerine çok çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların amacı kesme işleminin daha iyi anlaşılmasını ve de kesme performansının artırılması sağlamaktır. Bu konularla ilgili olarak son 40 yılda pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Günümüze kadar yapılan bazı çalışmalarda araştırmacılar, dairesel testereli kesme makinelerinde soket aşınmasını (Ersoy vd. 2005, Özçelik vd. 2008, Bayram 2008), kesmede aşınma modelini (Ilio ve Togna 2003), kesme sürecinin temellerini (Tönshoff vd. 2002), kesme sisteminde aşağı ve yukarı kesim türlerini (Jennings ve Wright 1989, Büyüksağış 2007), kesimde oluşan kuvvetleri (Xu vd. 2003) ve çeşitli parametrelere bağlı olarak birim enerji değişimini (Xu 1999); Büyüksağış ve Göktaş 2005, Ersoy ve Atıcı 2004, Özçelik vd. 2008, Bayram 2008) incelemişlerdir.

Çizelge 1. Dairesel kesicilerle kesme işleminde kesmeyi etkileyen parametreler

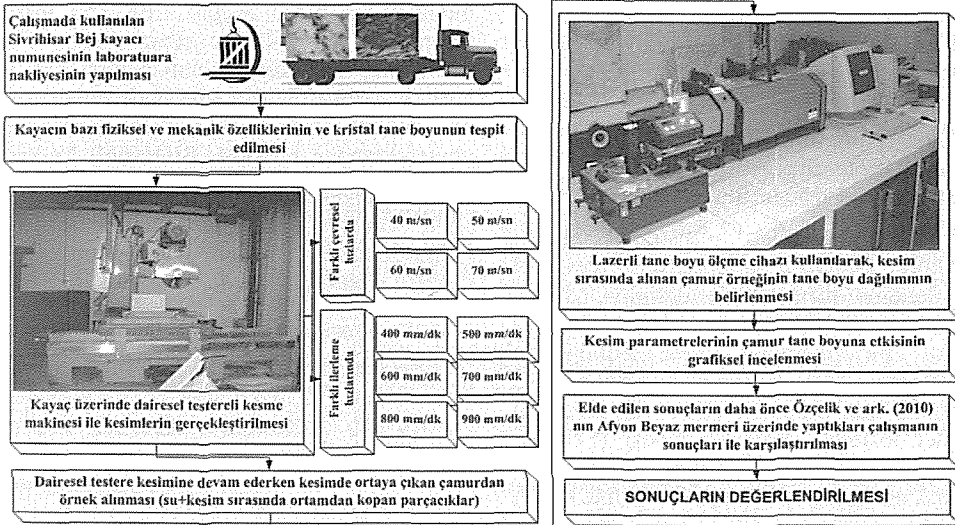
<i>Değişmez Özellikler</i> Kesilecek Malzemenin Mühendislik Özellikleri	<i>Değiştirilebilir ve/veya yarı denetlenebilir değişkenler</i> Kesme Ekipmanının Özellikleri	Kesme Ortamında Çalışma Koşullarının Teknik Özellikleri
<ul style="list-style-type: none">• Fiziki ve mekanik özellikler• Kimyasal özellikler• Mineralojik özellikler• Petrografik özellikler• Tane-yönlenebilirliği 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 hızı	<ul style="list-style-type: none">• Besleme kuvveti• Su miktarı• İlerleme hızı• Motor devri• Çevresel hız• Kesme derinliği• Aşağı ve yukarı kesme yöntemleri

Ancak literatürde dairesel testere ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Özçelik ve arkadaşlarının (2010) Afyon Beyaz mermeri üzerinde yaptıkları çalışma dışında farklı kesim koşullarının (çevresel hız ve ilerleme hızı) kesim sonrası oluşan çamurun tane boyuna etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Özçelik ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada ortalama çamur tane boyunu performans kriteri olarak almış ve dairesel testerenin ilerleme hızı ve çevresel hızının değişiminin mermer kesiminde oluşan çamurun tane boyuna etkisini incelemişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada, dairesel testere kesim makineleri ile bir kireçtaşı kesiminde ortaya çıkan çamurun tane boyu ile kesim koşulları arasındaki ilişkilerin incelenmesi ve elde edilen sonuçların daha önce Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yaptıkları çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

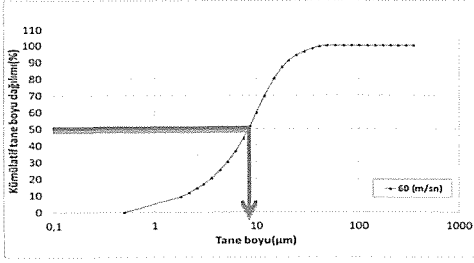
Çalışmada ilk olarak Sivrihisar Bej ticari isimli kireçtaşı numuneleri laboratuara getirilmiş ve kesimi gerçekleştirilecek kayacın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere numuneler hazırlanıp

deneyleri yapılmıştır. Daha sonra numunelerin tam otomatik dairesel testere kesim makinesinde testerenin çevresel hızı ve ilerleme hızı değerleri değiştirilerek kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kesimlerde testere çevresel hızı değerleri olarak 40 m/sn, 50 m/sn, 60 m/sn ve 70 m/sn değerleri; ilerleme hızı değerleri olarak ise 400 mm/dk, 500 mm/dk, 600 mm/dk, 700 mm/dk, 800 mm/dk ve 900 mm/dk değerleri kullanılmış ve toplam 24 deney gerçekleştirilmiştir. 40 m/sn ve 50 m/sn çevresel hız ve 400 mm/dk ve 500 mm/dk ilerleme hızlarında yapılan kesimlerde, testere sıkışma yaptığı için verilerin değerlendirilmesi aşamasına bu kesimler dahil edilmemiştir. 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 dairesel testere kullanılmıştır. Kesim işlemi sırasında testere tamamen kayaca girip kesme kuvvetlerinin maksimum olduğu anda çıkan çamur örneği alınmış ve daha sonra lazerli tane boyu ölçüm cihazı kullanılarak bu örnekteki çamurun tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında takip edilen genel yöntem Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada izlenen yöntem

Çalışmada malzemelerin tane boyu dağılımları tane boyuna karşılık kümülatif tane boyu dağılımı (%) grafiği çizilerek belirlenmiştir. Her bir ilerleme hızı ve çevresel hız değerinde yapılan kesimden alınan çamur örnekleri için çizilen grafiklerden ortalama boy (d_{50}) belirlenmiş ve kesme parametreleri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Tane boyu dağılımı iri ve ince boylarda farklılık gösterebileceğinden dolayı ortalama boy olan d_{50} kullanılmıştır. Şekil 2’de 400mm/dk ilerleme hızında ve 60 m/sn testere çevresel hızında yapılan kesim sırasında alınan çamur örneklerinin kümülatif tane boyu dağılımı grafiği verilerek ortalama boy (d_{50})’nin bulunması gösterilmiştir. Benzer şekilde her bir kesim koşulu için d_{50} değerleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

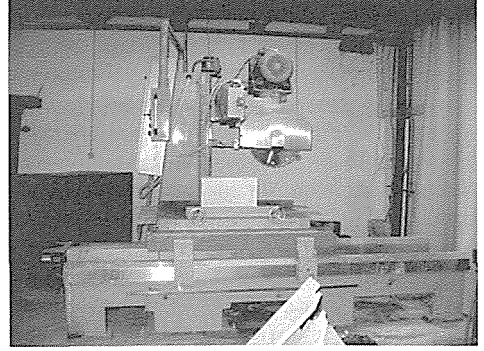


Şekil 2. Ortalama tane boyunun (d_{50}) hesaplanmasında kullanılan kümülatif tane boyu dağılımı grafiği

2.1 Tam Otomatik Bilgisayar Kontrollü Dairesel Testereli Kesim Makinesinin Tanıtılması

Kesim işleminin kesilen kayaca 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 amaçla tasarlanan ve kullanılan tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinesi (Şek. 3) Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde geliştirilmiştir. Bu makine, kesim sırasında etkili olan makine 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 makinesidir. Sistemde deney düzeneğini kontrol etmek ve deney sırasında veri kaydını sağlamak üzere, özel olarak yazılmış bir otomasyon programı kullanılmaktadır (Bayram 2008).



Şekil 3. Çalışmada kullanılan dairesel testereli kesim makinesi

2.2 Lazerli Tane Boyu Ölçme Cihazı

Kesimler sırasında alınan çamur örneklerinin tane boyu değerleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Sympatec Magic KFS 153 marka lazerli tane boyu ölçme cihazı (Şek. 4) ile belirlenmiştir. Lazer saçım tekniği, yaş ve kuru uygulama olanağı sayesinde günümüzde en sık kullanılan tane boyu belirleme yöntemlerinden birisidir. Bu metod, özellikle çimento endüstrisinde daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Ölçüm yaptığı tane boyu aralığı 0,1 ile 2000µm arasındadır. Makinenin temel çalışma mantığı farklı şekilde saçılan ışığın, tane boyu ile ters orantılı olmasıdır. Bu makine kullanılarak alınan ölçümlerde ışığın saçımını optik modeller kullanılarak tane boyuna çevirmekte ve hacimsel tane boyu dağılımı elde edilmektedir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan Sympatec Magic KFS 153 marka lazerli tane boyu ölçme cihazı

2.3 Kesilen Malzemenin Özellikleri

Bu çalışmada kesme deneylerinde Sivrihisar Bej ticari isimli kireçtaşı kullanılmıştır. Kesim işlemlerinde 500 mm × 200 mm × 300 mm

boyutlarına sahip numuneler kullanılmıştır. Test edilen Sivrihisar Bej kireçtaşına ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde ISRM tarafından önerilen deney yöntemleri kullanılmıştır (ISRM 1981). Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yaptıkları çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmasının daha anlaşılır olabilmesi için bu kayaca ait özellikler de yine Çizelge 2’de verilmiştir. Bununla birlikte, çalışmalardan elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için bu iki örneğe ait ince kesit çalışması yapılarak ortalama kristal tane boyları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar da Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kireçtaşı ve mermer numunelerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

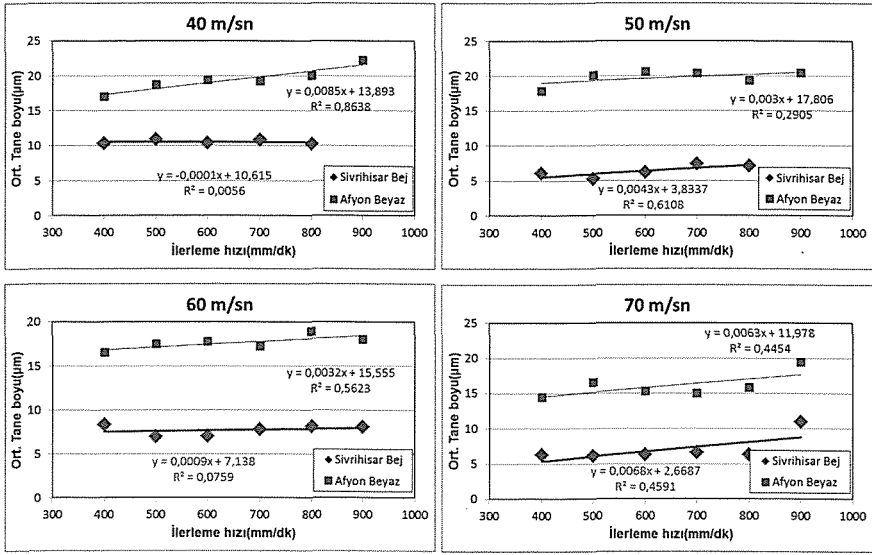
	<i>Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)</i>	<i>Su Emme Kapasitesi (W/W) (%)</i>	<i>Görünür Gözeneklilik (%)</i>	<i>Shore Sertliği</i>	<i>Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)</i>	<i>Çekme Dayanımı (MPa)</i>	<i>Kristal Tane Boyu (Mikron)</i>
Sivrihisar Bej	2.70	0.12	0.22	62	70.0	7.05	26
Afyon Beyaz	2.70	0.05	0.15	49	51.45	6.22	211

3 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar iki ana başlık altında; ilerleme hızı değişiminin ve çevresel hız değişiminin kesim sonrası çıkan çamur tane boyuna etkisi olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında çalışılan Sivrihisar Bej kireçtaşına ait sonuçlar hem kendi içerisinde hem de Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yaptıkları çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.1 İlerleme Hızı Değişiminin Çamur Tane Boyuna Etkisi

Çalışma kapsamında incelenen Sivrihisar Bej kireçtaşı ve Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak farklı ilerleme çevresel hızlarda çamur tane boyu değişimlerinin grafikleri Şekil 5’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sivrihisar bejine ait ölçüm sonuçları incelendiğinde 40 m/sn ile 50 m/sn çevresel hız değerlerinde 900 mm/dk ilerleme hızında ölçüm sonuçlarının olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise bu değerlerde kesim sırasında testerenin sıkışması ve ölçüm alınamamasıdır.



Şekil 5. Sivrihisar bej (kireçtaşı) ve Afyon Beyaz (mermer) doğal taşlarının farklı çevresel hızlarda ilerleme hızı ile çamur tane boyu değişimi grafikleri

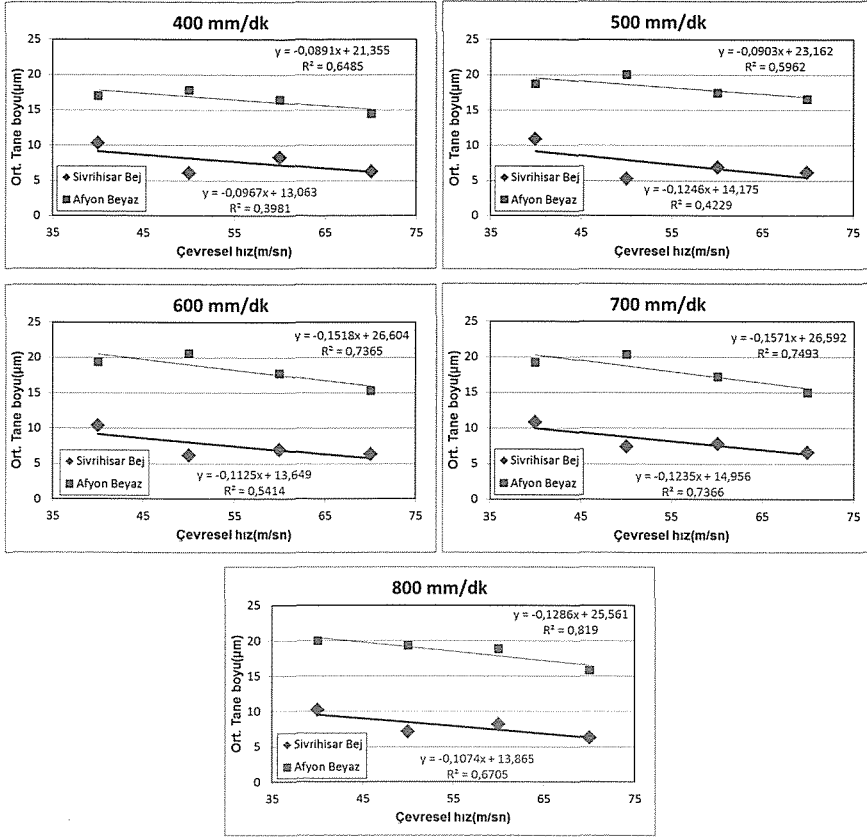
Şekil 5’de kireçtaşına ait sonuçlar incelendiğinde, 50 m/sn ve 70 m/sn dairesel testere çevresel hızlarında ilerleme hızı ile çamur tane boyu arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre, bu çevresel hız değerlerinde ilerleme hızı arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu da artmaktadır. 40 ve 60 m/sn testere çevresel hızlarında istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir ilişki bulunmamakla birlikte 50 ve 70 m/sn çevresel hızlarında ilerleme hızı ile çamur tane boyu arasında belirlenen ilişkilere benzer bir eğilimin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Şekil 5’de Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

3.2 Çevresel Hız Değişiminin Çamur Tane Boyuna Etkisi

Çalışmada incelenen kireçtaşı ve Özçelik ve ark. (2010) tarafından incelenen mermer numunesi için farklı ilerleme hızlarında, çevresel hız değişiminin çamur tane boyuna etkisini gösteren grafikler Şekil 6’da verilmiştir.

Şekil 6’da kireçtaşına ait sonuçlar incelendiğinde, farklı ilerleme hızlarında çevresel hızlar ile çamur tane boyu arasında ters orantılı doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Şekil 6’da Özçelik ve ark. (2010) tarafından Afyon Beyaz mermeri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Buna göre, dairesel testerenin çevresel hızı arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyu düşmektedir. Kireçtaşına ait grafiklerde görülen sapmaların kireçtaşının yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5 ve 6 genel olarak incelendiğinde, farklı ilerleme hızlarında çevresel hızlar ile çamur tane boyu ve farklı çevresel hızlarda ilerleme hızları ile çamur tane boyu arasındaki ilişkilere elde edilen R² değerleri (verilen eşitliklerin anlamlılık katsayısı) Afyon Beyaz mermerinde Sivrihisar kireçtaşına göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun ise Afyon Beyaz mermerinin Sivrihisar kireçtaşına göre daha homojen bir kayaç olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, farklı ilerleme hızı ve farklı çevresel hızlarda



Şekil 6. Sivrihisar bej (kireçtaşı) ve Afyon Beyaz (mermer) doğal taşlarının farklı ilerleme hızlarında çevresel hız-çamur tane boyu ilişkileri

Afyon Beyaz mermerinin kesiminde oluşan ortalama çamur tane boyunun Sivrihisar Bej kireçtaşına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun ise, Çizelge 2'de görüldüğü gibi, Sivrihisar Bej kireçtaşının ortalama kristal tane boyunun 26 mikron, Afyon Beyaz mermerinin ortalama kristal tane boyunun ise 211 mikron olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Dairesel testere kesim makinelerinde farklı kesim koşullarının kireçtaşı kesiminde oluşan çamur tane boyuna etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 50 m/sn ve 70 m/sn dairesel testere çevresel hızlarında ilerleme hızı ile çamur tane boyu arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, bu çevresel hız değerlerinde ilerleme hızı arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyunun da arttığı belirlenmiştir. 40 ve 60 m/sn testere çevresel hızlarında istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir ilişki bulunmamakla birlikte 50 ve 70 m/sn çevresel hızlarında ilerleme hızı ile çamur tane boyu arasında belirlenen ilişkilere benzer bir eğilimin olduğu belirlenmiştir.
- Farklı ilerleme hızlarında dairesel testere kesiminde çevresel hızı ile çamur tane boyu arasında ters orantılı doğrusal bir ilişki olduğu ve

dairesel testerenin çevresel hızı arttıkça kesimde oluşan çamurun ortalama tane boyunun azaldığı tespit edilmiştir.

- Farklı ilerleme hızlarında çevresel hızlar ile çamur tane boyu ve farklı çevresel hızlarda ilerleme hızları ile çamur tane boyu arasındaki ilişkilerde elde edilen R² değerlerinin (grafiklerde verilen eşitliklerin anlamlılık katsayısı) Afyon Beyaz mermerinde Sivrihisar kireçtaşına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Farklı ilerleme hızı ve farklı çevresel hızlarda Afyon Beyaz mermerinin kesiminde oluşan ortalama çamur tane boyunun Sivrihisar Bej kireçtaşına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun, Afyon Beyaz mermerinin kristal tane boyunun Sivrihisar Bej'e göre daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışma sonucunda dairesel testereli kesim makinelerinde farklı kesim koşullarının (ilerleme ve çevresel hız) kesim sırasında oluşan çamur tane boyunu etkilediği belirlenmiştir. Ancak elde edilen sonuçların geneli yansıtması açısından çalışmanın daha fazla sayıda kayaç üzerinde ve de granit türü sert kayaçlarda da yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "Dairesel Testereli Kesim Makinelerinde Mermer Kesme Veriminin Çamur Tane Boyu ile Kontrolü" isimli ve 09 01 602 007 nolu Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi kapsamlı projesi ile desteklenmektedir. Bu nedenle, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine ve ayrıca Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bayram, F, 2008. *Karbonat kökenli doğal taşların dairesel testere ile kesilmesinin optimizasyonu*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140 s.
- Bayram, F, Kulaksız, S, Özçelik, Y, 2003. A critical approach to usage of diamond segmented saws,

18th International Mining Congress & Exhibition of Turkey-IMCET 2003, s. 565-570, Antalya.

- Buyuksagis, IS, Goktan, RM, 2005. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of materials processing technology*, 169, s. 258-262.
- Buyuksagis, IS, 2007. Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of materials processing technology*, 183, s. 399-406.
- Ersoy, A, Atici, U, 2004. Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and related materials*, 13, s. 22-37.
- Ersoy, A, Buyuksagis, S, Atici, U, 2005. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard and abrasive rocks, *Wear*, 258, s. 1442-1436.
- Ilio, AD, Togna, A, 2003. A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting, *International journal of machine tools and manufacture*, 43, s. 1171-1177.
- ISRM, 1981. *Rock characterization testing and monitoring; Suggested methods*, Oxford, 16 s.
- Jennings, M, Wright, D, 1989. Guidelines for sawing stone, *Industrial diamond review*, 2, s.70-75.
- Özçelik, Y, Ünver, B, Bayram, F, Yaşıtlı, NE, 2008. *Bazı doğal taşların dairesel testere kesim yöntemiyle kesilebilirlik sınıflaması ve kesme mekanizmasının sayısal modellemesi*, Tübitak Projesi, 122 s.
- Özçelik, Y, Bayram, F, Kulaksız, S, Yaşıtlı, NE, 2009. Muğla beyaz mermerinin dairesel testere ile kesiminde optimum makina çalışma koşullarının birim aşınma ve birim enerji gözönüne alınarak belirlenmesi, *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi TUMKS'09 Bildiriler Kitabı*, s. 85-96.
- Özçelik, Y, Bayram, F, Yaşıtlı, NE, Yılmazkaya, E, Eren, BP, Başyigit, M, 2010. Dairesel testereli kesim makinelerinde farklı kesim koşullarının çamur tane boyuna etkisinin incelenmesi, *Türkiye 7. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi MERSEM'07 Bildirileri Kitabı*, s.171-177, Afyon.
- Tönshoff, HK, Hillmann-Apmann, H, Asche, J, 2002. Diamond tools in stone and civil engineering industry: Cutting principles, Wear and applications, *Diamond and related materials*, 11, s. 736-741.
- Xu, X, Li, Y, Yu, Y, 2003. Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade, *Journal of materials processing technology*, 139, s. 281-285.
- Xu, X, 1999. Friction studies on the process in circular sawing of granites, *Tribology letters*, 7, s. 221-227.

Kireçtaşlarının Petrografik-Mineralojik Özellikleri ile Fizikomekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship between Petrographical-Mineralogical and Physicomechanical Properties of Limestones

Ö. Kılıç

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Kireçtaşının kalitesini bünyesinde bulunan minerallerin ve oluşumu sırasında geçirdiği tektonik faaliyetlerin önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmada kireçtaşının petrografik ve mineralojik özellikleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiş ve örnekler, Adana (Karaisalı, Ceyhan ve Yılkale) ve Hatay (Akarca) bölgesi kireçtaşlarından elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda, petrografik ve mineralojik incelemeler ile fiziko-mekanik deney sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür.

ABSTRACT It is thought that the quality of limestone is considerably affected by its mineral composition and the tectonic activities which the limestone was objected during its formation. Based on this, in this study, the relationship between the petrographic and mineralogical characteristics and physico-mechanical properties of limestones were investigated and samples of Adana (Karaisalı, Ceyhan ve Yılkale) and Hatay (Akarca) regions were obtained.

As a consequence of the experiments, it is obvious that the petrographic and mineral analysis and the physico-mechanical test results are compliance with each other.

1 GİRİŞ

Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan tortul kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir.

Doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayalar için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya'da çok çeşitli formasyon ve tiplerde kireçtaşı

mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırılır (örneğin tebeşir, marl, traverten gibi). İçindeki MgCO_3 miktarının % 20-40 arasında olması durumunda ise kireçtaşı, rhombohedral yapıdaki dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) adını alır.

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 ihtiva eder. Ancak tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkinci derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orjinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı

2.5-2.7 g/cm³ arasındadır. Bu özellikleri itibarı ile kireçtaşları kimyasal değişmeye, kırılmaya ve yontulmaya çok elverişlidir (Önem, 1997).

Kalker oluşumunun tamamlanmasından sonra gelen safsızlıklar ise daha çok orojenik-epirojenik hareketler metamorfizma, tektonizma, metazomatik ve atmosferik olaylar ile oluşan sekonder safsızlıklar olmaktadır. Bütün bu safsızlıklar ile gerek mineralojik gerekse kimyasal bileşim açısından görülen değişiklikler yanında yapı ve dokularına ilişkin kalkerlerin gösterdikleri ayrıcalıklar niteliklerini oluşturur. İçerdikleri maddelere göre kalkerler, nitelikleri esas alınıp olduğu bölgeye, kimyasal bileşimine, yapısına ve jeolojik oluşumuna göre sınıflanmış ve verilen adlandırmalarla çeşitlere ayrılmıştır (Boynton, 1980). Kireçtaşları kalsiyum içeriği yüksek kireçtaşı ve magnezyum içeriği yüksek kireçtaşı olmak üzere kimyasal içeriklerine göre başlıca iki sınıfa ayrılabilir (ASTM, 1966; Pettijohn, 1975). Safliklarına göre kalkerler Çizelge 1'deki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 1. Safliklarına göre kalkerler (DPT, 2001)

Adlandırma	CaCO ₃ (%)
Çok fazla saf kalkerler	>98.5
Çok saf kalkerler	97-98.5
Orta saf kalkerler	93.5-97.5
Az saf kalkerler	85-93.5
Saf olmayan kalkerler	<85

Kireçtaşının dokusal özelliklerini ve ana safsızlık oranlarını (karbonlu, demirli vb.) baz alan sınıflama yöntemleri de vardır. Karbonatlı kayac sınıflamasında, karbonat tanelerinin birbirleri ile ilişkisi, bileşimleri, tanelerin boyut büyüklükleri ve taneleri bir arada tutan çimentonun oranına göre sınıflama yapan Folk (1959, 1962) ve Dunham (1962) sınıflaması yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşının bir sınıflama yöntemi de ortalama tane büyüklüğünün ölçü olarak alınmasıdır. Buna göre;

- Mikro taneli kireçtaşı: ebat 4 mikron'dan küçük

- İnce taneli kireçtaşı: ebat 4-50 mikron
- Orta büyüklükte kireçtaşı: ebat 50-250 mikron
- İri taneli kireçtaşı: ebat 250 mikron'dan büyük

Ülkemizde kireçtaşları coğrafik olarak geniş bir yayılım göstermektedir ve 2.331 milyon ton görünür rezervi bulunmaktadır (MİGEM, 2009). Kireçtaşları kireç üretimi, çimento, inşaat, mermer, cam, kimya, kağıt, plastik, kauçuk, şeker endüstrisi, metalürji gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Türkiye'de özellikle son yıllarda nüfus artışına paralel olarak inşaat sektörünün hız kazanması ile kireçtaşı kullanımında büyük bir artış olmuştur. Kireçtaşlarının maden kanunu kapsamına alınması ile ocaklar kontrol altına alınarak daha bilinçli üretim yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışma, kireçtaşlarının petrografik ve mineralojik özellikleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan kireçtaşı örnekleri Adana (Karaisalı, Ceyhan ve Yılankale) ve Hatay (Akarca) bölgesi kireçtaşlarından alınmıştır.

Kireçtaşı örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak yapılmıştır.

Petrografik incelemeler için kireçtaşı örneklerinden 0.02 mm kalınlığında ince kesitler hazırlanarak polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile incelenmiştir.

Kireçtaşlarının fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık, su emme oranı ve görünür porozite) TS EN 1467'ye göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının tek eksenli basma dayanımı TS 699 (2009)'a uygun olarak alınan karot BX (4,20 cm) örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kireçtaşlarının Los Angeles aşınma kaybı TS EN 1097-2 (2010)'ye göre yapılmış ve örneklerin 500 devir için aşınma kaybı değeri bulunmuştur.

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Kimyasal Analiz

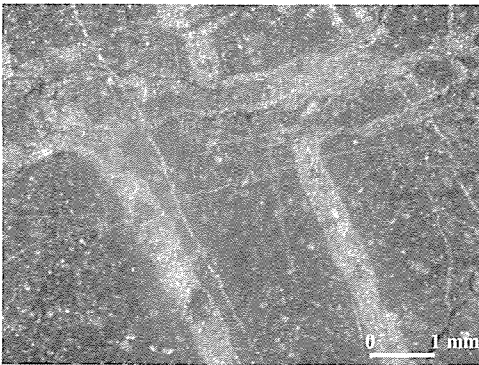
Örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. İncelenen kireçtaşı örnekleri $>97\%$ CaCO_3 içermeleri ve safsızlık (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO) oranlarının oldukça düşük olması nedeni ile iyi kalite kireçtaşı cinsindedir.

Kireçtaşında bulunan safsızlık oranının düşük olması, kireçtaşı kalitesini artıracak, kullanım alanları ve dolayısıyla pazarlanması açısından avantaj yaratacaktır.

Çizelge 2. Kireçtaşlarının kimyasal analiz sonuçları (%)

Örnek Adı	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı
Karaisalı	55.13±0.14	0.44±0.04	0.34±0.22	0.08±0.04	0.07±0.03	43.95±0.15
Ceyhan	55.42±0.21	0.45±0.14	0.41±0.33	0.04±0.03	0.06±0.05	43.62±0.35
Yılkale	54.70±0.35	0.94±0.58	0.55±0.31	0.10±0.05	0.08±0.06	43.63±0.53
Akarca	55.29±0.29	0.47±0.01	0.22±0.12	0.11±0.05	0.18±0.06	43.73±0.11

Ceyhan yöresi kireçtaşları rekristalize özellikte olduklarından petrografik incelemeler sırasında fosillere rastlanmamıştır. (Şek. 1). Kalkerlerin mikritik ve sparitik dokulu olduğu görülmüştür. Mikritik kireçtaşları ince taneli olup, mikrokalsit kristallerinden oluşmuştur. İncelemelerde damarlar halinde farklı tane iriliğinde kalsit taneleri gözlenmiş ve bu tanelerin çimento ile birbirine bağlı olduğu tespit edilmiştir.



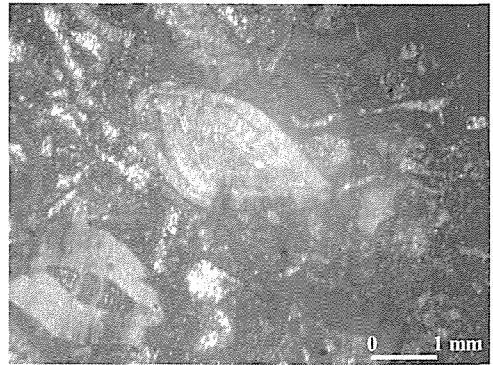
Şekil 1. Kireçtaşı içerisindeki çatlakların kalsit damarları ile dolması (p.1.)

3.2 Petrografik ve Mineralojik İnceleme

İncelenen kireçtaşlarının gözle bakıldığında ince kristalin bir yapıda ve açık renkli olduğu görülmektedir.

Petrografik ve mineralojik incelemelerin gerçekleştirilmesi amacı ile hazırlanan ince kesitler Alizerin Red-S yöntemi ile boyanarak polarizan mikroskop ile incelenmiştir. Boyama işlemi kireçtaşlarındaki kalsit, dolomit ve demir bileşiklerini ayırt etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

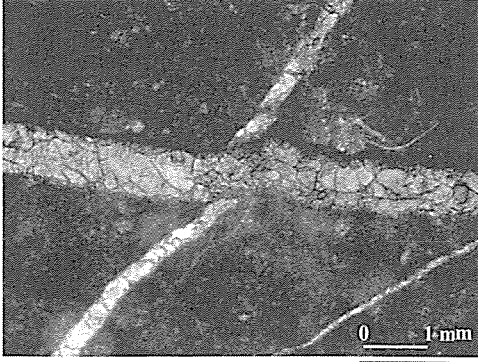
Karaisalı yöresi kireçtaşlarından hazırlanan ince kesitler incelendiğinde kireçtaşlarının biyosparitik kireçtaşı özelliğinde farklı irilikte kalsit tanelerinden oluştuğu belirlenmiştir. Kireçtaşlarında *Amphistegina* sp., *Berelin melo curdica*, *Rotalidae*, *Operalina* sp., *Heterastegina* sp., *Shaerogypsina globule*, *Sontes* sp., *Miliolidae*, *Peneroplia* sp., *Textularia* sp., alg ve mercan fosilleri tespit edilmiştir (Şek. 2).



Şekil 2. Karaisalı kireçtaşında gözlenen *Amphistegina* sp. ve alg fosilleri (p.1.)

Yılkale-Misis yöresi kireçtaşlarının iri boyuta kırılmış örnekleri (4-10 mm,

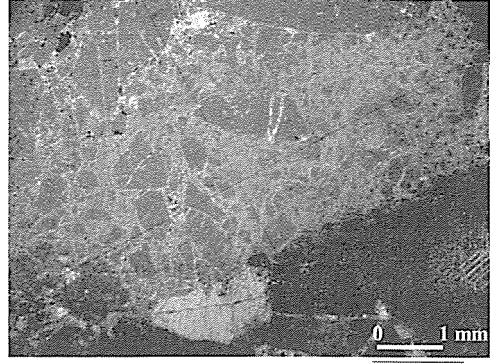
10-20 mm) içinde nadiren FeO tarafından sıvanma sebebiyle açık kiremit kırmızısı taneler görülmektedir. İnce kesitler üzerinde yapılan incelemelerde, kireçtaşları rekristalize özellikte olduklarından fosillere rastlanmamıştır. Kesitlerin kalsit minerallerinden yapıldığı ve opak mineral miktarının ise %1'den az olduğu tespit edilmiştir. Kalsitlerin iki farklı dönemde oluştuğu belirlenmiştir (Şek. 3).



Şekil 3. Kireçtaşı ince kesit görüntüsü (p.1.)

Akarca (Hatay) yöresi kireçtaşlarından hazırlanmış ince kesitler incelendiğinde, kireçtaşları içerisinde %7 kadar biomikrit (mikritik zeminde ince lamelli branj kavkıları ve bilinmedik foramaniferden oluşan bioklastlar) tespit edilmiştir. İnce kavkı içleri çoğunlukla spari kalsit dolguludur. Yer yer erime ile genişletilmiş gözenek alanları hakim iki yönde gelişmiş olup içleri orta-iri spari kalsit dolguludur. Kayaç yer yer kataklastik dolguludur (Şek. 4). Kireçtaşları az da olsa mikro çatlaklar ve kırıklar içermektedir. Bu kırıklardan bir kısmının dolgu malzemesi ve iri kalsit mineralleri ile doldurulmuş olduğu yapılan mikroskop incelemeleri ile tespit edilmiştir.

İncelenen dört bölge kireçtaşlarından hazırlanmış ve Alizerin Red-S ile boyanmış ince kesitler üzerinde yapılan incelemelerde, kesitlerde bulunan minerallerin mavi/solgun mor renkle boyanmamış olması nedeni ile, demir ve dolomit minerallerinin kireçtaşı örneklerinde bulunmadığı ve örneklerde hakim mineralin kalsit olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4. Kataklastik görünüm (p.1.)

Mikroskop ve gözle yapılan değerlendirmelere dayanarak söz konusu kireçtaşı örneklerinin ince kristalli olması, makro, mikro çatlak ve boşluklarının az olması nedeniyle mekanik dayanımlarının yüksek olabileceği söylenebilmektedir.

3.3 Fiziksel Özellikler

Araziden alınan ve standartlara uygun bir şekilde hazırlanan kireçtaşı örnekleri birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranı ve gözeneklilik (porozite) belirleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre uygun bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kireçtaşlarının fiziksel özellikleri

Örnek Adı	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Oranı (Ağırlıkça) (%)	Porozite (%)
Karaisalı	2.65±0.08	0.82±0.22	0.95±0.04
Ceyhan	2.62±0.16	0.44±0.32	0.68±0.11
Yılkale	2.68±0.12	0.29±0.09	0.60±0.16
Akarca	2.64±0.11	0.38±0.12	0.78±0.14

3.4 Mekanik Özellikler

Araziden alınan ve standartlara uygun bir şekilde hazırlanan kireçtaşı örnekleri üzerinde tek eksenli basma dayanımı ve Los Angeles aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre

uygun bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Kireçtaşlarının mekanik özellikleri

Örnek Adı	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Los Angeles aşınma dayanımı (500 devir, %)
Karaisalı	71.7±20.8	25.6
Ceyhan	63.2±10.6	26.7
Yılkale	54.9±3.9	24.9
Akarca	69.4±10.9	23.4

Yılkale ve Akarca kireçtaşlarından karot alınırken karot örnekleri karot makinasında veya kesme makinesinde düzeltme yapılırken kırılmıştır. Bu nedenle, karot örnekleri tam randımanlı olarak istenilen sayıda alınamamış ve tek eksenli basma direnci değerleri nokta yük dayanımı değerleri de bulunarak desteklenmek durumunda kalmıştır. Nokta yük değerleri Yılkale kireçtaşları için 4.28 ± 1.08 MPa, Akarca kireçtaşları için 6.3 ± 0.8 MPa olarak bulunmuştur.

Kireçtaşı örneklerinin 500 devir sonundaki Los Angeles parçalanmaya karşı direnci TS EN 1097-2 (2010)’ye göre beton agregası olarak kullanılabilir kireçtaşları için sınır değeri (Los Angeles agregaların parçalanmaya karşı direnci) ≤ 30 sağlamaktadır. Bulunan değerler incelenen kireçtaşlarının TS 699’a göre B sınıfı agrega özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

4 SONUÇLAR

İncelenen kireçtaşlarının kimyasal analiz sonuçlarına göre CaCO_3 oranının %97’den büyük olması, safsızlık (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgCO_3) oranlarının oldukça düşük olması; özellikle Fe_2O_3 oranının çok düşük olması, iyi kalite kireçtaşı olduğunu göstermektedir.

Mikroskop ve gözle yapılan petrografik değerlendirmelerde incelenen kireçtaşlarının ince kristalin yapıda olduğu görülmüş; Yılkale ve Akarca kireçtaşlarında az miktarda da olsa kireçtaşları içerisinde ince damarlar halinde iri kalsit kristallerine rastlanmıştır. Ancak, mikroskop ve gözle yapılan incelemelerde kireçtaşı örneklerinin ince kristalli olması nedeniyle iri kristalli

kireçtaşlarına nazaran mekanik dayanımlarının yüksek olacağı söylenebilmektedir. Alizerin Red-S yöntemi ile boyanmış kesitlerde yapılan mineralojik incelemelerde kesitlerin tamamına yakınının kalsit minerallerinden oluştuğu kesitlerde az miktarda ($<1\%$) kuvars ve opak mineral bulunduğu tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar kimyasal analiz sonuçlarını destekler/doğrular niteliktedir.

İncelenen kireçtaşlarının ortalama birim hacim ağırlık değerleri (>2.55 gr/cm^3), ortalama ağırlıkça su emme değerleri (<1.80) ve porozite değerlerinin ($<1\%$) TS EN 1467’ye göre istenen sınırlar içinde olduğu ve kayaçların doğal yapıtaşı olarak kullanılabilmesi için gerekli şartları sağladığı belirlenmiştir.

Kireçtaşlarının deneylerle belirlenen ortalama tek eksenli basınç değeri >50 MPa’dır. TS 699’a göre kireçtaşları mekanik dayanım açısından >50 MPa sınır değerini taşımaktadır. Geçirdiği tektonizma etkisi ile karot alınması sırasında kırılan, blok vermeyen Yılkale ve Akarca kireçtaşlarının parça boyutunun küçülmesi ile daha yüksek dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Yılkale ve Akarca kireçtaşlarının nokta yük dayanımı değerinin 4-6 MPa arasında olması kireçtaşlarının Bieniawski (1977)’ye göre yüksek dirençli kayaç sınıfında yer aldığını göstermektedir. Her iki bölge kireçtaşlarının kolaylıkla kırılmasının petrografik incelemelerde de tespit edilen mikro çatlak ve kırıklardan ve bu çatlaklarda oluşmuş ikincil iri kalsit minerallerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Los Angeles aşınma değerleri (≤ 30) kireçtaşlarının beton agregası olarak değerlendirilebileceğini ve kireçtaşlarının sık bir dokuya sahip olduğunu ve mekanik mukavemeti yüksek kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Deney sonunda, blok vermeyen kırılan Yılkale ve Akarca kireçtaşlarında parça boyutu küçüldükçe mekanik dayanımın artmasına bağlı Los Angeles aşınma değerlerinin de azaldığı görülmüştür.

Yapılan incelemeler sonucunda, kimyasal bileşiminde CaCO_3 oranı >97 olan, ince taneli, kırık ve çatlak içermeyen homojen

kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin standartlara uygun olacağı ve kireçtaşı kalitesinin yüksek olabileceği söylenebilmektedir.

KATKI BELİRTME

Yazar, bu çalışmaya sağladığı destekten dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje no: MMF2009BAP5)'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- ASTM, 1966. ASTM C119-50 in Book of Standards, for definition of calcite limestone, p.103-105.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The Point-Load Test in Geotechnical Practice. Engineering Geology 9: M 1 pp.
- Boynton, R. S., 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak

- Sanayii Hammaddeleri IV (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2614-ÖİK: 625, Ankara.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures, in Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: AAPG Memoir 1, p. 108-121.
- Folk, R.L., 1959, Practical Petrographic Classification of Limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 43, p. 1-38.
- Folk, R.L., 1962, Spectral Subdivision of Limestone Types, in Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: AAPG Memoir 1, p. 62-84.
- MIGEM, 2009. Maden İşleri Genel Müdürlüğü Verileri, Ankara.
- Önem, Y., 1997. Sanayi Madenleri, Kozan Ofset, s. 368, Ankara.
- Pettijohn, F. J., 1975. Sedimentary Rocks, 2en Ed., Harper, p. 718. New York.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2 : Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar.
- TS 699, 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri.
- TS EN 1467, 2005. Doğaltaşlar-Ham Bloklar-Özellikler.

Kireçtaşı ve Dolomitlerin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerinin Termal Özelliklerine Etkisi

The Effect of Chemical and Physical Properties to Thermal Properties of Limestone and Dolomites

Ö. Kılıç

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kalsitten (CaCO_3) formülüne giren magnezyum iyonu ile ayrılmaktadır. Kireçtaşı ve dolomit başlıca demir-çelik ve kireç üretimi gibi ısı işlem gerektiren sektörlerde kullanılmaktadır. Kireçtaşı ve dolomitin özelliklerini mineral bileşimleri ve çökelme ortamı koşulları etkilemektedir.

Bu çalışmada kireçtaşı ve dolomitin fiziksel ve ısı özellikleri (TG/DTA) arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirine yakın kireçtaşı ve dolomit örneklerinin benzer ısı davranış sergilediği belirlenmiştir.

ABSTRACT Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) differs from calcite (CaCO_3) in the addition of magnesium ion to make the formula. Limestone and dolomite are mainly used steel making industry and lime production process that require heat treatment. The properties of the limestone and dolomite were affected mineral compositions and conditions of depositional environments

In this study, the relationship between chemical, physical and thermal properties (TG/DTA) of limestone and dolomite and were investigated. Based on the result of the experiments, the samples which have similar physical properties exhibit identical thermal behaviors.

1 GİRİŞ

Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan tortul kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir. Doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayalar için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) kombine halde bulunur. İçinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir.

Dolomit, kireçtaşında (CaCO_3) Ca ile beraber Mg'un yer alması ile oluşan bir mineraldir. Karbonat olarak ifade edildiğinde, dolomit kristali moleküler bazda %50 kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve %50 magnezyum karbonat (MgCO_3) içerir. Dolayısıyla iyonik bazda Ca'un Mg'a oranı 1/1 veya 50/50 olarak gösterilebilir. Bir çift karbon bileşiği olan dolomitin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), kalsitten ayrı bir mineral olduğu ilk kez 1792 yılında Fransız jeolog Dolomie Syluoın (1750-1801) tarafından belirlenmiştir (Bathurst, 1971). Dolomit, çoğunlukla kalsit ile beraber bulunur. Kalsitten öz şekilli olması, ikiz lamellerinin romboedrin kısa köşegenine paralel olması

ile ayrılabilir. Manyezite çok benzer, kesin bir ayırım için kimyasal inceleme yapılması gerekir. Atmosferik etkilere oldukça dayanıklı bir mineraldir. Soğuk ve seyreltik HCl asidin içinde çok yavaş olarak çözünür. Ancak ısıtıldığında çözünme daha hızlı bir biçimde gelişebilir.

Dünya'da çok çeşitli formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırılır (örneğin tebeşir, marn, traverten gibi). İçindeki $MgCO_3$ miktarının %20-40 arasında olması durumunda ise kireçtaşı, dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) adını alır (Leighton ve Pendexter, 1962; Boynton, 1980).

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 ihtiva eder. İkinci derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orjinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2.5-2.7 g/cm^3 arasındadır. Bu özellikleri itibarı ile kimyasal değişmeye, kırılmaya ve yontulmaya çok elverişlidirler (Önem, 1997).

Dolomit basit bir mineral olmayıp, oluşumu hala tartışılmaktadır. Dolomit, kireçtaşlarından CaO'nun yerini kısmen veya tamamen MgO 'nun alması ile oluşur.

Bu yüzden bileşimi açısından kireçtaşları ile ilişkili olup yanarda ve düşeyde daima kireçtaşları ile geçişlidir. Dolomitin özgül ağırlığı MgO oranına bağlı olarak 2.71 ile 2.87 g/cm^3 ; sertliği ise Mohs skalasına göre 3.5-4 arasındadır. Ticari saflıktaki dolomit ergime noktası 1924-2495 °C arasında değişmektedir (Temur, 2001). İhtiva ettiği organik malzeme miktarı arttıkça koyulaşmakla beraber genellikle pembe, kirli beyaz, beyaz-gri, siyah ve kahve renklidir. İnce kesitlerinde ise renksizdir, ender olarak gri ve kahverengimsi renk gösterir. Romboedrik sistemde kristalenen dolomit %30.4 CaO, %21.8 MgO ve %47.8 CO_2 içerir. Safsızlık olarak silikat, feldspat ve opak mineraller içerebilir. Ancak teorik olarak %45-65 $MgCO_3$ içerdiği kabul görürken, pratikte bu oranın %10-40 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Kimyasal bileşimindeki Mg^{+2} yerine Fe^{+2} geçerse Ferrodolomit, Mn^{+2} geçerse mangan dolomit adını alır. Ankerit de bu izomorf serinin bir üyesidir (Erkan, 1978).

Karbonatlı kayalar, doğada nadiren tek mineral (monomineral) halinde bulunurlar. Bu kayaların mineralojik bir sınıflandırmasının yapılabilmesi için kalsit, dolomit ve karbonat dışı mineral miktarlarındaki değişimlerinin bilinmesi gerekir. Kireçtaşları kalsiyum içeriği yüksek kireçtaşı ve magnezyum içeriği yüksek kireçtaşı olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılabilir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kalsiyum karbonat içeriğine göre sınıflama (DPT, 2001)

Kayaç Adı	Bileşimi
Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı	En az %97 $CaCO_3$
Yüksek kalsiyumlu kireçtaşı	En az %95 $CaCO_3$
Yüksek karbonatlı kireçtaşı	En az %95 $CaCO_3+MgCO_3$
Kalsitik kireçtaşı	%5 $MgCO_3$
Magnezyum kireçtaşı	%5-20 $MgCO_3$
Dolomitik kireçtaşı	%20-40 $MgCO_3$
Yüksek magnezyumlu dolomit	%40-46 $MgCO_3$

Karbonat kayaların sınıflamasında en çok Folk (1962) ve Dunham (1962) sınıflamaları kullanılmaktadır. Temelde üç ayrı dolomit sınıflaması yapılmakta ve dolomitler, kalsit ve dolomit içeriklerine göre, MgO ve CaO

oranlarına göre ve kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmaktadır (Dunham, 1962; Folk, 1962; Leighton ve Pendexter, 1962; Harben, 1995). Dolomit içeriğine göre kayaç sınıflandırması Çizelge 2'de verilmiştir

(Folk, 1959; DPT, 1996). Endüstriyel amaçlara uygun sınıflandırmada mineralojik içeriklerden ziyade kimyasal içerikler ön

planda tutulmaktadır. Kimyasal içeriğe göre yapılan başlıca sınıflandırma Çizelge 3'deki gibidir.

Çizelge 2. Dolomitin içeriklerine göre sınıflandırılması (Folk, 1959)

Kalsit Oranı (%)	Dolomit Oranı (%)	Tanımı
95'den fazla	5'den az	Kireçtaşı
90-95	5-10	Mg'lu Kireçtaşı
50-90	10-50	Dolomitik Kireçtaşı
10-50	50-90	Kalkerli Dolomit
10'dan az	90'dan fazla	Dolomit

Çizelge 3. Kimyasal içeriğe göre sınıflandırma (Leighton ve Pendexter, 1962)

CaCO ₃ İçeriği (%)	MgCO ₃ İçeriği (%)	Tanım
---	45.6'dan fazla	Pür (Saf) Dolomit
---	43'den fazla	Yüksek Mg'lu Dolomit
95'den fazla	---	Yüksek Kaliteli Kireçtaşı
97.5'den fazla	---	Çok Yüksek Kaliteli Kireçtaşı

Günümüzde kireçtaşları, inşaat sanayinde çimento ve kireç hammaddesi, yapıtaşı ve kırma taş olarak, seramik ve tuğla yapımında, metalurjide, tarımda, gübre yapımında, cam, kağıt, kimya sanayinde, şeker endüstrisinde, matbaacılıkta, eczacılıkta, kömür tozu alevlerinin söndürülmesinde, meyve suları ve oto lastiği üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Önem, 1997). Kireçtaşlarının kullanım alanları ise safsızlıklarına ve ocaktan çıkan malzemenin tane boyutuna göre belirlenmektedir (Temur, 2001).

Fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak dolomitin 30'dan fazla kullanım alanı vardır. Dolomitin kullanım alanlarından en önemlisi refrakter malzeme imali ve kalsine edildikten sonra çelik üretiminde istenmeyen safsızlıkların cürufa geçmesini sağlamak amaçlı kullanımıdır. Bu nedenle, dolomitin en çok kullanıldığı endüstriler cam, refrakter ve demir-çelik sanayidir. Dolomit çimento üretiminde, dolomitik sönmemiş kireç, cam ve soda üretiminde hammadde; demir çelik sanayiinde sinter; yüksek fırınlarda refrakter malzeme ve cüruf artırıcı eleman olarak birçok sanayi dalında bileşenlerine bağlı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde kireçtaşı ve dolomitler coğrafik olarak oldukça geniş bir yayılım göstermektedir. Türkiye'de bulunan dolomitler sanayide kullanılabilir

nitelikte olup genellikle demir içerikleri düşüktür (DPT, 2008).

Bu çalışma, kireçtaşı ve dolomitlerin fiziksel özelliklerinin termal özelliklerine etkisinin incelenmesi amacı ile yapılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada kullanılan dolomit örnekleri Alanya (Antalya) ve Kızıllıbağ (Mersin) bölgesi dolomitlerinden; kireçtaşı örnekleri ise Karaisalı (Adana) ve Ceyhan (Adana) bölgesi kireçtaşlarından alınmıştır.

2.1 Kimyasal Analiz

Kireçtaşı örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2 Fiziksel Özellikler

Kireçtaşlarının fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık, su emme oranı ve görünür porozite) TS EN 1467'ye göre deneyler yapılarak belirlenmiştir.

2.3 Diferansiyel Termal Analiz

Diferansiyel termal analiz (Thermo-Gravimetric/Differential Thermal Analyser)

tekniki, numune ve referans madde arasındaki sıcaklık farkını uygulanan sıcaklığın fonksiyonu olarak incelemektedir. Genellikle sıcaklık programı uygulanırken numunenin sıcaklığı T_s zamanla doğrusal olarak artacak şekilde, numune ve referans maddesi ısıtılmaktadır. Numune ve referans madde sıcaklığı (T_r) arasındaki fark $\Delta T = T_r - T_s$ izlenerek grafikleme işlemi yapılmaktadır (Skoog ve ark., 1998).

Analizler Setaram 92 16 DTA-TG cihazı ile yapılmıştır.

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Kimyasal Analiz

Örneklerin kimyasal analizleri XRF'le yapılmış ve analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Örneklerin kimyasal analiz sonuçları (%)

Örnek Adı	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı	
Kireçtaşı	Karaisalı	0.082	0.070	0.343	0.011	55.132	0.453	43.909
	Ceyhan	0.063	0.090	0.460	0.023	55.293	0.463	43.608
Dolomit	Kızılbaba	0.091	0.630	0.100	0.027	20.870	22.040	56.242
	Alanya	0.056	0.160	0.180	0.042	30.210	20.910	48.442

Kireçtaşlarının CaO oranının >%55 ve safsızlık (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO) oranlarının oldukça düşük olması kireçtaşlarının iyi kalite kireçtaşı cinsinden olduğunu göstermektedir. Dolomitte bulunan safsızlıkların (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃) oranlarının oldukça düşük olması, MgO oranının %20'den fazla olması kullanım alanları ve dolayısıyla pazarlanması açısından da avantaj yaratacaktır.

3.2 Fiziksel Özellikler

Standartlara uygun hazırlanan örnekler birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme oranı ve gözeneklilik (porozite) belirleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre uygun bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Örneklerin fiziksel özellikleri

Örnek Adı	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Oranı (Ağırlıkça) (%)	Porozite (%)	
				Kireçtaşı
	Ceyhan	2.62±0.16	0.44±0.32	0.68±0.11
Dolomit	Kızılbaba	2.85±0.06	0.52±0.07	0.98±0.01
	Alanya	2.76±0.11	0.60±0.12	0.64±0.11

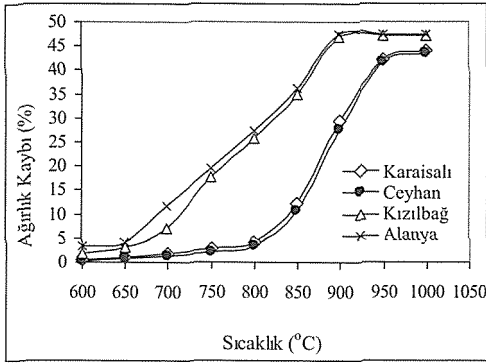
Örneklerin poroziteleri Tarhan (1989)'a göre değerlendirildiğinde kayaçların kompakt kaya (porozite %<1) sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Örneklerin ortalama ağırlıkça su emme oranının ise TS EN 1467'ye göre sınır değeri (<%1.80) sağladığı görülmüştür.

TS EN 1467'ye göre kireçtaşı örneklerinin ağırlıkça su emme oranının (<0.75), birim hacim ağırlığının (>2.55) porozitesinin (<2) olması nedeni kaplama olarak kullanılan doğal kayaçların sahip olmaları gereken fiziksel özelliklere sahip olduğunu ve doğal yapı taşı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

3.3 Isıl (Termal) Özellikler

Kireçtaşı ve dolomit örneklerinin sıcaklık artışı ile birlikte kaybettiği ağırlık miktarını belirlemek amacıyla yapılan TG-DTA Analizleri, 10 °C/dk ısıtma hızı ile maksimum 1000 °C sıcaklığa çıkılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde fırın atmosferi olarak argon gazı, referans olarak alümina ve -0.5 mm boyutunda 100 mg'dan az örnekler kullanılmıştır. Ayrıca, örnekler üzerinde sıcaklığa bağlı ağırlık kaybının belirlenmesi amacıyla değişik sıcaklık değerlerinde kalsinasyon işlemleri de gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Deneylerde ön işlem olarak 1 saat süre ile 105 °C'de etüde

tutulan -0.5 mm boyutundaki 10 gram ağırlığındaki örnekler etüvden çıkarıldıktan sonra 60 dakika süre ile daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alınarak (Kılıç, 2005) Nobertherm marka ısı kontrollü yüksek sıcaklık fırınında farklı sıcaklıklarda tutularak CaO ve/veya MgO'ya dönüşüm, ağırlık miktarlarındaki değişimler baz alınarak belirlenmeye çalışılmıştır ($\text{CaCO}_3 + \text{ISI} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$).



Şekil 1. Örneklerin sıcaklığa bağlı ağırlık değişimleri

Şekil 1'den de görüleceği üzere dolomit örnekleri CaCO_3 ve MgCO_3 'tan oluştuğu için MgCO_3 'ün daha düşük sıcaklıklarda MgO'ya dönüşümü gerçekleşmesine rağmen CaCO_3 'ten dolayı dönüşüm, ~600 °C'de başlamış ve ~900 °C'de sonlanmıştır. Kireçtaşlarında ise CaO'ya dönüşüm 600°C'de başlamış ve 950-1000 °C'de ise sonlanmıştır.

Kireçtaşı örneklerine ait TG-DTA eğrilerinde 100-200 °C sıcaklık değerleri arasında örnekler bünye nemini kaybettiği için bir hareketlilik görülmektedir. 10 °C/dk'lık bir sıcaklık artışında Ceyhan kireçtaşı için CaO'ya dönüşüm 691 °C'de başlamakta 961 °C'de; Karaisalı kireçtaşı için dönüşüm 682 °C'de başlamakta 944 °C'de tamamlanmaktadır (Şekil 2-3).

Kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeni ile Karaisalı yöresi kireçtaşlarının Ceyhan yöresi kireçtaşlarına göre CaO'ya dönüşüm esnasında daha az enerji sarfıyatı gerektirdiği söylenebilir.

Dolomit örneklerinin TG-DTA eğrilerinde 100-200 °C sıcaklık değerleri arasında örnekler bünye nemini kaybettiği için bir hareketlilik görülmektedir. 10 °C/dk'lık bir sıcaklık artışında Kızılbağ dolomiti için MgO'ya dönüşümün 500 °C'de başladığı 806 °C'de tamamlandığı; bünyesindeki CaCO_3 'ün ise 885 °C'de CaO'ya dönüştüğü, Alanya dolomiti için MgO'ya dönüşümün 510 °C'de başladığı ve 796 °C'de tamamlandığı; bünyesindeki CaCO_3 'ün ise 875 °C'de, CaO'ya dönüştüğü görülmüştür (Şekil 4-5).

Kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeni ile Kızılbağ yöresi dolomitlerinin Alanya yöresi dolomitlerine göre MgO'ya dönüşüm esnasında daha az enerji sarfıyatı gerektirdiği söylenebilir.

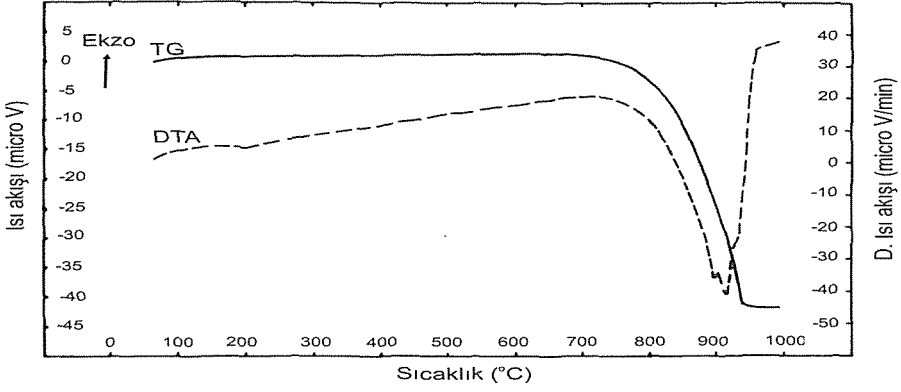
4 SONUÇLAR

İncelenen kireçtaşlarının kimyasal analiz sonuçlarına göre CaCO_3 oranının >%98, safsızlık (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgCO_3) oranlarının oldukça düşük olması; özellikle Fe_2O_3 oranının çok düşük olması, iyi kalite kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre incelenen dolomit örneklerinin MgO oranının %20'den fazla safsızlıkların düşük olması, dolomit örneklerinin Folk (1959)'a göre dolomitik kireçtaşı olduğunu göstermektedir.

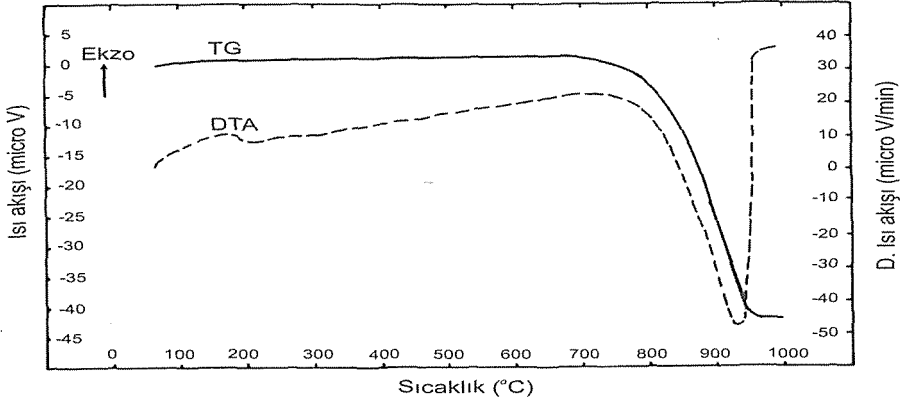
Demir-çelik sektöründe kullanılan dolomitlerde, MgO'nun en az %18, CaO'nun en fazla %30, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün en fazla %5.5 ve kükürtün en fazla %0.5 oranlarında olması gerekmektedir. Şişe ve cam endüstrisinde kullanılan dolomitlerde ise, MgO en az %19, CaO en fazla %34, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ en fazla %2.82 ve kükürt en fazla %0.92 oranlarında olması gerekmektedir. Refrakter olarak kullanılan dolomitlerde MgO'nun en az %18, CaO'nun en fazla %30 ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün en fazla %7 oranlarında olması gerekmektedir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, incelenen kireçtaşı ve dolomitlerin demir-çelik, cam ve refrakter endüstrilerince kullanımının uygun olduğu söylenebilir.

Kireçtaşı ve dolomit örneklerinin birim hacim ağırlığının >2.55 g/cm³, su emme oranının <0.75 ve porozitesinin <2 olması

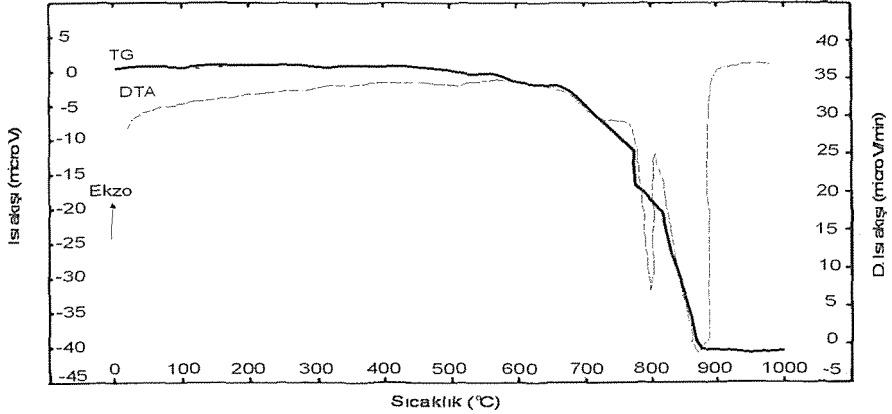
örneklerin sık bir dokuya sahip olduğunu ve üretiminde tercih edilebileceğini dolayısıyla termal işlemler sırasında ve kireç göstermektedir.



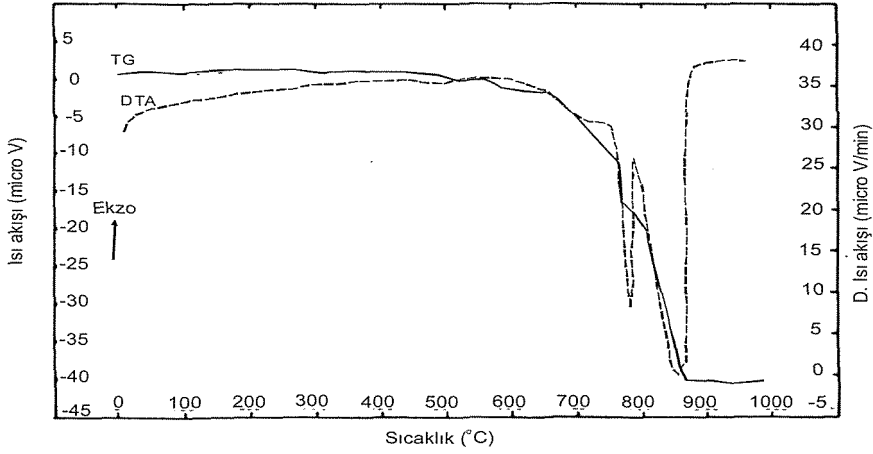
Şekil 2. Karaisalı kireçtaşının TG-DTA eğrisi



Şekil 3. Ceyhan kireçtaşının TG-DTA eğrisi



Şekil 4. Kızıldağ dolomitinin TG-DTA eğrisi



Şekil 5. Alanya dolomitinin TG-DTA eğrisi

İncelenen kireçtaşı ve dolomit örneklerinin ince kristalli olması nedeniyle TG-DTA incelemeleri sırasında örneklerin literatürde belirtilen eğriler ve verilerle örtüşen değerlere sahip olmasını ve CaO ve MgO'ya dönüşümü sırasında daha az enerji sarfiyatı gerektirdiğini göstermiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirine yakın kireçtaşı ve dolomit örneklerinin benzer ısıl davranış sergilediği görülmüştür.

KATKI BELİRTME

Yazar bu çalışmaya sağladığı destekten dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje no: MMF2009BAP5)'ne, teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Bathurst, R.G.C., 1971. Carbonate Sediments and Their Diagenesis, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, pp. 238-239.
- Boynton, R.S., 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, John Wiley and Sons., Inc., Second Edition, New York, pp. 7-190.
- DPT, 1996. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt-2, Ankara.
- DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu,

Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri I (Alçı-Kireç-Kum-Çakıl-Mıncır-Boya Toprakları-Tuğla Kiremit) Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2615-ÖİK: 626, Ankara.

DPT, 2008. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007/2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu Cilt 1 DPT: 2773-ÖİK: 703, Ankara.

Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks: A.A.P.G. memoir 1, 108-121.

Erkan, Y., 1978. Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri, Cihan Matbaası, Ankara, 150s.

Folk, R.L., 1959. Practical Petrographic Classification of Limestones: A.A.P.G. Bull., 43, 1-38.

-, 1962. Spectral Subdivision of Limestones Types. Classification of Carbonate Rocks: A.A.P.G. memoir 1, 33-62.

Harben, P., 1995. Industrial Minerals Handybook. 2nd Edition, Industrial Minerals Information Ltd., London, pp.36-43.

Kılıç, Ö., 2005. Klasik Eberhart Tipi Kireç Fırımları ile Paralel Akışlı Maerz Fırımlarındaki Kalsinasyon Parametrelerinin Karşılaştırılması ve Çukurova Bölgesi Kireçtaşları Üzerine Uygulamalar, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 171, Adana.

Leighton, M.W., Pendexter, C., 1962. Carbonate Rock Types, in Ham, W.E., ed., Classification of Carbonate Rocks: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 33-61.

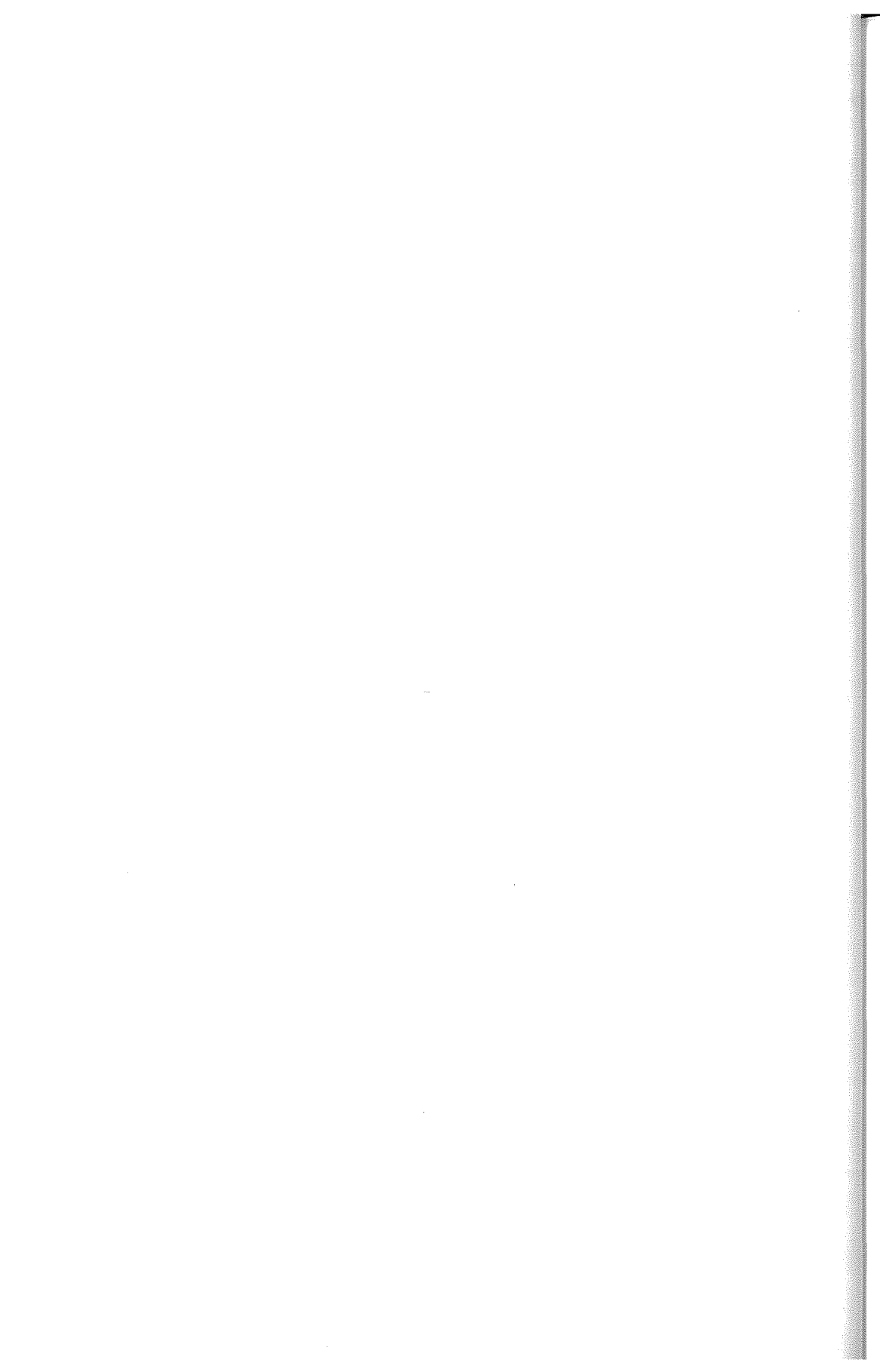
Önem, Y., 1996. Sanayi Madenleri: Tanımlar, Doğada Bulunmaları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, Yıllık Üretimleri, İhraç ve İthal Miktarları; Kozan Ofset, Ankara

Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A., 1998. Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, Harcourt Brace College Publishers, USA.
Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. Genel Yayın No:145, KTÜ, Trabzon.

Temur, S., 2001. Endüstriyel Hammaddeler, Çizgi Kitabevi, 3. Baskı, Konya.
TS EN 1467, 2005. Doğaltaşlar-Ham Bloklar-Özellikler.

6. BÖLÜM

CEVHER HAZIRLAMA



Traverten İşleme Tesisi Atıksularının Koagülasyonu *Coagulation of Wastewater From Travertene Processing Plant*

Pınar Can Beyazyüz, Vildan Önen

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

Esra Yel

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET Bu çalışmada, traverten işleyen bir mermer fabrikasının yüksek miktarda askıda katı madde içeren atıksularından bulanıklığın giderilmesinde koagülasyon yönteminin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda koagülant olarak $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, PACI, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Koagülant türü ve dozajı, karıştırma süresi/hızı, çökme süresi ve ortam pH'nın, traverten tozu süspansiyonunun koagülasyonuna etkileri çalışılan deneysel parametrelerdir. Deneysel çalışmalarda kullanılan koagülantların performansları, süspansiyonun zamana bağlı ara yüzey yüksekliği değişimi ile deneysel çalışmalar sonucu oluşan temiz suyun bulanıklık verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Koagülasyonda en iyi verimi sırasıyla, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, PACI, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ vermiştir. Bulanıklığı 128 NTU olan suda, çalışılan tüm koagülantlar için belirlenen optimum dozaj ve bu dozajlarda ulaşılan minimum bulanıklık değerleri, koagülasyon verimleri ve çökme hızları sırasıyla $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ için 20 mg/l; 18,38 NTU; %86 ve 28 mm/dk; PACI için 10 mg/l; 29,35 NTU; %77 ve 20 mm/dk ; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ için 20 mg/l ; 34,35 NTU; %73 ve 9,9 mm/dk; $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ için 300mg/l; 36,12 NTU, %71 ve 22 mm/dk olarak bulunmuştur.

ABSTRACT In this study, the effectiveness of the coagulation method on suspended solid removal from travertene processing wastewater containing high concentration of suspended solids was examined. In the experiments, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, PACI, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ were used as coagulant. Coagulant type /dosage, mixing time/speed, sedimentation time and pH were the experimental parameters. The performances of the coagulant in the experimental studies were assessed with the change in the interface height during sedimentation resultant and turbidity values of treated water. The best performance was obtained in the order of $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, PACI, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ for the initial turbidity of 128 NTU. The optimum dosages, corresponding minimum final turbidities, coagulation efficiencies and settling velocities were obtained as 20 mg/l; 18,38 NTU; 86% and 28 mm/min, respectively for $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 10 mg/l; 29,35 NTU; 77% and 20 mm/min, respectively for PACI; 20 mg/l ; 34,35 NTU; 73% ve 9,9 mm/min respectively for $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ and 300mg/l; 36,12 NTU, 71% and 22 mm/min respectively for $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

1 GİRİŞ

Mermer işleme aşamaları olan kesme, yıkama, silme ve cilalama işlemleri sonucunda özellikle katı partikül içeriği açısından oldukça zengin ham proses atıksuları oluştuğu görülmektedir (Kavaklı 2003). Mermer işleme tesislerinde mermerin kesimi sırasında açığa çıkan bu atıksuların çevreyi kirletmemesi, suyun tekrar tesiste kullanılabilmesi ve atıksu içerisindeki mermer tozunun endüstride kullanılabilmesi için suyun ve ince boyuttaki katı malzemenin birbirinden ayrılması gerekmektedir. İnce taneli özellikle 50 µ'un altı katı taneciklerin katı - sıvı ayrımında, yüksek çökelme hızı ve dolayısıyla yüksek katı oranı elde etme açısından normal sedimantasyon yöntemleri istenilen başarıyı gösterememektedir. Buna neden olarak, % katı oranı, tane şekli, yüzey özellikleri ve yoğunluk gibi katının özellikleri ile sıvının viskozitesi ve yoğunluğu gösterilebilir (Mpofu vd, 2003; Öteyaka vd, 2005). Genel olarak bu tür sorunların çözümlenmesi amacıyla katı-sıvı ayrımı proseslerin de, koagülasyon ve/veya flokülasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıvı içerisindeki askıda duran ince boyutlu katı tanelerin çöktürülmesinde flokülasyon yönteminde yüksek molekül ağırlıklı organik elektrolitler yani polimerler kullanılırken koagülasyon yönteminde tanelerin bir araya getirilmesi işlemi ortama katılan çok değerlikli inorganik elektrolitler yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Ersoy vd, 2005). Ülkemiz mermer işlemlerinde, mermer atıksularındaki askıda katı maddelerin çökeltmesi amacıyla genel olarak hızlı bir şekilde çökelme gerçekleştirebilen polielektrolitler dolayısıyla flokülasyon yöntemi tercih edilmektedir. Bu malzemenin maliyetinin yüksek olması, yapışkan özellik taşıması, kolay susuzlaştırılmayan ve hacimce fazla atık çamur oluşumuna sebep olması en önemli dezavantajlarıdır.

Mevcut tesislerde gerçekleştirilen uygulamalarda, kullanılan kimyasalların uygun olmaması sebebiyle mermer atıkları kolay çökeltilmediğinden atık havuzları

aşırı dolmakta ve yeniden kullanılabilir su veya atık elde edilemeyebilmektedir. Mermer tozunun çökeltilmesi sonucu elde edilen temiz su tesiste tekrar kullanılabilir. Ancak iyi bir çökelme işleminin gerçekleştirilememesi sonucunda tesise geri gönderilen bu su içerisinde koloidal boyutlu taneler bulunabilmekte, bu da mermer işleme sırasında işletme açısından birçok probleme neden olmaktadır. Bu nedenle farklı koagülant ve flokülantların sistem üzerinde test edilerek performanslarının karşılaştırılmasının yanısıra koşulların optimizasyonunun gerçekleştirilmesinin önemi göz ardı edilememektedir.

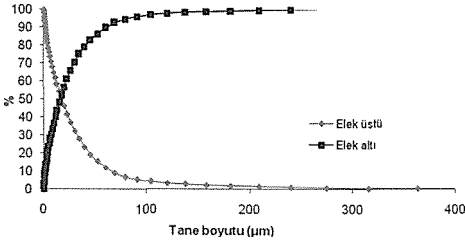
Literatürde doğaltaş süspansiyonlarından bulanıklığın giderilmesine yönelik çalışmalar genellikle flokülasyon yöntemi üzerine yoğunlaşmış olup (Seyrankaya vd ,2000; Nishkov ve Marinov, 2003; Ersoy ,2003) koagülasyon yöntemine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Ersoy vd (2005), traverten işleme tesislerinde bulanıklığın giderilmesinde koagülasyon, flokülasyon, koagülasyon +flokülasyon yöntemlerinin etkisini incelemiş, flokülasyon için poliakrilamid esaslı anyonik polimer, koagülasyon için ise FeCl₃, AlCl₃ ve alümin kullanmışlardır. Yapılan testler sonucunda koagülasyon yönteminin traverten tesisi atıksuyunun arıtılması için kesinlikle uygun olmadığı buna karşılık koagülasyon+flokülasyon yönteminin iyi bir arıtma performansı gösterdiğini çalışmalarında ifade ederek klorür esaslı koagülantların daha iyi sonuç verdiğini ifade etmişlerdir. Optimum koagülasyon veriminin elde edilebilmesi için, koagülant miktarının optimizasyonunun yanı sıra optimum bir sürede ve hız'da karıştırma işlemi yapılmasının da gerekli olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada Konya bölgesindeki bir traverten işleme tesisi atık suyunun bulanıklığının giderilmesinde, koagülant tipi/dozajı, karıştırma hızı / süresi, çöktürme süresi ve pH'ın koagülasyon performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan traverten süspansiyonu, Konya' da faaliyet gösteren bir mermer Fabrikasının atıksu çökeltme havuzu girişinden, fabrikanın tam kapasite çalışması esnasında temin edilmiştir. Orjinal süspansiyonun katı oranı % 5,97 olup, pH'ı 7,5'dir. Traverten tozunun XRD cihazıyla gerçekleştirilen mineralojik analizi sonucunda numunenin hemen hemen tamamının kalsit mineralinden oluştuğu gözlenmiştir. Numunenin boyut analizi malvern lazerli tane boyut ölçüm cihazı Mastersizer 2000 ile gerçekleştirilmiş olup numunenin %80'i 40 mikronun altındadır (Şekil 1).



Şekil 1. Traverten Tozunun Tane Boyut Analizi

Deneysel çalışmalarda kullanılan koagülantlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan koagülantlar

Adı	Kimyasal Formülü
Alüminyum sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
Demir III Klorür	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$
Poly Alüminyumklorür	$Al(OH)_3(SO_4)_{0,125}Cl_{1,25}$
Sodyum Alüminat	$NaAlO_2 \cdot n H_2O$

2.2 Yöntem

Deneyler aynı anda altı beherle çalışma imkanı sağlayan, hız ve zaman ayarlı jar test cihazında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak çalışılacak her koagülant için uygun stok çözeltiler hazırlanarak, deneysel çalışmalar distile su ile hazırlanan bu stok çözeltilerden seyreltilerek değişik konsantrasyonlar da dozlanarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler iyice çalkalandıktan sonra beherler içerisine 500 ml numune konularak istenilen konsantrasyon da koagülant ilavesi yapılmış ve çalışılacak karıştırma süreleri ve hızlarına bağlı olarak karıştırmaya tabi tutulmuştur. Karıştırma süresi sonunda sistem durdurulmuş ve numune 500 ml'lik mezürlere alınarak çökelmeye bırakılmıştır. Çökeltme süresi boyunca katı-sıvı ara yüzey yüksekliği takip edilmiş ve çökeltme sonunda hava-su ara yüzeyinin belirli bir mesafe altından alikot alınarak bulanıklık değeri ölçülmüştür. Deneysel çalışma sonucunda alınan numune süspansiyonunun bulanıklık değeri, Pitormacia (KB-Novaspec II) marka spektrofotometre cihazı ile 375 nm dalga boyunda ölçüldükten sonra aşağıdaki formül ile deneyin başarısı tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Koagülasyon Verimi} = [(T_o - T_f) / T_o] \cdot 100$$

T_o : Süspansiyonun koagülasyon öncesi bulanıklık değeri (NTU)

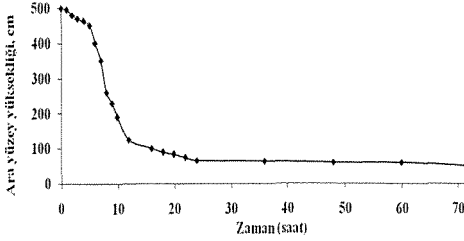
T_f : Koagülasyon sonrası süpernatantın bulanıklık değeri (NTU; Nephelometric turbidity unit)

Çalışılan deneysel parametreler, koagülant türü ve dozajı, karıştırma süresi, karıştırma hızı, pH, çökeltme süresinin belirlenmesidir. pH'ın etkisinin araştırıldığı deneylerde ortam pH'ı H_2SO_4 ve $Ca(OH)_2$ ile ayarlanmış ve pH kontrolünde pH 211 Microprocessor marka dijital pH metre kullanılmıştır.

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Traverten Süspansiyonunun Doğal Sedimentasyonu

Traverten süspansiyonunun doğal sedimentasyon karakteristiğini belirlemek amacıyla 500 ml'lik mezür içerisine (hiçbir katkı maddesi ilave edilmeksizin) traverten süspansiyonu konularak 10 kez alt üst edilmiş ve 72 saat boyunca süspansiyonun ara yüzey yüksekliği gözlemlenmiştir. Sedimentasyon deneyi ile gözlenen çökeltme grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi çökeltme ara yüzey yüksekliği 36. saatten itibaren sabit kalmıştır.

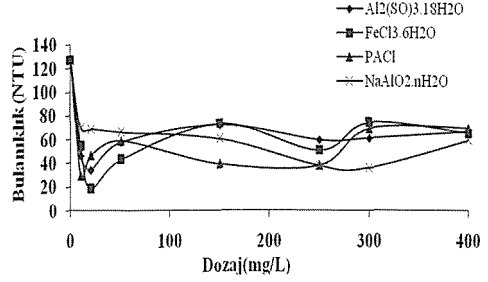


Şekil 2. Traverten süspansiyonunun doğal sedimentasyonu

3.2 Koagülant türü ve dozajının koagülasyona etkisi

Koagülant türü ve dozajının koagülasyona etkisini belirleyebilmek amacıyla, her bir koagülant için doğal pH'ta (7,5) farklı dozajlarda, 200 dev/dk karıştırma hızında, 2 dakika karıştırma yapılarak, süspansiyona 30 dakikalık bir çökeltme süresi verilmiş ve 30 dakika boyunca zamana karşı ara yüzey yüksekliği değişimi ölçülerek 30 dakika sonunda bulanıklık ölçümü yapılmıştır. Böylece her bir koagülant için traverten süspansiyonunun en düşük bulanıklık sonucunu veren optimum dozajlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 3'de görüldüğü üzere en düşük bulanıklık değeri $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla PACI,

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $NaAlO_2 \cdot nH_2O$ gelmektedir.



Şekil 3. Traverten süspansiyonunun bulanıklığına koagülant türü ve dozajının etkisi

Traverten süspansiyonunun başlangıç bulanıklığı 127,4 NTU olup, tüm çalışılan koagülantlar için belirlenen optimum dozaj ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri;

- $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 20 mg/L dozajda 18,38 NTU
- PACI 10 mg/L dozajda 29,35 NTU
- $Al_2(SO_4)_3$ 20 mg/L dozajda 34,35 NTU
- $NaAlO_2$ 300 mg/L dozajda 36,12 NTU'dur.

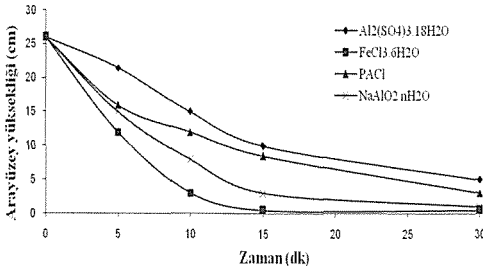
Görüldüğü gibi en iyi sonucu Cl^- esaslı koagülantlar vermiştir. Bu sonucu daha önce literatürde yapılmış çalışmalarda desteklemektedir (Alptekin, 2006). Her bir koagülant için optimum dozajlarda traverten süspansiyonunun koagülasyon verimine bakılırsa, en iyi performansı %86 koagülasyon verimiyle $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile sağlanırken, daha sonra sırasıyla %77 verimle PACI, %73 verimle $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, %71 verimle $NaAlO_2 \cdot nH_2O$ ile sağlanmıştır.

Şekil 3.'de görüldüğü gibi çalışılan tüm koagülantlar için optimum doz olarak belirlenen koagülant dozajına kadar süspansiyon bulanıklığında bir düşüş gözlenirken, daha sonra artan koagülant dozajı ile süspansiyon bulanıklığında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ortama optimum dozajdan daha fazla koagülant ilavesi yapılırsa, şarjın ters dönmesi ve sonrasında artan pozitif şarj nedeniyle

koagülasyon olumsuz etkilenmektedir. Ortama optimum dozajdan daha az miktarda koagülant ilavesi yapılırsa aynı şekilde ortamda koagülasyon olayı meydana gelmemektedir.

Çalışılan tüm koagülantlar için optimum dozajlarda zamana bağlı ara yüzey yüksekliği değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Çökeltme hızları açısından en iyi performansı sırasıyla $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, PACI, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ koagülantları vermekte ve çökeltme hızları;

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ → 28 mm/dk
- $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ → 22 mm/dk
- PACI → 20 mm/dk
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ → 9,9 mm/dk'dır.



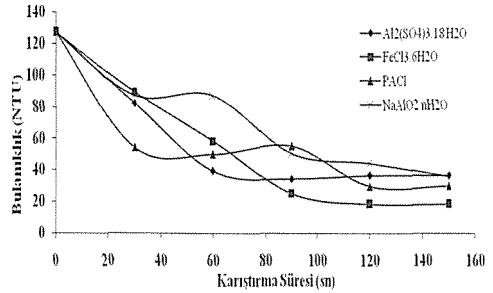
Şekil 4. Çalışılan Tüm Koagülantlar İçin Belirlenen Optimum Dozajlarda traverten Süspansiyonunun Arayüzey Yüksekliğinin Zamana Bağlı Değişimi

Şekil 3 ve Şekil 4 beraber incelendiğinde; çökeltme hızı ve bulanıklık değerleri açısından en iyi sonucu $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ verirken, bulanıklık değerleri açısından $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 'ya göre daha iyi sonuç veren PACI ve $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'ün, çökeltme hızının daha düşük olduğu görülmektedir. Koagülasyon işlemleri bilindiği gibi süspansiyonda çökmeden askıda duran tanelerin çökmesini sağlamak ve suyun bulanıklığını gidermek amaçlarıyla yapılır. Bu işlemin mümkün olduğunca hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi yanında mümkün olduğunca temiz bir sıvı eldesi işlem performansı açısından önem taşımaktadır. Fakat bu iki sonuç her zaman birbirleri ile uyum içerisinde değildir. Hızlı

bir çökeltme daha yüksek bir bulanıklığına neden olurken daha yavaş bir çökeltme hızı daha kararlı bir çökeltmeye sonuç olarak ta daha düşük bulanıklığa neden olabilir. Yani bir süspansiyonda çökeltme hızının en iyi olduğu şartlar, bulanıklık içinde aynı sonucu vermemektedir ki bu durum koagülasyon mekanizmasının karmaşıklığının bir göstergesidir. Literatürde gerçekleştirilen pek çok çalışma bu durumu desteklemektedir (Ersoy vd, 2005; Gregory, 1989).

3.3 Karıştırma süresinin koagülasyona etkisi

Karıştırma süresinin koagülasyona etkilerini belirleyebilmek amacıyla, her bir koagülant için belirlenen optimum dozajlarda, süspansiyonun doğal pH'ında (7,5), 200 dev/dk karıştırma hızında, farklı karıştırma sürelerinde (30, 60, 90, 120, 150 sn) koagülasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve 30 dakika çökeltme süresi sonunda elde edilen bulanıklık verileri Şekil 5.'te grafiğe aktarılmıştır.



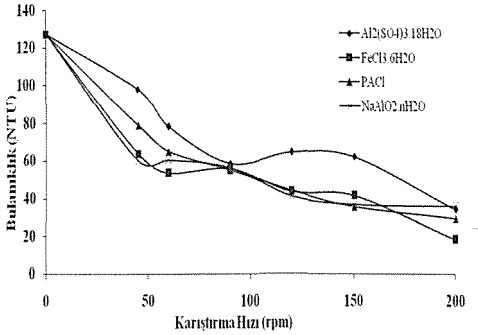
Şekil 5. Karıştırma süresinin koagülasyona etkisi

Optimum karıştırma süresi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ için 90 sn, PACI, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ için 120 sn olarak belirlenmiştir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda 90 sn üzerindeki karıştırma sürelerinde elde edilen süspansiyonun bulanıklık değerlerinde az da olsa bir artış olduğu gözlenmiştir. Optimum karıştırma süresinden daha fazla karıştırma yapıldığında koagülantların tane yüzeyinde artmasının bir

sonucu olarak koagülasyonun engellendiği bilinmektedir. PACI ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda ise 120 sn sonunda süspansiyon bulanıklığı yaklaşık olarak sabitlenmekte $NaAlO_2 \cdot nH_2O$ 'da ise artan karıştırma süresiyle birlikte süspansiyon bulanıklığı düşmeye devam etmektedir.

3.4 Karıştırma hızının koagülasyona etkisi

Karıştırma hızının koagülasyona etkisini belirleyebilmek amacıyla, her bir koagülant için optimum dozajlarda, süspansiyonun doğal pH'ında (7,5), farklı karıştırma hızlarında (45, 60, 90, 120, 150, 200 dev/dk) deneyler yapılarak karıştırma hızının koagülasyona etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Karıştırma hızının koagülasyona etkisi

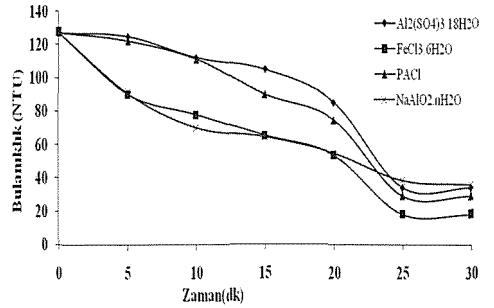
Şekil 6'da görüldüğü üzere, karıştırma hızı arttıkça bulanıklık PACI ve $NaAlO_2 \cdot nH_2O$ 'da 150 dev/dk'da yaklaşık sabitlenirken $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 'de düşmeye devam etmektedir. Koagülantlar en düşük bulanıklık sonucunu 200 dev/dk'da vermişlerdir.

3.5 Çökeltme Süresinin Koagülasyona Etkisi

Çökeltme süresinin koagülasyona etkisini belirleyebilmek için, her bir koagülant için optimum dozajlarda ve optimum karıştırma hız/sürelerinde süspansiyonun doğal pH'ında (7,5), deneyler yapılarak çalışılan tüm koagülantlar için optimum çökeltme süresi

belirlenmiş ve elde edilen veriler Şekil 7'de sunulmuştur.

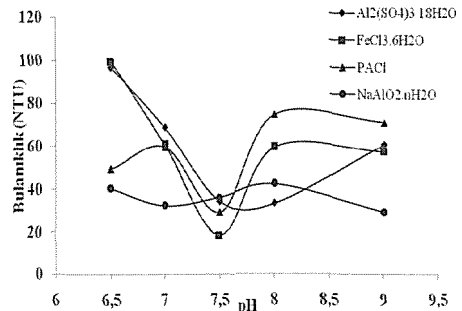
Şekil 7'de görüldüğü gibi, her bir koagülant için optimum çökeltme süresi 25 dakika olarak bulunmuştur. Tüm koagülantlarda çökeltme süresi arttıkça bulanıklık azalmakta 25 dakika sonunda bulanıklık sabitlenmektedir. En iyi bulanıklık sonucu $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ile sağlanırken, bunu sırasıyla PACI, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $NaAlO_2 \cdot nH_2O$, takip etmektedir. Bu sonuç Şekil 2'de elde edilen bulgularla uyum içerisinde dir.



Şekil 7. Çökeltme Süresinin Koagülasyona Etkisi

3.6 pH'ın koagülasyona etkisi

Çalışılan tüm koagülantlar için doğal pH'ta, belirlenen optimum şartlarda, pH'ın koagülasyona etkilerini belirleyebilmek amacıyla farklı pH'larda (6,5; 7; 7,5; 8; 9) koagülasyon deneyleri yapılarak, elde edilen sonuçlar Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. pH'ın Koagülasyona Etkisi

Tüm koagülantlar için optimum sonuçlar süspansiyonun doğal pH'ında elde edilmiştir. Ortamın alkalitesi arttıkça süspansiyon bulanıklığında bir artış olduğu görülmektedir. Kolloid sayısı düşük olan yüksek alkali ortamlarda bulanıklığı giderebilmek için sisteme daha yüksek dozda koagülant verilmesi oluşan MeOH⁻ çökeleklerinin miktarını artırmakta ve sonuç olarak süpürme mekanizmasını daha etkin hale getirmektedir. Bu deneysel çalışmalar belirlenen optimum dozajlarda gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden yüksek pH değerlerinde daha yüksek koagülant dozu kullanılarak süpürme mekanizmasının etkinleştirilmesiyle daha düşük bulanıklık değerleri elde edilebileceği düşünülebilir. Düşük pH değerlerinde ise oluşan yük nötralizasyonu yüksek koagülasyon verimi için yeterli olmamıştır. Sodyum Alüminat ise alkali bir koagülant olmasından dolayı en önemli avantajlarından biri pH ayarlamasının önemli olduğu durumlarda kireç gibi alkalilerin görevini yapabilmektedir. Bu nedenle çalışılan pH aralığı için ortam pH'ının sodyum alüminat ile gerçekleştirilen koagülasyon deneylerinde verim üzerine belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.

SONUÇLAR

- Koagülasyon deneylerinde FeCl₃.6H₂O, Al₂(SO₄)₃.18H₂O, PACI, NaAlO₂.nH₂O ile çalışılmış ve en yüksek koagülasyon verimini sağlayan koagülant % 86 koagülasyon verimi ve 28 mm/dk çökme hızıyla FeCl₃.6H₂O olmuştur.
- Belirlenen optimum dozajlar ve bu dozajlarda ulaşılan bulanıklık değerleri FeCl₃.6H₂O için 20 mg/l-18,38 NTU PACI için 10 mg/l-29,35 NTU; Al₂(SO₄)₃.18H₂O için 20 mg/l- 34,35 NTU ve NaAlO₂.nH₂O için 300 mg/l- 36,12 NTU'dur.
- Çalışılan tüm koagülantlar için belirlenen optimum dozaj ve bu dozajlarda ulaşılan minimum bulanıklık değerleri ve koagülasyon verimleri incelendiğinde en iyi sonucu Cl⁻ esaslı koagülantlar vermiştir.
- Tüm koagülantlarda belirli bir dozajdan fazla koagülant ilavesi süspansiyon

bulanıklığının artmasına neden olmuştur. Ortama optimum dozajdan daha fazla koagülant ilavesi ortamda şarjın ters dönmesi nedeniyle koagülasyonu olumsuz etkilemektedir.

- Optimum karıştırma süresi Al₂(SO₄)₃.18H₂O için 90 sn, diğer koagülantlar için 120 sn; Optimum karıştırma hızı 200 dev/dk, çöktürme süresi ise 25 dk olarak belirlenmiştir.
- Traverten süspansiyonunun koagülasyonun da, çalışılan tüm koagülantlar için optimum pH değeri süspansiyonun doğal pH'ı olarak belirlenmiştir. alkali bir koagülant olan NaAlO₂.nH₂O için ortam pH'ının koagülasyon verimi üzerine belirgin bir etkisi olmadığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, A.M., 2006, "Doğaltaş Atıksularının Flokülasyon/Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılması" Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, Yayınlanmamış, 77s.
- Beyazyüz, P., 2010, "Traverten İşleme Tesisi Atıksularındaki Bulanıklığın Fizikokimyasal Yöntemlerle Giderilmesi" Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Yayınlanmamış, 80 s.
- Cengiz, İ., Sabah, E., Erkan, Z.E., 2004, "Geleneksel ve UMA (Unique molecular Architecture) Teknolojisi İle Polimerlerin Flokülasyon Performansları Üzerine Bir Araştırma", *Madencilik*, cilt 43, sayı 1, s 15-23.
- Ersoy, B., Alptekin, A.M., Saruşık, A., Gürcan, S., Erkan, Z.E., Yıldız, A., 2005, "Doğal Taş İşleme Tesisi Atık Sularından Bulanıklığın Giderilmesine Farklı Yöntemlerin ve Farklı Koagülantların Etkisi" *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Ankara, s 117-125.
- Ersoy, B., 2005, "Effect of pH and polymer charge density on settling rate and turbidity of natural stone suspensions", *Int J. Mineral Processing*, 75: 207-216.
- Gregory, J., 1989, "Fundamental of Flocculation", *Critical Reviews in Environmental Controls*, 19(3),185-230.
- Kavaklı, M., 2003, "Mermer İşleme Tesisleri Proses Atık Sularının Özellikleri, Arıtılması ve Kontrolü" *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, s 313-326.

- Mpofu, P., Addoi-Mensah, J., 2004, "Flocculation and dewatering behaviour of smectite dispersions: effect of polymer structure type", *Minerals Engineering*, 17, 411-423
- Nishkov, I., Marinov, M., 2003, "Calcium Carbonate Microproducts From Marble Treatment Waste", *Mineral Processing in the 21 st Century*. Djiev Trade, Sofia, pp 700-705.
- Öteyaka, B., Yamık, A., Uçar, A., Şahbaz, O., Yılmaz, B., 2005, "Seyitömer killilerinin çökelme davranışları", *Türkiye 19.Uluslararası Madencilik kongresi ve Fuarı, IMCET 2005*, 297- 303
- Seyrankaya, A., Malaoğlu, U., Akar, A., 2000, "Flocculation conditions of marble from industrial wastewater and environmental consideration". Özbayoğlu, G. (Ed.), *Mineral Processing on the Verge of the 21st Century*. Balkema, Rotterdam, pp. 645-652.

Kırka Bor İşletmesi Katı Atıklarının Seramik Üretimine Yönelik Karakterizasyonu

Characterization of the Solid Wastes Obtained From Kırka Boron Works Intended for Ceramic Production

H. Çelik

Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Uşak, Türkiye

ÖZET Bu çalışmada; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Kırka Bor İşletmesi Bor Türevleri Tesisi ve Tinkal Kalsinasyon Tesisinde oluşan katı atıkların, seramik üretimine yönelik olarak karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla; tesislerden alınan numunelerin kimyasal analizi, kantitatif mineralojik analizi, termik analizi (diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA)) ve tane boyut dağılımı analizleri gerçekleştirilmiştir. Katı atıkların seramik kaplama malzemesi üretimi yönünden değerli oksitler (SiO_2 , K_2O , B_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , Al_2O_3) ve mineraller (dolomit, tinkalkonit, kalsit, montmorillonit) içerdiği belirlenmiştir.

ABSTRACT In the present study; characteristic properties of the solid wastes were identified intended for ceramic production. The solid wastes were obtained from Boron Derivatives Plant and Tinkal Calcination Plant of Kırka Boron Works affiliated to Eti Mine Works General Management. For this purpose; the samples taken from the plants were subjected to chemical analysis, quantitative mineralogical analysis, thermal analysis (differential thermal analysis (DTA) and thermogravimetric analysis (TGA)) and particle size analysis. It was identified that the solid wastes contained valuable oxides (SiO_2 , K_2O , B_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , Al_2O_3) and minerals (dolomite, tincalconite, calcite, montmorillonite) intended for ceramic covering tile production.

1 GENEL BİLGİLER

Endüstriyel atıklar yaratmış oldukları çevresel sorunların yanı sıra, depolanma zorunluluğundan dolayı birçok durumda üreticilere ilave bir takım maliyetler getirmektedir. Hammadde fiyatlarındaki hızlı yükseliş ve kaynakların hızla tükenmesine ek olarak, artan çevre bilinci ile birlikte söz konusu atıkların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Ülkemiz gerek bor rezervleri açısından, gerekse seramik kaplama malzemesi üretiminde dünyada söz sahibi durumundadır. Bilindiği üzere ülkemiz bor minerallerinin üretilmesi, işletilmesi ve

pazarlanması Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir. Dünyadaki borat rezervlerinin yaklaşık %67'si (B_2O_3 bazında) Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye 2009 yılı rakamlarına göre B_2O_3 bazında dünyadaki en büyük bor üreticisi olup (dünya bor üretiminin %39), ayrıca dünya bor piyasasında %36 pazar payı ile en büyük paya sahiptir (Anon-a 2009). Ülkemizin önde gelen sanayi dallarından olan seramik kaplama malzemesi (SKM) üretiminde Ülkemiz 2009 yılında 205 milyon m^2 üretimi ile dünya sıralamasında 9., üretiminin 67 milyon m^2 'sini ihraç ederek ihracatta dünya sıralamasında 4. sırada yer almıştır (Anon-b

2010). SKM sektöründe çoğunlukla yerli hammaddeler kullanıldığından katma değeri yüksek olan bir sektördür. Bununla birlikte, sektörde gerçekleşen hızlı büyüme ile hammadde ihtiyacı da paralel olarak artmaktadır.

Türkiye’de yaygın olarak bulunan bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu mineraller öncelikle fiziksel işleme tabi tutularak zenginleştirilmekte daha sonra rafine edilerek çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülmektedir. Ayrıca Kırka (Eskişehir) Bor İşletmesinde 5000 ton/yıl kurulu kapasiteye sahip tesiste tüvenan tinkalden kalsine tinkal üretimi gerçekleştirilmektedir (Anon-c 2009). Günümüzde Kırka Bor İşletmesi Bor Türevleri Tesisinde toplam 400-450 bin ton/yıl, Kalsinasyon Tesisinde ise bir ton kalsine tinkal üretimi için bir ton atık olmak üzere 5000 ton/yıl atık oluşmaktadır (Anon-d 2010).

Ülkemizde bor cevherlerinin işlenmesi safhalarında oluşan atıkların SKM üretiminde değerlendirilme olanakları son zamanlarda üzerinde durulan bir araştırma konusudur (Christogerou ve diğ. 2009; Christogerou ve diğ. 2010; Ediz ve Yurdakul 2009a; Ediz ve Yurdakul 2009b; Emrullahoglu ve Emrullahoglu 2002; Karasu ve diğ. 2002; Kurama ve diğ. 2007; Olgun ve diğ. 2005). Türkiye’de yapılan bu konudaki çalışmaların sonuçlarını sektörel bazda (SKM, çimento ve tuğla sanayi) derleyen (Oruç ve diğ. 2004) ve son 10 yıl içerisinde gerçekleştirilen ve atıkların çeşitli bünyelere (duvar, yer ve porselen karolar; kırmızı tuğla, çini gibi) katılmı olanaklarını araştırın çalışmaların sonuçlarını tartışın (Çelik 2010) araştırmalar da mevcuttur.

Bu bildiriye Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü’ne bağlı faaliyet göstermekte olan Kırka Bor İşletmesinde, gerek Bor Türevleri Tesisinde ve gerekse Tinkal Kalsinasyon Tesisinde oluşan atıkların seramik kaplama malzemesi üretimine yönelik karakteristik özellikleri araştırılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, Eskişehir ilinin 70km güneyindeki Kırka bucağının 4.5km batısında bulunan Kırka Bor İşletmesi’nde yer alan Bor Türevleri Tesisinde oluşan atıktan (BTA) ve Tinkal Kalsinasyon Tesisinde oluşan atıktan (KTA) alınan numuneler üzerinde çalışılmıştır. İşletmede atıkların oluşum aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

Tüvenan tinkal, Tinkal Kalsinasyon Tesisinde döner fırında 350-400 °C’de yaklaşık 30 dk. süre ile kalsine edilmektedir. Bu işlem neticesinde tinkal genleşerek daha kırılğan ve daha düşük yoğunlukta bir yapıya dönüşürken, kil içerikli atık ise tinkalin aksine daha sert hale gelmektedir. Sonrasında atık malzeme pnömatik seperasyonla kalsine tinkal bünyesinden ayrılmaktadır.

Konsantratör Tesisinden alınan konsantrte tinkal Bor Türevleri Tesisinde çözündürme tanklarında 96±2 °C’de çözündürüldükten sonra 2 titreşimli ve 2 yay elekten oluşan 4 adet 0.8mm açıklıklı elekte elenmekte, elek üstlerinden alınan **atık malzeme** atık barajına gönderilmektedir. Elek altından alınan ve tanklarda çözünen kısım ise askıdaki atık killerin çökmesi için tikinlere beslenmektedir. Tikiner taşını filtrepresslere verilerek kalan atık kil uzaklaştırılıp berrak çözelti elde edilmektedir. Tikiner alt ürünü ise dekantör santrifüjlere verilerek **katı atık** olarak atılmaktadır. Bor Türevleri Tesisinden alınan numune, bu iki atığın karışımıdır.

2.2 Yöntem

Kırka Bor İşletmesi katı atık numunelerinin karakteristik özelliklerinin saptanması amacıyla gerçekleştirilen testler ve kullanılan cihazlar aşağıda sıralanmıştır:

1. kimyasal analiz (Rigaku marka ZSX Primus X-Ray Floresans (XRF) cihazı ile) (%B₂O₃ miktarı yaş kimyasal analiz yöntemi ile belirlenmiştir)

2. kantitatif mineralojik analiz (Rigaku marka Rint-2200 model X-Ray

Difraktometre (XRD) cihazı ve MAUD 1.9 bilgisayar programı ile)

3. termik karakteristik özelliklerinin belirlenmesi (diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA)-Netzsch STA 409 cihazı ile)

4. tane iriliği analizi (>63µm fraksiyonu için elek analizi ve <63µm fraksiyonu için X-ışını sedimantasyonu yöntemi ile-(Micromeritics SediGraph 5120))

3 BULGULAR VE İRDELEME

3.1 Kimyasal Analiz

Numunelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Katı atık numunelerinin seramik bünyelerde kuvvetli ergitici etki gösteren ve yaygın olarak kullanılan alkali oksit (Na_2O ve K_2O) içeriği BTA için %6.04, KTA için %7.66'dır. Her iki numune yaklaşık %15 civarında seramik üretiminin başlıca hammaddelerinden olan, bünyeyi yüksek sıcaklıklarda ayakta tutan, plastikliğin ve küçülme değerlerinin ayarlanmasında yardımcı olan SiO_2 içermektedir. Bor oksit (B_2O_3) sahip olduğu düşük erime noktası (450 °C) ve sıvı formunun düşük viskozitesi özelliklerinden dolayı seramik bünyelerde ergitici ve cam yapıcı olarak kullanılmaktadır. Çizelge 1'den görüleceği üzere atıklar yaklaşık %8-11 oranında B_2O_3 ihtiva etmektedir.

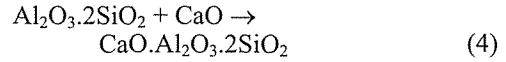
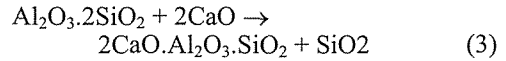
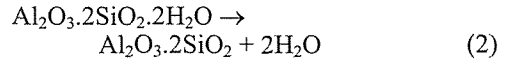
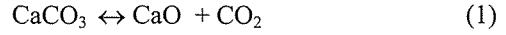
Çizelge 1. Katı atık numunelerinin kimyasal analiz değerleri (%)

		BTA		KTA	
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	B_2O_3	CaO	MgO
15.55	1.52	0.42	8.02	17.80	18.31
14.63	1.07	0.31	10.95	17.65	18.42
Na_2O	K_2O	SO_3	SrO	Kız. Kaybı*	
5.32	0.72	0.50	1.09	30.76	
7.05	0.61	0.42	1.06	27.82	

*1000 °C'de

Duvar karolarının üretiminde kullanılan ana hammaddeler kaolinitik ve illitik killer, çeşitli miktarda karbonatlar ve kuvarstır (Fiori ve diğ. 1989). Duvar karosu reçeteleri ağırlıkça %8-15 oranında kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerirler. Yüksek açık porozite ve

su emme oranları (>%10) duvar karolarına iyi yapışma ve metrekaredeki birim kütlelerinin düşük olmasına neden olmaktadır. CaCO_3 pişirme esnasında 600 °C'de CaO 'e dönüşür (Eşitlik 1). Bünyeden ayrılan CO_2 gerekli porozitenin oluşumuna neden olurken; CaO , 500°C civarında kaolinitin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) parçalanması (Eşitlik 2) ile oluşan metakaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ile tepkimeye girerek 980 °C'de önce gehlenit ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) (Eşitlik 3), sonrasında 1130 °C civarında da anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) oluşmaktadır (Eşitlik 4). Kalsiyumca zengin bu yeni kristalin fazlar düşük yoğunluğa sahiptir (Jianguo ve diğ. 2007; Escardino ve diğ. 2010; Sousa ve Holanda 2007).



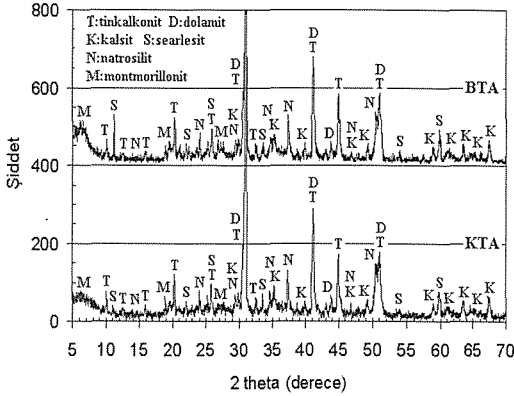
Duvar karosu bünyesinde manyezit (MgCO_3) içerikli kil kullanımıyla ham, kuru ve pişme mukavemetlerinde artış; su emme değerlerinin de standart değerlerde olduğu belirtilmektedir (Yersel ve Töre 2001). Manyezit ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) gibi MgO içeren hammaddelerin çeşitli seramik bünyelerinin vitrifikasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Alkali ve toprak alkali oksitlerin birlikteliği düşük viskoziteye sahip camsı fazın oluşumunu sağlayarak, bünyenin densifikasyon kinetiğini arttırdığı belirlenmiştir (Chandra ve diğ. 2005; Mukhopadhyay ve diğ. 2003). Çalışmada kullanılan her iki atık yaklaşık %35 oranında, yukarıda açıklandığı üzere özellikle duvar karosu imalat sürecinde önemli etkisi olan toprak alkali oksitler (CaO ve MgO) içermektedir (Çiz. 1).

Her iki numune dolomit, kalsit, tinkalkonitin parçalanması, fiziksel su kaybı

ve organiklerin yanmasına bağlı olarak yüksek kızdırma kaybı değerine sahiptir.

3.2 Kantitatif Mineralojik Analiz

Şekil 1'de XRD grafiklerinden görüldüğü üzere atıklar; dolomit, tinkalkonit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), kalsit, searlesit ($\text{NaBSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$), natrosilit ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) ve montmorillonitten oluşmaktadır. Çizelge 2'de minerallerin katı atıktaki kantitatif analiz sonucunda belirlenen %miktarları verilmiştir. Atıklar %93-94 miktarında dolomit ve tinkalkonitten oluşmaktadır. Mineralojik analiz sonuçları kimyasal analiz sonuçları ile uyumludur. Şöyle ki, yüksek dolomit içeriğine bağlı olarak MgO ve CaO yüzdeleri yüksek çıkmıştır. Tinkalkonit ve searlesit içeriği nedeniyle atıklar %8-11 B_2O_3 oranına sahiptir.



Şekil 1. Atıkların XRD grafikleri

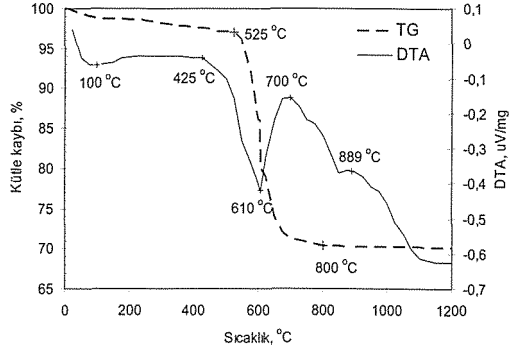
Çizelge 2. Minerallerin atıklardaki % miktarları

	BTA	KTA
Dolomit	61,67±0,77	31,28 ± 0,63
Tinkalkonit	26,50 ± 0,69	1,47 ± 0,16
Kalsit	67,08±0,71	1,93 ± 0,15
Searlesit	2,04 ± 0,46	0,72 ± 0,27
Natrosilit	1,97 ± 0,31	0,80 ± 0,17
Montmorillonit		2,80 ± 0,16
		1,71 ± 0,12

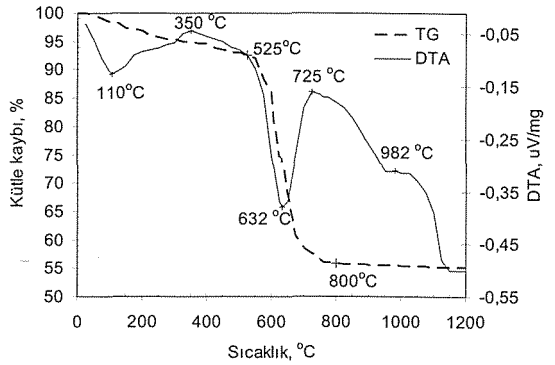
3.3 DTA/TGA Analizleri

Şekil 2 ve Şekil 3'te katı atıkların diferansiyel termal analiz (DTA) ve

termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları verilmektedir.



Şekil 2. KTA'nın DTA/TGA grafiği



Şekil 3. BTA'nın DTA/TGA grafiği

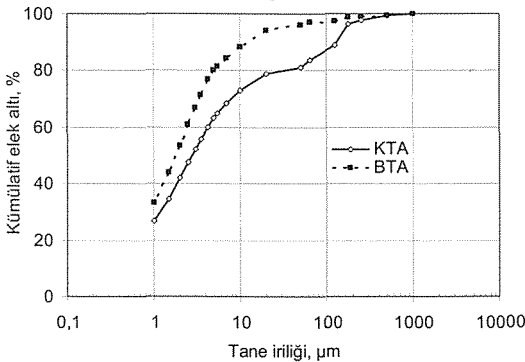
100-110 °C civarında görülen endotermik pikin nedeni, numunelerin adsorbe olmuş ve tabakalar arası sularını kaybetmeleridir (dehidratasyon). BTA, geniş bir aralıkta (110-350 °C) organiklerin yanmasına bağlı olarak ekzotermik bir pik vermektedir. KTA'da 425 °C'ye kadar herhangi bir tepkime gözlenmemiştir. Bunun nedeni, işletmede 350-400 °C'de uygulanan kalsinasyon işlemi sonucunda bünyedeki organik malzemelerin yanmış olmasıdır. Numuneler; karbonatların parçalanması ve tinkalkonitin kimyasal formülündeki bağlı suyunun bünyeden ayrılmasıyla susuz boraksa ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) dönüşmesi nedeniyle, maksimum sıcaklık değerlerinin 610 ve 632 °C olduğu büyük endotermik pike sahiptirler. Atıktaki bulunan dolomit ve kalsitin daha

düşük sıcaklıklarda parçalanması, tane iriliklerine ve bünyede bulunan diğer minerallerin katalitik etkilerine bağlı olabilir (Christogerou ve diğ. 2010; Gunasekaran ve Anbalagan 2007). KTA'da 700-850 °C aralığında, BTA'da ise 725-950 °C aralığında belirlenen endotermik düşüşün nedeninin tinkalkonitin erimesine bağlı olduğu düşünülmektedir. 889 ve 982 °C'deki küçük ekzotermik pikler, gehlenit gibi yeni kristalin fazların oluşumuna bağlıdır.

525 °C'ye kadar dehidratasyon ve organiklerin yanmasına bağlı olarak KTA %3, BTA ise %8 oranında kütle kaybına uğramaktadır. 525-800 °C aralığından gözlenen yüksek kütle kaybının nedeni ise (KTA %27, BTA %36 oranında) karbonatlı minerallerin parçalanması ve susuz boraks oluşumudur. 800 °C'den sonra kütle kaybında önemli bir değişiklik gerçekleşmemiştir. 1200 °C sonunda ise toplam kütle kaybı KTA için yaklaşık %30, BTA için ise %45 değerindedir.

3.4 Tane İriliği Analizi

Şekil 4'den görüleceği üzere bor türevleri tesisinde oluşan atığın boyut dağılımı kalsine tinkal atığına göre daha incedir. Atıkların d_{80} iriliği sırasıyla 5µm ve 25µm olarak tespit edilmiştir. KTA'nın daha iri olan boyut dağılımının 350-400 °C'de uygulanan kalsinasyon işlemine bağlı olarak taneçiklerin kısmen sinterlenmesinin sonucu olduğu düşünülmektedir. Atıklar, herhangi bir boyut küçültme işlemi uygulanmadan seramik bünyelerde doğrudan kullanılabilir inceligi sahiptir.



Şekil 4. Atıkların kümülatif elek altı eğrileri

4 SONUÇ

Ülkemizde, bor cevherlerinin işlenmesi safhalarında oluşan atıkların, seramik malzemeler üretiminde değerlendirilmeleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde olumlu sonuçlar alındığı görülmektedir. Bu çalışma ile de Kırka Bor İşletmesi'nde gerek Bor Türevleri Tesisinde, gerekse Tinkal Kalsinasyon Tesisinde oluşan atıkların, özellikle duvar karosu üretimi için olmak üzere seramik malzemeler üretimi yönünden, yaklaşık olarak %70 oranında değerli oksitler (CaO, MgO, K₂O, Na₂O, B₂O₃, SiO₂, Al₂O₃) ve mineraller (dolomit, tinkalkonit, kalsit, montmorillonit) içerdiği bir kez daha ortaya konmuştur. Atıkların %35 oranında toprak alkali (MgO ve CaO) içeriğinin, özellikle duvar karosu imalatı açısından önem arz ettiği düşünülmektedir. Araştırmanın izleyen safhalarında, atıkların işletme ölçeğinde SKM üretiminde değerlendirilebilirliği araştırılacaktır.

Günümüzde söz konusu atıkların, işletme ölçeğinde seramik üretiminde değerlendirildiğine dair bir bilgi mevcut değildir. Bor atıklarının seramik sektöründe değerlendirilmesi; hem üreticilere daha ucuz hammadde tedariki nedeniyle hammadde maliyetinin düşmesine bağlı olarak uluslar arası piyasada rekabet gücü kazandıracağı, hem de bor işletmelerine atıkların depolanmasından kaynaklanan güçlüklerle ve oluşabilecek çevresel sorunlara çözüm olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Uşak Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince (BAP) desteklenmiştir (Proje Numarası: 2010/GS001). Sağlanan destek için Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine ve numunelerin temin edilmesinde gerekli izni veren ve katkılarından dolayı Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü ve Kırka Bor İşletme Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Anon-a, 2009. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2009 Faaliyet Raporu, <http://www.etimaden.gov.tr>
- Anon-b, 2010. Türkiye Seramik Federasyonu, Seramik Kaplama Malzemeleri Sektörü Raporları, <http://www.serfed.com>
- Anon-c, 2009. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2009 Bor Sektörü Raporu, <http://www.etimaden.gov.tr>
- Anon-d, 2010. Kırka Bor İşletmesi, Kişisel Görüşme
- Chandra, N., Agnihotri, N., Bhasin, S., Khan, A.F., 2005. Effect of addition of talc on the sintering characteristics of fly ash based ceramic tiles, *Journal of the European Ceramic Society*, V.25, N.1, pp.81–88.
- Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y., and Angelopoulos, G.N., 2009. Use of BW in the production of heavy clay ceramics, *Ceramics Interna.*, V.35, N.1, pp.447–452.
- Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Rathossi, C., and Angelopoulos, G.N., 2010. Evolution of microstructure, mineralogy and properties during firing of clay-based ceramics with borates, *Ceramics International*, V.36, N.2, pp.567–575.
- Çelik, H., 2010. The Use of Industrial Wastes of Turkey in Manufacturing of Clay-Based Ceramic Materials, *Proceedings of the XIIth International Mineral Processing Symposium*, 6-8 October 2010, Cappadocia-Neveşehir, Turkey, pp.1271–1282.
- Ediz, N., and Yurdakul, A., 2009a. Characterization of porcelain tile bodies with colemanite waste added as a new sintering agent, *J. of Ceramic Proces. Research*, Vol.10, No.4, pp.414-422.
- Ediz, N., and Yurdakul, A., 2009b. Development of body formulations using colemanite waste in porcelain tile production, *Journal of Ceramic Processing Research*, Vol.10, No.6, pp. 758-769.
- Emrullahoglu, O.F., and Emrullahoglu, C.B., 2002. Effect of Etibor Kırka Boraks Tailings addition on properties of floor tile body, *Proceedings of the 1st International Boron Symposium*, October 3-4, Kütahya.
- Escardino, A., Garcia-Ten, J., Feliu, C., and Moreno, A., 2010. Calcium carbonate thermal decomposition in white-body wall tile during firing: I. kinetic study, *Journal of the European Ceramic Society*, V.30, pp.1989-2001.
- Fiori, C., Fabbri, B., Donati, G., and Venturi, I., 1989. Mineralogical composition of the clay bodies used in the Italian tile industry, *App. Clay Science*, V.4, N.5-6, pp.461-473.
- Gunasekaran, S., and Anbalagan, G., 2007. Thermal decomposition of natural dolomite, *Bulletin of Materials Science*, V.30, N.4, pp.339-344.
- Jianguo, Y., Furong, D., Hong, Z., and Kefa, C., 2007. Mineral conversion and microstructure change in the melting process of Shenmu coal ash, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, V.2, pp.165-170.
- Karasu, B., Kaya, G., and Yurdakul, H., 2002. The effect of Etibor Kırka Borax Company's concentration and derivation wastes on the properties of wall tile bodies, *Proceedings of the 1st International Boron Symposium*, October 3-4, Kütahya.
- Kurama, S., Kara, A., and Kurama, H., 2007. Investigation of borax waste behaviour in tile production, *Journal of the European Ceramic Society*, V.27, N.2-3, pp.1715–1720.
- Mukhopadhyay, T.K., Das, M., Ghosh, S., Chakrabarti, S., Ghatak, S. 2003. Microstructure and thermo mechanical properties of a talc doped stoneware composition containing illitic clay, *Ceramics International*, V.29, N.5, pp. 587–597.
- Olgun, A., Erdogan, Y., Ayhan, Y., and Zeybek, B., 2005. Development of ceramic tiles from coal fly ash and tincal ore waste, *Ceramics International*, V.31, No.1, pp.153–158.
- Oruç, F., Sabah, E., ve Erkan, Z.E., 2004. Türkiye'de bor atıklarını sektörel bazda değerlendirme stratejileri, II. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, ss.385-392.
- Sousa, S.J.G. and Holanda, J.N.F., 2007. Thermal transformations of red wall tile pastes, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, V.87, N.2, pp.423-428.
- Yersel, H.G. ve Töre, İ., 2001. Manyezit esaslı killerin seramik bünyelerde kullanılabilirliğinin araştırılması, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.

Box-Behnken Deneysel Tasarımıyla Doğaltaş İşleme Tesisi Atıksularında Flokülasyon İşleminin Değerlendirilmesi

Evaluation of Flocculation Process in Natural Stone Processing Plant Wastewaters by Box-Behnken Experimental Design

T. Taşdemir, A. Taşdemir, H. Kakabayev

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Bu çalışmada, doğal taş işleme tesisi atıksuyundan bulanıklığın giderilmesinde yaygın olarak uygulanan flokülasyon yönteminin optimizasyonu araştırılmıştır. Önemli çalışma değişkenlerinin kalan bulanıklık üzerine etkilerini araştırmak için Box-Behnken istatistiksel deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. pH, flokülant dozajı ve hızlı karıştırma süresi bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Deneysel veriler, cevap modelin katsayılarını belirlemek için kullanılmıştır. Modele göre, kalan bulanıklığı en çok etkileyen parametrelerin etki sırasının hızlı karıştırma süresi, flokülant dozajı ve bunların ikili etkileşimi olduğu belirlenmiştir. pH'nun etkisinin ise diğer parametrelere göre daha az olduğu bulunmuştur. Test edilen deneysel koşullarda, numunenin doğal pH'sı olan pH 8'de, yaklaşık 4 dakika hızlı karıştırma süresi ve yaklaşık 0.8 mg/L flokülant dozajı optimum koşullardır.

ABSTRACT In this study, the optimization of flocculation method which is applied widely for removal of turbidity from wastewater of natural stone processing plant was investigated. Box-Behnken statistical experiment design method was used to investigate the effects of major operating variables. Flocculant dosage, pH and fast stirring time were chosen as independent variables. Experimental data were used for determination of the response function coefficients. According to the model obtained, the most effective parameters on the residual turbidity were found as the flocculant dosage, fast stirring time and their interactions respectively. The pH was found to be less effective parameter compared to other parameters. In the experimental ranges tested, approximately 4 minutes of fast stirring time and approximately 0.8 mg/L of flocculant dosage were found as an optimum conditions at natural pH of the sample.

1 GİRİŞ

Doğal taş (mermer, traverten vb.) işleme tesisleri suyun en çok kullanıldığı sektörlerden birisidir. Doğal taş blok ve plakalarının kesilmesi ve parlatılması sırasında oluşan ince boyutlu toz atıklar işlemler esnasında kullanılan su ile birlikte kanallardan geçerek çökertme havuzlarında ya da tanklarda birikmektedir.

İri boyutlu tanecikler kanallarda çökerken askıda kalabilen küçük boyutlu tanecikler çökertme havuzuna ya da tanklara

gelmektedir. Fabrikalarda tekrar kullanılan bu su içerisinde ince boyutlu partiküllerin kalması silme ve cilalama işlemlerini olumsuz etkilemektedir (Ersoy, 2005; 2009 Kavaklı, 2003). Bu nedenle arıtma işleminde askıda katı tane miktarı en aza indirilmiş temiz su elde edilmesi amaçlanır. Genellikle fabrikadan çıkan atık su, pompa vasıtasıyla bir çöktürme tankına verilmekte ve flokülasyon işlemine tabii tutulmaktadır. Bu yöntemde, atık suyun içerisindeki katı taneciklerin çökmesini hızlandırmak

amacıyla çöktürücü reaktifler (flokülanlar) kullanılır (Ersoy, 2003; Ateşok, 1987).

Flokülasyon yöntemi, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran veya çok yavaş çöken ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan ince boyutlu katı taneciklerin bir katkı maddesi vasıtasıyla bir araya getirilip (kümeleşmesi) hızlı çöktürülmesi işlemidir (Rosa ve Rubio, 2005; Somasundaran ve Das, 1998; Tripathy ve Ranjan, 2006; Bratby, 2006; Sivamohan, 1990). Flokülasyonda, ortama yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler ilave edilir ve taneler arasında fiziksel bir köprü meydana getirilerek tanelerin kümeleşmeleri sağlanır. Flokülantlar genel olarak flokülant kaynağına göre, doğal ve sentetik olarak ikiye ayrılırlar. Sentetik flokülantlar geniş kullanım alanı bulan polimerler olarak adlandırılan maddelerdir ve iyonizasyon durumuna göre anyonik, kationik ve noniyonik flokülantlar şeklinde; molekül ağırlığına göre ise düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklı flokülantlar şeklinde tanımlanmaktadır (Boltoa ve Gregory, 2007; Ersoy, 2003)

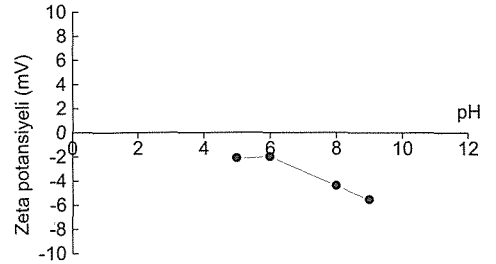
Doğal taş işleme tesisi atıksularının arıtımında genellikle katı granül haldeki sentetik flokülantlar kullanılmaktadır (Ersoy, 2003). Sentetik flokülantlar ile yapılan flokülasyonu, flokülantın tipi, süspansiyon pH'sı, flokülant dozajı, flokülant molekül ağırlığı, süspansiyonu karıştırma hızı, süspansiyondaki katı oranı, katının tane boyutu gibi faktörler etkilemektedir (Bratby, 2006; Hogg, 2000; Şener, 2007; Taşdemir ve Volkan, 2010; Yarar, 2001; Rossini, vd., 1999; Gregory, 2005; İpekoğlu, 1997).

Bu çalışmada, yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülantın kullanıldığı flokülasyon yöntemiyle doğal taş işleme tesisi atıksuyundan bulanıklığın giderilme etkinliği araştırılmıştır. pH, flokülant dozajı ve hızlı karıştırma süresi üç önemli parametre olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin flokülasyona etkileri ve en az bulanıklık değerinin elde edileceği koşulları bulmak için Box-Behnen deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

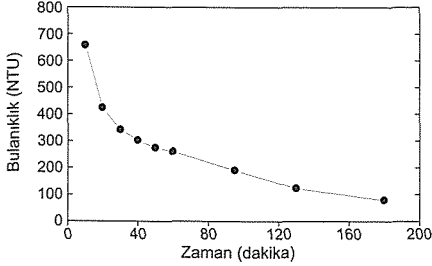
Deneylerde kullanılan Afyon Gümüş traverten tozu Afyonda bulunan Demmer Demireller Mermer A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. Numune, kesim esnasında orijinal olarak süspansiyon halinde fabrikadan alınmış ve kurutularak traverten tozu numunesi elde edilmiştir. Flokülasyon deneylerinde kullanılacak atıksu numuneleri deney öncesinde %1 traverten tozu içerecek şekilde hazırlanmış ve başlangıç bulanıklık değeri 6400 NTU ve pH'sı 8 olarak ölçülmüştür. Numunenin tane boyut analizi lazer tekniği ile yapılmış olup, numunenin %90'ı 51.33 mikronun ve %50'si ise 17,01 mikronun altındadır. Traverten tozunun pH'ya göre zeta potansiyelini belirlemek amacıyla değişik pH'larda bir dizi zeta potansiyel ölçümü yapılmıştır. Şekil 1'de traverten tozlarının zeta potansiyel eğrisi verilmiştir ve tanelerin, ölçülebilen bütün pH aralıklarında negatif yüzey yüküne sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Traverten tozunun pH'ya göre zeta potansiyel eğrisi

%1 katı oranında hazırlanan atıksuyun sedimentasyon analizi yapılmıştır. Flokülantsız serbest çöktürme deneyinde 500 ml'lik mezür içindeki atıksuyun doğal çökmesi gözlenmiştir. Mezürün orta seviyesinden pipetle numune alınarak bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. İlk 3 saat içinde belirli aralıklarla bulanıklık değerleri kaydedilmiştir. Şekil 2'de sedimentasyon deneyine ait zamana bağlı bulanıklık

değerleri verilmiştir. 3 saat sonra ancak doğal çökme ile bulanıklık değerinin 80 NTU değerlerine düştüğü bulunmuştur.

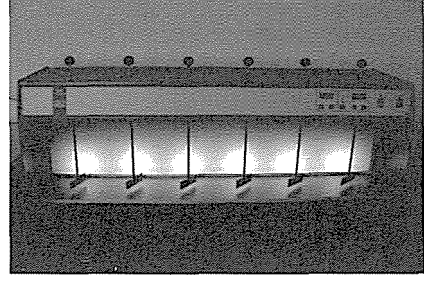


Şekil 2. Çöktürme analiz eğrisi

Flokülasyon deneylerinde Süperkim Kimya A.Ş. Firmasından temin edilen yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülant (SPP 508) kullanılmıştır. Flokülant çözeltisi % 0.01'lik derişimde hazırlanmıştır. Bunun için 0.1 gr flokülant, saf su içerisinde 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında karıştırılmak suretiyle çözdürülmüş ve 1 litre saf suya tamamlanmıştır. pH ayarlamalarında ise hazırlanan NaOH ve HCl çözeltileri kullanılmıştır.

2.2 Jar Testleri

Flokülasyon deneyleri için aynı anda altı deneyin yapılabildiği jar test cihazı (Velp Scientifica FC6S) kullanılmıştır (Şek. 3). Cihaz, karıştırma hızı (0-300 devir/dak.) ve süresi ayarlanabilen altı karıştırma pervanesinden oluşmaktadır. Deneyler için atıksu numunelerinin 500 ml'lik altı adet behere konulması ve jar test düzeneğine yerleştirilmesini takiben pH ayarlaması ve flokülant ilavesi yapılmıştır. 200 devir/dak.'lık bir hızda karıştırma yapılmış ve flokların oluşması için hız 30 devir/dakikaya düşürülerek 15 dakika yavaş karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra oluşan floklar 15 dakika çökelmeye bırakılmıştır. Üstteki temiz suyun bulanıklık değeri kaydedilmiştir.



Şekil 3. Jar test cihazı

Bulanıklık, askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür ve su kalitesi belirleme yöntemlerinden biridir. Suyun bulanık olmasına içerdiği kolloid ve askıda katı maddeler sebep olmaktadır. Genel olarak askıda katı madde miktarının artması ile ışık geçirgenliği azalacağından bulanıklık değeri artmaktadır (Taşdemir vd., 2010). Bulanıklık ölçümleri HF Scientific Türbidimeter marka cihaz ile yapılmış olup bulanıklık birimi NTU (Nephelometric Turbidity Unit) cinsindedir.

2.3 Deney tasarımı ve İstatistiksel Analizler

Bulanıklık giderimi üzerine önemli çalışma değişkenlerinin etkilerini belirlemek ve sonuçta da en az bulanıklık değerinin elde edileceği değişkenlerin kombinasyonunu bulmak için Box-Behnken deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Box-Behnken deney tasarımı, Cevap Yüzey Yönteminin (RSM) çok kullanılan tasarımlarından biridir. Cevap Yüzey Yöntemi, deneysel sistemli çalışmalarda problemlerin analiz edilmesi ve modellenmesi için, deneysel faktörler ile bunların ölçülen cevapları arasında bağıntılar kuran matematiksel ve istatistiksel tekniklerden oluşmaktadır. Yöntemin temeli çok sayıda giriş değişkeni (bağımsız değişken) ve bunlara bağlı bir ya da birkaç cevap (bağımlı değişken) arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Cevap yüzey yöntemi uygulamasının amacı, elde edilecek cevapları önceden öngörebilecek, sistemi ifade edebilen uygun fonksiyon bulmak ve optimum çalışma koşullarını belirlemektir. Bu optimizasyon süreci birkaç adımdan

oluşmaktadır: çözülecek problemi tanımlama, cevap değişkenini etkileyen faktörleri ve seviyelerini belirleme, istatistiksel olarak tasarlanmış deneylerin yürütülmesi ve verilerin analizleri (Montgomery,1991; Bhatia et al, 2007; Başkan & Pala, 2009).

Doğal taş işleme tesisi atıksuyunun bulanıklık gideriminde uygulanacak flokülasyon yönteminin optimizasyonu için üç önemli çalışma parametresi olan pH (X₁), flokülant dozajı (X₂) ve hızlı karıştırma süresi (X₃) bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Her bir bağımsız değişkenin üç seviye için belirlenen değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Box-Behnken deney tasarımı için seçilen değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız değişkenler	Sembol	Kod seviyeleri		
		-1	0	+1
pH	X ₁	6	8	10
Flokülant dozajı (mg/L)	X ₂	0.1	1	1.9
Hızlı karıştırma süresi (dak.)	X ₃	1	3	5

Bu değişkenlerin, kalan bulanıklık değerlerine etkileri, cevap yüzey yönteminin üç faktörlü ve üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımı tekniği kullanılarak yapılmıştır. Seçilen bağımsız değişkenler ve seviyeleri ile toplam 16 deney sayısı belirlenmiş ve deney noktaları Çizelge 2’de verilmiştir. Tasarımdaki merkez nokta, hataların tahmini için dört defa tekrarlanmıştır. Diğer bağımsız değişkenler ile (X₁, X₂ ve X₃) solüsyonda kalan bulanıklık değerinin (Y) korelasyonunda aşağıdaki cevap yüzey fonksiyonu kullanılmıştır:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (1)$$

Burada Y değeri, tahmin edilen cevap yüzey fonksiyonudur (kalan bulanıklık değeri), b₀ model sabitidir, X₁,X₂ ve X₃ kodlanmış bağımsız değişkenler yani faktörlerdir. b_i, b_{ij} ve b_{ij} her bir faktörün katsayılarıdır. Deney

tasarımı, katsayıların belirlenmesi ve verilerin analizi için Statistica 8.0 istatistik programı kullanılmıştır.

Çizelge 2. Deney tasarımında kullanılan deney noktaları ve deneysel ölçümler

Deney	Bağımsız değişkenlerin gerçek ve kod değerleri			Deneysel ölçümler
	pH	Flokülant	Karıştırma	
		dozajı (mg/L)	süresi (dak.)	
1	6 (-1)	0.1 (-1)	3 (0)	10.6
2	10 (1)	0.1 (-1)	3 (0)	5
3	6 (-1)	1.9 (1)	3 (0)	2.9
4	10(1)	1.9 (1)	3 (0)	19.3
5	6 (-1)	1 (0)	1 (-1)	8.7
6	10 (1)	1 (0)	1 (-1)	26
7	6 (-1)	1 (0)	5 (1)	1.8
8	10 (1)	1 (0)	5 (1)	3.8
9	8 (0)	0.1(-1)	1 (-1)	12.4
10	8 (0)	1.9 (1)	1 (-1)	54.5
11	8 (0)	0.1 (-1)	5 (1)	4
12	8 (0)	1.9 (1)	5 (1)	9.2
13	8 (0)	1 (0)	3 (0)	3.8
14	8 (0)	1 (0)	3 (0)	2.5
15	8 (0)	1 (0)	3 (0)	2
16	8 (0)	1 (0)	3 (0)	3.5

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

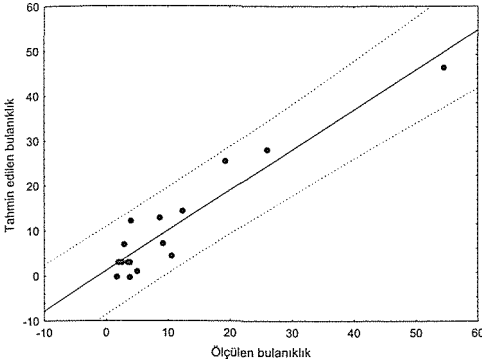
Üç faktörlü üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımının kullanıldığı cevap yüzey yöntemi ile değişken parametreler ve solüsyonun kalan bulanıklık değerleri arasında ikinci dereceden matematiksel bir fonksiyon elde edilmiştir.

Üç bağımsız değişkenin kod değerleri ile bulanıklık arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$Y = 13.18 + 7.54X_1 + 13.48X_2 - 20.71X_3 + 11.00X_1X_2 - 7.63 X_1X_3 - 18.5 X_2X_3 + 1.73X_1^2 - 8.23 X_2^2 - 8.84 X_3^2 \quad (2)$$

Model denklem kullanılarak (Eşitlik 2) tahmin edilen bulanıklık değerleri ve deneysel bulanıklık değerlerinin karşılaştırılması yapılmış, değerler grafik olarak Şekil 4’te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel bulanıklık değerleri ile

modelin tahmin ettiği bulanıklık değerleri uyumludur.



Şekil 4. Deneysel ve modelin tahmin ettiği bulanıklık değerleri

Traverten atık suyunun flokülasyonla bulanıklığının giderimi için cevap yüzey yöntemi ile elde edilen ikinci derece modelin ANOVA sonuçları Çizelge 3'te özetlenmiştir. Modelin 5.56 olan F istatistik değeri, ikinci derece modelin istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmektedir ve model eşitliğinin test edilen deneysel koşullar altında bulanıklık uzaklaştırmayı tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Model denklemin belirlilik katsayısı (R^2) 0.893 olarak bulunmuştur ve toplam varyasyonun % 11'inin ampirik model tarafından açıklanamadığını belirtmektedir. Bu durumda, modelde yer almayan parametrelerin eklenmesiyle, daha iyi sonuçlar alınabilir.

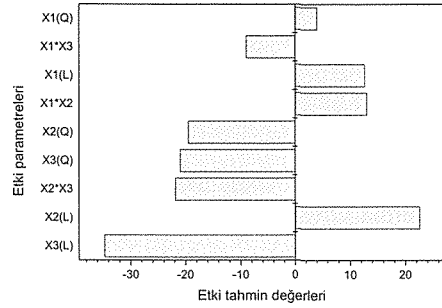
Ampirik model tarafından bulunan ana etkiler ve ikili girişimler Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafikte, bulanıklığı etkileyen parametreler, etki değerleri ve etki sıraları da verilmiştir. Buna göre, hızlı karıştırma süresi en önemli parametre olup, bu parametredeki artış kalan bulanıklığı azaltmaktadır. Ancak, flokülant dozaj artışının, kalan bulanıklığı artırdığı ve en önemli ikinci parametre olduğu görülmektedir. Bu iki parametrenin etkileşimleri de oldukça önemli olup, kalan bulanıklığı azaltmaktadır. Bu durumun, hızlı karıştırma süresinin negatif etkisinin flokülant dozajı etkisine baskın gelmesi

sebebiyle olduğu düşünülebilir. pH'nın etkisi ise diğerleriyle kıyaslandığında daha düşüktür.

Çizelge 3. Bulanıklık giderimi modeli için elde edilen ANOVA

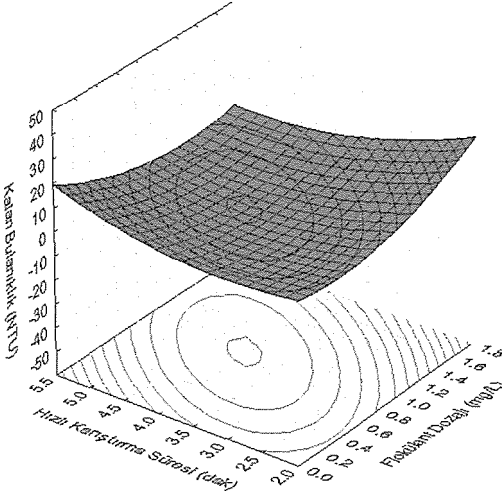
	Kareler toplamı	df*	Ort. toplamı	F değeri	p değeri
Model	2449.8	9	272.24	5.56	0.0246
Artık hata	293.67	6	48.94		
Toplam	2743.55	15			

*: Serbestlik derecesi



Şekil 5. Kalan bulanıklığa etki eden faktörler ve girişimlerin etkileri

Elde edilen ampirik modele göre, en etkili iki parametrenin hızlı karıştırma süresi ve flokülant dozajı olduğu belirlendiğinden, bu iki parametrenin aynı anda değiştirilmesinin toplam kalan bulanıklık cevabı üzerindeki etkisini görmek amacıyla, Şekil 6'da verilen yüzey cevap grafiği çizilmiştir. Box-Behnken deney tasarımı yönteminin sonuçlarına göre pH 8'de çizdirilen bu grafikte de kalan bulanıklık üzerine flokülant dozajı ve hızlı karıştırma süresinin etkisi açıkça görülmektedir. Buna göre, kalan bulanıklık değerinin artan flokülant dozajı ve hızlı karıştırma süresi ile birlikte arttığı görülmektedir. Ancak, bu faktörler için optimum bir bölge olduğu ve bu bölgenin dışında her iki faktördeki artışın kalan bulanıklık değerini artırdığı anlaşılmaktadır. Yaklaşık 0.8 mg/L flokülant dozajı ve yaklaşık 4 dakika hızlı karıştırma süresinin optimum sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Kalan bulanıklık üzerine hızlı karıştırma süresi ve flokülant dozajının etkisi (pH: 8)

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, doğaltaş atıksu işleme tesisi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılan flokülasyon yönteminin modellenmesi ve optimizasyonu test edilen deney koşullarında yapılmıştır. Önemli çalışma değişkenlerinin bulanıklık giderimine etkilerini araştırmak için üç faktörlü ve üç seviyeli Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen deney planına göre jar testleri yapılmıştır. Her bir deney sonucunda kalan bulanıklık değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak çalışma değişkenleri ve bunların etkileşimlerinin kalan bulanıklık değeri üzerine etkileri belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen verilerle, modelleme sonucu elde edilen tahmini verilerin uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışma, Box-Behnken deney tasarımının, flokülasyon yöntemiyle bulanıklık giderimi için optimum koşulların belirlenmesinde güvenilir ve etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir. %1 traverten tozu içeren atıksuyun flokülasyon yöntemiyle arıtımı

için doğal pH'da (8) bulunan yaklaşık 4 dakika hızlı karıştırma süresi ve yaklaşık 0.8 mg/L flokülant dozajının optimum koşullar olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Ateşok, G, 1987. Polimerlerin cevher hazırlamadaki yeri, kullanım özellikleri, *Madencilik Dergisi*. Cilt 24, Sayı 3, s.15-22.
- Başkan B. B ve Pala A, 2009. Determination of arsenic removal efficiency by ferric ions using response surface methodology, *Journal of Hazardous Materials*, 166, s. 796-801.
- Bhatia, S, Othman, Z ve Ahmad A. L, 2007. coagulation-flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds: Optimization studies, *Chemical Engineering Journal*, 133, s. 205-212.
- Bratby, J, 2006. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*, Published by IWA Publishing, London.
- Boltoa, B ve Gregory, J, 2007. Organic Polyelectrolytes in Water Treatment, *Water Research*, 41, s. 2301-2324.
- Ersoy, B, 2003. Mermer işleme tesisi atık su arıtımında kullanılan flokülantların tanıtımı, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, s. 449-462.
- Ersoy, B, İsmail, T, Günay, A ve Dikmen, S, 2009. Turbidity removal from wastewater of natural stone processing by coagulation/flocculation methods, *Clean*, 37(3), s. 225-232.
- Ersoy, B, 2005. Effect of pH and Polymer Charge Density on Settling Rate and Turbidity of Natural Stone Suspensions, *Int. J. Miner. Process*, 75, s. 207 - 216
- Gergory, J, 2005. *Particles in water: Properties and Process*, University College London, UK, 188 s.
- Hogg, R, 2000. Flocculation and dewatering. *International Journal Mineral Processing*, Cilt 58, s.223-236.
- İpekoğlu, Ü, 1997. *Susuzlandırma ve Yöntemleri*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 179, İzmir.
- Kavaklı, M, 2003. Mermer İşletme Tesisleri Proses Atık Sularının Özellikleri, Arıtılması ve Kontrolü. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 313-326.
- Montgomery, D, 1991. *Design and analysis of experiments*, JohnWiley and Sons NY.
- Rosa, J.J ve Rubio, J, 2005. The FF (flocculation-flotation) process, *Minerals Engineering*, 18, s. 701-707.

- Rossini, M, Garrido, J ve Garcia, Galluzzo, M, 1999. Optimization of the coagulation-flocculation treatment influence of rapid mix parameters, *Wat.Res.*, 33(8), s. 1817-1826.
- Sivamohan, R, 1990. The problems of recovering very fine particles in mineral processing-a review. *International Journal Mineral Processing*, 28, s. 247-288.
- Somasundaran, P ve Das, K. K, 1998. Flocculation and Selective Flocculation-An Overview, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, S. Atak, G. Önal and M. S. Çelik (eds), A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Şener, S, 2007. Removal of suspended solid materials from the wastewater of natural dimension stone cutting plants by flocculations, *Journal of Science and Technology*, 1(2), s. 234-244.
- Taşdemir, T ve Erdem, V, 2010. Flokülasyon yöntemi ile atıksudan askıda tanelerin giderimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt/Vol:XXIII, Sayı no:1, s. 109-121.
- Taşdemir, T, Taşdemir, A ve Geçgel, Y, 2010. Removal of fine particles from wastewater using induced air flotation, *International Science and Technology Conference*, Turkish Republic of Northern Cyprus, s. 606-612.
- Tripathy, T ve Ranjan De, B, 2006. Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water, *Journal of Physical Sciences*, Cilt. 10, s. 93 – 127.
- Yarar, B, 2001. Evaluation of Flocculation and Filtration Procedures Applied to WSRC Sludge, Report no: DE-AC09-96SR18500, Colorado School of Mines s.34.



Edirne ve Çankırı Bentonitlerinin Reolojik ve Filtrasyon Özellikleri Üzerine Polimerlerin Etkisi

The Effect of Polymers on The Rheological and Filtrate Properties of Edirne And Cankırı Bentonites

Bülent Toka

MTA, Sondaj Dairesi, Ankara

Ali İhsan Arol

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

M. Evren Özbayoğlu

The University of Tulsa, USA

ÖZET Sondaj teknolojisinde; Na-bentonitlerin viskozite yapma özelliği nedeniyle Na-bentonit-su karışımı sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, Na-bentonitlerinin sondaj çamuru katkı maddesi olarak Ca-bentonitlerinden daha iyi reolojik (plastik viskozite, akma noktası ve jel mukavemeti) ve filtrasyon (su kaybı) özelliği göstermeleridir. Fakat Na-bentonitlerinin rezervlerinin azalması nedeniyle Ca-bentonitler inorganik tuz ve/veya polimerlerle iyileştirilerek sondaj çamuru yapımında kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada, anyonik polimerlerle (HV CMC ve PAC R) iyileştirilen Edirne bentoniti (E-Ben) ve Çankırı bentonitin (C-Ben) sondaj bentoniti olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

ABSTRACT In drilling technologies, Na-bentonite-water mixtures have been used as drilling mud due to viscosifying properties of Na-Bentonite. Because Na-bentonite show better rheological (plastic viscosity, yield point and gel strength) and filtrate (water loss) properties than Ca-bentonite. However due to declining reserves of Na-Bentonite, Ca-Bentonite activated with inorganic salt and/or treated with polymer is used as a drilling mud additive.

In this study; The use of Edirne bentonite (E-Ben) and Çankırı bentonite (C-Ben) which is treated with anionic polymers (HV CMC and PAC R) as a drilling bentonite has been investigated.

1 GİRİŞ

İçerisinde %80 den daha fazla montmorillonit içeren kayalara bentonit denir ve içerisinde bulunan diğer minerallerin (kuvars, kalsit ve feldspar, illit v.b.) miktarı bentonitin kalitesini düşürür. İçerdikleri montmorillonit yüzdesi bentonitlerin iyi veya düşük kaliteli olduğunu gösterir. Bentonitler, montmorillonitin yüzeyindeki negatif yükü dengeleyen kanyonların cinsine göre;

kalsiyum (Ca) bentoniti, sodyum (Na) bentoniti ve ara tip (Na/Ca) bentonit olarak adlandırılırlar.

Sondaj sektöründe, Na-bentonitleri su ile karıştırılarak sondaj çamuru yapımında kullanılmaktadırlar. Bunun nedeni Na-bentonitlerinin Ca-bentonitlerine göre daha yüksek şişme kapasitesine sahip olmasıdır. Na-bentonitleri su ile karıştırıldığında su molekülleri silika yüzeylerine hidrojen bağ ile bağlanarak kilin birim tabakalar

arasındaki mesafeyi 30-40 Å kadar çıkarabilmekte ve hatta su miktarına göre birkaç yüz angstroma (Luckham ve Rossi, 1999) kadar da artabilmektedir. Buna karşın Ca-bentonitlerdeki Ca^{+2} iyonları ise silika tabakaları arasında kolaylıkla ayrılmadığından tabakalar arası oluşan hidrasyon 2-3 su molekülü ile sınırlı kalmaktadır (Malfoy ve dg., 2003).

Sondaj çamuru yapımında su ile karıştırılarak kullanılan bentonitin ana görevleri; (i) matkabın kestiği formasyon kırıntılarını yüzeye taşıyan sondaj akışkana viskozite sağlamak (ii) kuyu içerisinde sirkülasyon durduğunda formasyon kırıntıları askıda tutacak jel mukavemeti oluşturmak ve (iii) akışkanın su kaybı miktarını (filtrasyon hacmini) kontrol etmektir. Bentonitlerin sondaj çamurunda kullanılabilmesi için reolojik ve filtrasyon özelliklerinin API (American Petroleum Institute) standardında olması gereklidir. Sondaj çamurunun reolojik özelliklerini belirlemede kullanılan iki özellik; akma noktası (YP) ve plastik viskozitedir (PV). Akma noktası, statik haldeki çamuru hareket ettirmek için gerekli olan minimum gücü ifade etmektedir. Plastik viskozite ise çamurun içerdiği katı madde miktarını göstermektedir. API standardında istenen diğer bir özellik ise çamur keki oluşumu sırasındaki filtrasyon hacmi (FV) veya diğer bir deyişle su kaybı (süzüntü) miktarıdır. Bentonit ile hazırlanan sondaj çamurlarının API standardında istenen reolojik ve filtrasyon özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1 Sondaj Bentonitleri için API Standardı (API 13A, 2004)

Standard	Katkılı Bent.	OCMA	Katkısız Bent.
600 rpm (lb/100 ft ²) (minimum)	30	30	-
PV (mPa.s), (minimum)	-	-	10
YP/PV (lb/100 ft ² /cP) (maksimum)	3	6	1,5
FV, (cm ³) (maksimum)	15	16	12,5

Sondaj çamurlarının süzüntü hacmi API Filter Press ile ölçülürken YP ve PV özellikleri Fann viskometresi ile ölçülmektedir.

API standardında belirtilmeyen sondaj çamurunun diğer bir reolojik özelliği ise 0-10 dakika jel mukavemetidir. Jel mukavemeti de akma noktası gibi kil parçacıkları arasındaki elektriksel çekim gücünü ifade etmekte ve kuyu içerisinde sirkülasyon durduğunda çamurun kırıntıyı askıda tutma özelliğini göstermektedir. Çamurun jel mukavemeti de Fann viskometresi ile tespit edilebilmektedir.

Sodyum bentonit rezervleri, dünyada birkaç ülke (Amerika Birleşik Devletleri, Meksika ve Japonya) ile birlikte ülkemizde de Tokat-Reşadiye bulunmaktadır. Birçok ilimizde (Çankırı, Edirne, Balıkesir, Ordu, Kütahya, ve dg.) ise yüksek miktarlarda kalsiyum bentonit rezervleri mevcuttur (Akbulut, 1996). Dünyada sodyum bentonit rezervleri azalması ve artan fiyatlar nedeniyle Ca, Ca/Na ve düşük kaliteli bentonitler inorganik tuzlarla ve/veya polimerlerle kimyasal işleme tabi tutularak iyileştirilmekte ve sondaj sektöründe kullanılmaktadır. Bentonitin reolojik ve filtrasyon özelliklerini iyileştirmek için kullanılan polimerler genellikle suda çözünen nişasta, guar sakızı, zantam sakızı, ve karboksimetilsellüloz gibi doğal polimerlerdir. Polimerler moleküler yapısına göre viskozite yapıcı veya su kaybı önleyici olarak üretilmektedirler. Polimerler bentonitin içerisine öğütme aşamasında katılmaktadırlar.

Su içerisinde eklenen bentonit-polimer karışımı arasında oluşan mekanizma su kaybını azaltırken akışkanın viskozitesini artırmaktadır. Benchabane ve Bekkour (2006), Yalçın ve dg. (2002) ve Güngör ve Karaoğlu (2001) kil ile anyonik polimer arasında oluşan bağlantı mekanizmasını aşağıdaki şekilde açıklamışlardır. Polimerlerin negatif yükü ile kilin pozitif yüklü kenarları arasında oluşan elektriksel çekim gücü ile birlikte kilin negatif yüzeyi

ile polimerin negatif yükü arasında farklı şekillerde oluşmaktadır. Kilin negatif yüzeyi ile polimerin negatif yükü arasında oluşan bağlantı mekanizmaları üç şekilde açıklanmaktadır; (i) kilin yüzeyindeki hidroksil iyonu ile polimerin anyonik parçasının yer değişimi, (ii) kilin hidroksil parçası ile polimer zinciri arasında hidrojen bağın oluşumu ve (iii) elektrostatik güç ile iki değerlikli iyonların kil yüzeyi ile polimer arasında bir köprü vazifesi görmesidir.

Sondaj akışkanları içerisindeki polimerlerin çok fazla miktarda serbest su moleküllerini bünyesinde tutma özelliklerinin yanında akışkanın su kaybını önleme üzerine iki teorik model bulunmaktadır; (i) uzun zincirli polimerlerin her bir kil parçasına bağlanarak geçirimsiz çamur keki oluşturması ve (ii) serbest haldeki polimerlerin çamur keki içerisindeki boşlukları kapatarak filtrasyon kontrolünü sağlamasıdır (Audibert ve dg., 1999; Plank ve Hamberger, 1988).

Fakat polimerlerle kimyasal işleme tabii tutulan bentonitlerle hazırlanan sondaj çamurları, saf ve yüksek kaliteli Na-bentonit çamurları kadar iyi performans göstermezler. Sondaj ortamında bulunan bakteri aktivitesi, iki değerlikli katyonlar ve yüksek sıcaklık bentonitin performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Bol, 1986). Ayrıca bazı polimerlerle (örnek, CMC) iyileştirilmiş bentonitlerle hazırlanan çamurların, Fann Viskometre ile ölçümleri sonucu hesaplanan akma noktası (kil parçacıkları arasındaki elektriksel çekim gücü) değeri çamurun gerçek akma değerini göstermemektedir. Bu durumda killer arası çekim gücü az olduğundan özellikle düşük anülüs hızlarında çamurun kırıntı taşıma kabiliyeti önemli ölçüde düşmektedir. Ölçülen değer doğru olup olmadığını Fann Viskometre ile kontrol etmenin kolay bir yolu ölçülen 0 gel değerinin akma-noktası değeriyle karşılaştırılmasıdır (Kelly, 1983). İki değer arasında önemli bir fark yoksa ölçülen değer doğru akma değeridir. Şayet fark çok fazla

ise ölçülen değer yanlış akma-noktası değeridir. Tabi ki en doğru akma noktası değerinin hesabı, düşük shear rate karşı çizilen shear stres (consistency curve) eğrileridir. Bu nedenlerle bentoniti iyileştirmede kullanılan polimerlerin tipi çamurun performansını etkilediğinden bentoniti iyileştirmede kullanılacak polimerlerin seçimi önem kazanmaktadır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada BENSAN firmasından sağlanan Edirne bentoniti ve ÇANBENSAN firmasından sağlanan Çankırı bentoniti test çalışmalarında kullanılmış ve bu bentonitler sırasıyla E-Ben ve C-Ben olarak isimlendirilmiştir.

Ham bentonitlerin minerolojik analizi Ni filtre Cu-K α radyasyon kullanılarak Rigaku-Geigerflex X-Ray diffractometer ile ve kimyasal analizleri ise X-Ray spectrometer metodu kullanılarak yapılmıştır.

Ham bentonitleri sondaj çamuru için gerekli olan API standardına uygun hale getirmek için bu çalışmada viskozite yapıcı HV CMC (high-viscosity carboxymethyl cellulose) ve PAC R (polyanionic cellulose) belirli oranlarda kuru bentonite eklenmiştir. İki polimerde selülozdan türetilmiş polimerlerdir. HV CMC ve PAC R bakterilere ve kalsiyum kirlenmesine karşı dirençli olup 149 °C üzerindeki sıcaklıklarda bozulan anyonik tip polimerlerdir.

Ham E-Ben ve C-Ben 55 °C'de kurutulduktan sonra porselen değirmende 200 mesh altında öğütülmüştür. Katkılı bentonitler için gerekli olan API standardına ulaşmak için polimer belirli oranlarda bentonitlere karıştırılmış ve katkılı bentonitler için standarda göre hazırlanan sondaj çamurlarının reolojik özellikleri Fann Viskometresi ile filtrasyon özellikleri ise API Filter Press kullanılarak ölçülmüştür.

2.1 Sondaj Çamurunun Reolojik Özelliklerin Ölçüm ve Hesaplanma Yöntemi

Ölçüm için 6 hızlı (600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm) Fann viskometreler kullanılmıştır. 600 ve 300 rpm okumaları, görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve kopma noktası (YP) değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. API (2003) standardına göre hazırlanan Bentonit-polimer karışımı (22.5 gr) 350 ml su ile 20 dakika karıştırıldıktan sonra 16 saat bentonitin şişmesi için bekletilmiştir. Şişen çamur viskometre kabına boşaltılmış ve rotor 600 rpm de döndürülerek kadrandaki ibre sabit duruma geldiğinde 600 rpm okuması kaydedilmiştir. Viskometre 300 rpm hıza ayarlanarak 300 rpm okuması da kaydedilmiştir. Görünür viskozite (AV), akma noktası (YP) ve plastik viskozite (PV) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

Görünür Viskozite [cp], $AV = (600 \text{ rpm}) / 2$
Plastik Viskozite [cp], $PV = (600 \text{ rpm}) - (300 \text{ rpm})$
Akma Noktası [lb/100-ft²], $YP = (300 \text{ rpm}) - PV$

6 devirli döner viskometreler çamurun 0-10 dakika jel mukavemetinin belirlenmesinde de kullanılmıştır. Numune yüksek hızda (600 rpm) 10 saniye süreyle karıştırıldıktan sonra viskometre durdurulup çamur 10 saniye hareketsiz bekletilmiş. Viskometre 3 rpm de çalıştırılmış ve bu hızda ölçülen maksimum değer lbs/100ft² cinsinden 10 saniye jel mukavemeti olarak kayıt edilmiştir. Numune tekrar yüksek hızda (600 rpm) 10 saniye süreyle karıştırılmış ve viskometre durdurulup çamur 10 dakika hareketsiz bekletilmiştir. Viskometre 3 rpm de çalıştırılmış ve bu hızda ölçülen maksimum değer lbs/100ft² cinsinden 10 dakika jel mukavemeti olarak kayıt edilmiştir.

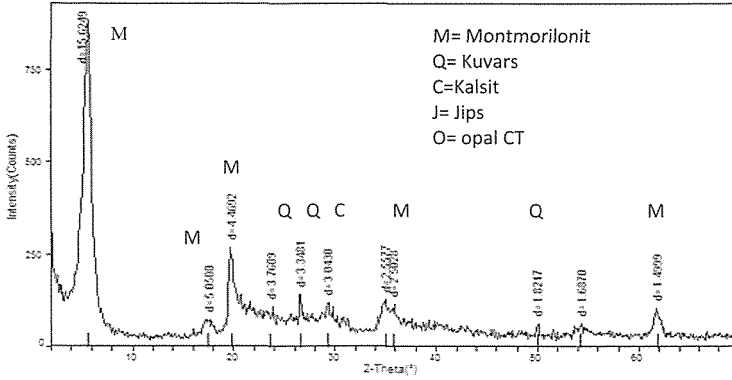
2.2 Filtrasyon Hacminin Ölçüm Yöntemi

Sondaj çamurlarının filtrasyon hacminin ölçümü API standardı 13A'ya (2004) uygun olarak yapılmış ve ölçümlerde API Filter Press aleti kullanılmıştır. Ölçü kabında Watman No.50 filtre kağıdı yerleştirilmiş ve üstten 1/2 inç kalacak şekilde çamurla doldurulmuştur. Filtrasyon suyunun toplanacağı tüp yerine konduktan sonra, çamur haznesine 100±5 psi basınç 30 dakika uygulanmıştır. İlk 7.5 dakikada toplanan süzüntü atılarak bu andan sonraki süzüntü kuru bir dereceli silindirde toplanmıştır. 22.5 dakikada toplanan sıvı miktarı iki ile çarpılarak 30 dakika süreye karşılık gelen filtrasyon hacim değeri bulunmuştur.

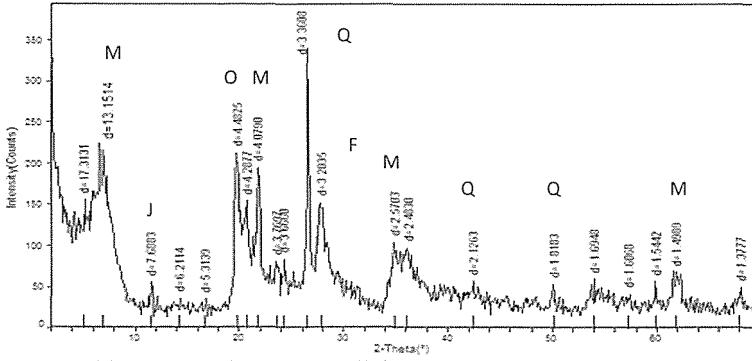
3 BENTONİTLERİN KAREKTERİZASYONU

Çalışmada kullanılan bentonitlerin karakterizasyonu için XRD, kimyasal analiz, metilen mavi testiyle katyon değiştirme kapasitesi (KDK), şişme, reoloji ve filtrasyon deneyleri yapılmıştır.

Bentonitlerin XRD analizleri iki numunenin de ana bileşenin montmorillonit olduğunu göstermiştir. Grim (1968) kil tabakaları arası mesafenin değişebilir katyonun Na⁺ iyonu olması durumunda 12,5 Å yakın, Ca⁺⁺ iyonu olması durumunda 15,5 Å yakın olduğunu belirtmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere kil tabakaları arası mesafenin 15,6 Å olması E-Ben'in kalsiyum montmorillonitten oluştuğunu ve az miktarda kuvars ve kalsit içerdiğini göstermektedir. C-Ben'in (Şekil 2) XRD analizinde ise kil tabakaları arası mesafenin 13,1 Å olması C-Ben'nin Na/Ca montmorillonitten oluştuğunu ve ayrıca içerisinde kuvars, opal CT, feldspar ve jips mineralleri içerdiğini göstermektedir.



Şekil 1 E-Ben'in XRD analizi



Şekil 2 C-Ben'in XRD analizi

Bentonitlerin kimyasal analizine göre Al_2O_3/SiO_2 oranlarının 1/3 ile 1/4 arasında olması (Kuru ve dg., 1995) bentonitlerin ana birleşenin montmorillonit olduğunu göstermektedir (Çizelge 2). Na_2O oranı C-

Ben (%2,26) için yüksek iken E-Ben (%0,23) için çok düşük bir değerdedir. E-Ben'in içerdiği (%3,04) CaO miktarı C-Ben'den (%1,54) daha fazladır.

Çizelge 2 Örneklerin kimyasal analizi

Analiz(%)	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	K. K.
E-Ben	0,23	5,21	16,91	60,25	0,03	0,42	3,04	0,18	<0,01	1,96	11,66
C-Ben	2,26	2,66	16,88	62,59	<0,01	0,88	1,54	0,72	<0,01	5,56	6,23

Bentonitlerin kation değişirme kapasiteleri (KDK) bentonitlerin montmorillonit içeriklerini belirlemede kullanılan temel göstergelerden biridir. 100% montmorilloniten oluşan bentonitlerin

KDK'leri saf montmorillonitinkine (70-130 meq/100 g clay) (Bol, 1986) eşittir. Çizelge 3 E-Ben'in (68 meq/100 g) C-Ben'den (52 meq/100 g) daha fazla montmorillonite yüzdesine sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3 Bentonit Numunelerinin Karekterizasyonu

Bentonit	Şişme (mL)	KDK (meq/100 g)	AV (cP)	FV (cm ³ /30 dak)	0-10 jel (lb/100 ft ²)
E-Ben	8,5	68	1,5	108	0,5-1
C-Ben	29	52	5,75	30	5-9
API	70	90	15,25	12,4	13-30

Bentonitleri sınıflandırmanın diğer bir yolu da su içerisindeki bentonitlerin şişme kapasitelerinin belirlenmesidir (Elzea ve Murray, 1994). Yüksek şişme kapasitesine (70 mL) sahip API bentonitinin değişebilir katyonun Na⁺ olduğunu göstermektedir. E-Ben'in (8,5 mL) C-Ben'den (29 mL) daha düşük şişme kapasitesi sahip olması E-Ben'in değişebilir katyonunun Ca⁺² iyonu olduğu göstermektedir. Çünkü Ca⁺² iyonları silika tabakaları arasından kolaylıkla ayırlamaz ve tabakalar arası oluşan hidrasyon 2-3 su molekülü ile sınırlı kaldığından şişme kapasiteleri çok düşüktür (Malfoy ve dg., 2003).

Ayrıca Çizelge 3'de E-Ben ve C-Ben'in reolojik ve filtrasyon özelliklerinin API standardında olmadıkları görülmektedir. Örneğin standarda göre bentonitler için filtrasyon hacminin 15 cm³/30 dak (Çizelge 1) olması gerekirken E-Ben'in için 108 ve C-Ben'in için 30 cm³/30 dak.'dır. Ham E-Ben ve C-Ben'in reolojik ve filtrasyon özelliklerinin API standartlarına uygun olmaması nedeniyle; bu bentonitlerin sondaj çamuru olarak kullanılabilmesi için inorganik tuz ve/veya polimer ile iyileştirilmesi gerektiği görülmektedir.

4 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Na-Bentonitleri, Ca-bentonitlerinden daha iyi reolojik (plastik viskozite, akma noktası ve jel mukavemeti) ve filtrasyon (su kaybı) özelliği gösterdiğinden dolayı sondaj sektöründe sondaj çamuru katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Bunun nedeni killerin yüzeylerindeki negatif yükü dengeleyen Na⁺ iyonunun hidrasyon çapının

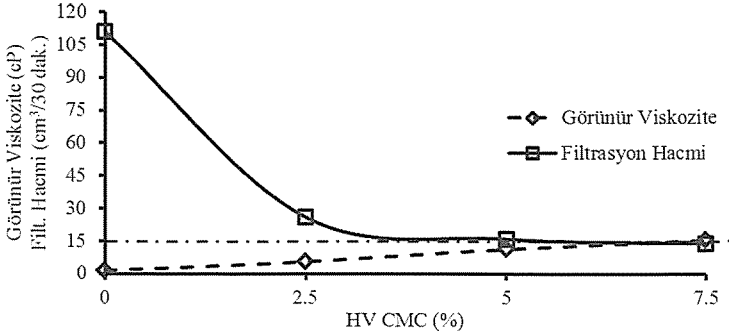
Ca⁺⁺ iyonundan çok daha fazla olmasıdır. Fakat dünyada Na-bentonitlerinin rezervlerinin azalması ve artan fiyatlar nedeniyle Ca-bentonitler polimerlerle iyileştirilerek sondaj çamuru yapımında kullanılmaktadırlar.

Çizelge 3'den görüleceği üzere ülkemizde bulunan Edirne ve Çankırı bentonitlerinin reolojik ve filtrasyon özellikleri API standardını sağlamadığından, bu çalışmada bentonitlere anyonik polimerler ilave edilerek iyileştirilmiş ve istenen bentonit standardına getirilmeye çalışılmıştır.

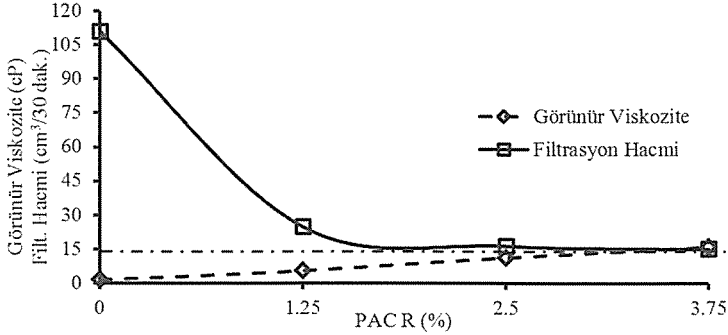
Ham E-Ben'in görünür viskozitesinin (1,5 cP) ve filtrasyon hacminin (111 cm³/30 dak) API standardına uygun hale getirmek için HV CMC ve PAC R bentonite belirli oranlarda ilave edilmiştir. Şekil 3 ve 4'den görüleceği üzere bentonite polimer eklenmesi görünür viskozitede artışa filtrasyon hacminde ise bir düşüğe neden olmuştur. Polimerin düşük konsantrasyonlarında filtrasyon hacminin hızlı bir şekilde düşmesi polimerin kil parçacıklarına hızlı bir şekilde bağlandığını göstermektedir. Polimerin killere bağlanma şekli anyonik polimerin killerin pozitif kenar yüklerine elektriksel çekim kuvveti uygulamasıyla ile birlikte kilin negatif yüzeyi ile polimerin negatif yükü arasında oluşmaktadır. Anyonik polimer ile negatif kil yüzeyi arasındaki bağlantı üç şekilde olabilmektedir; (1) kilin yüzeyindeki hidroksil grup ile polimerin anyonik parçasının yer değiştirmesi, (2) kil yüzeyindeki hidroksil grup ile polimer zinciri arasında hidrojen bağın oluşması, (3) iki değerlikli katyonların kil yüzeyi ile polimer

arasında bir köprü vazifesi görmesi (Benchabane ve Bekkour, 2006; Yalçın vd., 2002; Güngör ve Karaoğlan, 2001). Süzüntü hacmindeki azalmanın nedeni ise polimerlerin serbest su moleküllerini tutması yanında killere bağlanan polimerlerin

geçirimsiz çamur keki oluşturması ve sıvı içerisinde kalan serbest polimerlerin çamur kekindeki boşlukları doldurması olarak düşünülmektedir (Audibert ve dg., 1999; Plank ve Hamberger, 1988).



Şekil 3 HV CMC Konsantrasyonunun E-Ben'in Görünür Viskozite ve Filtrasyon Hacmine Etkisi



Şekil 4 PAC R Konsantrasyonunun E-Ben'in Görünür Viskozite ve Filtrasyon Hacmine Etkisi

Şekil 5 ve 6'de polimerler eklenmesiyle killin reolojik özelliklerindeki değişim plastik viskozite ve akma noktası değerleri ile de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere HV CMC ve PAC R konsantrasyonu artarken akma noktası değeri plastik viskoziteyle orantılı olarak yükselmektedir. YP/PV oranı %7,5 CMC için 0,7 cP/lb/100 ft², %3,75 PAC R için 1,0 cP/lb/100 ft²'dir.

Fakat bu ölçülen değerler doğru akma değerleri olmayabilir. Kelly (1983), CMC ile kimyasal işleme tabii tutulan sondaj çamurlarında hesaplanan akma noktasının değerinin gerçek değeri göstermediğini ve dolayısıyla düşük antülüs hızlarında çamurun kırıntı taşıma kabiliyetinin önemli ölçüde düşürdüğünü belirtmiştir. Akma noktası değerlerinin doğruluğunu öğrenmek için

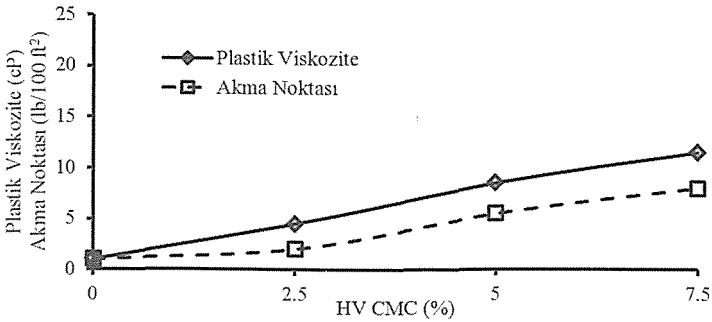
Yapılan jel mukavemetini ölçme testlerinde HV CMC ve PAC R eklenen E-Ben'lerde 0-10 dakika jel mukavemetinin artmadığı (Şekil 7 ve 8) görülmüştür. API standartlarında da sondaj bentonitlerinin jel mukavemeti için istenen bir değer yoktur. Kelly'e göre akma noktası değeri ile 0 dakika jel mukavemeti arasındaki fark nedeniyle hesaplanan akma değeri yanlışdır. Dolayısıyla düşük jel mukavemetine sahip sondaj çamurları düşük anülüs hızlarında (veya kuyu içerisinde sirkülasyon durduğunda) kırıntıları askıda tutamadığından sondaj takım dizisinin sıkışmasına neden olabilmektedirler.

API standardına göre minimum görünür viskozite (AV=15 cP) ve maksimum filtrasyon hacmi (FV=15 cm³/30 dak.) değeri, E-Ben'e 7,5% CMC (AV:15,5 FV:14 cm³/30 dak.) veya 3,75% PAC R (AV:16 cP, FV:15 cm³/30 dak.) eklenmesiyle elde edilmiştir.

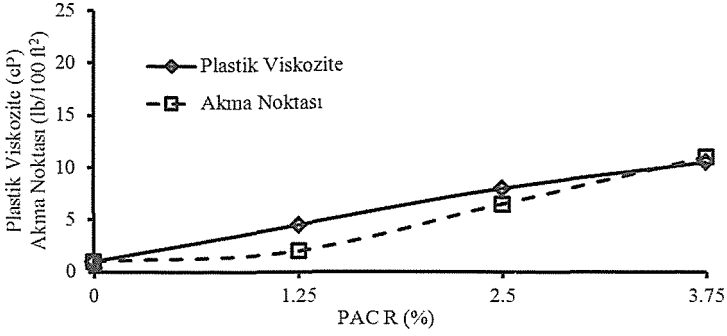
Kullanılan polimer miktarlarının sondaj akışkanına etkisini görmek için API prosedürüne göre sadece polimerlerle yapılan teste; HV CMC için AV:12.75 cP, FV:28 cm³/30 dak. Hesaplanmış ve PAC R için ise

AV:17 cP iken filtrasyon hacmi ölçülemeyecek kadar yüksek olduğu görülmüştür. Görüleceği üzere viskozite yapıcı polimerler (HV CMC ve PAC R) su ile karıştırıldığında akışkanın viskozitesinde artışa neden olurken süzüntü hacimlerini yeteri kadar düşürememektedirler. Fakat polimerler bentonitle birlikte kullanıldığında süzüntü miktarını da önemli ölçüde azaltmaktadırlar.

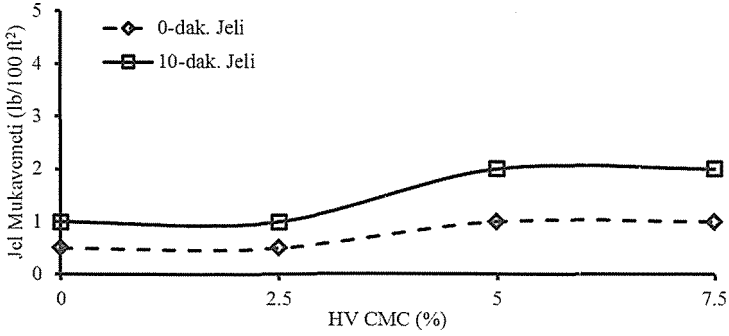
Edirne bentonitin iyileştirmesinde kullanılan polimer miktarlarının çok fazla olması sondaj bentonitinin maliyetini arttıracaktır. Bu nedenle öncelikle ham kalsiyum bentonitinin inorganik tuzlarla (Örnek, NaCO₃) aktive edilerek Na-bentonitlerine dönüştürülmesi (iyon değişimiyle Ca²⁺ elementinin Na⁺ elementi ile yer değiştirmesi) bentonitin daha iyi reolojik ve filtrasyon özelliklerine sahip olmasını sağlayacaktır (Toka, 2008). Dolayısıyla daha iyi reolojik ve filtrasyon özelliklerine sahip olan bentonite eklenecek polimer miktarı daha az olacağından sondaj bentonitinin maliyetini de olumlu etkileyecektir.



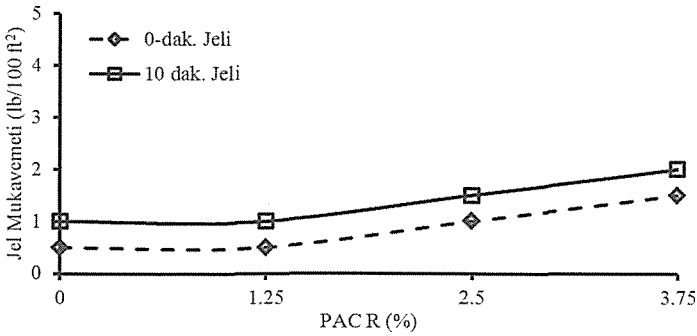
Şekil 5 HV CMC Konsantrasyonunun E-Ben'in Akma Noktası ve Plastik Viskozite Üzerine Etkisi



Şekil 6 PAC R Konsantrasyonunun E-Ben'in Akma Noktası ve Plastik Viskozite Üzerine Etkisi



Şekil 7 HV CMC Konsantrasyonunun E-Ben'in Jel Mukavemetine Etkisi



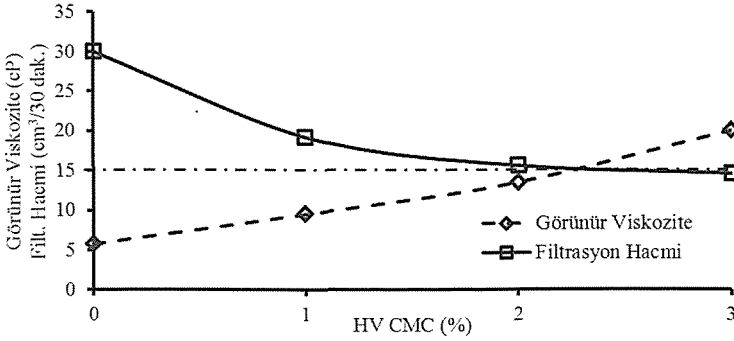
Şekil 8 PAC R Konsantrasyonunun E-Ben'in Jel Mukavemetine Etkisi

C-Ben'in görünür viskozitesi (6,75 cP) ve filtrasyon hacmi (30 cm³/30 dak), API standardının altında olduğu için ham bentonit örneğine belli oranlarda HV CMC ve PAC R eklenerek iyileştirilmiştir.

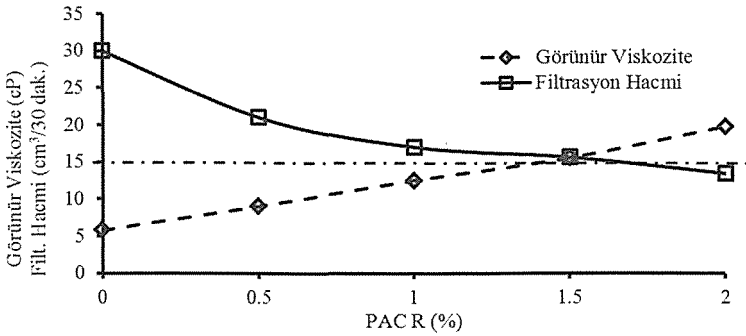
Sulu ortamdaki HV CMC ve PAC R'in bentonit parçacıklarıyla etkileşimi nedeniyle görünür viskozitede artma filtrasyon hacminde düşme (Şekil 9 ve 10) görülmüştür. Şekil 11 ve 12'den görüleceği

üzere plastik viskozite ve akma noktası değerlerinde de bir yükselme gözlenmiştir. İyileştirilen bentonitler hesaplanan YP/PV oranları (CMC için 1,6 cP/100 ft² ve PAC R için 1,8 cP/100 ft²) API bentonit standardı (< 3 cP/100 ft²) içerisinde.

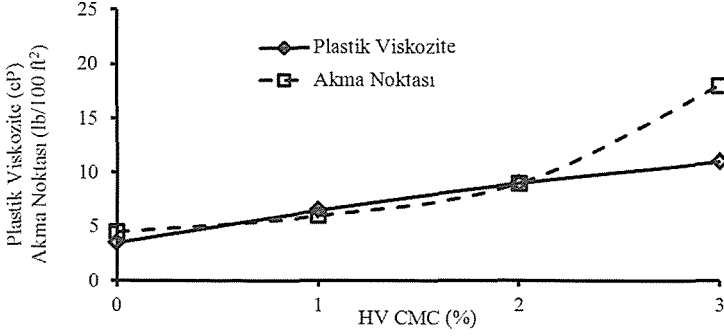
C-Ben'e polimer ilave edildiğinde 10 dak. jel mukavemetinin değerlerinde -E-Ben ile karşılaştırıldığında- daha yüksek bir artış gözlenmiştir (Şekil 13 ve 14).



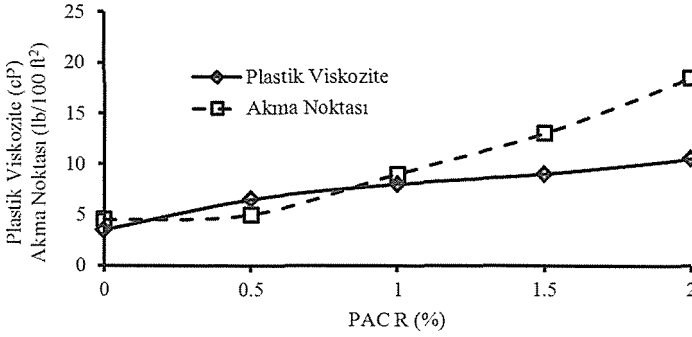
Şekil 9 HV CMC Konsantrasyonunun C-Ben'in Görünür Viskozite ve Filtrasyon Hacmine Etkisi



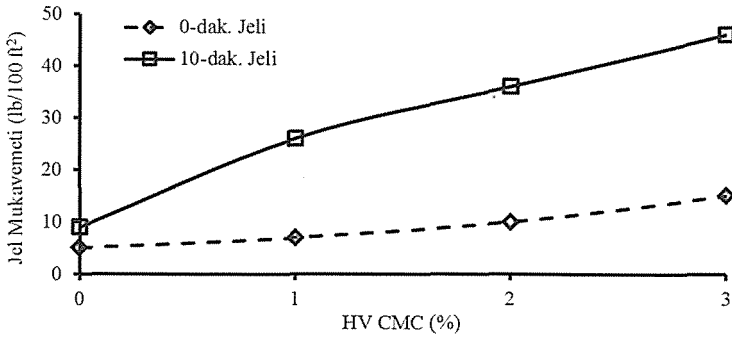
Şekil 10 PAC R Konsantrasyonunun C-Ben'in Görünür Viskozite ve Filtrasyon Hacmine Etkisi



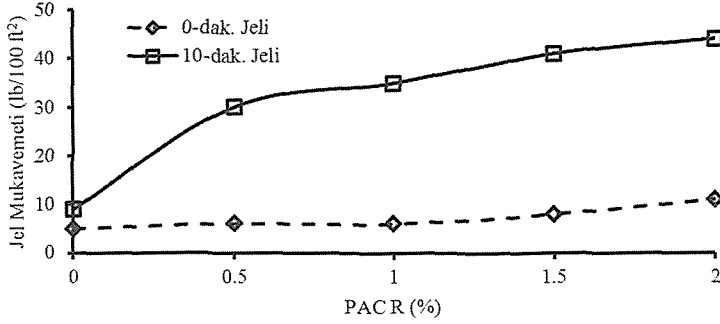
Şekil 11 HV CMC Konsantrasyonunun C-Ben'in Akma Noktası ve Plastik Viskozite Üzerine Etkisi



Şekil 12 PAC R Konsantrasyonunun C-Ben'in Akma Noktası ve Plastik Viskozite Üzerine Etkisi



Şekil 13 HV CMC Konsantrasyonunun C-Ben'in Jel Mukavemetine Etkisi



Şekil 14 PAC R Konsantrasyonunun C-Ben'in Jel Mukavemetine Etkisi

5 SONUÇLAR

Ham E-Ben %7,5 HV CMC veya %3,75 PAC R ile API standardını sağlarken ham C-Ben %3 HV CMC veya %2 PAC R ile API standardını sağlamıştır.

E-Ben'e eklenen HV CMC ve PAC R'in miktarının artışıyla sondaj çamurun jel mukavemetinde bir artış gözlenmemesi; düşük anülüs hızlarında akışkanın kırıntıları askıda tutma özelliğinin olmadığını ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A., 1996. *Bentonit*, MTA Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi No:32.
- Audibert, A., Argillier, J.F., Ladva, H.K.J. and Way, P.W., 1999. *Role of Polymers on Formation Damage*, SPE 54767.
- API Specification 13A (SPEC 13A), 2004. *Specification for Drilling Fluid Materials*, American Petroleum Institute, July.
- Benchabane, A., and Bekkour, K., 2006. *Effect of Anionic Additives on the Rheological Behaviour of Aqueous Calcium Montmorillonite Suspensions*, Rheol Acta, 45, pp. 425-434.
- Bol, M. G., 1986. *Bentonite Quality and Quality Evaluation Methods*, SPE, pp. 288-296.
- Elzea, J. and Murray, H.H., 1994. *Bentonite*, Industrial Minerals and Rocks.

- Grim, R. E., 1968. *Clay Mineralogy*, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.
- Güngör, N. and Karaoğlu, S., 2001. *Interactions of polyacrylamide polymer with bentonite in aqueous systems*, Materials Letter, pp. 168-175.
- Kelly, J., 1983. *Drilling Fluids Selection, Performance and Quality Control*, SPE 9988.
- Kuru, E., Yayla, M., and Demirci, Ş., 1995. *Effect of Bentonite Composition on the Rheological Properties of Water-Based Drilling Fluids*, VII. National Clay Symposium, Ankara.
- Luckham, P. F. and Rossi S., 1999. *The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions*, Advances in Colloid and Interface Science 82, pp.43-92.
- Malfroy, C., Pantet, A., Monnet, P. and Right, D., 2003. *Effects of the Nature of the Exchangeable Cation and Clay Concentration on the Rheological Properties of Smectite Suspension*, Clays and Clay Minerals Vol No. 51.
- Plank, J.P. and Hamberger, J.V., 1988. *Field Experience with a Novel Calcium-Tolerant Fluid-Loss Additive for Drilling Muds*, SPE 18372, pp. 351-359.
- Toka B., 2008. *Use of Borates as an Activating Agent for Drilling mud bentonites*, Ph.D Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University.
- Yalçın, T., Alemdar, A., Ece I., Güngör N. and Coban F., 2002. *By particle interactions and rheological properties of bentonites +ALS suspensions*, Materials Letters 53, pp. 211-215.

NaOH ile Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufu Çimentosunun Sülfürce Zengin Atıklardan Hazırlanan Macun Dolguda Kullanılması ve Durabilite Değerlendirmeleri

The Utilization of NaOH-Activated Blast Furnace Slag Cement in Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings and Durability Assessments

F. Cihangir, B. Erçıkıdı, A. Kesimal, H. Deveci

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

A. Turan

Koza Altın İşletmeleri, Gümüşhane

ÖZET Macun dolgu, zenginleştirme sonrası filtrelenmiş maden atıkları, su ve çimento gibi bağlayıcı maddelerin karıştırılmasından oluşan %75-85 katı oranına sahip, macun kıvamında bir malzemedir. Atık malzeme, pirit gibi sülfürlü mineraller içerebilmektedir. Yeraltında dolgu ortamında pirit, su ve hava varlığında oksitlenerek macun dolgunun stabilitesini olumsuz etkileyen asit (pH) ve sülfat (SO_4^{2-}) ürünleri oluşturabilmektedir. Kalsiyumca zengin çimentoların hidrasyonu sonucu oluşan bağlayıcı ürünlerin sülfat ve asit etkilerine karşı dayanıksız olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, normal portland çimentosu (NPÇ) ve sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanılarak (AYFC-SH) %5-%6 ve %7 bağlayıcı oranlarında 14-360 günlük kür sürelerinde macun dolgu numuneleri hazırlanarak tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmada çimento ile üretilen dolgu numunelerinde dayanım kayıplarının meydana geldiği, ancak AYFC-SH ile hazırlanan numunelerde dayanım kaybı meydana gelmediği görülmüştür. 360 günlük kür süreleri sonunda %5-%6 ve %7 bağlayıcı oranlarında AYFC-SH ile hazırlanan numuneler NPÇ ile hazırlanan numunelerden sırası ile 5.08, 2.74 ve 2.41 kat daha yüksek dayanım sonuçları vermiştir. Çalışma boyunca yapılan pH ve sülfat analizleri ile dayanım sonuçları durabilite açısından irdelenmiştir.

ABSTRACT Paste backfill (PB) is an engineered mixture of filtered mill tailings, water and binder such as cement. Paste backfill contains 75% to 85% solids by weight having a desired consistency as paste. Mill tailings can contain sulphide minerals such as pyrite. Under curing conditions underground, in the presence of air and moisture, the oxidation of pyrite may occur lead to the formation of acid (pH) and sulphate (SO_4^{2-}), which affect the stability of PB. Calcium rich binders such as ordinary Portland cement (OPC) is known to be particularly prone to acid and sulphate attack. In this study, PB samples were prepared at 5-7 wt.% binder dosages from OPC and alkali activated blast furnace slag with sodium hydroxide (AAS-SH), then unconfined compressive strength (UCS) tests were performed on these samples after 14-to-360 days of curing periods. A strength loss have been observed in the samples prepared from OPC. However, those prepared from AAS-SH were found to have produced durable samples over 360 days of curing. PB samples with AAS-SH binder produced approximately 5.04, 2.75 ve 2.40 times higher 360-day strengths than those with OPC at binder dosages of 5-7 wt.%, respectively. Through the study, the UCS values were examined in terms of durability by acid and sulphate monitoring.

1 GİRİŞ

Macun dolgu, maden tesis atıkları, hidrolik bağlayıcı ve su karışımından oluşan macun kıvamında bir malzemedir. Karışım suyu olarak tesis suyu, şebeke suyu, akarsu yada göl suyu kullanılmaktadır. Dolguda kullanılan atık ise genel itibari ile -100 mikron boyutunda olup, pirit gibi sülfürlü mineraller içerebilmektedir. Tesis atıkları genellikle filtrasyon haricinde herhangi bir işleme tabi tutulmamaktadır. Bağlayıcı olarak yaygın şekilde normal Portland çimentosu yada kompoze çimentolar kullanılmaktadır.

Macun dolguda kullanılan normal Portland çimentolar yüksek CaO ve C₃A içeriği nedeniyle asit ve sülfatlı ortamlara karşı dayanıksızdır. Dolgu ortamında sülfürlü minerallerin (pirit vb.) oksidasyonu nedeniyle sülfat (SO₄²⁻) iyonları ve asit (H⁺;H₂SO₄) ürünleri oluşmaktadır. Asit, ortamdaki bağlayıcı ürünlerin (C-S-H jeli) ayrışmasına (pH<9) ve bağlayıcılık özelliklerini kaybetmesine sebep olmaktadır. Sülfat ise hidrasyon ürünleri olan portlandit (Ca(OH)₂) ve trikalsiyum alüminatla (C₃A) reaksiyona girerek genleşme özelliğine sahip alçıtaşı ve etrenjit mineralleri oluşturmaktadır. Bu mineraller dolgu içerisinde içsel gerilme çatlaklarına yol açarak dayanım ve durabilite problemlerine neden olmaktadır (Kesimal vd., 2004; Fall ve Benzaazoua, 2004; Tariq ve Nehdi, 2007; Erçikdi vd., 2009a). Son yıllarda gerek asit ve sülfat etkileri nedeni ile görülen dayanım ve durabilite kayıplarını engellemeye, gerekse çimento maliyetlerini azaltmak için mineral katkı maddelerinin macun dolguda çimentoya katkı olarak kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar önemli derecede artmıştır (Benzaazoua vd., 1999; Belem vd., 2000; Erçikdi vd., 2009b; Erçikdi vd., 2010a).

Yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb. yapay puzolanların alkali kimyasallar ile aktifleştirilerek çimento yerine alternatif bağlayıcı olarak kullanılabilirlikleri üzerine yapılan çalışmalar da son yıllarda oldukça artmıştır (Jimenez vd., 1999; Yang vd., 2007; Torgal vd., 2008; Cihangir vd., 2009). Aktifleştirilmiş bağlayıcıların çimentoya nazaran çok daha yüksek (2-3 kat) dayanım

sonuçları verdiği (Zivika, 2007; Atış vd., 2009), sülfat ve asit etkilerine karşı daha dayanıklı olduğu (Bakharev vd., 2002-2003) yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Yapılan literatür taramalarında, macun dolguda ve madencilik uygulamalarında aktifleştirilmiş yeni nesil bağlayıcıların çimento yerine kullanımına ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Macun dolguda durabilite, uygulamada genel olarak mekanik dayanımla değerlendirilmektedir. Kısa dönemde (28 günlük kür süresi) dolgunun kendi stabilitesini sağlayabilmesi için 0.7 MPa, uzun dönemde (>90 günlük kür süresi) ise 1.0 MPa (Stone, 1993) dayanıma sahip olması gerekmektedir. Maden işletmecileri uygulamada dolgunun kendi stabilitesini sağlayabilmesi için 28 günlük dayanım değeri olarak 0.5 MPa'ın yeterli olduğunu ifade etmektedirler. Ancak yeraltı madencilik çalışmaları göz önünde bulundurularak, emniyet katsayısı 2 ve 28 günlük kür süresinde eşik dayanım değeri de 1 MPa olarak almaktadırlar.

Bu çalışmada, yaklaşık %76 oranında pirit içeren atıklardan hazırlanan macun dolguda sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu, Portland çimentosu yerine bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Çalışma ile uzun dönemde görülen asit ve sülfatın zararlı etkilerinin önüne geçilerek dayanım ve duraylılık problemleri engellenmiş ve duraylı dolgu üretilmiştir. Çalışmada elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri, asit ve sülfat analizleri, testler sırasında yapılan fiziksel gözlemler ve eşik dayanım değerleri dikkate alınarak durabilite değerlendirmeleri yapılmıştır.

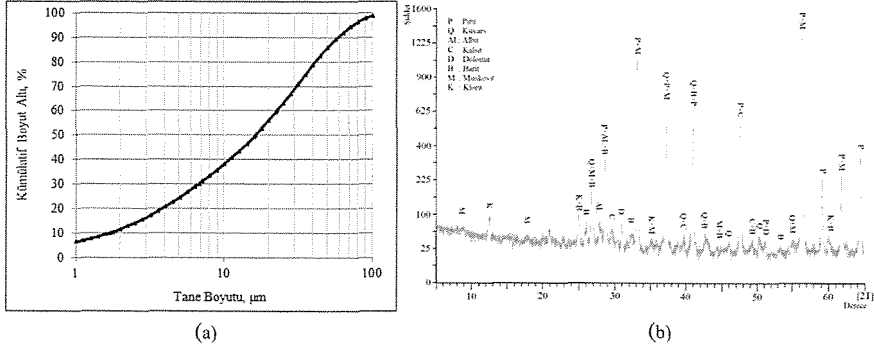
2 MALZEME VE METOD

2.1 Atık malzeme, karışım suyu ve bağlayıcı maddeler

Bu çalışmada sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufunun çimentoya alternatif olarak kullanımına yönelik normal maden tesis atıklarından macun dolgu örnekleri hazırlanmıştır. Dolgunun yeraltına borularla taşınabilmesi için uygun kıvamda olmasını ve sürtünme

nedeniyle oluşabilecek aşınma problemlerini önlemek için dolgu bünyesinde kolloidal su tutmayı sağlayacak 20 μm altı malzemenin (atık bünyesinde) ağırlıkça en az %15 olması gerekmektedir (Brackebusch, 1994).

Malvern Mastersizer ile atıklar üzerinde gerçekleştirilen tane boyut dağılımı analizi grafiğinden (Şek. 1a) 20 μm altı malzeme miktarının ağırlıkça %55.95 olduğu görülmektedir



Şekil 1. Atık malzemenin tane boyut dağılımı grafiği (a) ve mineralojik analizi (b)

Atık malzeme bu haliyle orta boyutlu atık (malzemenin ağırlıkça %35-60'ı < 20 μm) sınıfına girmektedir (Landriault, 1995). Ancak, atık bu hali ile ince boyutlu atık sınıfına oldukça yakındır. Atık malzemenin üniformluk katsayısı 13.41 (C_u) ve eğrilik katsayısı 1.18 (C_c) değerleri (Çiz. 1) baz alındığında, malzemenin iyi bir tane boyut

dağılımına sahip olduğu söylenebilir. Atık malzemenin kimyasal analizi (Çizelge 1) ve X-ışınları difraktometresi ile yapılan mineralojik analizinden (Şek. 1b) baskın mineralin pirit olduğu görülmektedir. Yaklaşık %76 oranında pirit içermesi nedeniyle atık malzemenin sülfür içeriği oldukça yüksektir.

Çizelge 1. Atık malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Atık malzeme kimyasal bileşim	Değer (%)	Fiziksel özellikler	Değer
SiO ₂	11.03	Özgül ağırlık	4.13
Al ₂ O ₃	4.11	Özgül yüzey (cm ² /g)	3940
Fe ₂ O ₃	50.62	D ₁₀	1.70
CaO	1.26	D ₃₀	6.76
MgO	0.78	D ₅₀	16.25
TiO ₂	0.12	D ₆₀	22.83
Cr ₂ O ₃	0.01	D ₉₀	58.40
Na ₂ O	0.18	C _u	13.41
K ₂ O	0.41	C _c	1.18
MnO	0.06		
P ₂ O ₅	<0.01		
Kızdırma Kaybı	27.40		
S ⁻ (Sülfid Kükürdü)	40.70		
Toplam Kükürt	42.60		

2.2 Karışım suyu

Macun dolgu örneklerinin hazırlanmasında kullanılan karışım suyu; atığın alındığı tesiste yapılan filtrasyondan sonra atık bünyesinde kalan su ile laboratuarda kullanılan musluk suyundan oluşmaktadır. Atık bünye suyu, dizayna bağlı olarak bir karışım için toplam su miktarının ortalama %65-80'ini oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında karışım ortamına bağlayıcı ilavesinden önce, uygun kıvam için atık bünyesindeki sülfat içeriği ortalama 1380 ppm (mg/L) olarak ölçülmüştür. DIN 4030 standardına göre karışım suyunun agresiflik derecesi, beton ve dolgu için sülfat içeriği bakımından "yüksek"tir.

2.3 Bağlayıcı maddeler

Bu çalışmada bağlayıcı olarak, normal Portland çimentosu (NPC) ve sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanılmış (AYFC-SH), macun dolgu örneklerinin kısa ve uzun dönem performans özellikleri araştırılmıştır. Yüksek fırın cürufu bir demir çelik fabrikasından temin edilmiştir. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 2'de verilmiştir. Cürufun aktivasyonunda Merck Kimyasalları'ndan temin edilen %99.5 saflıkta granül sodyum hidroksit kullanılmıştır. Aktifleştirme işlemlerinde sodyum oksit (Na_2O) oranı %8'e (ağırlıkça Na_2O /cüruf) ayarlanmıştır. NaOH tanecikleri suda çözüldükten sonra karışım ortamına ilave edilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan bağlayıcı maddelerin kimyasal, fiziksel, mineralojik ve puzolanik özellikleri

Kimyasal bileşim	NPC (%)	YFC (%)	Fiziksel özellikler	NPC	YFC
SiO_2	19.75	39.75	Özgül ağırlık	3.12	2.89
Al_2O_3	5.26	10.91	Özgül yüzey (cm^2/g)	4010	4600
Fe_2O_3	2.92	0.80	90 μm elek bakiyesi (%)	-	-
CaO	64.35	38.02	45 μm elek bakiyesi (%)	2.93	4.15
MgO	1.87	5.92	32 μm elek bakiyesi (%)	8.31	9.6
TiO_2	0.23	0.51	Mineralojik bileşim		
Cr_2O_3	0.02	0.01	C_3S	59.62	-
Na_2O	0.36	0.32	C_2S	11.71	-
K_2O	0.91	1.19	C_3A	9.00	-
MnO	0.07	1.54	C_4AF	8.89	-
P_2O_5	0.12	<0.01	Puzolanik indeks (%)		
Serbest Kireç	1.12	-	7 gün	-	60.3
Kızdırma Kaybı	3.90	0.20	28 gün	-	86.0
SO_3	2.84	1.62			

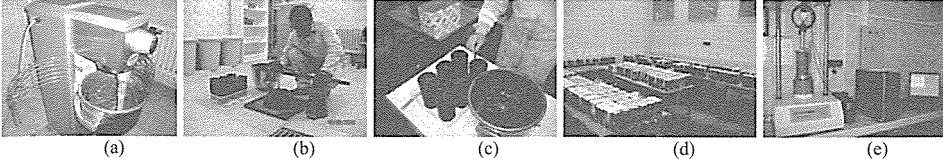
2.4 Örneklerin hazırlanması ve dayanım testlerinin yapılması

Bu çalışmaya yönelik, ortalama disk filtre çıkışı %84 katı oranına sahip cevher atığı, karışım suyu ve bağlayıcı malzemeler kullanılarak mikser (Univex SRMF20 Stand Model) ile karıştırılmıştır (Şek. 2a). Ortalama 7.5 inç (19 cm) slump kıvamında (Şek. 2b) toplam 108 adet macun dolgu

örneği, çapı 10 cm, yüksekliği 20 cm olan drenajlı plastik silindir numune kalıplara dökülerek hazırlanmıştır (Şek. 2c). Kür işlemi yaklaşık %85 nemli ortamda, 20°C'de gerçekleştirilmiştir (Şek. 2d). Bağlayıcı oranı toplam katının ağırlıkça %5, %6 ve %7'sini oluşturmaktadır. Aktifleştirilmiş bağlayıcı için sodyum oksit dozajı (Na_2O) %8'dir. Aktifleştirilmiş bağlayıcılarda katı kısım; cüruf ve sodyum hidroksitten oluşmaktadır.

Macun dolgu örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı testleri, 50 kN yüklemeye kapasitesine sahip olan bilgisayar kontrollü

basınç ve deformasyon ölçer ünitesinde 0.5 mm/dk sabit yüklemeye hızında ASTM C 39 standardında gerçekleştirilmiştir (Şek. 2e).



Şekil 2. Dolgu numunelerinin hazırlanması ve tek eksenli basınç dayanım testi

Örneklerinin boy/çap oranı 2 olup, örneklerin alt ve üst yüzeyleri deney öncesinde düzeltilmiştir. Her bir kür süresinde üçer adet örnek test edilmiş, elde edilen değerlerin ortalaması alınarak tek eksenli basınç dayanımları hesaplanmıştır. Bu çalışmada dolgu dizaynları için; kısa dönemde 0.7 MPa ve uzun dönemde 1.0 MPa dayanım değerleri eşik değerler olarak esas alınmıştır.

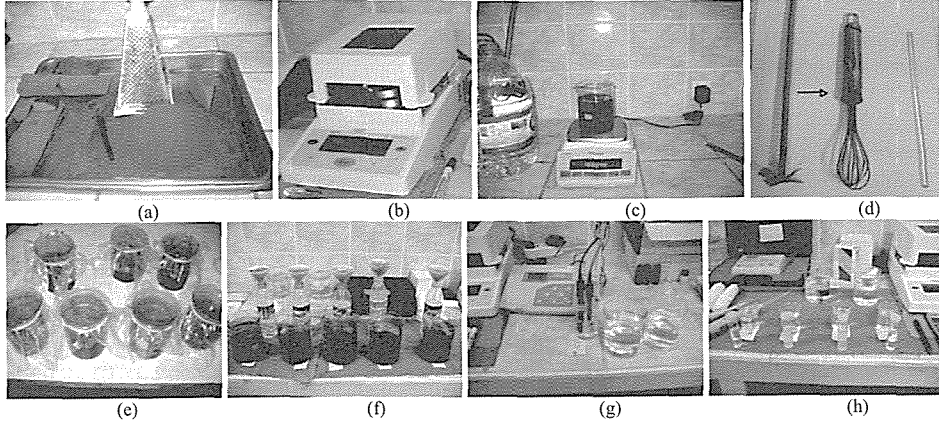
2.5 pH ve SO_4^{2-} analizleri

Yeraltında kür koşullarında macun dolgu bünyesindeki pirit, hava ve su varlığında oksidasyona uğrayarak dolgu stabilitesini olumsuz etkileyen asit (pH) ve sülfat (SO_4^{2-}) oluşumuna yol açmaktadır. Sülfat iyonları hidratasyon ürünleri ile reaksiyona girerek etrenjit ve jips gibi genleşme özelliğine sahip mineraller oluşturmaktadır. Asit ise ortamdaki bağlayıcı jellerin bozunmasına ve bağlayıcılık özelliğini kaybetmelerine sebep olmaktadır. Bu çalışmada tek eksenli basınç dayanımı testlerini takiben, bütün kür sürelerinde numunelerin pH ve sülfat analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan analiz yönteminin geliştirilmesinde (dolgu bünye suyundan asit ve serbest sülfat içeriğinin belirlenmesi) ASTM C 265-08, ASTM C 1580-09, ASTM D 4972-01 ve ASTM D 4980-89 standartlarından faydalanılmış ve macun dolguya uyarlanmıştır.

Her bir kür süresinde örneklerin basınç dayanımları belirlendikten sonra, kırılmış numunelerden alınan temsili örnekler, paslanmaz çelikten yapılmış mutfak rendesi ile rendelenmiştir (Şek. 3a). Daha sonra rendelenen numuneler 2.36 mm'lik elekten

elenecek poşetlere konulmak suretiyle hava ile temasları kesilmiştir. Bu numunelerden bir miktar temsili örnek ayrılarak, nem tayin cihazında (Sartorius MA35) nem içerikleri belirlenmiştir (Şek. 3b). Nem içeriğine bağlı olarak örneklerin katı ve sıvı miktarları (orijinal dolgu bünye suyu) belirlenmiş ve numuneler, katı/sıvı oranı ağırlıkça 1/1 olacak (500 gr katı) şekilde 800 ml'lik beherlere konularak üzerine saf su ilave edilmiştir (Şek. 3c). Örnekler daha sonra paslanmaz çelikten yapılmış bir el mikseri ile 5 dk. karıştırılmıştır (Şek. 3d).

Karıştırma işleminden hemen sonra beherin üzeri plastik bir örtü ve paketleme lastiği yardımı ile kapatılmış ve hava ile teması kesilmiştir (Şek. 3e). Bir saatlik bekleme süresi sonunda, karışımın üst kısmında biriken sıvı kısım bir huni ve filtre yardımı ile (Whatman No 1) süzülerek ayrılmıştır (Şek. 3f) ve pH'sı pH metre (Oakton pH/Con 510 pH metre, WD-35805-04; cam gövde, tekrar doldurulabilir pH probu) ile belirlenmiştir (Şek. 3g). Eş zamanlı olarak, sülfat içeriklerinin belirlenmesi için süzülen sıvıdan yeterli miktarda örnekler alınarak uygun oranlarda saf su ile seyreltilmiş ve 10 mL'lik tüplere (iki adet/paralel) konulmuştur. Daha sonra $BaCl_2$ tabletleri eklenerek karıştırma çubukları ile 2. dk karıştırılmıştır. Yaklaşık 5 dk. bekletildikten sonra tüpler tekrar karıştırılmış ve fotometre (Palintest photometer 5000) ile sülfat iyonu konsantrasyonu "ppm (mg/L)" olarak belirlenmiştir (Şek. 3h). Paralel örneklerin ortalaması alınarak, sonuçlarda sunulmuştur.



Şekil 3. Dolgu numunelerine yönelik asit ve sülfat analizlerinin yapılması aşamaları

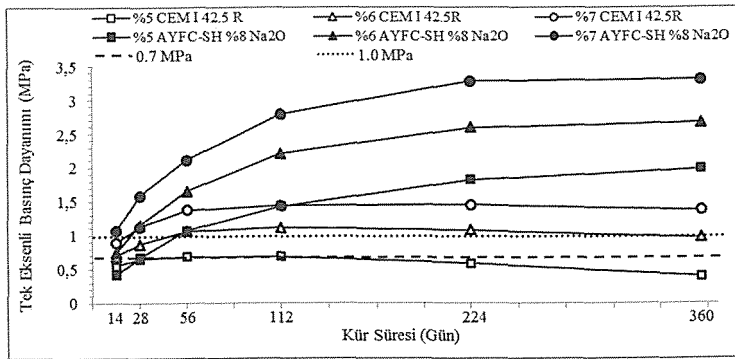
3 BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Tek eksenli basınç dayanımlarının değerlendirilmesi

Sodyum hidroksit ile aktifleştirilmiş yüksek fırın çürufu (AYFC-SH) ve normal portland çimentosu (NPC) ile %5, %6 ve %7 bağlayıcı oranlarında hazırlanmış macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.

NPC ile hazırlanan numunelerin tamamında 14-360 günlük kür süreleri içerisinde dayanım kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. %5 bağlayıcı oranındaki numuneler bütün kür süreleri için eşik dayanım değerinin altında dayanıma sahiptir. 56 günlük kür süresinden sonra

sürekli olarak dayanım kaybı meydana gelmiş ve 360 gün sonunda, 14 günlük dayanım değerinin altına inmiştir. %6 NPC ile hazırlanan numunelerin dayanımı ise, 28 günlük kür süresinde eşik dayanım seviyesini aşmıştır. Ancak, 112 günlük kür süresinden itibaren meydana gelen dayanım kayıpları nedeni ile 360 günlük kür süresi sonunda dayanım değeri, uzun dönem eşik dayanım seviyesi olan 1 MPa'ın altına inmiştir. %7 bağlayıcı oranında ise numunelerin dayanım değerleri eşik dayanım değerlerinin üzerindedir. Ancak 360 günlük kür süresinde, 224 günlük kür süresine göre %5.52'lik bir dayanım kaybı meydana gelmiştir.



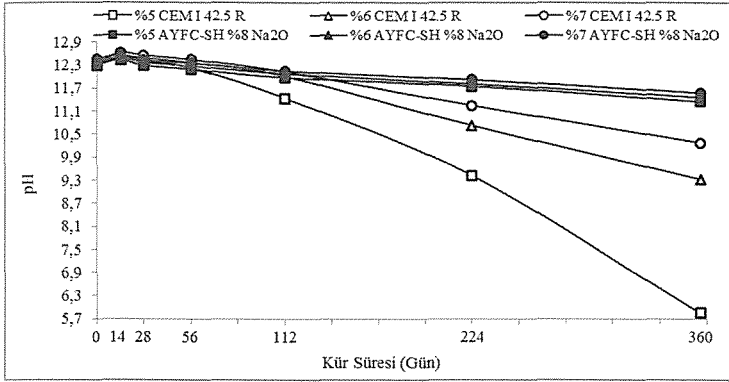
Şekil 4. Dolgu numunelerinin kür süresine bağlı tek eksenli basınç dayanımı eğilimleri

AYFC-SH ile hazırlanan numunelerde ise sürekli bir dayanım artış eğilimi görülmektedir. 28 günlük kür süresinde sadece %5 bağlayıcı oranında numuneler yeterli dayanım değerini üretememiş ve 0.7 MPa değerinin altında kalmıştır. Uzun dönemde ise AYFC-SH ile hazırlanan örneklerinin dayanımlarının tamamı 1 MPa'lık eşik değerin üzerindedir. Kısa dönem kür süresi esas alındığında %5 bağlayıcı oranının dolgu dizaynı için yetersiz olduğu görülmektedir. Düşük bağlayıcı oranında (\leq %5) macun dolgu özelliklerinden dolayı, erken kür sürelerinde dayanım kazanımının yavaş gerçekleştiği görülmüştür.

%5, %6 ve %7 bağlayıcı oranlarında AYFC-SH ve NPÇ ile hazırlanan numuneler arasındaki dayanım farkları sırası ile 5.08, 2.74 ve 2.41 olarak elde edilmiştir.

3.2 pH ölçümleri

Macun dolguda asit etkilerini izlemek için taze ve kür almış numuneler üzerinde pH analizleri gerçekleştirilmiştir (Şek. 5). Taze numunelerde pH değerlerinin genel itibari ile 12.30'un üzerinde olduğu görülmüştür. 14 günlük kür süresine kadar oluşan hidrasyon ürünleri nedeniyle pH değerleri 12.62 seviyelerine kadar yükselmiştir.



Şekil 5. Taze ve kür almış dolgu numunelerinin kür süresine bağlı pH eğilimleri

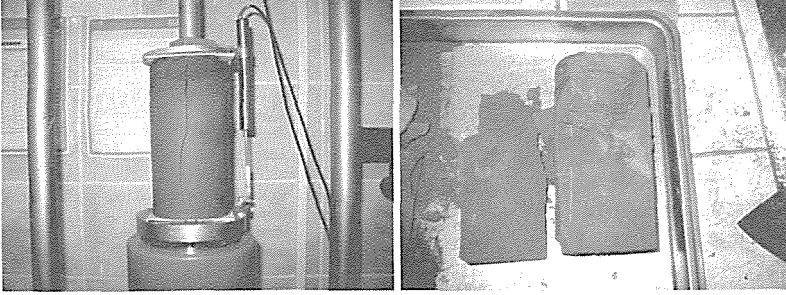
NPÇ numunelerinde pH'ın yükselmesinin temel nedeninin oluşan Ca(OH)_2 olduğu söylenebilir. 14 günlük kür süresinden itibaren bütün numunelerin pH'ları düşme eğilimi göstermiştir. 112 günlük kür süresine kadar %6 ve %7 bağlayıcı oranlarında NPÇ içeren numuneler en yüksek pH değerlerine sahiptir. Ancak 112 günlük kür süresinden sonra AYFC-SH ile hazırlanan numunelerin pH değerlerinin altına inmiştir. %5 bağlayıcı oranında NPÇ numunelerinin pH değerlerinde ise 56 günlük kür süresinden itibaren gözle görülür bir azalma meydana gelmiş ve 360 gün sonunda 5.85 seviyesine inmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7'de numunelerdeki asit etkileri görülmektedir.

NPÇ kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinde meydana gelen dayanım

kayıplarının asit etkilerinden kaynaklandığı söylenebilir. 360 günlük kür süresi sonunda özellikle %5 bağlayıcı oranında NPÇ ile hazırlanan numunelerin, fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyamadıkları ve problemlerin meydana geldiği görülmüştür. Şekil 7'ye bakıldığında, %7 bağlayıcı oranındaki bir numunenin orta kısmında 360 günlük kür süresi sonunda bir boşluk etrafında gelişen oksidasyon bölgesi (asit ve sülfat oluşumu) görülmektedir. 360 günlük kür süresi sonunda %7 bağlayıcı oranındaki NPÇ numuneleri yaklaşık duraylı gözükmesine rağmen, >360 günlük kür süresi için asit ve sülfat etkileri nedeniyle durabilite problemlerinin meydana gelebileceği düşünülmektedir.



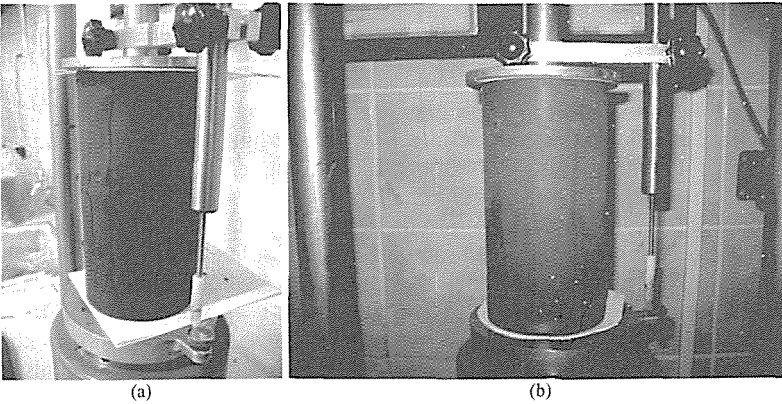
Şekil 6. %5 Cem I 42.5 içeren numunelerden birinin 360 günlük kür süresi sonrası görünümü



Şekil 7. %7 Cem I 42.5 içeren bir numunenin 360 gün sonrasında orta kısmında boşluk etrafındaki oksidasyon

AYFC-SH ile hazırlanan numunelerde ise pH değerleri 14 günlük kür süresinden itibaren yaklaşık lineer bir azalma eğilimi göstermiştir. 360 günlük kür süresi sonunda en düşük pH değeri %5 AYFC-SH ile hazırlanan numunelerde 11.35 olarak

ölçülmüştür. Diğer numunelerde pH değerleri bu seviyenin üzerinde kalmıştır. Şekil 8'de %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında AYFC-SH ile hazırlanan macun dolgu örnekleri görülmektedir.



Şekil 8. %5 (a) ve %7 (b) AAS-SS numuneleri (fiziksel ve kimyasal açıdan bütün)

Şekil 8'e bakıldığında 360 günlük kür süresi sonunda numunelerin fiziksel ve kimyasal bütünlüklerini korudukları ve dolayısıyla NPÇ ile hazırlananlara nazaran daha dayanıklı oldukları görülmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı ve pH değerleri göz önüne alındığında AYFC-SH ile hazırlanan numunelerin asit etkilerinden minimum etkilendikleri söylenebilir.

Dolgu bünyesindeki piritin nem ve oksijen varlığında oksidasyonu sonucu oluşan asit ve sülfat iyonlarının etkisi ile $\text{pH} \leq 9$ olduğu durumda, bağlayıcı jel yapısının zarar görebileceği ve dayanım kayıplarının kaçınılmaz hale geldiği rapor edilmiştir (Benzaazoua vd., 1999; Tariq ve Nehdi, 2007). Bununla birlikte Bakharev vd. (2003), aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu içeren bağlayıcı (AAS) pastasına yönelik Jiang vd. 1998'nin yaptığı çalışmadaki bulguları rapor etmiştir. Jiang vd. (1998), AAS pastalarını %5'lik sitrik asit, hidroklorik asit+nitrik asit ve sülfürik asit çözeltilerine 6 ay boyunca maruz bırakmıştır. Çalışma sonunda en fazla bozunma, sülfürik asit çözeltilisine maruz bırakılan örneklerde görülmüştür.

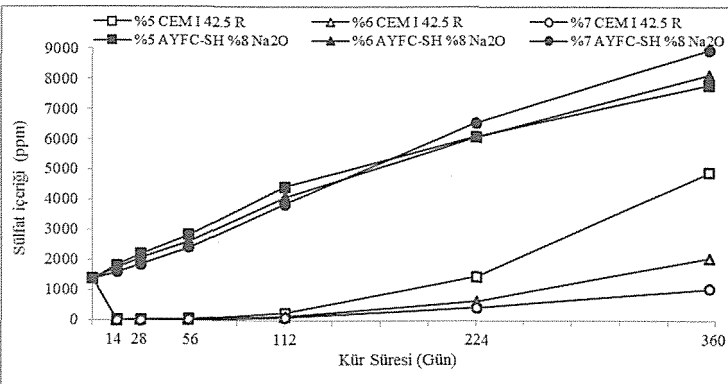
Ayrıca, Bakharev vd. (2003), 0.75 modül oranında %4 Na_2O dozajında aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ve normal portland çimento ile hazırladıkları beton örneklerini $\text{pH}=4$ 'teki asetik asit çözeltilisine maruz bırakmışlardır. Çalışmada 360 günlük kür

süresi sonunda aktifleştirilmiş bağlayıcı ile üretilen beton örneklerinin çimento ile üretilenlere nazaran daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, piritin oksidasyonu sonucu oluşan asidik ortamda, AYFC-SH ile hazırlanan numunelerin NPÇ ile hazırlanan numunelere kıyasla daha dayanıklı oldukları görülmüştür.

3.3 Sülfat (SO_4^{2-}) ölçümleri

Macun dolguda sülfat etkilerini izlemeye yönelik dizayn öncesinde ve kür almış numunelerde seri sülfat analizleri gerçekleştirilmiştir. Macun dolguda serbest sülfat iyonları ile çözülmüş portlanditin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Ca^{2+} iyonunun birleşmesi sonucu gözeneklerde, ikincil alçıtaşı (gypsum) mineralleri oluşur. Bertrand (1998), Ouellet vd. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada minerallerin oluşumu esnasındaki kristalizasyon basıncının 70 ila 200 MPa olarak belirtildiğini rapor etmiştir. İkincil mineraller (gypsum, etrenjit vb.) içsel gerilmeler oluşturarak içsel çatlaklara ve dolayısıyla dolgu malzemesinin fiziksel bütünlüğünün bozulmasına neden olmaktadır. Oluşan bu çatlaklar etrafında ve çevrelerinde ise oksijen difüzyonu nedeni ile asit etkileri meydana gelmektedir.



Şekil 9. Dolgu numunelerinin kür süresine bağlı SO_4^{2-} içeriği eğilimleri

Bu çalışmada, NPÇ içeren numunelerde dolgu dizaynından önce ortalama 1380 ppm olan sülfat içeriği, ilk 28 günde 0 seviyelerinde iken 56 günlük kür süresine kadar <40 ppm seviyelerinde ölçülmüştür. Bu zaman zarfında atık bünyesinde başlangıçta mevcut olan ve sonradan da pirit oksidasyonu sonucu oluşan serbest sülfat iyonlarının tamamının tüketildiği görülmektedir. Daha sonra en fazla %5 NPÇ içeren numune bünyelerinde olmak üzere sülfat içeriğinde sürekli artan bir eğilim görülmüştür (Şek. 9). Dolayısıyla sülfat atak mekanizmasının başlangıçtan itibaren gerçekleştiği görülmektedir.

AYFC-SH içeren numunelerde ise sülfat iyonları konsantrasyonunda benzer ve sürekli bir artış eğilimi gözlenmiştir. Bu durumun CH (Ca(OH)₂) ürününün üretilmemesinden ve serbest sülfat iyonu ile reaksiyona giren daha az hidrasyon ürününün oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9'a bakıldığında AYFC-SH numunelerinde sülfat iyonlarının 112 günlük kür süresine kadar yüksek bağlayıcı oranlarında düşük seviyede olduğu, ancak bu süreden itibaren düşük bağlayıcı oranlarındakilerden yüksek olduğu görülmektedir.

Ouellet vd. (2006) yaptığı çalışmada, numune bünyesindeki su içeriğinin azalması ile birlikte oksijen difüzyonunda sürekli bir artış olduğu, aksi durumda ise oksijen difüzyonunun kısmen engellendiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada 112 günlük kür süresinden itibaren AYFC-SH içeren numunelerde artan bağlayıcı oranlarında sülfat iyonlarında daha yüksek artma olmasının, NPÇ içeren numunelerde de düşük bağlayıcı oranlarında yine 112 günlük kür süresinden sonra düşük bağlayıcı oranlarında sülfat iyonlarında daha yüksek artmanın ve pH değerlerinde daha fazla azalma olmasının küre bağlı azalan su içeriklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bakharev vd. (2002) yılında yaptığı çalışmada 0.75 modül ve 5.4 Na₂O dozajında aktifleştirilmiş bağlayıcı (AAS) ve çimento (NPÇ) ile hazırlanan beton örneklerini 360 gün boyunca %5 sodyum sülfat ve %5 magnezyum sülfat çözeltilerine maruz

bırakmıştır. Çalışmada AAS örneklerinin NPÇ örneklerine kıyasla sülfatlı ortamlara karşı daha duraylı olduğu rapor edilmiştir.

Bu çalışmada ise %5, %6 ve %7 bağlayıcı oranlarında NPÇ içeren numunelerde sırasıyla 56, 112 ve 224 günlük kür sürelerinden itibaren meydana gelen dayanım kayıplarının, NPÇ'nin yüksek oranda CaO ve C₃A içermesi ile dolgunun yüksek pirit içeriği ve oksidasyonu nedeniyle ortamdaki asit ve sülfat iyonu konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Asit ve sülfat etkilerine yönelik destekleyici detaylı çalışmalar literatürde rapor edilmiştir (Irassar vd., 2000; Tariq ve Nehdi, 2007; Erçikdi vd., 2009a,b; Erçikdi vd., 2010).

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek oranda pirit içeren atıklardan NaOH ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu (AYFC-SH) ile hazırlanan macun dolgu örneklerinin normal Portland çimentosu (NPÇ) örneklerine kıyasla uzun dönemde duraylı dayanım sonuçları ürettiği görülmüştür. NPÇ numunelerinde bağlayıcı oranı ve kür süresine bağlı görülen dayanım kayıplarının asit ve sülfat etkilerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

%7 bağlayıcı oranında hazırlanan NPÇ numuneleri kısa ve uzun dönemde hedeflenen dayanım değerlerini sağlamıştır. AYFC ile sadece %5 oranında bağlayıcı ile hazırlanan numuneler kısa dönemde 0.7 MPa eşik değerinin altında kalmış, uzun dönemde AYFC-SH içeren bütün numuneler 1 MPa eşik değerinin üzerinde dayanım üretmiş ve dayanım kaybı meydana gelmemiştir.

360 günlük kür süreleri sonunda %5-%6 ve %7 bağlayıcı oranlarında AYFC-SH ile hazırlanan numuneler, NPÇ ile hazırlanan numunelerden sırası ile 5.08, 2.74 ve 2.41 kat daha yüksek dayanım sonuçları vermiştir.

Katkı Belirtme

Yazarlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi araştırma fonuna (Proje No: 2010.112.008.1), malzeme ve finansal desteğinden dolayı Çayeli Bakır İşletmeleri ile Ege Kimya Ltd. Şti'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- ASTM C 1580-09, 2009. Standard test method for water-soluble sulfate in soil, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.
- ASTM C 265-08, 2008. Standard test method for water-extractable sulfate in hydrated hydraulic cement mortar, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.
- ASTM C 39, 2002. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*, Vol. 04.02.
- ASTM D 4972-01, 2007. Standard test method for pH of soils, *Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards*.
- ASTM D 4980-89, 2003. Standard test methods for screening of pH in waste, *Annual Book of American Stand. of Testing Materials Standards*.
- Atiş, CD, Bilim, C, Çelik, Ö, Karahan, O, 2009. 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, JG, Cheng, YB, 2002. Sulfate attack on alkali-activated slag concrete, *Cement and Concrete Research*, 32, 2, s.211-216.
- Bakharev, T, Sanjayan, JG, Cheng, YB, 2003. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, *Cement and Concrete Research*, 33, 10, s.1607-1611.
- Belem, T, Benzaazoua, M, Bussiere, B, 2000. Mechanical behaviour of cemented paste backfill, 53. *Annual Conference of The Canadian Geotechnical Society*, Alberta-Canada, s.373-380.
- 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.
- Bertrand, V J, 1998. A study of pyrite reactivity and the chemical stability of cemented paste backfill, *MSc. Thesis, Department of Mining and Mineral Process Engineering*, The University of British Columbia, Vancouver, CANADA, 230 s.
- Brackebusch, FW, 1994. basics of paste backfill systems, *Mining Engineering*, 46, 1, s.1175-78.
- Cihangir, F, Turan, A, Erçikdi, B, Kesimal, A, Deveci, H, 2009. Aktifleştirilmiş yüksek fırın çürufunun macun dolguda bağlayıcı olarak kullanılabilirliği, *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, s.579-585, Antalya-Türkiye.
- Erçikdi, B, Kesimal, A, Cihangir, F, Deveci, H, Alp, İ, 2009a. Cemented paste backfill of sulphide-rich tailings: Importance of binder type and dosage, *Cement and Concrete Composites*, 31,4, s.268-274.
- Erçikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, 2009b. Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented-paste backfill of high sulphide mill tailings, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 2-3, s.848-856.
- Erçikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, Deveci, H, Alp, İ, 2010. Effect of natural pozzolans as mineral admixture on the performance of cemented paste backfill of sulphide-rich tailings, *Waste Management and Research*, 28, 5, s.430-435.
- Fall, M, Benzaazoua, M, 2004. Modelling the effect of sulphate on strength development of paste backfill and binder mixture optimization, *Cement and Concrete Research*, 32, 5, s.301-314.
- Irassar, EF, Gonzales, M, Rahhal, V, 2000. Sulphate resistance of type V cements with limestone filler and natural pozzolana, *Cement and Concrete Research*, 22, 5, s.361-368.
- Jimenez, AF, Palomo, JG, Puertas, F, 1999. Alkali-activated slag mortars-mechanical strength behaviour, *Cement and Concrete Research*, 29, 8, s.1313-1321.
- Kesimal, A, Yılmaz, E, Erçikdi, B, 2004. Evaluation of paste backfill test results obtained from different size slumps with varying cement contents for sulphur rich mill tailings, *Cement and Concrete Research*, 34, 10, s.1817-1822.
- Landriault, DA, 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*, s.652-663, Nova Scotia-Canada.
- Ouellet, S, Bussiere, B, Mbonimpa, M, Benzaazoua, M, Aubertin, M, 2006. Reactivity and mineralogical evolution of an underground mine sulphidic cemented paste backfill, *Minerals Engineering*, 19, 5, s.407-419.
- Stone, DMR, 1993. The optimization of mix designs for cemented rockfill, in *Proceedings Fifth International Symposium on Mining with Backfill, Minefill'93*, s.249-253, Johannesburg, SAIMM.
- Tariq, A, Nehdi, M, 2007. Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, s.155-166.
- Torgal, FP, Castro-Gomes, J, Jalali, S, 2008. Alkali-activated binders: A review part I. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products, *Construction and Building Materials*, 22, 7, s.1305-1314.
- Yang, KH, Song, JK, Ashour, AF, Lee, ET, 2008. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate, *Construction and Building Materials*, 22, 9, s.1981-1989.
- 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, 7, s.1463-1469.



Toz Boyutlu Kömürün Aglomerasyon ile Temizlenmesinde Ayçiçeği Yağının Kullanılabilirliği

Usability of Sunflower Oil in Cleaning of Fine Coal by Agglomeration

E. Şahinoğlu, T. Uslu

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Türkiye, büyük kömür rezervlerine sahip olmasına karşın bu rezervlerin çoğu yüksek kül, kükürt ve nem içeriğine sahiptir. Çevre ile ilgili artan kaygılar bu kömürlerin kullanılmadan önce temizlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, toz boyutlu, yüksek kül ve kükürt içerikli, oksitli bir yapıya sahip kömür örneği ayçiçek yağı ile aglomerasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kömür oranı, ayçiçek yağı oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresi gibi parametrelerin aglomerasyon işlemi sonucunda elde edilen kömürün kalitesine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen en yüksek organik madde verimi, kül azalması ve verim indeksi sırasıyla %73.60, %62.30 ve %27.99'dır.

ABSTRACT Although Turkey has huge coal reserves, many of them have high ash, sulphur and moisture content. Due to the environmental concerns, these coals are required to be cleaned before using. In this study, agglomeration process with sunflower oil was conducted on fine coal sample having high ash and sulphur content and oxidized texture. The effects of parameters, including coal content, sunflower oil content, agitation rate and agglomeration time on finally obtained coal quality were investigated. Maximum organic matter recovery, ash rejection and recovery index was found to be 73.60%, 62.30% and 27.99%, respectively.

1 GİRİŞ

Türkiye, büyük kömür rezervlerine sahip olmasına karşın bu rezervlerin çoğunluğu düşük kaliteli olup yüksek kül, kükürt ve nem içeriğine sahiptir (Şahinoğlu, 2006). 2009 yılı itibarıyla, Türkiye'nin taşkömürü rezervi 1,3 milyar ton, linyit rezervi 12,3 milyar ton'dur (TKİ, 2009). Bu kömürlerin bir kısmının lavvarlarda kalitesi artırılırken, büyük bölümü ise temizlenmeden kullanılmakta ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır (Özbayoğlu, 2007).

Ülkemizdeki yüksek kül/kükürt içeriğine sahip olduğu halde temizlenmeden kullanıldığı için değer kaybına uğrayan ve çevresel kirliliğe yol açan kömürlerin temizlenerek çevre dostu enerji yakıtı haline getirilmeleri ve ekonomik değerlerinin

artırılması ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Bu kömürlerin bazılarının, çok fazla miktarda toz boyutlu malzeme içermesi ve oksitli olması gibi sebeplerle klasik yöntemlerle temizlenmeleri zordur (Şahinoğlu ve Uslu, 2008).

Toz boyutlu kömürlerin temizlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri olan flotasyon, konsantreye pirit kaçağı sebebiyle toz boyutta kömürü yeterince temizleyemekte (Kawatra and Eisele, 2001; Honaker ve Das, 2004), oksitli yapıya sahip ve düşük kaliteli kömürlere uygulanamamaktadır (Vanangamudi ve Rao, 1984; Mehrotra vd., 1983; Sarıkaya ve Özbayoğlu, 1995; Özbayoğlu, 1996; Bolat vd., 1998). Geliştirilmiş gravite ayırıcıları ise mekanik olarak kompleks yapılı olup, çalıştırılması

maliyetleri fazladır (Shah vd., 2002). Bunun yanında, şlam ve kilsli malzeme, performanslarını düşürdüğünden temizleme işleminden önce şlam uzaklaştırmayı gerektirirler (Engin, 2002; Gıtmez vd., 2009). Diğer dezavantajları da, su tüketimlerinin fazla olması ve çok seyreltik ürün vermeleri dolayısıyla kömürün susuzlandırma probleminin ortaya çıkmasıdır (Kawatra and Eisele, 2001). Yağ aglomerasyonu yöntemi ise, yüksek verimi (Mehrotra vd., 1983, Cebeci ve Eroğlu, 1998; Şahinoğlu, 2006; Şahinoğlu ve Uslu, 2008), kil ve şlamdan etkilenmemesi (Mehrotra vd., 1983, Uslu, 1997; Şimşek, 1999; Canpolat, 2003), oksitli kömürlere uygulanabilirliği (Mehrotra vd., 1983; Canpolat, 2003; Guntupalli ve Dastidar, 2006), birincil susuzlandırmanın kolay ve ucuz olması (Mehrotra vd., 1983, Canpolat, 2003) ve temiz kömürün düşük nem içeriğinden dolayı nihai susuzlandırmanın ucuz olması (Şimşek, 1999; Kawatra and Eisele, 2001; Canpolat, 2003) gibi sebeplerle diğer yöntemlere üstünlük sağlamaktadır.

Toz boyutlu kömürlerin yağ aglomerasyonu ile temizlenmesinde bitkisel kökenli yağlar daha önceden kullanılmış olmakla beraber toz fraksiyonu yüksek ve oksitli bir yapıya sahip Müzret kömürünün bitkisel kökenli yağlarla temizlenmesi konusunda yalnızca bir tane çalışma mevcuttur. Şahinoğlu (2006), Müzret kömürünü fındık yağı ile aglomerasyon işlemine tabi tutmuş, maksimum organik madde verimini %59,06 ve maksimum kül azalmasını %54,30 olarak bulmuştur. Bu çalışmada bitkisel kökenli yağ olarak ayçiçeği yağı kullanılmış olup kömür oranı, yağ oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresi gibi parametrelerin aglomerasyon işlemi sonucunda elde edilen kömürün kalitesine etkileri belirlenmiştir.

2 MALZEME VE METOD

2.1 Malzeme

Bu çalışmada, Müzret (Artvin-Yusufeli) kömürü kullanılmıştır. Müzret havzasından standart örnek alma yöntemlerine göre kömür numunesi alınmıştır. Alınan kömür

numunesinin miktarı konileme dörtleme yöntemi ve numune bölücü kullanılarak azaltılmıştır. Kömür numunesinin kimyasal ve minerolojik analizleri yapılmıştır. Minerolojik incelemeler kömürde miktar olarak en önemli mineralin pirit olduğunu göstermiştir. Gözlenen diğer mineraller ise jips, kuvars, siderit ve kalsittir. Müzret kömürünün kimyasal analizi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Tane boyutu analizi Çizelge 2'de verilmiştir.

Araştırmada bağlayıcı yağ olarak kullanılan ayçiçek yağının yoğunluğu Alla France tipi hidrometre, viskozitesi Tanaka AKV-202 tipi viskometre ve yüzey gerilimi de CSC Dunouy tipi yüzey gerilim ölçer cihazı ile belirlenmiştir. Ayçiçek yağının fiziksel özellikleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Müzret kömürünün kimyasal analiz sonuçları.

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru Kuru
Nem (%)	2,25	-
Kül (%)	34,85	35,65
Uçucu Madde (%)	10,73	10,98
Sabit Karbon (%)	52,17	53,37
Sülfat Kükürt (%)	0,99	1,01
Piritik Kükürt (%)	5,44	5,57
Organik Kükürt (%)	1,3	1,33
Toplam Kükürt (%)	7,73	7,91
Kalorifik Değer (kcal/kg)	4970	5084

Çizelge 2. Kömür tane boyutu analizi.

Tane boyutu (mm)	Ağırlık(%)
-0,5+0,3	22,16
-0,3+0,212	17,54
-0,212+0,15	14,11
-0,15+0,106	10,10
-0,106+0,053	15,93
-0,053	20,16
Toplam	100

Çizelge 3. Ayçiçek yağının fiziksel özellikleri.

Yağ Türü	Renji	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (mm ² /s)	Yüzey Gerilimi (dyn/cm)
Ayçiçek yağı	Açık sarı	0,918	32,24	34,6

2.2 Metod

Aglomerasyon deneyleri öncesi, büyük çoğunluğu zaten toz boyuta sahip kömür örneği kontrollü olarak 0,5mm' in altına indirilmiş ve deneyler -0,5mm boyutundaki kömür numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aglomerasyon deneyleri için, iç çapı 11,7cm olan silindirik cam bir kap kullanılmış olup, cam kap içerisine genişlikleri 1,1cm olan 4 adet türbülans yaratıcı (baffle) koyulmuştur. Deneyler, Heidolph RZR 2021 tipi hızı ayarlanabilen bir mekanik karıştırıcı vasıtasıyla, saf su kullanılarak yapılmıştır. Karıştırıcının pervane çapı 50mm olup pervaneler yatayla 45° açı yapmaktadır. Karıştırma işlemi kap tabanından 8mm yükseklikte yapılmıştır. Tüm deneyler öncesinde kömür-su karışımı, 1000 dev./dak. hızda 5 dakika şartlandırılmıştır. Şartlandırma işleminden sonra deney ortamına ayçiçek yağı ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma işleminden sonra pül 0,5mm boyutlu eleğe beslenerek aglomeratlar elek üstü olarak kazanılmıştır. Aglomeratlar, yüzeylerine yapışan mineral maddelerin uzaklaşması için 1,5 litre su ile yıkanmıştır. Daha sonra, vakum filtreye konularak susuzlandırılmış, aseton ile yıkanarak da yağdan arındırılmışlardır. En son olarak da etüvde 105°C ± 5°C'de kurutulup tartılmış ve analize tabi tutulmuşlardır.

Deneyler farklı kömür oranı, yağ oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon sürelerinde tekrarlanmıştır. Yağ aglomerasyonu deney parametreleri ve değişkenleri Çizelge 4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. Yağ aglomerasyonu deney parametreleri ve değişkenleri.

Parametre	Değişkenler
Yağ oranı (kömürün %'si)	5, 10, 15, 20
Kömür oranı (karışımın %'si)	5, 10, 20, 30
Karıştırma hızı (dev./dak.)	1000, 1200, 1400, 1600
Aglomerasyon süresi (dak.)	5, 10, 15, 20

Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, organik madde verimi (OMV %), kül azalması (KA %) ve verim indeksi (Vİ %) hesaplanmıştır.

$$OMV (\%) = (W_p/W_F) \times 100 \quad (1)$$

$$KA (\%) = [(A_F - A_p)/A_F] \times 100 \quad (2)$$

$$Vİ (\%) = OMV + KA - 100 \quad (3)$$

Burada;

W_p: Aglomerasyon ürününün, kuru-külsüz-yağsız bazda ağırlığı (gr)

W_F: Aglomerasyon beslemesinin, kuru-külsüz bazda ağırlığı (gr)

A_F: Kuru aglomerasyon beslemesinin kül oranı (%)

A_p: Kuru-yağsız aglomerasyon ürününün kül oranı (%)

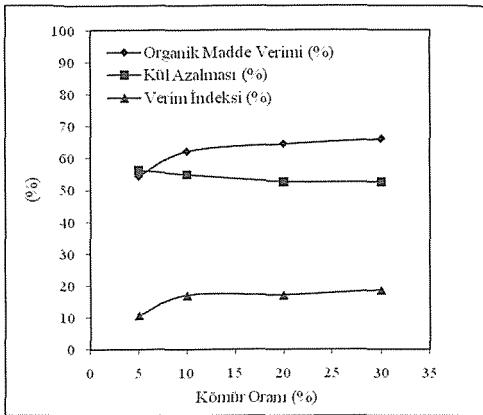
3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Müzret kömürünün ayçiçek yağının kullanıldığı yağ aglomerasyonu yöntemiyle büyük ölçüde temizlendiği görülmüştür. En yüksek organik madde verimi, kül azalması ve verim indeksi sırasıyla %73.60, %62.30 ve %27.99'dır. Aşağıda, kömür oranı, yağ oranı, karıştırma hızı ve aglomerasyon süresi gibi parametrelerin aglomerasyon işlemi sonucunda elde edilen kömürün kalitesine etkileri tartışılmıştır.

3.1 Kömür Oranının Etkisi

Şekil 1'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Yağ oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Karıştırma hızı: 1400dev./dak.), kömür oranı arttıkça organik madde verimi ve verim indeksi artarken kül

azalması ise az miktarda düşmektedir. Artan kömür oranı ile birlikte organik madde verimindeki artış yüksek kömür konsantrasyonlarında, taneler arasındaki mesafenin düşük kömür konsantrasyonlarındakine göre daha az olması ile açıklanabilir. Bir başka ifade ile, kömürün ayçiçek yağı ile kaplanmasını sağlayan "kömür-yağ" temaslarının sayısı ve aglomeratların çoğalmasını sağlayan "yağla kaplı kömür-kömür temasları", kömür oranının artması ile birlikte artmıştır. Bununla birlikte birim hacimdeki kömür tanesi miktarındaki artış, seçimliliği azaltarak kül azalmalarında düşüşe sebep olmuştur. Elde edilen en yüksek verim indeksi değeri %18,58 olup %30 kömür oranında elde edilmiştir.

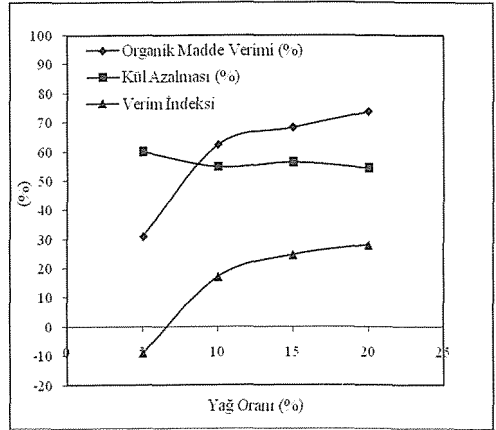


Şekil 1. Kömür oranının OMV, KA ve Vİ'sine etkisi.

3.2 Yağ Oranının Etkisi

Şekil 2'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Karıştırma hızı: 1400dev./dak.), yağ oranının artışına bağlı olarak organik madde verimi ve verim indeksi belirgin bir şekilde artmakta iken kül azalması ise kısmen düşmektedir. Düşük ayçiçek yağı oranlarında kömür yüzeyleri yeterince bağlayıcı sıvıyla ıslatılmadığından organik madde verimi düşük olmuştur. Ayçiçeği yağı oranı arttıkça kömür

tanecikleri arasında yeterli sıvı köprüsü oluşmakta ve küresel aglomeratlar elde edilmektedir. Yüksek ayçiçek yağı oranlarında seçimlilik düşmekte mineral maddeler de oluşan aglomeratlar arasına girebilmekte buda elde edilen ürünün kalitesini düşürebilmektedir. Elde edilen en yüksek verim indeksi değeri %27,99 olup %20 yağ oranında elde edilmiştir.

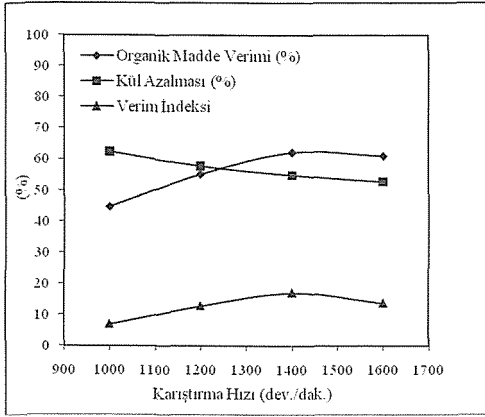


Şekil 2. Yağ oranının OMV, KA ve Vİ'sine etkisi.

3.3 Karıştırma Hızının Etkisi

Şekil 3'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Aglomerasyon süresi: 10dak., Yağ oranı: %10), karıştırma hızının artışına bağlı olarak organik madde verimi ve verim indeksi belli bir karıştırma hızı değerine kadar artmakta daha sonra ise düşmektedir. Düşük karıştırma hızlarında yağla kaplanmış kömür tanecikleri arasındaki çarpışmaların daha az olması nedeniyle aglomera olan kömür miktarı da azalmaktadır. Karıştırma hızının artması yağların ortamda daha iyi dağılmasını ve taneciklerin çarpışma olasılığını arttıracığından organik madde verimi artmıştır. Daha yüksek karıştırma hızlarında oluşmuş olan aglomeratlar birbirlerine ve cam kap çevresine suratle çarparak parçalamaya başlamışlardır. Artan karıştırma hızıyla birlikte uzaklaştırılan kül miktarının da düşük oranda da olsa azaldığı

görülmektedir. Bu durum ortamdaki mineral maddelerin karıştırma hızının artması sonucunda oluşan türbülans sebebiyle aglomeratların aralarına daha fazla girmesiyle açıklanabilir. Elde edilen en yüksek verim indeksi değeri %17,04 olup 1400 dev./dak. karıştırma hızında elde edilmiştir.

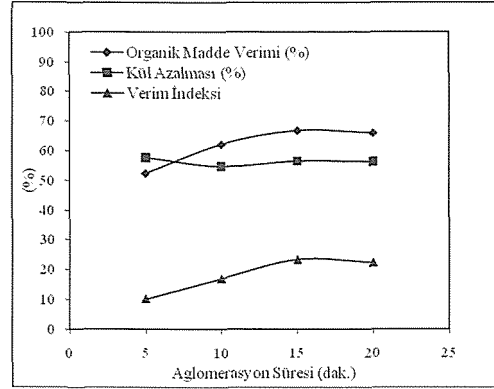


Şekil 3. Karıştırma hızının OMV, KA ve Vİ'sine etkisi.

3.4 Aglomerasyon Süresinin Etkisi

Şekil 4'de görüldüğü gibi aglomerasyon işleminde (Kömür oranı: %10, Karıştırma hızı: 1400dev./dak., Yağ oranı: %10), sürenin artışına bağlı olarak organik madde verimi ve verim indeksinin arttığı, belli bir süreden sonra azaldığı görülmektedir. Genel olarak, düşük karıştırma sürelerinde tanecik-tanecik ve tanecik-mikroaglomerat temas şansı düşük olduğundan aglomerat verimi düşüktür. Sürenin artışına bağlı olarak yağın pülp içinde daha iyi dağıldığını ve de kömür tanelerinin yağ ile temas etmeleri için daha fazla şans bulunduğu söylenebilir. Daha yüksek sürelerde verimin düşüş eğilimi göstermesi belirli bir süre sonra belli boyuta gelmiş aglomeratların birbirine ve cam kap çevresine çarpmaya başladığını göstermektedir. Aglomerasyon süresinin artışına bağlı olarak kül azalmasında çok fazla bir değişim olmadığı görülmüştür. Elde edilen en yüksek verim

indeksi değeri %23,45 olup 15 dak. aglomerasyon süresinde elde edilmiştir.



Şekil 4. Aglomerasyon süresinin OMV, KA ve Vİ'sine etkisi.

3.5 Elde Edilen Temiz Kömürün Özellikleri

Verim indeksi en fazla gerçekleşen aglomerasyon testinde elde edilen temiz kömürün kimyasal analizi Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Elde edilen temiz kömürün kimyasal analiz sonuçları.

Bileşenler	Kuru
Kül (%)	16,26
Uçucu Madde (%)	13,02
Sabit Karbon (%)	70,72
Sülfat Kükürt (%)	0,14
Piritik Kükürt (%)	0,7
Kalorifik Değer (kcal/kg)	6420

Çizelge 1 ve Çizelge 5 karşılaştırıldığında kül ve piritik kükürt içeriğinin sırasıyla %54,39 ve %87,43 oranlarında azaldığı kalorifik değerinin %26,28 oranında arttığı

görülebilmektedir. Kül içeriğinin azalmasıyla sabit karbon ve uçucu madde oranları da doğal olarak artmıştır.

4 SONUÇLAR

Müzret kömürünün ayçiçeği yağının kullanıldığı yağ aglomerasyonu yöntemiyle büyük ölçüde temizlendiği görülmüştür.

Elde edilen en yüksek organik madde verimi, kül azalması ve verim indeksi sırasıyla %73.60, %62.30 ve %27.99'olmuştur.

Verim indeksi en fazla gerçekleşen aglomerasyon testinde kül ve piritik kükürt içerikleri sırasıyla %16,26 ve %0,7 değerlerine düşürülmüştür. Kalorifik değer 6420 kcal/kg'a, sabit karbon değeri ise %70,72'ye çıkmıştır.

Verim indeksi ve organik madde verimleri genel olarak kömür oranının, ayçiçek yağı oranının, karıştırma hızının ve aglomerasyon süresinin artmasıyla artmıştır. Aynı parametrelerin artışı kül uzaklaştırma oranlarını genel olarak düşük oranda azaltmıştır. Diğer bir ifadeyle, önemli miktarda değişikliğe sebep olmamıştır.

KAYNAKLAR

Bolat, E, Sağlam, S, ve Pişkin, S, 1998. The Effect of Oxidation on the Flotation Properties of a Turkish Bituminous Coal, Fuel Processing Technology, 55(2), (s.101-105).

Canpolat, L, 2003. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Yağ Aglomerasyonu-Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi.

Cebeci, Y, ve Eroğlu, N, 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, Fuel, 77(5), (s.419-424).

Engin, V.T, 2002. Kömür Yıkama Tesisleri İnce Artıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Gitmez, A, Olgun, A, Erdem, A, Gülmez, A, ve Altun, O, 2009. TKİ-Ömerler Lavvarı Tikiner Atıklarından Kömürün Kazanılması, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 11-12 Haziran 2009, Ankara, (s.159-163).

Guntupalli, H.V.C.C, ve Dastidar, M.G, 2006. Fine Coal Beneficiation by Oil Agglomeration Using

Vegetable Oil : an Ecofriendly and Energy Saving Technique, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Hauz Khas, New Delhi-110016, India.

Honaker, R.Q, ve Das, A, 2004. Ultrafine Coal Cleaning Using a Centrifugal Fluidized-Bed Separator, Coal Preparation, 24 (1-2), (s.1-18).

Kawatra, S.K, ve Eisele, T.C, 2001. Coal Desulfurization High-Efficiency Preparation Methods, Department of Mining and Materials Processing Engineering Michigan Technological University.

Mehrotra, V.P, Sastry, K.V.S, ve Morey, B.W, 1983. Review of Oil Agglomeration Techniques for Processing of Fine Coals, Int. Journal of Mineral Processing, 11, (s.175-201).

Özbayoğlu, G, 1996. Desulphurization of Coal to Protect the Environment, Mineral Processing and the Environment, Gallios,G.P., Matis, K.A. (eds), NATO ASI Series, 2. Environment-Vol.43, (pp.199-221).

Özbayoğlu, G, 2007. Yakma Öncesi Kömür Yıkama İşlemlerinin Önemi- Dünyada ve Türkiye'deki Kömür Yıkama Uygulamaları, Temiz Kömür Teknolojileri ve Yakma Teknikleri Semineri, 31 Ekim-2 Kasım, Afşin-Elbistan, TMMOB Maden Müh. Odası Yayın No: 136, (s.59-66).

Sarıkaya, M, ve Özbayoğlu, G, 1995. Flotation Characteristics of Oxidized Coal, Fuel, 74(2), (pp.291-294).

Shah, C.L, Abbott, J.A, Miles, N.J, Xuejun, L, ve Jianping, X, 2002. Sulphur Reduction Evaluation of Selected High-Sulphur Chinese Coals, Fuel, 81(5), (pp.519-529).

Şahinoğlu, E, 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Şahinoğlu, E, ve Uslu, T, 2008. Amenability of Müzret Bituminous Coal to Oil Agglomeration, Energy Conversion and Management, 49(12), (pp.3684-3690).

Şimşek, S, 1999. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesinde Bazı İşletme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi.

TKİ, 2009. Kömür Sektör Raporu, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Uslu, T, 1997. Particle Size (Feed and Agglomerate Size) in Oil Agglomeration of Coal", Unpublished Report Submitted to Prof Dr. Çetin Hoşten in Lecture of "Particle Characterization, Middle East Technical University, Turkey.

Vanangamudi, M, ve Rao, T.C, 1984. Kinetic Study of Agglomerate Growth in Coal-Oil Agglomeration Process, Fuel, 3(6), (738-743).

Gördes (Manisa) Zeolit Mineralinin Kırılma ve Öğütülme Özelliklerinin Belirlenmesi

Determination of Crushing and Grinding Properties of Gordes (Manisa) Zeolite Mineral

Ö. Bilgin

Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Oltu-Erzurum

E. Kalkan

Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Oltu-Erzurum

M. K. Dilmaç

Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Oltu-Erzurum

ÖZET Zeolit, uygulama alanları bakımından birçok sektörü ilgilendirmektedir. Bilimsel ve ticari uygulamalar açısından yerbilimleri, kimya, fizik, ziraat, hayvancılık, inşaat ve tıbbın ilgi alanındadır. Zeolit mineralinin hammaddesel özelliklerine göre ve kullanılacağı sektöre göre tane boyu dağılımı değişmektedir. Dolayısıyla kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutularak kullanım alanına uygun tane boyu dağılımında hazırlanmaktadır. Bu çalışmada, Gördes (Manisa) yöresinden alınan zeolit malzemesinin kırılma ve öğütülme özellikleri araştırılmıştır. Zeolit malzemesi çeneli kırıcıda iki kademe kırılarak eleme işlemine tabi tutulmuştur. Ortalama tane boyu birinci kademe kırma işlemi sonunda 3 mm ile 6 mm arasında ve ikinci kademe kırma işlemi sonunda ise 1 mm ile 1.7 mm arasında elde edilmiştir. Zeolit malzemesi seramik değirmende zamana bağlı olarak öğütülmüş ve daha sonra eleme işlemine tabi tutulmuştur. Zeolit mineralinin öğütme işlemi sonucuna göre optimum öğütme süresi 45 dakika olarak belirlenmiştir.

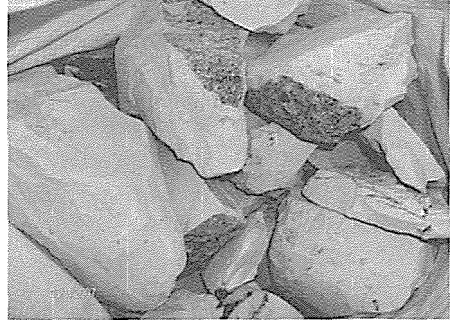
ABSTRACT Zeolite interests a lot of sectors according to application areas. Zeolite mineral has been widely used in the area in earth sciences, chemistry, physics, agriculture, animal husbandry, construction and medical science in terms of scientific and commercial applications. Particle size distribution of zeolite mineral varies according to raw material properties and utilization sector of zeolite mineral. Consequently, zeolite mineral is prepared so that its particle size distribution could be appropriate for usage by subjecting to crushing and grinding process. In this study, crushing and grinding properties of zeolite minerals have been investigated taken from Gördes (Manisa) Region. Zeolite mineral has been crushed in the crusher with jaw at two level and then it has been subjected to sieve process. Average particle size has been determined between 3 mm and 6 mm the end of first level process and it has been obtained between 1 mm and 1.7 mm the end of second level process. Zeolite mineral has been ground according to time in the ceramic grinding machine and then it has been subjected to sieve process. Optimum grinding time of zeolite mineral has been obtained as 45 minute at end of the grinding process.

1 GİRİŞ

1.1 Zeolit ve Gördes Zeolitleri ile İlgili Genel Bilgiler

Zeolitlerin genel kimyasal formülü: $M_x D_y [Al_x + 2_y Si_{-(x+2y)} O_{2n}] \cdot nH_2O$ şeklindedir. Bu formülde, M: Na, K veya diğer (+1) değerlikli kanyonları, D: Mg, Ca, Si, Ba ve diğer (+2) değerlikli kanyonları ifade eder (Gottardi, 1976). Zeolit, kelime anlamı "Kaynayan Taş" olarak bilinir. Isıtıldığında patlayarak dağıldığı için, bu isim verilmiştir. İlk zeolit, 1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Zeolitler, milyonlarca yıl önce volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda alkali ve toprak alkalilerin hidratlı doğal silikatlarından oluşan bir mineral grubudurlar. Feldspatların ve diğer aluminosilikatların zeolite dönüşmesine zeolitleşme denir. Bilinen 40'tan fazla doğal minerali vardır. Bunlardan en önemlileri klinoptilolit, höylandit şabazit, analsim, eriyonit, natrolit, fillipsit, mordenit'dir. Zeolit mineralleri, birbirine oksijen atomlarını paylaşarak bağlanan tetrahedral AlO_4 ve SiO_4 'in sınırsız uzayabilen üç boyutlu ağından oluşan aluminosilikat yapıdadırlar (Şekil 1). Yapıları bal peteği veya kafese benzer, ve değişebilir kanyonlar ile su içerir. Üniteleri arasında yer alan mikro gözenekler, mikro pencerelerle birleşip bir, iki veya üç boyutlu boşluk sistemleri ve kanalları oluşturur. Boşluk miktarı toplam hacmin % 20'si ile % 50'si arasındadır.

Manisa-Gördes zeolitleri yüksek ısı kararlılıkta potasyum, kalsiyum klinoptilolit yapısında olup, $1,98-2,18 \text{ g/cm}^3$ arasında özgül ağırlığa sahiptir. Yığın yoğunluğu ise tane iriliğine göre $0,693-1,22 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Gördes zeolitlerinin özgül yüzey alanı $40,80 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dir. Gördes zeolitleri $50-90 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta gözenek suyunu, $90-320 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında bağlı suyunu, $360-770 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kristal suyunu bırakmakta ve yapısı $839 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de bozulmaya başlamaktadır. Termal dayanım ise $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar devam etmektedir. Gördes zeolitlerinin su emme kapasitesi ise % 15-30 arasında değişmektedir.



Şekil 1. Gördes zeolitleri (heulandite-clinoptilolite).

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Bu bildirinin konusu olan deneysel çalışmalar, halen Manisa-Gördes yöresinde üretim faaliyetleri sürdüren İncal, Enli, Rota ve Güneşli firmalarından temin edilen ve A,B,C ve D olarak isimlendirilen zeolit numuneleri üzerinde olmuştur. Araştırmada 4 farklı sahaya ait olan bu numuneler; sırasıyla A numunesi (incal), B numunesi (enli), C numunesi (rota) ve D numunesi (güneşli) olarak adlandırılmış olup, her sahadan yöntemine uygun olarak yaklaşık $50-100 \text{ kg}$ 'lık temsili numuneler alınarak, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir. Belirtilen cevher örneklerine ait besleme malı kimyasal analizleri ise Çizelge 1' de sunulmuştur.

Çizelge 1. A,B,C ve D numunelerine ait kimyasal analizler.

Numune adı	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Kızdırma Kaybı (%)
A	73,11	10,49	1,41	1,61	0,82	0,63	1,15	10,52
B	72,97	9,92	1,76	1,59	0,88	0,46	2,62	9,54
C	74,26	8,78	0,92	2,62	0,69	0,22	1,90	10,36
D	77,42	9,30	0,96	0,48	0,11	0,66	3,66	7,29

Çizelge 1 incelendiğinde görüldüğü gibi SiO₂ % oranları 72,97 ile 77,42 değerlerinde değişirken, diğer elementlerin % oranları yaklaşık değerlerde bulunmuştur. Ancak, D numunesinin yapısındaki karbonat oranlarının düşük değerlerde oluşu, diğer numunelerin kızdırma kaybına nazaran % 7,29 gibi daha düşük bir kızdırma kaybına neden olmaktadır. Ancak D numunesinin SiO₂ oranının yüksekliği olası bir ufanma özelliği yaratabilir. D tipi zeolit numunesinin göreceli olarak % 3,66 K₂O değeri ile yüksek bir K₂O değerine sahip oluşu tarım sektörü için daha tercih edilir bir zeolit tipi olduğuna işaret etmektedir.

2.2 Yöntem

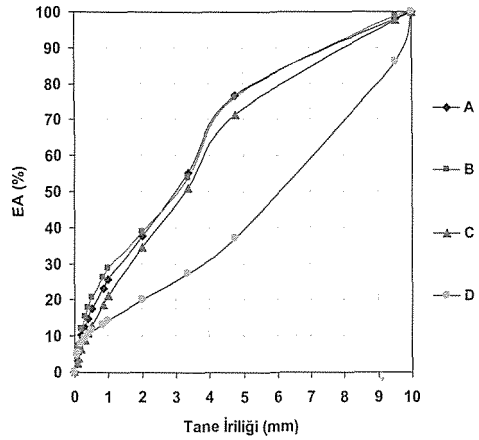
2.2.1 Kırılma

Dört ayrı sahadan alınmış olan zeolit numuneleri, öncelikle çeneli kırıcıda kırma işleminden ve ardından da eleme testlerinden geçirilmiştir. Zeolit numuneleri ayrı ayrı (A,B,C,D) çeneli kırıcıda -10 mm tane boyutunun altına kırılmıştır. Kırılmış numuneden temsili olarak alınan numuneler elek analizlerine tabi tutulmuşlardır.

2.2.1.1 Numunelerin birincil kırma sonuçlarının irdelenmesi

Şekil 2' de sunulan grafikte A,B,C,D örneklerinin birincil aşamadaki (çeneli kırıcı ile) kırılmasından elde edilen örneklerin elekaltı eğrileri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Grafiklerin görünüm ve değerlerinden anlaşılacağı üzere A, B, C örnekleri yaklaşık kümülatif elekaltı oranları açısından benzer karakteristiktir. D numunesinin farklı mineral ve bunların kimyasal, fiziksel, yapısal karakteristikleri kırılma kinematikini etkilemiş ve bu aşamada A, B, C numunelerine karşın daha kaba tane iriliğinde kırılmıştır.



Şekil 2. A, B, C ve D numunelerinin birincil kırma elekaltı eğrileri.

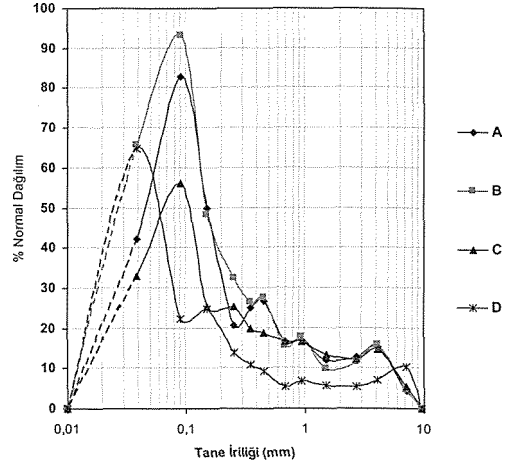
A numunesinin birinci çeneli kırıcı çıkış ürünü elek analizleri olan Şekil 2 incelendiğinde, iri taneden ince taneye doğru bir düşüş gözlenmektedir. Bu ise çeneli kırıcının fazla öğütmeden iri boyutta belirli amaçlarda kullanımına uygun bir boyut dağılımı sağlamaktadır.

Diğer bir tanımlamayla koruyucu bir kırma işlemi görmüştür. B numunesinde de aynı

şekilde cevherin yapısal özelliği çeneli kırıcıda koruyucu bir kırma imkanı sağlamıştır. İri boyuttan ince boyuta doğru ağırlıksal oran azalmaktadır. % 1-2 ağırlık farklılığı ile B numunesi, A numunesi gibi koruyucu kırma özelliği göstermektedir. C numunesi de A ve B numuneleri gibi çeneli kırıcıda koruyucu bir kırılma özelliği göstererek iri taneden ince taneye doğru azalan bir oranda tane dağılımı göstermiştir. 4.75 mm üstündeki cevherin sertliği ve tanelerin hammaddeyi oluşturan minerallerin kontakt zonlarında mukavemetinin yüksek oluşu iri boyutta kırılmasını ince ve yumuşak yapılı ancak oransal olarak düşük değerlerde olan tanelerin ise ince boyutlarda düşük dağılım oranları göstermesine dayanmaktadır. Nitekim D numunesinde (-0.5+0.4) ve (-0.1+0.075) mm'ler arası boyutlardaki kayaç minerallerinin düşük miktarlarda ağırlık oranlarında bulunması boyut dağılımında düşük değerler yaratmıştır. Özet olarak; çeneli kırıcıda kırılan A, B, C ve D numuneleri benzer oluşumları nedeniyle benzer özellikler göstermiş ve kırıcının değişmeyen ayarlarında birbirine benzer yapıda bir öğütme olanağı yaratmıştır.

Şekil 3' de A, B, C ve D numunelerinin hangi elek açıklığında yığılma gösterdiğini anlamak için malzemenin -10 mm tane boyutu altına kırılması sonucunda farklı boyutlardaki elek boyutlarında yapılan elek analiz sonuçlarına dayanılarak oluşturulan birinci kırma normal dağılım verileri gösterilmiştir.

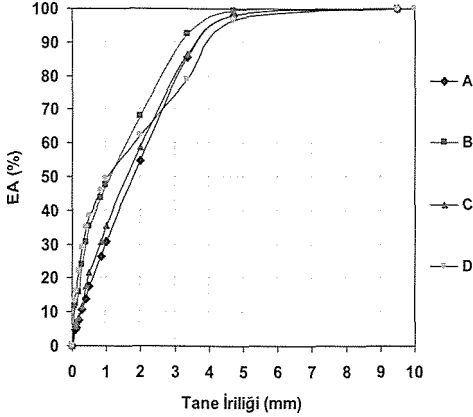
A, B, C numunelerinin birinci çeneli kırıcı çıkışının hesaplanan normal dağılım değerlerine dayanılarak çizilmiş olan şekil 2'deki normal dağılım eğrisinden anlaşılacağı üzere; en yüksek dağılım oranı birinci derecede -0.1+0.075 mm aralığında, en büyük dağılım oranının ince tanelerde olduğu, bu bize mm başına düşen ağırlıksal değerlerin en fazlasının bu aralıkta görüldüğünü göstermektedir. D numunesinde ise bu oranın -0.075 mm aralığında en yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 3. A, B, C ve D numunelerinin birinci kırma normal dağılım eğrileri.



2.2.1.2 Numunelerin ikincil kırma sonuçlarının irdelenmesi

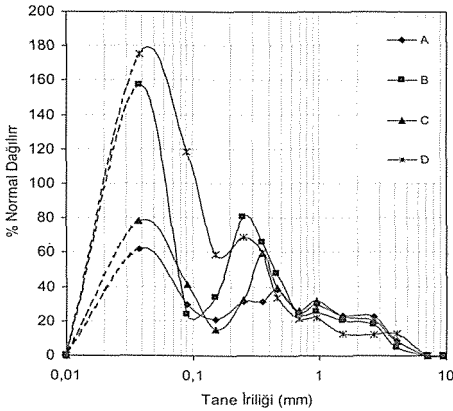
Şekil 4' de sunulan grafiklerde A, B, C, D örneklerinin ikincil kırma (küçük çeneli kırıcı) aşamasından elde edilen örneklerin elekaltı eğrileri karşılaştırıldığında, A ile C örneğinin yaklaşık elekaltı oranlarıyla birbirine benzer kırılma karakteristiği gösterdiği gözlenmektedir. B ile D örnekleri ise -1 mm tane altında yaklaşık elekaltı oranlarında bulunurken 1 mm 'in üstünde 5 mm sınırına kadar % 6 ile % 12 ağırlık oranları farklılığında kırılma özelliği göstermiştir.

İkinci kademe kırma olarak öngörülen -5 mm çıkış açıklığına ayarlanmış çeneli kırıcıda araştırmaya esas tutulan, A, B, C ve D numuneleri teker teker verilerek kırılmış, çıkan ürün standart serideki eleklerde elek analizine tabi tutulmuştur. Eğrisel sunumlarından anılan hammaddelerin benzer özellikleri bu aşamada da koruyucu bir kırılma olanağını yaratmış, bu özellik ileride hammaddelerin kullanım alanlarına uygun üretimler sağlayabilecektir.



Şekil 4. A, B, C ve D numunelerinin ikincil kırma elekaltı eğrileri.

A, B, C ve D numunelerinin ikinci çeneli kırıcı çıkışına göre hesaplanan normal dağılım değerlerinden çizilen şekil 5' deki normal dağılım eğrisinden anlaşılacağı üzere; en yüksek dağılım oranının -0.075 mm aralığında, en büyük dağılım oranının ince tanelerde olduğunu, buradan da mm başına düşen ağırlıksal değerlerin en fazlasının bu tane boyutunda görüldüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 5. A, B, C ve D numunelerinin ikinci kırma normal dağılım eğrileri.

2.2.2 Öğütülme

Zeolit hammaddesinin öğütülmesi için DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan seramik değirmen kullanılmıştır. Boyutları, eni ve uzunluğu 19 cm'dir. Değirmenin hacmi, 5384 cm³'tür. Numunelerin öğütülmesinde kullanılan ve kabul edilen öğütme koşulları aşağıda verilmiştir.

Bilya çapı: 2,7, 2,0, 1,7, Bilya sayısı: 42, 52, 311 ve toplam 405, Bilya hacmi : 432,63, 217,71, 799,62 ve toplam 1449,96 cm³'tür.

Bilya şarjı: % 45, Malzeme şarjı: % 50, Malzeme hacmi: 483.87cm³,

Malzeme ağırlığı: 750 gr., Yiğın yoğunluğu: 1.55cm³, Değirmen hızı: 75 dev/dk.

Dört sahaya ait zeolit numuneleri, ayrı ayrı 15 dk, 30 dk, 45 dk, 60 dk ve 75 dk. gibi değişik sürelerde öğütülmüş ve elek analizine tabi tutulmuştur. Şekil 6-9'da değişik sürelerde öğütülmüş A, B, C, D numunelerinin elek analiz sonuçları ve eğrisel sunumları gösterilmiştir;

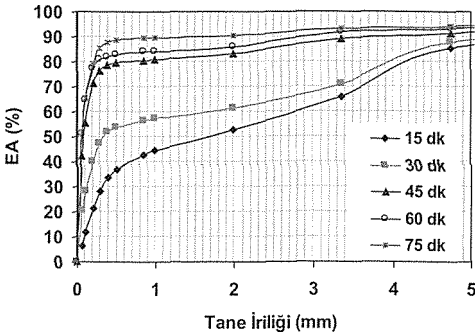
A numunesinin süreye bağlı -2 mm altındaki ağırlıksal oranının okunması:

numune belirtilen eşit koşullarda farklı sürelerde öğütüldüğünde 15 dakikalık bir sürede numunenin ağırlıksal olarak % 53'ü -2 mm altına öğütülmüştür. 30 dakikalık sürede ise numunenin % 62'si -2 mm altına inerken hedeflenen ağırlıksal olarak % 90'lık öğütme verimini elde edebilmek için numunenin 75 dakikalık bir sürede öğütülmesi gerekliliği saptanmıştır. Bu sürelerde öğütülen numunenin -1 mm boyutuna inmesinde sağlanan ağırlık oranları aşağıda gösterilebilir;

15 dakikada numunenin % 45'i, 30 dakikada numunenin % 58'i, 45 dakikada numunenin % 80'i, 60 dakikada numunenin % 85'i, 75 dakikada numunenin % 90'ı, -1 mm altına inmektedir.

-1 mm altına inen numunenin 0,5 mm boyutunda da % 90'ı öğütülmekte denebilir. Ancak, ekonomisi düşünüldüğünde numunenin % 80'inin 45 dakikalık bir öğütme süresiyle elde edilebildiği Şekil 7' deki eğrisel sunumda izlenebilmektedir.

Kullanım alanları açısından düşünüldüğünde; en az % 85 klinoptilolit mineral saflığında olan hammaddenin -1+0,5 mm tane boyutu arasında; tarımda gübre katkısı, hayvan beslemede yem katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak kullanılabilir. Daha iri tane boyutunda kullanım alanı için ise örneğin -4+2 mm boyut aralığındaki malzeme; tarımda gübre katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak, ağıllarda ve evcil hayvanlara yaşama ortamlarında amonyağa bağlı koku gidermelerinde kullanılmaktadır. A numunesi, -0,84+0,2 mm tane boyut aralıklarında hem iyon değiştirici ve hem adsorpsiyon amacıyla kullanılabilir. Dolgu malzemesi ve diğer uygulamalar için ise mikron boyutlarında zeolite ihtiyaç olmaktadır.



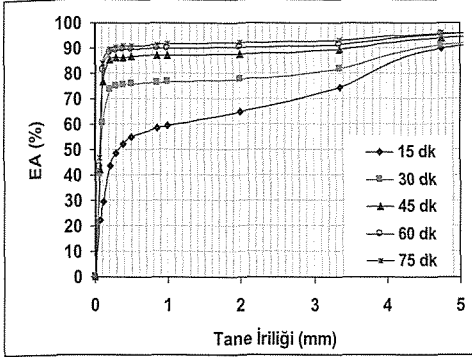
Şekil 6. A numunesinin öğütme süresine göre elekaltı eğrileri.

B numunesinin süreye bağlı ağırlıksal oranları irdelendiğinde; B numunesi de belirtilen aynı koşullarda öğütüldüğünde, numunenin 15 dakikalık öğütülmesinde ağırlıksal olarak % 65'i -2 mm tane boyutuna indirilmiştir. 30 dakikalık öğütmede ise malzemenin % 78'inin -2mm

altına öğütüldüğü saptanmıştır. Ancak hedeflenen ağırlıksal olarak % 90'lık verime, 60 dakikalık bir öğütme süresiyle ulaşılmıştır. Numunenin -1 mm altına indirilmesinde, elde edilen ağırlıksal oranlar ise aşağıdaki değerlerde bulunmuştur:

15 dakikada numunenin % 60'ı, 30 dakikada numunenin % 77'si, 45 dakikada numunenin % 88'i, 60 dakikada numunenin % 90'ı, 75 dakikada numunenin % 92'si -1 mm tane boyutunda sağlanmıştır.

Numunenin -0,5 mm boyutuna indirilmesi, 60 dakikalık bir öğütme süresi ile % 90'lık ağırlıksal verimi ile elde edilebilmiştir. Öğütme maliyeti açısından düşünüldüğünde, aynı boyuta indirmede % 87 ağırlık veriminin 45 dakikalık bir öğütme süresiyle sağlanmasının daha ekonomik olacağı savunulabilir. B numunesini tane boyutuna göre kullanım alanları açısından düşündüğümüzde ise yine A numunesinde olduğu gibi, en az % 85 klinoptilolit mineral saflığında olan hammaddenin -1+0,5 mm tane boyutu arasında; tarımda gübre katkısı, hayvan beslemede yem katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak kullanılabilir. Daha iri tane boyutunda kullanım alanı için ise örneğin -4+2 mm boyut aralığındaki malzeme; tarımda gübre katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak, ağıllarda ve evcil hayvanlara yaşama ortamlarında amonyağa bağlı koku gidermelerinde kullanılmaktadır. B numunesinin ise, 45 dakikalık bir öğütme süresi ile % 90'lık ağırlık verimi ile -3,35 mm altına öğütüldüğü ve tercihen tarımda gübre katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtmalarında filtre malzemesi, ağıl ve hayvanlara uygun yaşam koşulları sağlama amaçlı kullanılabilirdiği bilinmektedir. Mikronize boyutlarda ise; tıp, dolgu malzemesi gibi alanlarda kullanımı mümkündür.



Şekil 7. B numunesinin öğütme süresine göre elekaltı eğrileri.

C numunesinin süreye bağlı ağırlıksal oranları değerlendirildiğinde: C numunesi de belirtilen eşit koşullarda farklı sürelerde öğütülmüş ve numunenin 15 dakikalık öğütülme ile ağırlıksal olarak % 60'ının, 30 dakikada % 70'i, 45 dakikada % 75'inin -2 mm boyutuna indiği saptanmıştır. % 80'lik verime ise 60 dakikalık öğütme ile ulaşılabilmiştir ancak, 75 dakikalık öğütmede ağırlıksal verim % 1'lik bir artış ile % 81 değerinde olmuştur. Hammaddenin -1mm altına öğütülmesiyle elde edilen ağırlıksal oranlar ise aşağıda sunulduğu değerlerdedir;

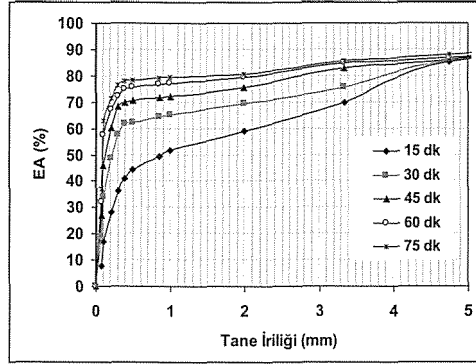
15 dakikada numunenin % 52'si, 30 dakikada numunenin % 65'i, 45 dakikada numunenin % 72'si, 60 dakikada numunenin % 77'si, 75 dakikada numunenin %80'i -1 mm altına öğütülmüştür.

-0,5 mm' boyutuna % 79'luk verimle 75 dakikalık bir öğütme süresinde erişilebilmektedir. C numunesinin istenilen verime ulaşması için 45 dakika yerine, 60 ve 75 dakikalık öğütme süreleri öngörülebilir.

C numunesi de kullanım alanları açısından değerlendirildiğinde; A ve B numuneleri ile aynı özellikte olduğundan yani en az % 85 klinoptilolit mineral saflığında -1+0,5 mm tane boyutu arasında; tarımda gübre katkısı, hayvan beslemede yem katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak kullanılabilir.

-3+2 mm gibi daha iri boyutlarda ise tarımda gübre katkısı, içme suyu ve havuz suyu arıtımında filtre malzemesi olarak ve ağıllarda ve evcil hayvanlara yaşama ortamlarında amonyağa bağlı koku gidermelerinde kullanımı talep edilmektedir.

Daha ince tane boyutlarında ise; örneğin -0,5 mm tane boyutunda hem iyon değiştirici hem de adsorpsiyon amaçlı kullanılabilir. Dolgu malzemesi, tıp ve enerji gibi diğer alanlarda ise mikron boyutlarında zeolit talebi vardır.



Şekil 8. C numunesinin öğütme süresine göre elekaltı eğrileri.

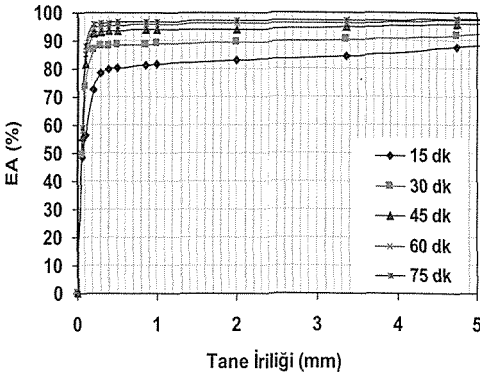
D numunesinin süreye bağlı öğütülmesi irdelendiğinde: hammaddenin 15 dakikalık öğütülmesiyle % 83'lük ağırlıksal verimi ile -2 mm altına geçtiği ve 30 dakikada % 90'lık verime ulaşılabilirdiği, 45 dakikalık öğütme ile de % 95'lik verim elde edilebilmektedir. Bu durumda hedeflenen % 90'lık verim için 30 dakikalık bir öğütme yeterli olmuştur. Uygulanan sürelerde öğütülen malzemenin -1 mm için elde edilen sonuçları aşağıda sunulan değerlerde sağlanmıştır:

15 dakikada numunenin % 82'si, 30 dakikada numunenin % 89'u, 45 dakikada numunenin % 94'ü, 60 dakikada numunenin % 96'sı, 75 dakikada numunenin % 97'si -1 mm altına öğütülmüştür.

D numunesinin, -1 mm boyutuna öğütülmesi % 94 ağırlık verimi ile 45 dakikalık bir sürede sağlanmıştır. Gerek öğütme süresi, gerekse ağırlık verimi yönünden önceki bölümde irdelenen A, B, C numuneleri öğütme değerleriyle

karşılaştırıldığında D numunesinin 45 dakikalık sürede % 94 ağırlık veriminde bulunması ekonomik bir sonuçtur.

Kullanım alanları açısından örneğin yağ ağartmada -0,1 mm' in uygun olduğu saptanmıştır. -0,1 mm incelik ise % 89'luk verimle 75 dakikada sağlanabilmektedir. Zeolitlerin -0,5+0,2 mm tane aralığında iyon değiştirici ve adsorpsiyon amaçlı kullanımları söz konusu olduğundan bu tane boyutlarında, D numunesinin önemli bir kullanım alanı bulabileceği öngörülebilir.

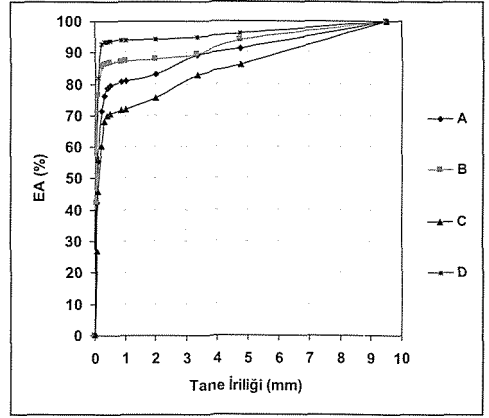


Şekil 9. D numunesinin öğütme süresine göre elekaltı eğrileri.

2.2.2.1 Numunelerin (A, B, C, D) optimum öğütme süresi (45 dakika) sonuçlarının irdelenmesi

Araştırmaya konu olan A, B, C ve D örneklerinin süreye bağlı elde edilen ufalama özelliğini belirleyen elekaltı eğrilerinden saptanan optimum öğütme süreleri olarak bulunan 45 dakikadaki elekaltı eğrileri karşılaştırıldığında (bakınız şekil 10) en yüksek elekaltı oranlarının D örneğinden başlayarak B, A ve C şeklinde düşük değerlerde sıralandığı görülmektedir. Bu olgu, örneklerin içerdiği cevher tiplerine, mineral türlerine, şekilleri ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Özellikle zeolit minerallerinin farklı kimyasal yapıda oluşu, bünyesinde su oluşturmaya, ince ve ışınal kristal yapısı göstermesi, minerallerin birbirine kontakt zonlarda bağlanma direncini azaltmaktadır ve ufalanmayı arttırmaktadır. Bu özelliğe sertlik ve

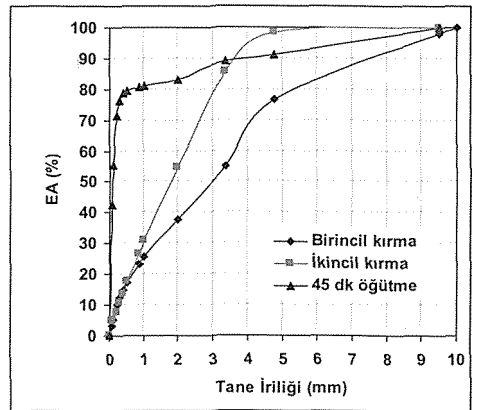
cevherin tane boyut dağılımı da eklenince Şekil 10'daki grafiksel görünüm ortaya çıkmaktadır.



Şekil 10. A, B, C ve D numunelerinin 45 dakika optimum süresine bağlı elekaltı grafikleri.

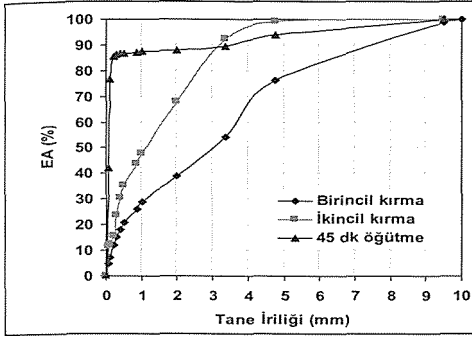
2.2.3 Numunelerin ufalama sonuçlarının irdelenmesi

A, B, C ve D numunelerinin birinci kırma ikinci kırma ve optimum öğütme süresi olarak saptanan 45 dakikalık öğütülmesi sonucunda elde edilen numune türevlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması şekil 11-14'de topluca sunulmuştur.

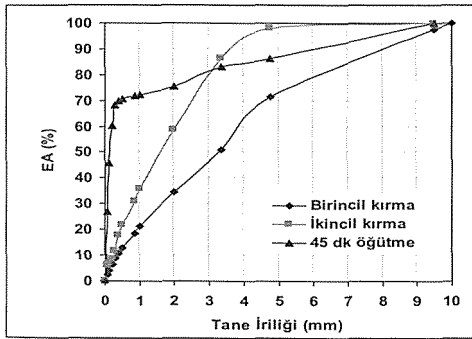


Şekil 11. A numunesinin birincil ve ikincil kırma ile optimum 45 dk. öğütme süresine bağlı elekaltı grafikleri.

Şekil 11'e göre, A numunesinin birincil kademede kırılmasında cevherin -3,35 mm tane boyutuna % 55,22'si indirilirken, ikinci aşama kırmada ise % 85,66 oranında boyut indirgenmesi sağlanmıştır. Aynı numunenin 45 dakikalık optimum öğütme süresinde % 89,13'ü -3,35 mm tane boyutuna öğütülmüştür.

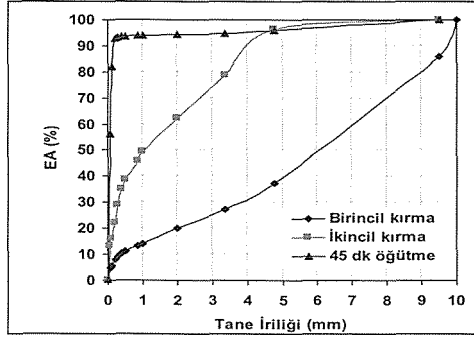


Şekil 12'ye göre B numunesinin birincil aşama kırılmasında cevherin -3,35 mm tane boyutuna % 54,04'ü indirilirken, ikinci aşama kırmada % 92,42 oranında boyut indirilmiştir. Aynı numune 45 dakikalık optimum öğütme süresinde ise % 89,45 oranında öğütülmüştür.



Şekil 13'e göre C numunesinin birincil aşama kırılmasında cevherin -3,35 mm tane boyutuna % 51,19'u, ikinci kademe kırmada ise % 86,34'ü indirilmiştir. 45 dakikalık optimum öğütme sonunda ise cevherin % 83'ü öğütülmüştür.

Şekil 14'e göre D numunesinin birincil aşama kırılmasında cevherin -4,75 mm tane boyutuna % 37,16'sı, ikincil aşama kırılmasında % 96,45 oranında boyut indirgenmiştir. Yine aynı numunenin 45 dakikalık optimum öğütme süresi sonunda malzemenin % 96,07'si öğütülmüştür. Bu karşılaştırmalar bize A,B,C ve D numunelerinde ikinci kırmanın öğütme sürecini optimum değere yaklaştırmada önemli bir katkı, dolayısı ile aşama sağladığını göstermektedir.



Şekil 14'e göre D numunesinin birincil aşama kırılmasında cevherin -4,75 mm tane boyutuna % 37,16'sı, ikincil aşama kırılmasında % 96,45 oranında boyut indirgenmiştir. Yine aynı numunenin 45 dakikalık optimum öğütme süresi sonunda malzemenin % 96,07'si öğütülmüştür. Bu karşılaştırmalar bize A,B,C ve D numunelerinde ikinci kırmanın öğütme sürecini optimum değere yaklaştırmada önemli bir katkı, dolayısı ile aşama sağladığını göstermektedir.

Şekil 14'e göre D numunesinin birincil aşama kırılmasında cevherin -4,75 mm tane boyutuna % 37,16'sı, ikincil aşama kırılmasında % 96,45 oranında boyut indirgenmiştir. Yine aynı numunenin 45 dakikalık optimum öğütme süresi sonunda malzemenin % 96,07'si öğütülmüştür. Bu karşılaştırmalar bize A,B,C ve D numunelerinde ikinci kırmanın öğütme sürecini optimum değere yaklaştırmada önemli bir katkı, dolayısı ile aşama sağladığını göstermektedir.

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Araştırmaya konu olan A, B, C ve D örneklerinin süreye bağlı elde edilen ufalama özelliğini belirleyen elekaltı eğrilerinden saptanan optimum öğütme süreleri olarak bulunan 45 dakikadaki elekaltı eğrileri karşılaştırıldığında (bakınız şekil 10) en yüksek elekaltı oranlarının D örneğinden başlayarak B, A ve C şeklinde düşük değerlerde sıralandığı görülmektedir. Bu olgu, örneklerin içerdiği cevher tiplerine, mineral türlerine, şekilleri ve yapısal özelliklerine bağlı olarak algılanmıştır.

Özellikle zeolit minerallerinin farklı kimyasal yapıda oluşu, bünyesinde su oluşturması, ince ve ışımsal kristal yapısı göstermesi, minerallerin birbirine kontakt zonlarda bağlanma direncini azaltmaktadır ve uflanmayı arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bilgin, Ö., 2009. *Gördes zeolitlerinin hammaddesel özelliklerinin incelenmesi ve değişik sektörlerde kullanılabilirliğinin araştırılması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 194 s.
- Gottardi, G., 1976. *Mineralogy and Chrystal Chemistry of Zeolites, Natural Zeolites; Occurence, Properties, Use*, "A selection of papers presented at Zeolites, an International Conference on the Occurence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites, Tucson, Arizona, USA, 31-44 pp.

Zenginleştirme Sonrası İnce Barit Konsantresine Susuzlandırma Proseslerinin Uygulanması

Application of Dewatering Processes on Fine Barite Concentrate after Beneficiation

Vedat Deniz

Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği bölümü, Çorum

Yakup Umucu

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Bu çalışmada, Isparta-Şarkikaraağaç'ta bulunan BAŞER Maden Sanayi A.Ş. ait olan pilot ölçekli MGS ve Sallantılı Masa zenginleştirme tesisi barit konsantresinin öğütme işlemi öncesi istediği kuruluğa getirmek için bir dizi çökeltme ve kurutma çalışmaları yapılmıştır.

Testler sonucu, katı oranı arttıkça kurutma verimi artmakta ve kurutma süresi de azalmaktadır. Dolayısıyla, çökeltme işleminde % 85- % 95 değerleri gibi yüksek katı oranlarında getirilebilirse kurutma süresinin kısılacağı ve daha ekonomik bir kurutma prosesi oluşturulmuş olacaktır.

ABSTRACT In this study, there were investigated using sedimentation and drying techniques on the high grade concentrate of pilot MGS and shaking table barite plant belongs to Başer Mining Co. in Isparta-Şarkikaraağaç (Turkey) to bring to the requested dry material of grinding processing.

In result of these tests, increasing drying efficiency with increases solid rate and drying time is reduced. Therefore, drying time will be reduced when as high as 85%-95% of the solid rate of in the sedimentation processing, and a more economic drying process will be created

1 GİRİŞ

Cevher zenginleştirme sonrası işlemlerde kullanılan suyun ortamdaki uzaklaştırılması işlemi katı-sıvı ayırımı veya susuzlandırma adı verilir. Cevher zenginleştirme tesis atıklarının ortamdaki uzaklaştırılması sırasında uygulanan katı-sıvı ayırımı işleminde genellikle büyük bir alana yığılmakta ve depo edilmektedir. Zenginleştirilen mineral yani konsantre ise susuzlandırma proseslerinden geçirildikten sonra genellikle paketleme veya öğütme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Susuzlandırma prosesleri üç aşamada yürütülmektedir. Bunlardan birincisi cevherin çökeltme davranışı sonrası bir

tikiner dizaynı ile su miktarını %20 - %40 civarına düşürmek ve ikinci aşamada filtre işlemi ile %5-%40 su içeriğine düşürülmekte ve son olarak da kurutma işlemi ile tamamen su içeriğinden uzaklaştırma proseslerini kapsar (Wills, 1984; Weiss, 1985).

Çökeltme veya suyun tasviyesi, çökeltme denen işlem sonucu yerçekimi etkisiyle katı partiküllerin süspansiyondan ayrılmasıdır. Bu işlemlerin gerçekleştirildiği endüstriyel cihaza ise tikiner adı verilmektedir. Tikinerler kesikli veya sürekli olarak çalışabilir. Tikinerler için çeşitli rejim ve zonlar bulunabilir fakat gerekli alanın tespiti için, serbest çökeltme (stokes) bölgelerindeki şartlar geçerlidir. Bu bölgeler, süspansiyon içindeki katıların bir üst veya alttaki

tabakalara basınç yapmadan sıvı içinde çökdiklerleri bölgelerdir. Böyle bir serbest çökeltme rejiminde birim zamanda birim alandan geçen katı miktarı, çökeltme hızı ve katı konsantrasyonun çarpımına eşittir. Çökeltme işleminin tespitinde laboratuvar ölçekli sedimantasyon testleri genellikle kullanılır (Aytekin, 1979; İpekoğlu, 1985; Emrullahoğlu, 1985).

Çökeltme ile elde edilen konsantrasyonun içinde kalan sıvı kısmın atılması en genel anlamda piyasa şartlarına uygun hale getirilmesi önemli bir konudur. Bu anlamda, kurutma süresi ve sıcaklığı seçilecek olan ekipmanın işletme maliyetlerini etkileyeceği için kurutma testleri önem arz eder.

Kurutmaya etki eden başlıca faktörler, havanın nemi, sıcaklığı, akış yönü ve maddenin sıcaklığıdır (Wills, 1984; Weiss, 1985; Deniz, 2004).

Katı maddenin yüzeyinde buharlaşan nemin, bu yüzeyle temas halinde bulunan hava sınır filminden geçmesi lazımdır. Difüzyon yolu ile meydana gelen bu olayda sürüklenme kuvveti, sınır yüzeyi ve hava nemi arasındaki farktır. Yüzey nemi kaldığı sürece hava da oradaki sıcaklığa tekabül eden bir doyma kıymeti arz eder. Bundan ötürü, buharlaşma esas rolü oynadığı müddetçe hava neminin artması, kurutma hızının düşmesine sebep olur, ve yüzeydeki buharlaşmanın esas rolü oynadığını gördüğümüz yavaşlamanın kurumunun ilk safhasında, iki tesir böylece birleşir. Eğer ilk olarak tesir eden difüzyon ise, hava nemi önemli bir rol oynamaz ve bu safhada, havanın nemi denge nemi oranına tesir etmedikçe, kuruma hızı bu nemden etkilenmez.

Yukarıda verilen açıklamadan, ilk iki safhada hava akış hızının artması ile, kuruma hızının da artması gerektiği sonucuna varılabilir. Fakat son safhada, difüzyonun oynadığı rol hakim olduğundan, hava akımının şiddetlendirilmesi herhangi bir etki yapmaz.

Buharlaşma safhasında, hava akımı madde üzerinden dikey olarak geçerse, kuruma hızı paralel bir akıma nazaran daha yüksek bir etki eder, çünkü ilk şıkta sınır filminin kalınlığı, ikinci şıkta nispetle, hava

geçmesinden daha çok etkili olur. Difüzyon safhasında, hava akımının yönü, netice üzerinde önemli bir rol oynamaz.

Maddenin bulunduğu sıcaklığının yükseltilmesi, gerek buharlaşma gerek difüzyon safhalarındaki kuruma hızının artmasına sebep olur. İlk şıktaki artma, sınır yüzeyindeki havanın doyma neminin, dolayısı ile sürüklenme kuvvetinin daha büyük önemi ortaya çıkar; ikinci şıktaki artma ise, viskozitenin düşmesi neticesinde, difüzyon hızının şiddetlenmesinden ileri gelir. Bununla beraber sıcaklık yüklemesinin genel olarak, difüzyon safhasına kıyasla buharlaşma safhasında daha etkili olduğunu belirtmek gerekir.

Bu çalışmada, zenginleştirilmiş olan konsantrasyonun çökeltme işlemi sonrası, belirli katı oranına gelen konsantrasyonun kurutma sıcaklığına ve süresine bağlı şartlarının araştırılması amacıyla bir grup deney yapılmıştır. Bu deneylerde, çökeltme sonrası hem belirli katı konsantrasyonlara gelebilecek olan konsantrasyonun hem de belirli bir sıcaklıktaki kurutma verimleri araştırılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

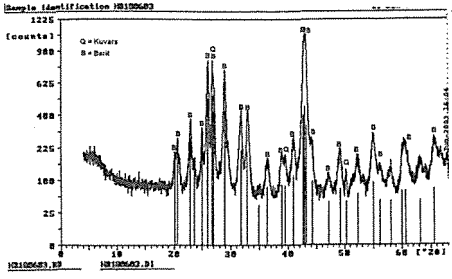
Bu çalışmada, Isparta-Şarkikaraağaç'da bulunan BAŞER Maden Sanayi A.Ş.'nin pilot MGS ve Sallantılı Masa zenginleştirme tesisi barit konsantrasyonu için öğütme işlemi öncesi susuzlandırma çalışmaları yapılmıştır.

Başer Maden Sanayii A.Ş.'nin pilot zenginleştirme tesisi sonucunda ortalama 4.24 gr/cm³'lük yoğunluğundaki barit konsantrasyonun farklı katı oranlarında elde edilmektedir. Deneylerde kullanılan konsantrasyonun kimyasal analizleri sonuçları XRF ile yapılmış ve sonuçları Çizelge 1 verilmiştir. Ayrıca, mineralojik özellikleri ise XRD ile yapılarak sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'den de görüleceği üzere konsantrasyonun esas mineral olarak barit (BaSO₄) ve az miktarda ise kuvars (SiO₂) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çok az oranda eser olarak da kil mineralleri olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan barit konsantrisinin kimyasal analiz sonuçları

Elaman	(%)
SO ₃	40.90
CaO	0.43
MgO	0.37
SiO ₂	0.50
Fe ₂ O ₃	0.07
Na ₂ O	0.02
K ₂ O	0.02
Al ₂ O ₃	0.01
BaSO ₄	98.44
Ateş kaybı	21.91



Şekil 1. Deneylerde kullanılan barit konsantrisinin XRD sonuçları

2.2 Yöntem

Susuzlandırma işleminde kurutma öncesi çökeltme ile katı-sıvı ayrımı gerekmektedir. Çökeltme işlemleri açısından doğal çökeltme ve gerekirse flokülant yardımıyla çökeltme eğrilerinin yapılması gereği vardır. Bu nedenle, 4 farklı katı oranında sedimantasyon testleri laboratuvar ölçeğinde yapılmıştır. Ardından farklı katı oranındaki konsantrilerden sıcaklığın ve kurutma süresinin kurutma verimi üzerinde etkisini belirlemek için hava üfleme etüvde kurutma testleri yapılmıştır.

3 DENEYLER VE SONUÇLAR

DeneySEL çalışmalarda, pilot ölçekli tesisten çıkan konsantrite satılabilir tenör'e ulaşmakla birlikte piyasanın istemiş olduğu tane

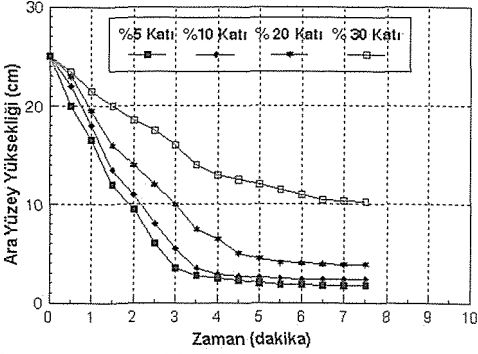
büyüklüğü olan 1 ila 5 mikron boyutları (boya, kağıt ve dolgu sanayi v.b.) elde edilmesi için bir bilyalı değirmende öğütülme ihtiyacı söz konusudur. Bu tür değirmenlerde öğütülecek olan cevherin yaş veya kuru öğütme işlemi uygulanması gereği kaçınılmazdır. Genelde, barit konsantrisi piyasada çimento sektöründe olduğu gibi kuru olarak istendiğinden kuru öğütme yapmak zorunluluğunu doğurmuştur. Öğütme işleminde kuru öğütme yapılması durumunda öğütme işleminin verimine doğrudan etki etmesi sebebiyle öğütülecek cevher bünyesinde hiç nem içermemesi gereği vardır.

Piyasanın bu isteği göz önüne alınarak deneylerde, elde edilen farklı katı oranına sahip barit konsantrilerin hem çökeltme hem de kurutma testleri yapılmasına karar verilmiştir.

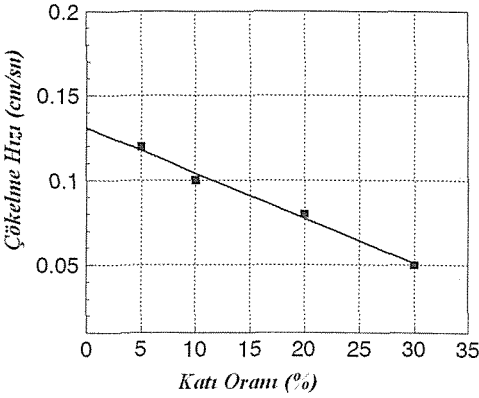
3.1 Çökeltme Deneyleri

Zenginleştirme sonucunda farklı katı oranında pulp halinde konsantride edilmektedir. Bu pulplerin kurutma öncesi katı sıvı ayrımı gerekmektedir. Çökeltme işlemleri açısından doğal çökeltme ve gerekirse flokülant yardımıyla çökeltme eğrilerinin yapılması gereği vardır. Bu nedenle, 4 farklı katı oranında çökeltme deneyleri flokülantsız olarak yapılmıştır ve sonuçlar Şekil-2'de verilmiştir. Ayrıca, Şekil-3'de farklı katı oranına sahip barit konsantride pülplerinin çökeltme hızı değişimi gösterilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3'de görüleceği üzere, tüm katı konsantrasyonlarda barit mineralinin özgül ağırlığının yüksek olması ve ince boyutta (kolloid) olmayışı sebebiyle çok kısa bir sürede çökeltme işlemi tamamlanmaktadır. Bu durum, ilave flokülant'a gerek olmadığını göstermektedir. Ayrıca, filtre işlemine de gerek olmadığı gözükmiştir.



Şekil 2. Farklı katı oranındaki barit konsantrelerin sedimentasyon deneyleri



Şekil 3. Farklı katı oranına sahip barit konsantrelerinin çökeltme hız grafiği

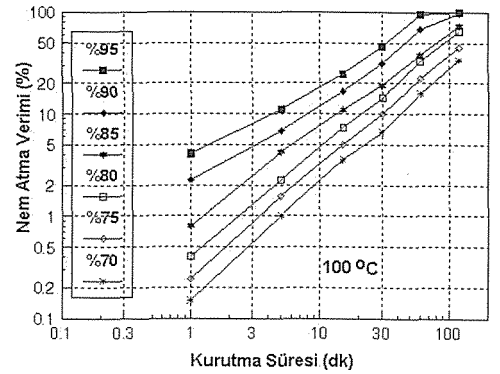
3.2. Kurutma Deneyleri

Kurutma en basit şekilde, sıvı kısmın buharlaştırılarak gaz haline gelen kısmın ortamdaki uzaklaştırılması ve böylece katıların sıvılardan ayrılması işlemine denir. Katı-sıvı ayrımı ile elde edilen konsantrelerin içinde kalan sıvı kısmın atılması en genel anlamda piyasa şartlarına uygun hale getirilmesi önemli bir konudur. Bu anlamda, kurutma süresi ve sıcaklığı seçilecek olan ekipmanın işletme maliyetlerini etkileyeceği için kurutma testleri önem arz eder (İpekoğlu, 1985).

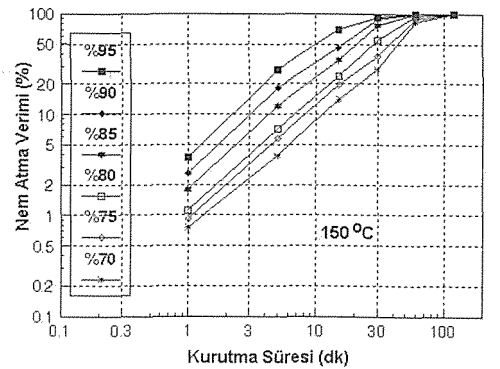
MGS ile zenginleştirilmiş olan konsantrenin çökeltme işlemi sonrası, belirli katı konsantrasyona gelmekte ve bu konsantrelerin tamamen kurumasını

sağlamak için kurutma sıcaklığına ve süresine bağlı şartlarının araştırılması amacıyla bir grup deney yapılmıştır. Bu çalışmada, hem çökeltme sonrası belirli katı konsantrasyonlara gelebilecek olan konsantrenin (%95, %90, %85, %80, %75 ve %70 katı oranları) hem de 100 °C, 150 °C, 200 °C ve 250 °C'ler de kurutma verimleri araştırılmıştır.

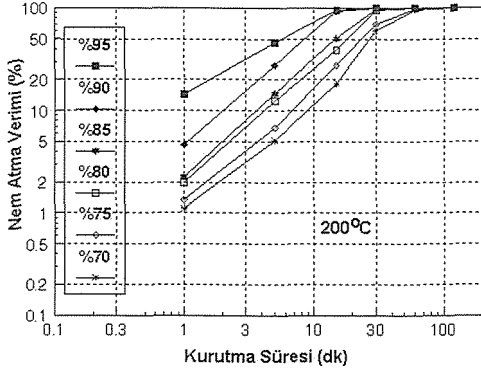
Şekil 4-7'de 4 farklı sıcaklıkta zamana bağlı olarak 6 farklı katı oranında kurutma verimleri verilmiştir.



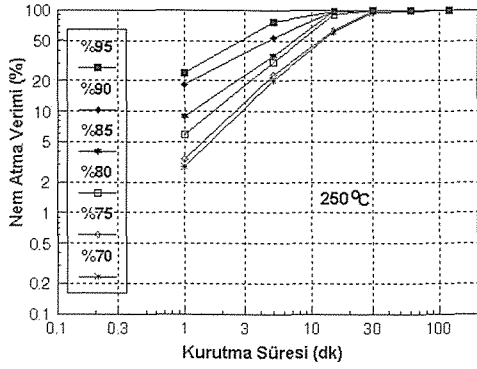
Şekil 4. 100 °C'de 6 farklı katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak kurutma verim ilişkisi



Şekil 5. 150 °C'de 6 farklı katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak kurutma verim ilişkisi



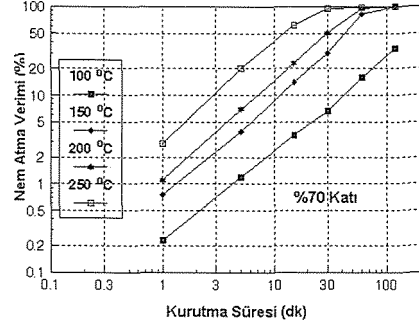
Şekil 6. 200 °C'de 6 farklı katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak kurutma verim ilişkisi



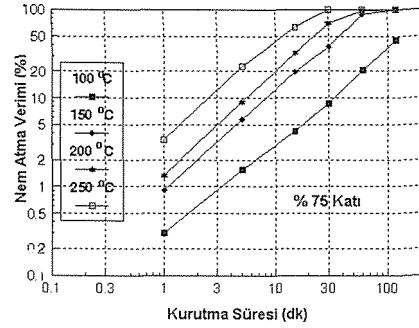
Şekil 7. 250 °C'de 6 farklı katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak kurutma verim ilişkisi

Şekil 4-7 incelendiğinde 100 °C 'de 90 ila 120 dakikada arasında yüksek verimlere ulaşılırken, 250 C'de ise 15-30 dakikada yüksek kurutma verimlerine ulaşılmaktadır. Bu durum, hem tesis kapasitesi hem de proses sürekliliğinin devamı açısından yüksek sıcaklıkların tercih edilmesi avantajlı olacağı görülmektedir.

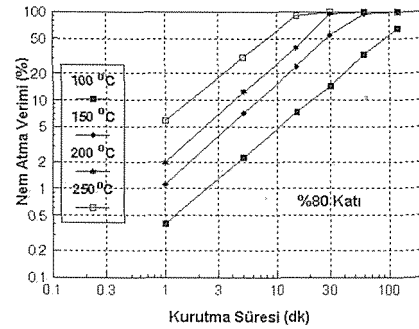
Kurutma veriminin sıcaklık ilişkisinin daha net konması açısından Şekil 8-13 arasında 4 ayrı sıcaklığın farklı katı oranlarında etkisi incelenmiştir.



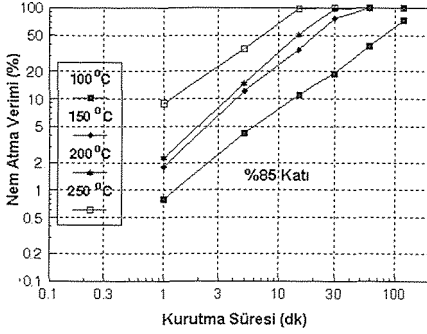
Şekil 8. %70 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi



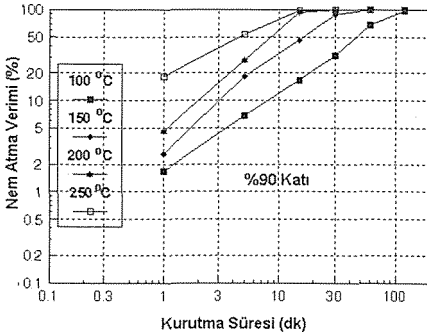
Şekil 9. %75 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi



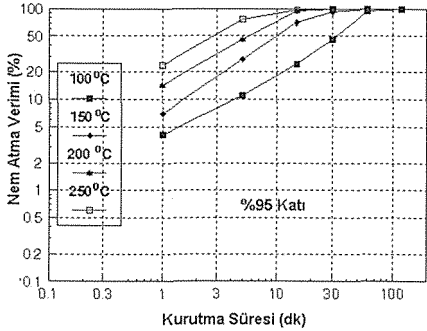
Şekil 10. %80 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi



Şekil 11. %85 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi



Şekil 12. %95 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi



Şekil 13. %95 katı oranındaki konsantrenin kurutma süresine bağlı olarak 4 farklı sıcaklıktaki kurutma verim ilişkisi

Şekil 8 ile Şekil 13 arasındaki grafikler incelendiğinde, katı oranı arttıkça kurutma

verimi artmakta ve kurutma süresi de azalmaktadır. Dolayısıyla, çökeltme işleminde yüksek katı oranlarında %95- %85 değerlerine getirilebilirse kurutma süresinin kısılacağı ve daha ekonomik bir kurutma prosesi oluşturulmuş olacaktır.

Ayrıca tüm kurutma deneyleri sonuçlarında (Şekil 4-13) ilk 10-30 dakikada nem atma verimlerinin logaritmik olarak arttığı, fakat sonraki kurutma sürelerinde bir yavaşlama etkisine girdiği tespit edilmiştir.

Kurutma esnasında tespit edilen bu yavaşlama, kritik nem kıymetine varıldığı zaman, maddenin yüzeyi yer yer kuru olmasına rağmen, kuruma hızının hala yüzeysel buharlaşmaya tabi olduğu, ve iç difüzyonun, henüz tesir etmediği kabul edilebilir. Bu, buharlaşma aktif yüzeyinin azaldığı manasına gelirse de olay hakikatte buharlaşma hızının düşmesinde değil, fakat ıslak yüzeyinin gittikçe nem kaybetmesinden ileri gelir. Buna mukabil yavaşlamanın ikinci safhasında, önemli rolü buharlaşma değil fakat nemin iç taraftan difüzyonu oynar. Bu safhada, yüzeydeki nem, denge nemi miktarına çok yakın olduğundan, kurumanın yavaşlaması katı maddenin ortalama neminin azalmasından ileri gelir. Gerçekten, madde içerisindeki ortalama konsantrasyon farkında baş gösteren bir düşüklük, difüzyon olaylarında sürüklenme kuvvetinin konsantrasyon farkından doğması dolayısı ile doğal olarak difüzyon hızının da yavaşlamasına sebebiyet verir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Suzuslandırma prosesleri, çökeltme, filtreleme ve kurutma işlemlerini kapsar. Bu araştırmada, hem çökeltme hemde kurutma işlemleri üzerine durlmuştur. Çökeltme işlemlerinde elde edilecek konsantrenin katı oranına bağlı olarak çökeltme davranışının ortaya konması ve sonrası kurutma işleminde farklı katı oranındaki konsantrenin kurutma sıcaklığı ve süresinin kurutma verimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Testler sonucu, katı oranı arttıkça kurutma verimi artmakta ve kurutma süresi de azalmaktadır. Dolayısıyla, çökeltme işleminde yüksek katı oranlarında %85-%95

değerlerine getirilebilirse kurutma süresinin kısılacağı ve daha ekonomik bir kurutma prosesi oluşturulmuş olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma “500 000 ton Barit Maden Atıklarının Geri Kazanım Teknolojisi” isimli ve TİDEB-3020312 nolu TÜBİTAK proje kapsamında desteklemiştir. Bu nedenle TÜBİTAK TEYDEB grubuna ve BAŞER MADEN SAN. Ve TİC. A.Ş. sahipleri ve çalışanlarına maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aytekin, Y., 1979. İnce tane Ölçüm Yöntemleri, E.Ü., Makina Fak. Yayını No= 2, İzmir.
- Deniz, V., 2004. *Cevher Hazırlamada Kurutma İşlemi ve Ekipmanları*, SDÜ Maden Müh. Böl. Ders Notları, İsparta.
- Emrulloğlu, Ö.F., 1985, *Cevher Hazırlamada Koyulaştırma, Klasifikasyon, Kömür Hazırlama ve Çözümlü Problemler*, Anadolu Üniv. Yayınlar No= 127, Eskişehir.
- İpekoğlu, Ü., 1985. *Katı-Sıvı Ayrımı*, DEÜ Müh.-Mim. Fak. MM/MAD-85 EY 084, İzmir.
- Wills, B.A. 1984. *Mineral Processing Technology*, Pergamon Press, London,UK.
- Weiss, N.L. 1985. *Mineral Processing Handbook*, SME, AIME, New York, USA

Kömür Yıkama Tesis Dizaynında Ön Araştırmanın Önemi ve Modelleme Yaklaşımlarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

The Importance of Preinvestigation for Coal Washing Plant Design and Important Cases to be Taken Account for Simulation

Prof. Dr. Vedat ARSLAN

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR

ÖZET: Kömür yıkama tesis dizaynının birinci aşaması olan numune alımı ve takip eden laboratuvar çalışmalarında gerekli özenin gösterilmemesi durumunda bir çok sorunla karşılaşmaktadır. Bu sorunlar işletmelerde bakım giderlerinin yükselmesine, ilave yatırımlara ve yüksek işletme giderlerine sebep olmaktadır. Sorunun farkedilmesi, başlangıçta yapılacak sağlıklı bir çalışma ile üretilecek referans değerlerle mümkündür. Bu referans değerler de, standartlara uygun miktar ve temsiliyet yeteneği yüksek numunelerle üretilmelidir. Elde edilen referans değerlerin modelleme ve dizaynlarda kullanılması ise çok yönlü bir bakış açısı gerektirmektedir. Türkiye’de henüz performansın önemi ön plana çıkamamıştır. Tesislerde performans ölçümlerinin yapılmaması nedeniyle, karşılaşılan sorunların kaynağı tam anlaşılammakta ve ön görüye yönelik tedbirlerle sorunlar çözülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’deki kömür yıkama araştırmaları için bir değerlendirme, modelleme yaklaşımları için ise uyarılar yer almaktadır. Ayrıca dizayn ve performans değerlendirmeleri için önemli olan ön araştırmalarda dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmaktadır.

ABSTRACT: The first stage of coal preparation plant design is accurate sampling. Various problems can be encountered if proper care is not taken in subsequent laboratory work. These problems give rise to maintenance costs, additional investment and operating costs. Therefore, in order to be aware of the possible problems, initial investigations should be carried out accurately to obtain reference values from various raw coal tests. These reference values should be obtained from highly representative samples which are suitable with related standards. On the other hand, the reference values obtained in modeling and design necessitate a diverse point of view. In Turkey, unfortunately, the importance of plant performance evaluation is not considered as a crucial step. The performance measurements are not carried out in the plants, therefore, the origins of the problem encountered cannot be fully perceived and the problems are considered on the basis of estimations. In this study, an evaluation for coal washing research is done and advices for modeling approaches are given. Furthermore, the crucial issues for design and performance evaluation are emphasized.

1. GİRİŞ

Kömürün yan kayaçlarından ayrılması işlemi, diğer cevher zenginleştirme işlemlerine göre farklı hedefleri olması nedeniyle, kömür yıkama olarak tanımlanmaktadır. Kömür yıkama işleminde, kömürün iri boyutta daha fazla ekonomik

değere sahip olması, iri boyutta depolama ve taşıma işlemlerinin daha kolay ve güvenli olması nedeniyle, kömür fazla boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmadan yan kayacından temizlenmeye çalışılır. Bu nedenlerden dolayı serbestleşme istense de, serbestleşmeyi daha da artırmak için boyut küçültme yoluna pek gidilmez, sadece ara

ürün miktarının çok fazla olması durumunda, ekonomik değeri düşük olan ara üründeki kömür içeriğini kazanmak için, kırma ve yeniden yıkama işlemi tercih edilmektedir.

Kömür yıkama tesis dizaynında, diğer cevherlerde olduğu gibi ön zenginleştirme testlerine ve pilot çalışmalara gerek yoktur. Uygun miktarda alınan numunelerle elek analizleri ve belirli tane boyutlarında yapılan yüzdürme-batırma testleri, tesis dizaynı için gerekli verileri oluşturmaya yetmektedir. Ayrıca kömürün ufalanma ve aşınması ile varsa kömürdeki kilin suda dağılım mekanizmasının da testlerle belirlenmesi gerekmektedir. Tabii ki burada kömür özellikleri ile ilgili tecrübi bilgilerin de önemi büyüktür. Bunlar kömürün iyileştirmesine yönelik çalışmalardır. Bunlara ilaveten, çevresel faktörler ve suyun geri kazanımı için çöktürme, filtrasyon vb testlerin yapılması ise zaruridir, bu testler yapılmadığı takdirde yanılma payları yüksek olabilmektedir.

Kömür yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen bilgiler tamamen teorik ve %100 verim kabulüne dayalı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu sonuçların pratikte elde edilebilecek sonuçlara göre modellenmesi gerekmektedir. Modellemede ise kullanılan referans değerler ve kömür özelliklerinin dikkate alınması önemli olmaktadır. Aksi takdirde her kömüre aynı referans performans değerleri ile yaklaşım uygulamak güvenilir değerler olup olmadığı konusunda daima şüpheye neden olacaktır.

Türkiye’de kömür hazırlama tesislerindeki en önemli eksiklik ise performans ölçümlerinin yapılmamasıdır. Performans ölçümleri kömür kazanım verimini ortaya koymasının yanında, tesis çalışma şartlarının kontrolü açısından da önemlidir. Ancak bu işin yapılması için gerekli prosedür, alt yapı oluşturulmadığı için, işletme çalışanları ve yönetimi tarafından zor ve anlamsız görülmekte, performans ölçümlerinin bilincinde olunmadığı içinde, yapılan kömür yıkama işlemi ile ilgili değerlendirme sadece ürün kül oranları üzerinden yapılmaktadır.

Makalenin içeriğinde kömür yıkama tesis dizaynı ön çalışmalarında dikkat edilmesi gereken hususlar ve olası hataların

önlenmesi için izlenmesi gereken yollar vurgulanacaktır. Ayrıca modelleme yaklaşımında kömür özelliği ve seçilmesi gereken model performans değerleri örnek hesaplamalarla vurgulanacaktır. Bunlara ilaveten kömür hazırlama tesislerinde performans ölçümü esnasında tesis ekipmanlarının çalışma parametrelerinin izlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacaktır.

Bu çalışma ile, Türkiye’de oldukça yaygınlaşmış olan ancak gerek kuruluş süreçlerinde, gerekse de çalışma esnasındaki performans takiplerinde büyük eksiklikler görülen kömür hazırlama sektörü için bir tartışma ortamı yaratılacaktır.

2. Kömür Yıkama Testleri İçin Gerekli Numune Miktarı

Kömür yüzdürme-batırma testleri, tüvenan kömürün belli bir yıkama yoğunluğunda ne kadarının, hangi kalitede kazanabileceğini ve çalışma koşullarına bağlı olarak ne oranda değişimler olacağını belirlemek için gerçekleştirilmektedir. Elek analizleri ve bu testler sonucunda elde edilen bilgiler ile kömür yıkama tesisi dizayn edilmekte ve boyutlandırılmaktadır. Bu nedenle kömür yıkama testleri çok önemli bir aşamadır.

Kömür yıkama testlerinin doğru ve güvenilir olması numune alma yöntemine ve alınan numune miktarına bağlıdır. Doğru ve yeterli miktarda numune alımı çalışmanın birinci aşamasını teşkil etmektedir. Alınacak numune miktarı, istatistiksel çalışmalarla belirlenmiş ve çeşitli standartlarla minimum miktarlar tanımlanmıştır. Alınacak minimum numune miktarında genelde kömürün boyutu ile tüvenan ya da yıkanmış olması belirleyici olmaktadır. Türkiye’deki yüksek küllü ve heterojen yapılu kömürler için ise minimum numune miktarında daha dikkatli olmak gerekmektedir. Yüzdürme-batırma testinin yapılacağı boyut için gerekli minimum numune miktarı, tüvenan kömürden elde edilecek numune miktarının belirlenmesi açısından başlıca faktördür. Minimum numune miktarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar söz konusudur. Bunlardan en bilineni Gy

denklemdir. Ancak bir çok ülkede standardizasyon amacıyla yapılan istatistiksel çalışmalar sonucu, genelde boyutla orantılı belirlenmiş miktarlar söz konusudur (Bongarçon ve Gy, 2002; Petersom ve ark., 2005).

Uluslararası ve ulusal standartlarda minimum numune miktarını tarifleyen ölçütler vardır. Bu ölçütlerde kömürün kül oranı, heterojenitesi (tüvenan veya yıkanmış) dikkate alınmakla birlikte ana ölçüt tane iriliği olmaktadır. Kömür yıkama çalışmalarının başladığı yıllarda, numune almanın önemi hep ön planda tutulmuştur. Örneğin 1929 yılında yazılmış olan 1190 sayfalık “Coal-Washing Investigations Methods and Tests” adlı kitapta tane boyutu ile minimum numune miktarı arasında verilen ilişki Çizelge 1’deki gibi gösterilmiştir.

Çizelge 1’den de görüleceği üzere, tane iriliği arttıkça alınması gereken minimum numune miktarı da önemli oranda artış göstermektedir. Yine bu Çizelgeden görebileceğimiz önemli bir sonuç toz kömür olarak ifade edilebilecek $\frac{3}{4}$ inç kömür için bile 100 kg’ın üzerinde bir numune miktarına ihtiyaç vardır. Tekrar vurgulamak ta yarar vardır, bu değerler 1929 baskısı olan bir kitapta yer almaktadır, yani yaklaşık 100 yıl

öncesinden bu işin ciddiyeti vurgulanmıştır. (Yancey and Fraser, 1929)

Minimum numune miktarı ile ilgili olarak “British Standart” BS ISO 13909-2:2001’e göre, akım halindeki kömürlerden tane boyutuna göre alınması gereken miktarlar Çizelge 2’de verilmektedir. Çizelgeden Türkiye’de genelde yıkama üst boyutu olarak seçilen -150 mm için, genel amaçlı numune miktarı 2600 kg olarak görülmektedir. Buradan söz konusu boyutta yüzdürme-batırma testlerinde kullanılmak üzere alınacak numune miktarının 2500 kg’dan az olmaması gerektiği sonucunu çıkarmak mümkündür. Türkiye’de yapılan testlerde ise bu önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu testleri yapan kurumlardaki alt yapı eksiklikleri ve testin basit ve önemsiz bir analiz gibi görülmesi, yapılan çalışmalarda 100 – 200 kg civarında numunelerin kullanılmasına neden olmaktadır. Bu gerçek, kömür yıkama tesis dizaynı ve/veya ihalesi için hazırlanmış bir çok dosyadaki bilgilerde görülmektedir. Hatta bazı çalışmalarda 150-50 mm boyutu için 20 kg civarında numunelerinde kullanıldığı görülmüştür (BS ISO 13909-2:2001).

Çizelge 1. Farklı tane irilikleri için minimum numune miktarları (Yancey and Fraser, 1929)

Bureau of Mines		McMillan and Bird	
Boyut inç (mm)	Miktar pound (kg)	Boyut inç (mm)	Miktar pound (kg)
1(25,4)	500 (226,8)	$1\frac{1}{2} - 3$ (38,1-76,2)	500 (226,8)
$\frac{3}{4}$ (19,05)	250 (113,4)	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$ (19,05 – 38,1)	250 (113,4)
$\frac{1}{2}$ (12,7)	125 (56,7)	$\frac{3}{8} - \frac{3}{4}$ (9,53-19,05)	125 (56,7)
$\frac{3}{8}$ (9,53)	63 (28,58)	$\frac{3}{16} - \frac{3}{8}$ (4,76-9,53)	50 (22,7)
$\frac{1}{4}$ (6,35)	32 (14,52)	20mesh - $\frac{3}{16}$ (0,91-4,76)	25 (11,3)
$\frac{3}{16}$ (4,76)	16 (7,26)	20 mesh’e kadar (0,91)	$\frac{1}{2}$ (0,2)

Çizelge 2. BS ISO 13909-2:2001'e göre tane iriliğine bağlı olarak, genel amaçlı ve elek analizi amacıyla alınacak numuneler için gerekli minimum numune miktarları.

Tane İriliği (mm)	Genel Analiz Numunesi (kg)	Elek Analizi için gerekli minimum numune miktarı (kg)	
		%1 Hassasiyet	%2 Hassasiyet
300	15 000	54 000	13 500
200	5 400	16 000	4 000
150	2 600	6 750	1 700
125	1 700	4 000	1 000
90	750	1 500	400
75	470	950	250
50	170	280	70
31,5	55	65	15
22,4	32	25	6
16,0	20	8	2
10	12	2	0,5
5,6	3	0,5	0,25
2,8	0,65	0,25	0,25
1	0,1		

Gereğinden az numune kullanımı ne gibi sakıncalar doğurmaktadır? Öncelikle hata olasılığı yükselmekte, hata olasılığı gerçekleştiğinde ekipman boyutlandırılmaları hatalı olmakta ve bunun bir çok sakıncaları ile birlikte testte hiç bir zaman beklenen performansla ulaşmak mümkün olmamaktadır. Ayrıca, beklenen ürün miktarları da doğru hesaplanamadığından, maliyet analizleri ve ürün pazarlama stratejileri de hep yanlış gerçekleşmektedir (Grigorieff ve ark., 2004).

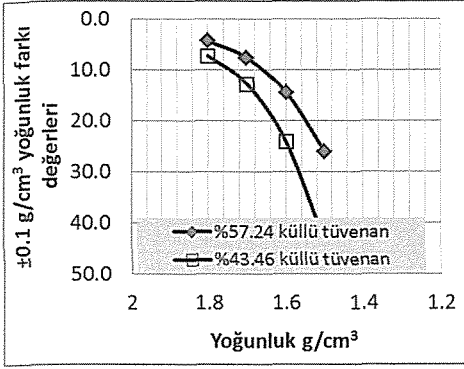
3. Yüzdürme-Batırma Testlerinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi ve Modelleme Yaklaşımı

Yüzdürme-batırma testleri ile kömür-yan kayaç serbestleşmesi incelenmekte, belli bir boyutta ve belli bir yoğunlukta elde edilebilecek temiz kömür ve artık belirlenirken, bu yoğunluktaki yıkama işleminin kolaylığı ile ilgili bilgilerde üretilmektedir. Yıkama işleminin kolaylığının ölçüsü, hedeflenen sonuçların sürekli gerçekleşebilme olasılığının ölçüsü olmaktadır.

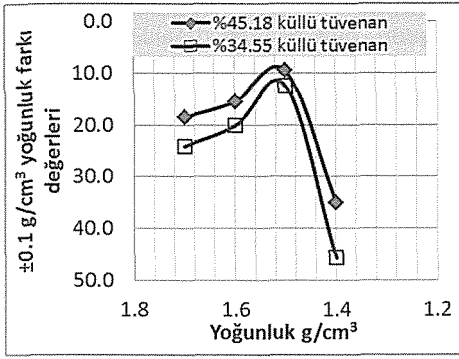
Yıkama işleminin kolaylığının ölçütü olarak, kül karakteristik eğrisi, ara ürün

miktarı ve yakın yoğunluktaki malzeme miktarı kullanılmaktadır. Bu değerlere bakarak kömür yıkanabilirliğinin iyi veya kötü olduğu, literatürde verilen referans değerlere göre yorumlanmaktadır. Ancak elde edilen bilginin güvenilirliği, bu konuyu tartışmayı gerektirmektedir. Örneğin yakın yoğunluktaki malzeme miktarı ($\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk farkına göre) için yapılan değerlendirme, tüvenan kömürün kül oranı göz önüne alınmadan yapıldığında, yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

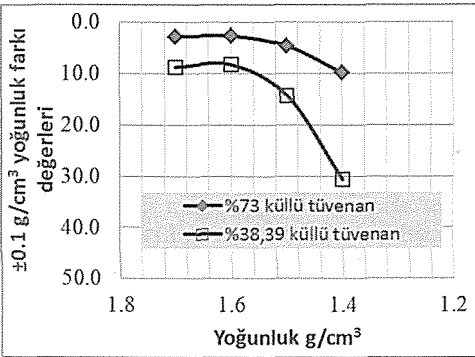
Bilindiği gibi, ülkemiz kömürleri, önemli kömür üreticisi ülkelerdeki kömürlere göre, tüvenan olarak genelde daha yüksek kül oranlarına sahiptir. Dolayısıyla tüvenan kömürlerin aynı bakış açısı ile değerlendirilmesi yanlış değerlendirmelere neden olabilmektedir. Aşağıda bu konuya bir açıklık getirmek amacıyla oluşturulmuş 3 farklı kömüre ait, yan taş miktarı değiştirilerek elde edilmiş, iki farklı kül için bulunan $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk farkı değerleri verilmektedir. Her üç grafikten de görüleceği üzere aynı kömürün farklı tüvenan kömür kül oranları için, yıkanabilirlik özelliği değişmektedir. Yani tüvenan kül oranı yükseldikçe, kömür yıkanabilirlik değerleri iyileşiyor görünmektedir.



Şekil 1. Genç bir linyit kömürüne ait iki farklı tüvenan külü için elde edilen ± 0.1 g/cm³ yoğunluk farkı değerleri.



Şekil 2. Sert linyit (Soma) kömürüne ait iki farklı tüvenan külü için elde edilen ± 0.1 g/cm³ yoğunluk farkı değerleri.



Şekil 3. Zonguldak kömürüne ait iki farklı tüvenan külü için elde edilen ± 0.1 g/cm³ yoğunluk farkı değerleri.

Buradan görüleceği üzere kömür yıkanabilirliğinin değerlendirilmesi görüldüğü kadar basit ve kolaylıkla sayısal ifadeler ile yorumlanabilir bir özellik değildir. Kömür yıkanabilirliğinin değerlendirilmesinde muhakkak seçilecek yıkama yoğunluğuna yakın yoğunluk değerleri için hem miktar hem kül değerleri birlikte ele alınmalı ve yıkama yoğunluğuna $-0,1$ ve $+0,1$ g/cm³ için yakın malzeme miktarları ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bunun yanında, kömür yıkanabilirliğini kül oranından bağımsız yorumlayan M-CM metodu, kömür yıkanabilirlik indeksi, vb. yöntemlerden de yararlanarak, geniş bir bakış açısı yaratmakta yarar vardır (Korte, 2008; Arslan ve Kemal, 2006).

Kömür yüzdürme-batırma grafiklerinin kullanımı ile elde edilen yıkama sonuçlarının tahmini ile ilgili bilgiler, kömür yıkamada ayırım veriminin %100 olması durumunda oluşacak sonuçları ortaya koymaktadır. Bu sonuçlarla yapılacak değerlendirmeler ise, özellikle ara yoğunluk fraksiyon oranları fazla olan ve fraksiyonel kül değerleri farkı yüksek olan kömürlerde çok yanıltıcı olmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak üzere çeşitli tahmin yöntemleri geliştirilmiştir.

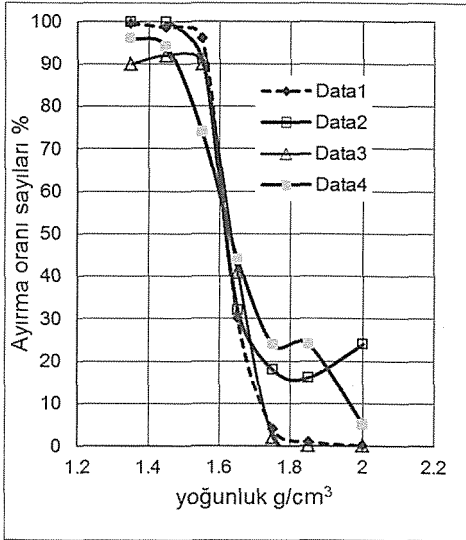
Bilinen yıkama aygıtı performans değerlerini baz alan tahmin yöntemleri özellikle bilgisayar temelli simülasyon programları ile sık olarak kullanılmaktadır. Ancak bu modellerde baz alınan performans değerlerinin, modelin uygulanacağı kömürle ne kadar uyumlu olacağı muhakkak sorgulanmalıdır. Aksi takdirde, modelleme yoluyla elde edilen bilgiler, pratik sonuçların tahmininden oldukça uzak düşebilme riski taşımaktadır. Bahsedilen bu durumu değerlendirmek üzere Şekil 4'de verilen 4 farklı performans değerine göre, Çizelge 3'te yoğunluk analizi verilen tüvenan kömür için, yaklaşık 1.62 g/cm³ yıkama yoğunluğu için hesaplamalar yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 4'deki sonuçlardan da görüleceği üzere, kullanılan modele esas teşkil eden performans değerleri, hesaplanacak sonuçlar açısından çok önemli olmaktadır. Genelde ağır ortam esaslı aygıtlar için Data1 olarak

gösterilene benzer performans değerleri kullanılmaktadır. Ancak kömür yıkanabilirlik özelliğinde her yıkama yoğunluğu için aynı davranış gözlenmeyeceğinden, bu özelliğin modelleme açısından önemli olan parametreleri modelde yorumlanmalıdır. Aksi takdirde ticari veya bilimsel amaçlı hazırlanmış tek performans ölçütüne dayalı modellerin sonuçlarına, bilgisayar simülasyonu diye güvenmek gibi bir yanılgıya düşmek söz konusu olacak, tesis uygulama sonuçları ile ilgili beklentilerde yanılgılar ortaya çıkabilecektir.

Çizelge 3. Performans hesaplamalarında kullanılan kömür yüzdürme-batırma testi değerleri.

	% Ağ.	% Kül
1.3 Yüzen	3,14	10,83
1.3 – 1.4	7,24	27,59
1.4 – 1.5	7,79	36,89
1.5 – 1.6	11,13	50,53
1.6 – 1.7	25,61	59,41
1.7 – 1.8	22,82	65,16
1.8 Batan	22,27	75,05
Toplam	100.00	57.63

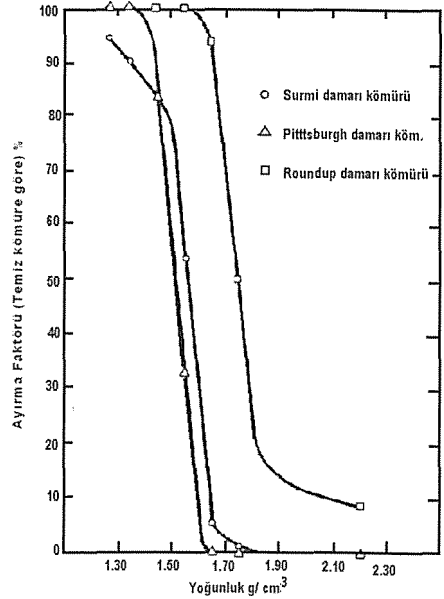


Şekil 4. Hesaplama için kullanılan dört farklı performans eğrisi.

Çizelge 4. Şekil 4'de verilen 4 farklı performans eğrisine göre aynı kömür için hesaplanmış temiz kömür miktar ve kül oranları.

Performans değeri	Temiz Kömür	
	%Ağ.	%Kül
Data1	22,33	33,63
Data2	34,64	45,85
Data3	21,57	34,02
Data4	33,22	44,74

Yıkama aygıtı performansı ile ilgili bir diğer yanılgı Ep değerinde karşımıza çıkmaktadır. Yıkama performans eğrisinin %75 ve %25 performans değerlerine karşılık gelen yoğunlukların farkının yarısı olarak elde edilen bu değer, performans eğrisinin tamamını dikkate almadığından, yanılgıya sebep olmaktadır. Buna örnek olarak Şekil 5 verilmiştir.



Şekil 5. Farklı kömürlerle elde edilmiş performans eğrileri (Kemal ve Arslan, 2010)

Şekil 5'de verilen 3 adet eğri için Ep değerleri aynı olmaktadır, ancak şekilden de görüleceği üzere elde edilen performans eğrileri birbirinden farklıdır. Eğrilerden birisi

oldukça yüksek bir performansı gösterirken, birisi önemli oranda kömür kaçağını, diğeri ise önemli oranda kömüre taş karıştığını göstermektedir. Dolayısıyla, Ep ve imperfeksiyon gibi sayısal değerleri hiç bir zaman performans eğrisinden bağımsız dikkate almamak gerektiği açıkça görülmektedir.

4. Performans Ölçümleri

Kömür hazırlama sektörü açısından Türkiye'deki en önemli eksikliklerden birisi, performans ölçümlerinin yok sayılacak kadar az yapılmasıdır. Performans ölçümü, tesisin kuruluş sürecinde ön görülen sonuçların ne oranda sağlanabildiğinin kontrolü ve düzeltmeler için, ayrıca sistematik ölçümlerle tesisin çalışmasını denetim altında tutmak için yapılmaktadır.

Her tesisin kuruluşundan belli bir süreç sonra detaylı bir performans ölçümü yapılarak, planda ön görülen çalışma koşullarının ve buna bağlı ürün miktarları ve kalite değerlerinin ne oranda sağlanabildiği, hedeften sapmalar varsa ve planda öngörülen değerlerin sağlanma olasılığı yoksa, hedeflerin yeniden düzenlenerek, işletme koşullarının buna göre takibi gerekmektedir.

Sistematik ölçümler ise sadece yıkama ekipmanları ve gerek görüldüğünde sınıflandırma ekipmanları performansının ölçülmesi amacıyla periyodik olarak yapılması gereken bir çalışmadır. Belli bir maliyet ve emek gerektiren performans ölçüm çalışmalarının sonuçları doğrudan gelir muhasebesi içinde görülemediğinden gereksiz görülmektedir. Halbuki performans ölçümü ile sağlanacak düzeltme sonucu, toplam üretimdeki %1'lik bir artış bile hemen kendini hissettirecek bir orandır. Yıllık 1 milyon ton kömür yıkayan bir tesis için %1'in karşılığı 10 bin tondur. Bunun parasal değeri ise, performans ölçümü için harcanan değeri çok önemsiz kılacak seviyededir.

Tesis performans ölçümünde aygıtların bireysel performanslarının belirlenmesi yanında, kapasite yönünden birbirleriyle uyumları, elektrik sarfiyatları, su kullanım oranları ile materyal balanslarının kontrolü

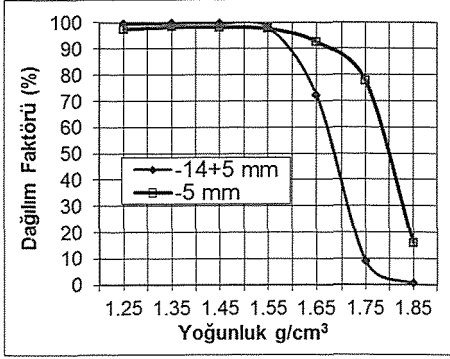
yapılmalıdır. Bireysel ekipman kontrollerinde ise, her aygıt için performans değerleri (Tromp eğrileri çizilerek) elde edilmelidir.

Performans ölçümleriyle özellikle santrifüj esaslı çalışan kömür yıkama aygıtları için başka önemli bilgilerde elde edilmektedir. Bunların başında yıkama yoğunluğu kayması ve geniş tane aralığında çalışıldığında, aynı aygıtta oluşan, farklı boyut grupları için farklı sonuçlar oluşması gelmektedir.

Yoğunluk kayması, yıkama aygıtında kullanılan ağır ortam yoğunluğu ile, efektif ayırma yoğunluğu arasındaki farkı göstermektedir. Bazen isteğe bağlı bu fark yaratılmaya çalışılırken, bazende kontrol dışı bu fark meydana gelmektedir. Kontrol dışı gerçekleşen yoğunluk kayması, beklenenden yüksek küllü ürün elde edilmesine neden olduğu gibi, alt ve üst akımdaki yüksek yoğunluk farklarının da göstergesi olabilmektedir. Böyle bir durum ise ağır ortam siklonlarında yanlış bir çalışma olduğunu göstermektedir. Tesis bazında özellikle iri manyetit ile çalışıldığında, alt çıkışta ani patlamalarla kendisini gösteren dengesizlik, alt üst akım arasındaki yoğunluk farkının bir diğer göstergesi olmaktadır.

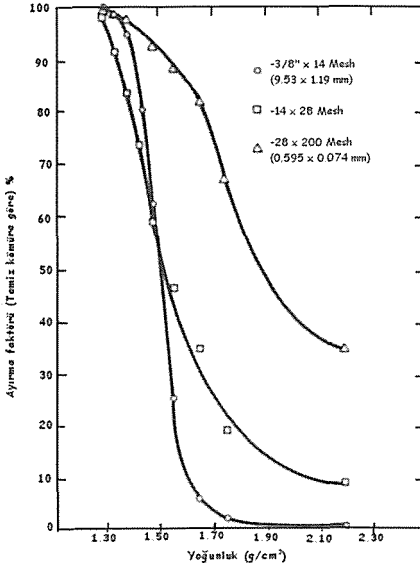
Aynı aygıtta geniş tane aralığında yıkanan kömürden yıkama sonrası eleme ile elde edilen fraksiyonlar için ayırma yoğunlukları genelde farklı olmaktadır. Aşağıda tarafımızdan Soma'da özel sektöre ait bir tesiste yapılmış performans ölçümü sonucu görülmektedir. -14+0.5 mm olarak yıkanan kömür, -14+5 mm ve -5+0.5 mm olarak ayrıldığında Şekil 6'da verilen sonuç ortaya çıkmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, -14+5 mm fraksiyonu için 1.68 g/cm^3 yıkama yoğunluğu elde edilirken, -5+0.5 mm için yıkama yoğunluğu 0.12 g/cm^3 yükselerek 1.80 g/cm^3 'e çıkmaktadır. Bunun dışında eğrinin görünümü ve gerekse de Ep değerleri açısından, ayırma yoğunluğu değişmesi dışında, benzerlikler vardır. Yani performans eğrisi yaklaşık aynı yapıda görünürken, sadece yoğunlukta bir kayma olmaktadır.



Şekil 6. Aynı aygıtta yıkanan kömürün eleme ile ayrılan 2 farklı fraksiyonunda oluşan performans değerleri.

Yıkama aygıtının çalışma performansı düşük olduğunda elde edilen sonuçlar daha farklı olabilmektedir. Literatürden alınmış olan Şekil 7, aynı aygıtta ince boyutlara doğru gidildikçe ayırma işleminin kontrolünün zorlaştığı ve genelde ince boyutlar için beklenenden daha farklı sonuçların ortaya çıktığını göstermektedir.



Şekil 7. Sallantılı masada yıkanan kömürün farklı tane fraksiyonları için elde edilen performans eğrileri (Kemal ve Arslan, 2010).

Kömür yıkama işlemlerinde bu özellikler dikkate alınmadığı takdirde, tesis dizaynlarında da sorunlar ortaya çıkmakta, aynı aygıtta yıkanan kömür fraksiyonları için, yanlış hedefler ortaya konulabilmekte veya yanlış ekipmanlar önerilebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömür Türkiye için, çoğunluğu sorunlu da olsa önemli bir öz kaynaktır. Bu öz kaynağın en verimli şekilde değerlendirilmesinin yolu doğru yöntemlerin belirlenmesidir. Bu amaçla yapılacak ön araştırmalar muhakkak yeterli miktarda numunelerle ve sistematik bir şekilde yapılmalıdır.

Ön araştırmalarda kömürün standart sınıflandırmalara göre kömürleşme seviyesinin ne olduğu, fiziksel özellikleri (sertlik, suya dayanım, su emme, yan kayaç-kömür davranış farklılığı, vb), serbestleşme durumu (yüzdürme-batırma testleri ile) ve kullanılabilirliği hedef pazarlara göre elde edilebilecek ürün optimizasyon değerlendirmeleri yapılmalıdır. Bilindiği üzere, her kömür yıkamaya uygun olmayacağı gibi, her kömür için düşük küllü ürün hedeflenmesi de gerçekçi olmayabilir. Bu nedenle de kömür yıkanabilirlik araştırmalarının yeterli miktarda numune ile yapılmasının yanında, kömürle ilgili kullanımına yönelik değerlendirmelerde muhakkak yapılmalıdır.

Tesisler açısından da performans ölçümleri muhakkak sistematik bir şekilde devreye girmelidir.

KAYNAKLAR

- Yancey H.F. and Fraser, T; Coal Washing Investigations Methods and Tests, United States Government Printing Office, Washington, 1929.
- Hard coal and coke Mechanical sampling. Part 2: Sampling from moving streams, British Standard BS ISO 13909-2:2001
- Bongarçon, F.D. and Gy, P.; The most common error in applying 'Gy's Formula' in the theory of mineral sampling, and the history of the liberation factor., The Journal of The

- South African Institute of Mining and Metallurgy, November/December 2002.
- Hard Coal and Coke – Mechanical Sampling – Part 3: Coal-Sampling From Stationary Lots, ISO 13909-3:2009(E), Review Document.
- Petersen, L., Minkinen, P., Esbensen, K.H.; Representative sampling for Reliable data Analysis: Theory of Sampling, Elsevier Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 77 (2005) 261-277.
- Rudolf, T. And Dejan, M.; Experience in Coal Sampling Parameters Calculation, Acta Montanistica Slovaca Rocnik 10 (2005)
- Grigorieff, A., Costa, J.F., Koppe, J.; Quantifying The Influence of Grain Top Size and Mass on a Sample Preparation Protocol, Elsevier Chemometrics and Intelligent Laboratory System 74 (2004) 201-207.
- Korte, G.J., The Influence of Near-Dense Material on the Separation Efficiency of Dense-Medium Processes, International Journal of Coal Preparation and Utilization, online Publ.:01 April 2008.
- ARSLAN V, KEMAL, M., Farklı Kül Oranlarındaki Kömürlerin Yıkanabilme Özelliğinin Tesbitinde M-CM Metodunun Kullanımı, Madencilik Dergisi, Haziran 2006
- KEMAL, M., ARSLAN, V.; Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 033, İzmir-2010.

Değişik Toplayıcıların Kolemanit Flotasyonuna Etkisi *The Effect of Different Collectors on Colemanite Flotation*

A. Uçar

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

B. Toka

MTA, Sondaj Dairesi, Ankara

M. Yargan

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Önemi giderek artan bor minerallerinden birisi de kolemanittir ve ülkemiz madenciliğinde önemli bir yere sahiptir. Kolemanit genellikle kil mineralleri ile beraber bulunduğu için yıkama ve sınıflandırma ile zenginleştirilmektedir. Zenginleştirme sonrası ince boyuttaki kolemanit minerali kil ile beraber atık barajlarına gönderilmektedir. Bu da ekonomik kaybın yanında çevresel sorunlara neden olmaktadır.

İnce boyuttaki kolemanit cevherini zenginleştirmek için uygulanan en önemli metotlardan birisi flotasyondur. Uygun toplayıcıyı seçmek flotasyonun can alıcı damarlarından birisidir. Bu nedenle kolemanit flotasyonu için en etkili toplayıcı reaktifi belirlemek amacıyla mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada Na-Oleat, SDS, R801 ve R825 toplayıcıları kullanılmıştır. Ayrıca flotasyon ortamında en fazla bulunan kilin ve Ca^{+2} iyonunun da flotasyona olan etkisi belirlenmiştir.

ABSTRACT Importance of Colemanite, a Borate mineral, has been increasingly recognized and has an important place in our national mining. Colemanite which is commonly deposited with clay minerals is enriched via washing and classification. After enrichment very tiny colemanite particles on the other hand are sent to waste dump together with clay. This causes economical loss as well as environmental problems.

One of the important methods of enriching tiny colemanite ore is flotation. The choice of appropriate collector for flotation is one of vital importance. For that reason microflotation experiments were done to find an effective collector for colemanite flotation. In this study Na-Oleat, SDS, R801 and R825 collectors were used. And, the effects of clay and Ca^{+2} ions which are abundant in the medium, on the flotation were determined.

1. GİRİŞ

Oldukça geniş kullanım alanına sahip olan borun önemli mineralleri kolemanit, üleksit ve borakstır. Bu minerallerinde %90'dan fazlası Türkiye ve ABD'de bulunmaktadır ve Dünya bor ihtiyacının yaklaşık %95'i bu iki ülke tarafında sağlanmaktadır (Kistler and Helvacı, 1994; Çelik at al, 2002; Helvacı, 2004).

Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) yarı çözünür hidrate bir kalsiyum borattır (Simon and Barwise, 1993; Koca and Savaş, 2004; Veeramasuneni at al., 1996; Çelik at al., 1998) ve diğer kalsit, jips gibi kalsiyum içerikli mineraller, kuvars ve genellikle montmorillonit tipi killer ile beraber masif yataklarda bulunur (Simon and Barwise, 1993; Veeramasuneni at al., 1996; Çelik at al., 2002; Koca and Savaş, 2004; Özbayoğlu, 2006; Helvacı and Alonso, 2000; Helvacı, 2004; Kistler and Helvacı, 1994). Tüm minerallerde olduğu gibi ekonomik değerini artırabilmek için kolemanit mineralinin de gang minerallerinden arındırılması gerekmektedir.

Türkiye'de diğer bor mineralleri gibi kolemanit de boyut küçültmeyi takiben aşındırma ve yıkama+sınıflandırma yöntemleri ile zenginleştirilmektedir (Veeramasuneni at al., 1996; Sönmez at al, 2004; Gül at al., 2004; Gül at al., 2006; Çelik at al., 2002; Koca and Savaş, 2004; Özbayoğlu, 2006). Bu zenginleştirme işlemleri sonucunda da önemli oranlarda iri ve ince artıklar ortaya çıkmaktadır. İnce artıklar sulu olarak artık barajına verilmekte olup önemli derecede depolama sorunlarına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Artıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da ekonomik anlamda büyük önem taşımaktadır (Sönmez at al., 2004; Erkal and Girgin, 1992; Yarar, 1971). Bunun temel nedeni, kolemanit iri kristalli ve kolay kırılabilir bir yapıya sahip olduğu için zenginleştirme işlemleri sırasında kil ile beraber ince boyutlara geçme eğiliminde olmasıdır. Bu artık içine karışan kolemanit minerali flotasyon yöntemi ile kazanılabilir (Veeramasuneni at al., 1996; Çelik at al.,

2002; Koca and Savaş, 2004; Nalaskowski at al., 1998).

Türkiye'de tesis bazında bor flotasyon uygulaması bulunmamasına rağmen laboratuvar bazlı yapılmış microflotation ve hücre flotation çalışmaları bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar kolemanitin hem anyonik (sulfonatlar ve karboksilatlar) hem de kationik (aminler) toplayıcılar ile yüzdürülebileceğini göstermiştir (Çelik at al., 2002; Çelik at al., 1998; Koca at al., 2003; Koca and Savaş, 2004; Gül at al., 2006; Yarar, 1971). Farklı reaktifler kullanarak kolemanit ile flotasyon çalışmaları yapan araştırmacılar değişik sonuçlar elde etmişlerdir (Çelik at al., 2002; Yarar, 1971; Koca at al., 2003; Gül at al., 2006; Özkan and Veasey, 1994; Özkan and Veasey, 1996; Özkan, 2001; Özkan and Acar, 2004; Çelik at al., 1998; Simon and Barwise, 1993). Ayrıca bu çalışmalarda kolemanit flotasyonunda hangi reaktifin daha fazla etkili olacağı konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bütün bu flotasyon çalışmalarında bahsedilen en önemli sorun ise şlam (kil) kaplamadır. Şlamın çok az miktarı bile flotasyonu engellemeye yeterlidir. Bu nedenle bir çok araştırmacı flotasyondan önce 0,01 ile 0,075 mm boyutları arasında bir boyutun altını şlam olarak uzaklaştırmıştır (Çelik at al., 2002; Çelik at al., 1998; Yarar, 1971; Özkan and Veasey, 1994; Özkan and Acar, 2004).

Bu çalışmanın amacı, kolemanit flotasyonunda kullanılan bazı reaktiflerin verim üzerindeki etkilerini belirleyip en uygun reaktifi seçmektir.

2. MALZEME VE METOT

Mikroflotasyon çalışmalarında Kütahya-Emet-Espey kolemanit yatağından seçilen temiz kolemanit kristalleri ve kil kullanılmıştır. Temiz kolemanit kristalleri, agat havanda kademeli olarak 150 µm'nin altına indirilmiştir. Numune 38 µm'lik elekten elenerek elde edilen -150+38 µm boyut grubu mikroflotasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

Deneylerde reaktif olarak Cytec firması tarafından üretilen anyonik kollektor olan R825 (sodyum dodesil benzen sulfonat, sulfonik asit ve sodyum tuzları) ve R801 (petrolyum sulfonat and mineral yağı) ile fluka firmasının ürettiği yüksek saflıkta anyonik kollektörler olan sodyum dodesil sulfat (SDS) ve Na-oleat kullanılmıştır.

Mikroflotasyon deneyleri, kondisyon süresi, flotasyon süresi ve verilen hava miktarı otomatik olarak ayarlanabilen 150 ml'lik (25x220 mm) cam kolon hücresinde yapılmıştır. Deneylerde, 1 g kolemanit 150 ml civarında reaktifli çözelti ile beraber hücre içerisinde manyetik karıştırıcı ile 5 dak kondisyonlandıktan sonra 1 dakika süre ile flotasyon yapılmıştır.

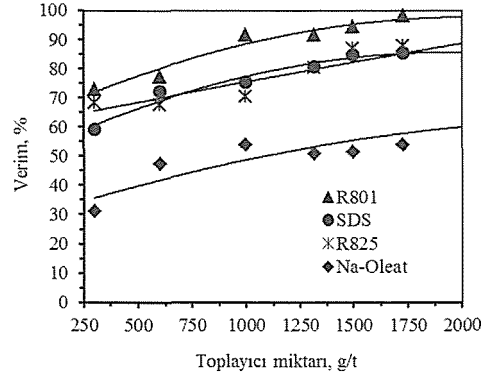
Bütün çalışmalarda kullanılan saf suyun sıcaklığı 22 ± 1 °C civarında tutulmuştur.

3. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Deneylerde kullanılan toplayıcıların, flotasyon ortamında bulunan Ca^{2+} iyonlarının ve kilin kolemanitin yüzeyliliğine etkisini belirlemek amacı ile değişik konsantrasyonda mikro flotasyon deneyleri yapılmıştır. Kolemanit yaklaşık pH 9.1-9.4 de tampon özellik (buffer solition) gösterdiği ve bu pH'da minimum çözünürlüğe sahip olduğu için (Yarar, 1971) bu çalışmada ortam pH'ı 9.2 ± 0.2 olarak seçilmiştir. Bigadiç kolemaniti üzerinde yapılan elektrokinetik çalışmalarda Yarar (1971) sıfır yük noktasının pH 10.7'de, Çelik at al. (2002) ise pH 10.5'de olduğunu tespit etmişlerdir. Emet kolemanitinde ise sıfır yük noktası Uçar (2009) tarafından pH 10.2 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle seçilen ortam pH değerinde kolemanitin yüzey yükü pozitif değer taşıdığından flotasyon işleminde anyonik reaktifler kullanılmıştır.

Yapılan flotasyon deneyinde kullanılan reaktiflerin (R801, R825 SDS ve Na-oleat) miktarına bağlı olarak temiz kolemanitin yüzeyliliğine etkisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere R801 reaktifi diğer reaktiflere göre kolemanitin yüzeyliliğinde oldukça etkilidir. SDS ve R825 reaktifleri birbirine benzer bir davranış göstermekte

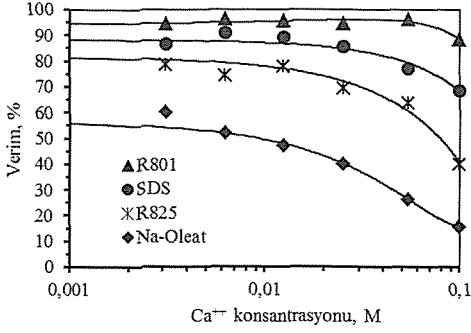
fakat R801'e göre kolemanitin yüzeyliliğine etkileri daha azdır. Na-oleat ise kolemanitin yüzeyliliğine en düşük etkiyi göstermektedir.



Şekil 1. Toplayıcıların miktarına göre kolemanitin yüzeyliliğine etkisi

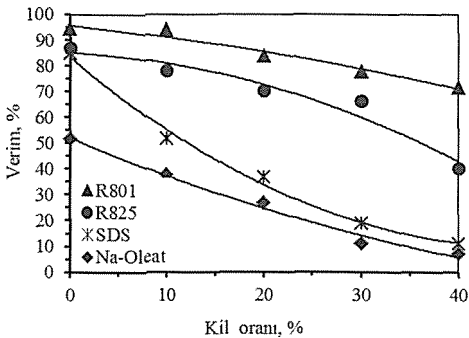
Kolemanitin çözünmesi ile ortama girebilecek Ca^{2+} iyonlarının ve gang minerali olan kilin kolemanitin yüzeyliliğine etkisini belirleyebilmek için ortama farklı miktarlarda $CaCl_2$ ve kil ilave edilerek yapılan mikroflotasyon deneylerinin sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.

Belirli reaktif dozajında (1500 g/t) yapılan deneylerde Ca^{2+} iyonu konsantrasyonunun flotasyon verimine etkisi belirli bir değere kadar R801 ve SDS reaktifleri için olumlu, daha sonrada azalma yönünde olmuştur (Şekil 2). Çelik at al. (2002), SDS ile yaptıkları kolemanit flotasyon çalışmalarında çok değerlikli iyonların (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+}) flotasyon verimini arttırdığını tespit ederek SDS için belirtilen görüşü kuvvetlendirmişlerdir. Bu iyonların kolemaniti canlandırdığını belirtmişlerdir. Fakat R825 ve Na-oleat için bunu söylemek mümkün değildir. Çünkü Şekil 2'de görüleceği üzere ortamda bulunan Ca^{2+} iyonları bu reaktiflerin kolemanitin yüzeyliliğine etkisini olumsuz olarak etkilemektedir.



Şekil 2. Ortamda bulunan Ca⁺⁺ konsantrasyonunun kolemanitin yüzebilirliğine etkisi

Ortama eklenen kil miktarına göre flotasyon verimini gösteren Şekil 3 incelendiğinde; R801 ve R825 reaktifleri kolemanitin yüzebilirliği üzerinde %10 kil katkısına kadar bir değişiklik oluşturmaz iken, SDS ve Na-oleat da ise kolemanitin yüzebilirliğinin oldukça azaldığı görülmektedir. Burada pozitif yüklü kolemanit yüzeyinin negatif yüklü kil şlamı ile kaplanması nedeni ile reaktiflerin yüzeye adsorplanması engellenmekte ve verim düşmektedir. Bu durum Çelik at al. (2002) tarafından yapılan araştırmada da görülmüştür. Onların SDS reaktifleri ile yaptıkları çalışmada %1'lik kil ilavesinin dahi verimde büyük düşümlere neden olduğu belirtilmiştir.



Şekil 3. Ortamda bulunan kil miktarının kolemanitin yüzebilirliğine etkisi

4. SONUÇLAR

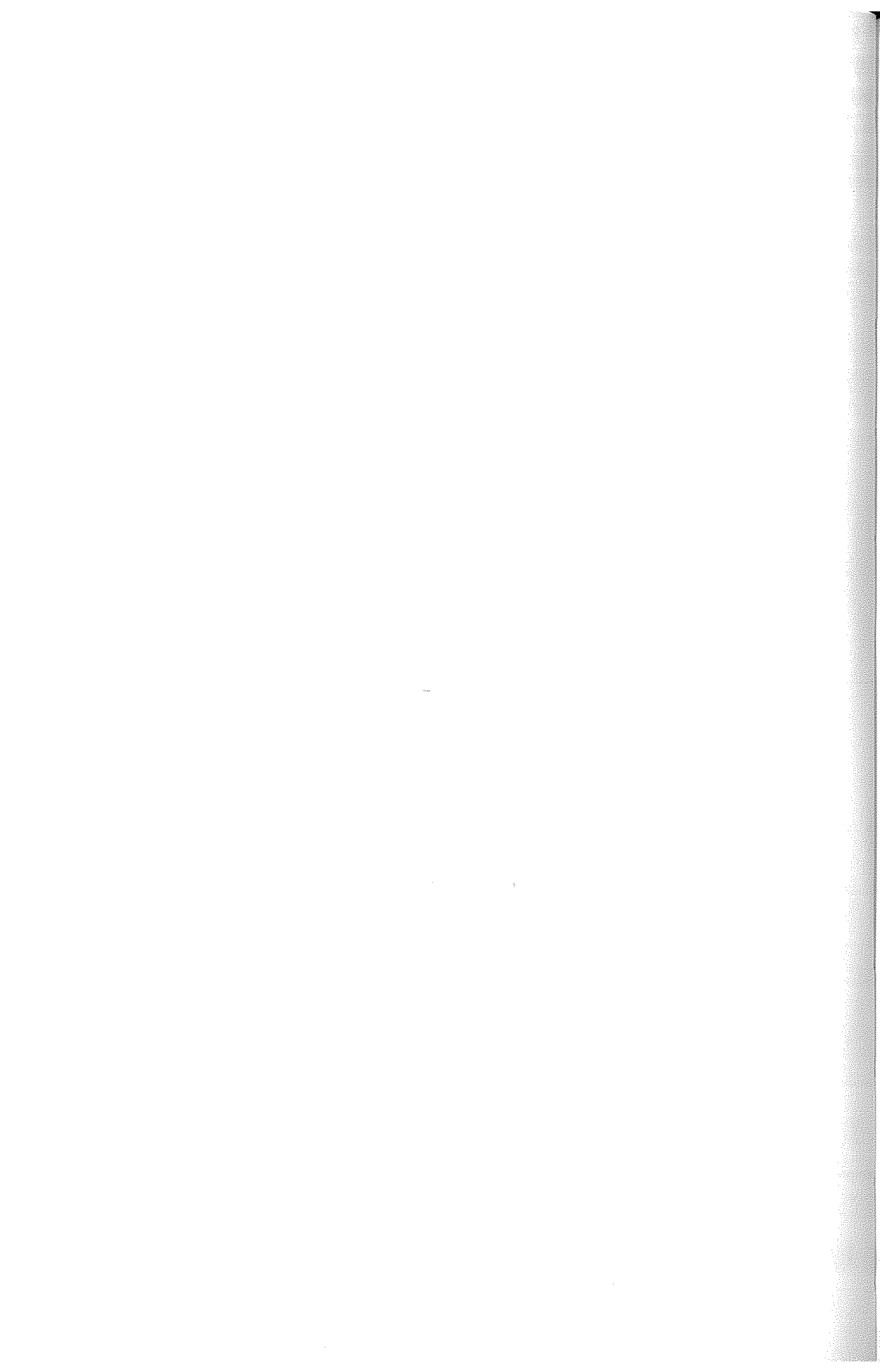
Bu çalışmada, farklı toplayıcıların, flotasyon ortamında bulunan Ca²⁺ iyonlarının ve kil mineralinin kolemanitin yüzdürülebilirliği üzerine etkisi incelenmiştir. Mikroflotasyon çalışmaları sonucunda;

- Temiz kolemanitin yüzebilirliğine en fazla etkisi olan reaktifin R801 olduğu tespit edilmiştir.
- R801 ve SDS reaktifleri kullanıldığında ortamda bulunan Ca²⁺ iyonlarının belirli bir dozajına kadar ($2,5 \times 10^{-2}$ – $5,4 \times 10^{-2}$ M) kolemanitin yüzebilirliğine fazla bir etkisinin olmadığı fakat R825 ve Na-Oleat reaktifleri kullanıldığında Ca²⁺ iyonunun düşük konsantrasyonlarında bile kolemanitin yüzdürülebilirliğini olumsuz olarak etkilediği belirlenmiştir.
- Kolemanit miktarına göre ortamdaki kil oranı arttıkça %10'a kadar R801 daha az etkilenirken diğer reaktifler daha fazla etkilenmektedir.
- Bu sonuçlar R801 reaktifinin etkili bir şekilde kolemanit flotasyonunda kullanılabilirliğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Çelik, M. S., Elma, İ., Hançer, M., Miller, J. D., 1998. Effect of in-situ ultrasonic treatment on floatability of slime coated colemanite, Innovations in Mineral and Coal Processing, Atak, Önal & Çelik (eds), Balkema, 7th International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye, pp. 153-157.
- Çelik, M. S., Hançer, M., Miller, J. D., 2002. Flotation chemistry of boron minerals, Journal of Colloid and Interface Science 256, 121-131.
- Erkal, F. İ., Girgin, İ., 1992. Etibank Emet Kolemanit İşletmesi kaba artıklarının konsantre üretimi amacıyla değerlendirilmesi, 4th International Mineral Processing Symposium, Proceeding Volume 2, G. Özbayoğlu (eds), Antalya, Türkiye, pp. 599-608.
- Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, G., 2006. Beneficiation of colemanite tailings by

- attrition and flotation, *Minerals Engineering* 19, 368-369.
- Helvacı, C., Alonso, R. N., 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina, *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. 9, pp. 1-27. Copyright TÜBİTAK.
- Kistler, R. B., Helvacı, C., 1994. Boron and borates, In Carr, D. D. (ed) *Industrial Minerals and Rocks, 6th edition*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Colorado, p. 171-186.
- Koca, S., Koca, H., Savaş, M., 2003. Flotation of colemanite from realgar, *Minerals Engineering* 16, 479-482.
- Koca, S., Savaş, M., 2004. Contact Angle Measurements at the Colemanite and Realgar Surface, *Applied Surface Science* 225, 347-355.
- Nalaskowski, J., Veeramasuneni, S. Miller, J. D., 1998. Interaction forces in the flotation of colemanite as measured by atomic force microscopy, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, Atak, Önal & Çelik (eds), Balkema, 7th International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye, pp. 159-165.
- Özbayoğlu, G., 2006. Beneficiation of boron minerals, *XXIII. International Mineral Processing Congress*, pp. 1053-1062, İstanbul, Türkiye.
- Ozkan, S. G., Veasey, T. J., 1994. The effect of slime coatings on colemanite flotation, *Progress In Mineral Processing Technology*, Demirel & Ersayın (eds), Balkema, 5th International Mineral Processing Symposium, Cappadocia, Türkiye, pp. 205-210.
- Ozkan, S. G., Veasey, T. J., 1996. Effect of simultaneous ultrasonic treatment on colemanite flotation, *Changing Scopes in Mineral Processing*, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu (eds), Balkema, 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Türkiye, pp. 277-281.
- Ozkan, S. G., 2001. Comparison of magnetic separation and flotation results for beneficiation of Emet colemanite ores, *Magnetic and Electrical Separation* 10, pp. 213-221.
- Ozkan, S. G., Acar, A., 2004. Investigation of impact of water type on borate ore flotation, *Water Research* 38, 1773-1778.
- Simon, J. M., Barwise, C. H., 1993. Beneficiation of calcium borate minerals, U.S. Patent 5,238,119.
- Sönmez, E., Koca, S., Özdağ, H., Ipek, H., 2004. Beneficiation of colemanite from fine wastes by using ultrasound waves, *Minerals Engineering* 17, 359-361.
- Ucar, A. and M. Yargan, 2009. "Selective Separation of Boron Values From the Tailing of a Colemanite Processing Plant", *Separation and Purification Technology*, 68, 1, 1-8.
- Veeramasuneni, S., Yalamanchili, M. R., Miller, J. D., Çelik, M., S., 1996. Adsorption of model collector colloids at the surface of colemanite as characterized by optical and atomic force microscopy, *Changing Scopes in Mineral Processing*, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu (eds), Balkema, 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Türkiye, pp. 215-220.
- Yarar, B., 1971. Beneficiation of colemanite by flotation, *TUBITAK Project No. 228*, Ankara, Türkiye (Turkish Text), p. 67
- Yargan, M., 2007. Emet Espey Bor Tesisi ince gölet artıklarının zenginleştirme yöntemlerinin araştırılması, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Kütahya, Türkiye, p. 90.
- Zhang, R., Somasundaran, P., 2006. Advances in adsorption of surfactants and their mixtures at solid/solution interfaces, *Advances in Colloid and Interface Science* 123-126, pp. 213-229.



Piroklastik Kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Dayanıklılık İndeksinin Yoğunluk ve Poroziteden Tahmini

Estimating the Slake Durability Index of Pyroclastic Rocks from the Density and Porosity

S. Kahraman

Niğde Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde

M. Fener ve O. Günaydın

Niğde Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde

ÖZET Özellikle ön araştırma aşamalarında suda dağılmaya karşı dayanıklılık (I_d) indeksinin dolaylı yöntemlerden tahmini yararlı olacaktır. Bu çalışmada, piroklastik kayaçlar için I_d indeksinin yoğunluk ve porozite değerinden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Kapadokya yöresinden toplanan 32 farklı piroklastik kayaç üzerinde I_d indeks, yoğunluk ve porozite deneyleri yapılmıştır. Regresyon analiziyle, I_d indeks değeri ile yoğunluk arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki bulunmuştur. I_d indeks değeri ile porozite arasında da iyi korelasyon katsayısına sahip doğrusal ters bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, çoklu regresyon analizi yapılmış ve elde edilen eşitliğin korelasyon katsayısının I_d indeks değeri ile yoğunluk arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı ile hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Geliştirilen modellerin geçerliliği t ve F testi ile kontrol edilmiş ve basit regresyon modellerinin geçerli olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, piroklastik kayaçların I_d indeks değerinin yoğunluk ve porozite değerinden güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği söylenebilir.

ABSTRACT The estimation of the slake durability index (I_d) from indirect methods will be useful especially for the preliminary investigations. In this study, the possibility of predicting I_d from the density and porosity was investigated for the pyroclastic rocks. The I_d , the density and the porosity tests were performed on the 32 different samples of pyroclastic rocks collected from Cappadocian Region. A linear relation having a high correlation coefficient between the I_d and the density was found using regression analysis. An inverse linear relation having a good correlation coefficient between the I_d and the porosity was found. In addition, multiply regression analysis was carried out and it was shown that the derived equation has nearly the same correlation coefficient as the equation between the I_d and the density. The validity of derived models was also tested by t- and F-tests and it was seen that the simple regression models are valid. Concluding remark is that the I_d of pyroclastic rocks can reliably be predicted from the density and porosity.

1 GİRİŞ

Piroklastik kayaçlar yapı malzemesi olarak özellikle Kapadokya yöresinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, piroklastik kayaçlar içerisinde geçmiş zamanda çeşitli yapılar yapıldığı gibi, günümüzde de bu kayaçlar içerisinde veya üzerine farklı yapılar

inşa edilmektedir. Bu bakımdan, suya karşı dayanıklılığı zayıf olan bu kayaçların suda dağılmaya karşı dayanıklılık (I_d) indeksinin bilinmesi önemlidir. I_d indeksini elde etme işlemi oldukça kolay olmasına rağmen, deneyin yapılışı ve yuvarlatılmış numune hazırlanması zaman alıcıdır. Özellikle

projelerin ön araştırma aşamalarında I_d indeksinin dolaylı yöntemlerden tahmini kolaylık sağlayacaktır.

Bazı araştırmacılar, I_d indeksi ile çeşitli kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Bonelli (1989) kumtaşları üzerinde tek eksenli basınç direnci (UCS) ile I_d indeksi arasındaki ilişkiyi araştırmış fakat anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Bonelli, anlamlı ilişki elde edilememesinin nedenini, test edilen kayaçların I_d indeksi değerlerinin dar bir aralıkta (>90%) değişmesine bağlamıştır. Cargill ve Shakoore (1990) farklı kayaç türlerini test ederek UCS ve I_d indeksi arasındaki korelasyonu incelemiş, fakat iyi bir korelasyon bulamamışlardır. Koncagul ve Santi (1999) Breathitt şeyli için UCS ve I_d indeksi arasında bir korelasyon olup olmadığını araştırmış ve iki parametre arasında iyi bir korelasyon olmadığını görmüşlerdir. Gokceoglu vd. (2000), killi kayaçlar üzerinde yaptıkları deney sonuçlarını değerlendirirken test edilen bütün kayaçlar için UCS ve I_d indeksi arasındaki iyi bir korelasyon bulamamışlar, ancak sadece marnları gözönüne aldıklarında iki parametre arasında pozitif doğrusal bir korelasyon bulmuşlardır. Sharma ve Singh (2008), magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçlar test etmiş ve I_d indeksi ile P-dalga hızı arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Kahraman vd. (2009), piroklastik kayaçlar için UCS ve I_d indeksi arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve iki değişken arasında kuvvetli bir eksponansiyel ilişki olduğunu göstermişlerdir. Moradian vd. (2010) dokuz farklı yumuşak kumtaşını test ederek, basit ve çoklu regresyon analiziyle UCS, P-dalga hızı, yoğunluk ve poroziteden I_d indeksinin tahmin edilebilirliğini araştırmışlar ve basit regresyon analiziyle I_d indeksi ile ölçülen diğer kayaç özellikleri arasında kuvvetli korelasyonlar bulunmuşlardır. Ayrıca, Moradian vd. tarafından alternatif çoklu regresyon analizleri denenmiş ve elde edilen modellerin basit regresyon modellerinden daha iyi korelasyon katsayısına sahip oldukları görülmüştür.

Bu çalışmada, Kapadokya yöresinden toplanan 32 farklı piroklastik kayaç üzerinde I_d indeks, yoğunluk ve porozite deneyleri yapılmış ve yoğunluk ile poroziteden I_d indeks değerinin tahmin edilebilirliği araştırılmıştır.

2 NUMUNE ALIMI

Niğde, Nevşehir, Kayseri ve Aksaray illerinde halen işletilmekte olan yapıtaşı ocaklarından ve mostralardan laboratuvar deneyleri için piroklastik kayaçlara ait blok numuneler toplanmıştır. Numunelerin lokasyonları Çizelge 1' de verilmiştir.

3 LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvarda yapılan I_d indeks, yoğunluk ve porozite deneylerine ait bilgiler aşağıda, deney sonuçlarının özeti ise Çizelge 1' de verilmiştir.

3.1 Suda Dağılmaya Karşı Dayanıklılık Deneyi

10 adet 40-60 g ağırlığındaki yuvarlatılmış numune (Toplam olarak yaklaşık 450-550g), 110 °C' de 24 saat kurutulup soğutulduktan sonra deney aletinin tamburuna konulmuştur. Tambur deney haznesi içerisine yerleştirilmiş ve hazne belirli seviyeye kadar yaklaşık 20 °C' deki su ile doldurulduktan sonra 10 dakikada 200 devir yaptırılmıştır. Hücrede kalan numune kurutulduktan sonra tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. İşlem dört defa tekrarlanarak dört çevrimlik suda dağılmaya dayanıklılık indeksi (I_{d4}) hesaplanmıştır.

3.2 Yoğunluk Deneyi

Uçları kesilmiş ve düzeltilmiş karot numunelerin çap ve boyları kumpas ile ölçülerek hacmi hesaplanmış ve 48 saat suda bekletildikten sonra doygun ağırlıkları tartılmıştır. Numune ağırlıklarının numune hacimlerine oranlanmasıyla doygun yoğunluklar bulunmuştur.

Çizelge 1. Numune lokasyonları ve deney sonuçları

Numune lokasyonu	Suda dağılmaya karşı dayanıklılık - I_{d4} (%)	Yoğunluk (g/cm^3)	Porozite (%)
Derbent/Niğde (Bej)	81.3	1.78	34.1
Dere Mah.-1/Niğde	79.7	1.79	26.6
Dere Mah.-2/Niğde	91.9	1.72	29.4
Kızılören/Niğde	95.9	1.99	24.6
Özbelde/Niğde	94.2	1.90	25.1
Aktaş-1/Niğde	78.2	1.59	41.8
Aktaş-2/Niğde	63.6	1.55	35.1
Akkaya Göleti/Niğde	96.0	1.75	20.3
Bahçeli/Niğde	88.3	1.95	14.7
Gümüşler/Niğde	79.7	1.73	28.9
Derbent-2/Niğde (Gri)	92.7	1.88	27.6
Güllüce/Niğde	96.3	1.83	15.0
Altunhisar/Niğde	95.2	2.04	19.0
Mustafapaşa/Nevşehir	69.4	1.50	39.1
Avanos/Nevşehir (Beyaz)	61.2	1.31	40.0
Avanos/Nevşehir (Pembe)	90.8	1.71	25.3
Derinkuyu/Nevşehir	83.0	1.79	27.6
Karayazı/Nevşehir (Gül kurusu)	88.4	1.83	27.5
Karayazı/Nevşehir (Vişne)	78.0	1.84	25.4
Karayazı/Nevşehir (Devetüyü)	83.9	1.70	28.9
Karayazı/Nevşehir (Beyaz)	78.8	1.68	26.1
Karayazı/Nevşehir (Formika)	73.9	1.66	27.6
Karayazı/Nevşehir (Sarı)	82.9	1.70	29.3
Tomarza/Kayseri (Gri)	96.4	1.83	20.3
Araplı/Yahyalı/Kayseri	90.2	1.85	23.8
İncesu/Kayseri	90.3	1.84	31.9
Tomarza/Kayseri (Sarı)	93.4	1.81	26.0
Tomarza/Kayseri (Siyah)	89.0	1.69	35.8
Persek/Kayseri	97.9	1.94	18.5
Başakpınar/Kayseri	97.7	2.07	12.2
Selime/İhlara/Aksaray	95.0	1.91	26.2
Taşpınar/Aksaray	92.8	1.91	16.0

3.3 Porozite Deneyi

Her iki ucu düzgün bir şekilde kesilmiş karot numuneler $105-110^{\circ}C$ ' de 24 saat kurutulmuş ve tartılarak suya doymun ağırlıkları belirlenmiştir. Doymun ve kuru ağırlıkların farkından boşluk hacimleri hesaplanmıştır. Boşluk hacimlerinin numune hacimlerine oranlanmasıyla porozite değerleri bulunmuştur. Her kayaç için, deney 3 ayrı numunede tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

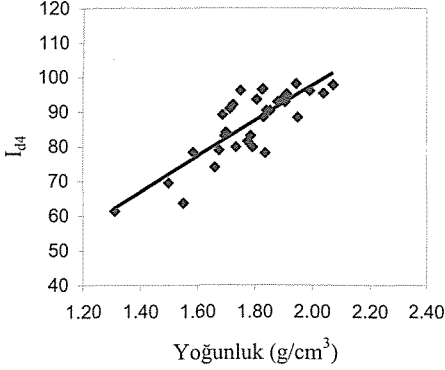
4 İSTATİSTİKSEL ANALİZ

4.1 Basit Regresyon Analizi

I_d indeks değeri ile yoğunluk ve porozite arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla önce basit regresyon analizi uygulanmıştır. Lineer, logaritmik, üssel ve ekspanansiyel fonksiyonlar sırayla denenmiş ve korelasyon katsayıları incelenmiştir. I_d indeks değeri ile yoğunluk arasında kuvvetli korelasyona ($r = 0.82$) sahip doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Yoğunluk değeri arttıkça I_d indeks değeri de artmaktadır (Şekil 1). Bu ilişkinin formülü aşağıda verilmiştir:

$$I_{d4} = 51.30\gamma - 5.04 \quad (1)$$

Burada, I_{d4} = Suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi (%) ve γ = Yoğunluk (g/cm^3).

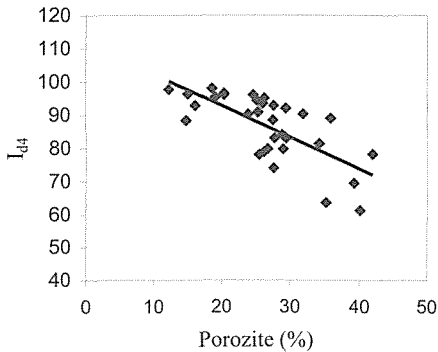


Şekil 1. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi ile yoğunluk ilişkisi.

I_d indeksi değeri ile porozite arasında da ters-doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Şekil 2). Bu ilişki, I_d indeksi-yoğunluk ilişkisi kadar kuvvetli korelasyon katsayısına ($r = 0.71$) sahip değildir. I_d indeksi-porozite ilişkisinin formülü aşağıda verilmiştir:

$$I_{d4} = -0.95n + 111.8 \quad (2)$$

Burada, I_{d4} = Suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi (%) ve n = Porozite (%).



Şekil 2. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi ile porozite ilişkisi.

4.2. Çoklu Regresyon Analizi

Basit regresyon modellerine göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip model elde edilebilirliğini araştırmak için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizi sonucunda iyi korelasyon katsayısına ($r = 0.83$) sahip aşağıdaki model elde edilmiştir:

$$I_{d4} = 14.16 + 43.67\gamma - 0.21n \quad (3)$$

Burada, I_{d4} = Suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi (%), γ = Yoğunluk (g/cm^3) ve n = Porozite (%).

Yukarıda görüldüğü gibi çoklu regresyon modeli ile I_d indeksi değeri - yoğunluk ilişkisinin korelasyon katsayısı hemen hemen aynıdır. Dolayısıyla korelasyon katsayısına göre çoklu regresyon modelinin bir üstünlüğü bulunmamaktadır.

5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Korelasyon katsayısının yüksek olması önemli bir ölçü olmakla birlikte, bir modelin güvenilirliği için her zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, elde edilen eşitliklerin güvenilirlikleri test etmek amacıyla t- ve F-testi uygulanmıştır. t-testine göre, bir modelin geçerli olabilmesi için hesaplanan t-değerinin tablodan bulunan t-değerinden büyük olması gerekmektedir. Çizelge 2' de görüldüğü gibi hesaplanan t-değerleri tablodan bulunan t-değerlerinden büyük olduğu için Eşitlik 1 ve 2, t-testine göre geçerlidir. Eşitlik 3' ün ise t-testine göre geçerli olmadığı görülmektedir.

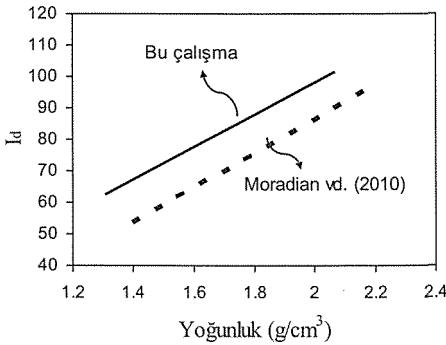
F-testine göre de, modelin geçerli olabilmesi için hesaplanan F-değerinin tablodan bulunan F-değerinden büyük olması gerekmektedir. Çizelge 2' de görüldüğü gibi hesaplanan F-değeri tablodan bulunan F-değerinden büyük olduğu için Eşitlik 1, 2 ve 3 F-testine göre geçerlidir.

Yukarıda bahsedildiği gibi Moradian vd. (2010), yumuşak kumtaşlarının I_d indeksi değerinin yoğunluk ve poroziteden tahmini için regresyon modelleri önermişlerdir. Bu çalışmada elde edilen modellerin Moradian vd. (2010)' nin modelleri ile karşılaştırması

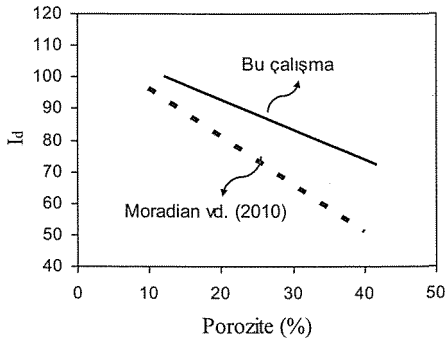
Çizelge 2. t ve F-testi sonuçları.

Eşitlik no	Bağımsız değişkenler	t-tablo	t-test	F-tablo	F-test
1	Yoğunluk	± 2.03	49.19	3.99	2356.16
2	Porozite	± 2.03	21.32	3.99	761.94
3	Yoğunluk Porozite	± 2.04	4.15 -0.92	4.17	31.73

yapılmıştır. Şekil 3 ve 4' de görüldüğü, gibi bu çalışmada elde edilen modeller Moradian vd. (2010)' nin modelleri ile paralellik arz etmektedir. Moradian vd. (2010)' nin I_d indeks değerlerinin bu çalışmaya ait I_d indeks değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Moradian vd. (2010)' nin I_d testlerinde 2 çevrim, bu çalışmada ise 4 çevrim uygulanmış olmasındandır. Eğer her iki çalışmada da çevrim sayısı aynı olsaydı, modellerin çok iyi bir uyum gösterebileceği söylenebilir.



Şekil 3. I_d - yoğunluk ilişkisi için bu çalışma ile Moradian vd. modelinin karşılaştırması.



Şekil 3. I_d - porozite ilişkisi için bu çalışma ile Moradian vd. modelinin karşılaştırması.

6 SONUÇLAR

32 farklı piroklastik kayaç üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları regresyon analiziyle değerlendirilmiş ve I_d indeksinin yoğunluk ve poroziteden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. I_d indeks değeri ile yoğunluk arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bir ilişki bulunurken, I_d indeks değeri ile porozite arasında da iyi korelasyon katsayısına sahip doğrusal ters bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Ayrıca, çoklu regresyon analizi yapılmış ve elde edilen eşitliğin korelasyon katsayısının I_d indeks değeri ile yoğunluk arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Basit regresyon modellerinin t ve F testi ile bakımından geçerli oldukları ve literatürde bulunan önceki çalışmalarla uyum içerisinde buldukları görülmüştür. Sonuç olarak, piroklastik kayaçların I_d indeks değerinin yoğunluk ve porozite değerinden güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Bonelli, R., 1989. Relationship between engineering properties and petrographic characteristics of selected sandstones, *MSc. Thesis*, Ohio: Kent State University.
- Cargill, J.S. ve Shakoov, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 27, 495-503.
- Gokceoglu, C., Ulusay, R. ve Sonmez, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and claybearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, *Eng. Geol.*, 57, 215-237.
- Kahraman, S., Fener, M. ve Gunaydin, O. (2009). Predicting the UCS of pyroclastic rocks from the slake durability index, *Eurock 2009*, October 29-31, s. 267-270, Dubrovnik (Cavtat), Croatia.
- Koncağul, E.C. ve Santi, P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt

- shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 139-153.
- Moradian, Z.A., Ghazvinian, A.H., Ahmadi, M. ve Behnia, M., 2010. Predicting slake durability index of soft sand stone using indirect tests, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 47, 666-671.
- Sharma, P. K. ve Singh T.N., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 67, 17-22.

Tiyöüre Yöntemiyle Altın Özütlemesinde Cevher Tane Boyutu İle Liç ve Kavurma Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effects of Ore Particle Size and Temperatures of Leaching and Roasting By Thiourea Method

N. Gönen, O. Ş. Komaç, T. Ölçer

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

O. S.Kabasakal, U. Selengil

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET: Bu araştırma, MTA Genel Müdürlüğü tarafından bulunan ve daha önce yapılan doğrudan siyanürleme ve tiyöüre liçi deneylerinde olumlu sonuçlar alınamayan Gümüşhane-Kaletaş cevheri üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, düşük tenörlü cevherlerden ekonomik koşullarda altın üretimi için günümüzde tek seçenek olarak uygulanan siyanürlemeye alternatif olarak tiyöüre yönteminin uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır ve tiyöüre liçinde; cevher tane boyutu ile liç ve kavurma sıcaklığının etkileri incelenmiştir. 8,8 g/ton Altın içeren cevher numunesi üzerine yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek altın özütleme verimi; 550 °C'da kuru hava beslemeli olarak döner fırında 1 saat kavurma ve cevher tane boyutu 38 µm, pH 1,5 ve karıştırma süresi 5 saat liç koşullarında %82,39 olarak elde edilmiştir. Bu koşullardaki gerekli reaktif tüketim miktarları; tiyöüre 18,67, demir(II)sülfat 51,41 ve sülfirik asit 77,96 kg/ton cevher olarak saptanmıştır.

ABSTRACT: The Gümüşhane Kaletaş gold ore on which the previous studies could not give efficient results was studied. In the study, the aim was to investigate the applicability of the thiourea method which is an alternative to the cyanidation being applied as the only method in the economical gold production from the low-grade gold ores. The effects of ore particle size and the temperatures of leaching and roasting were studied. The highest gold leaching efficiency was found as 82.39 % at 550 °C. The experimental conditions were as follows: ore particle size: 38 µm, pH: 1.5 and agitation time: 5 hours. The experiments were carried out in rotary furnace with dry air feeding. The reagent consumptions under these conditions were 18.67 kg/ton ore, 51.41 kg/ton ore and 77.96 kg/ton ore for these Thiourea, iron(II) sulfate and sulfuric acid respectively.

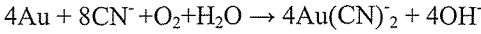
1 GİRİŞ

Düşük tenörlü cevherlerden ekonomik koşullarda altın üretimi için günümüzde tek seçenek olarak uygulanan siyanürleme yöntemi, aşırı derecede toksik etki gösteren siyanür kullanımından dolayı çevresel açıdan kaygılara neden olmakta ve siyanürlemeye alternatif olabilecek özütleyiciler üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Tükel vd.

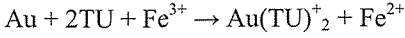
1996; Smith and Mudder 1991; Gönen vd. 2004]. Bu özütleyicilerden tiyöüre, çözeltiliye alma kinetiğinin çok daha hızlı olması ve toksik olmaması gibi nedenlerden dolayı öne çıkmaktadır. Özellikle altın ve gümüş içeren, refrakter ve kükürlü cevherlerden kıymetli metallerin kazanımında, siyanüre alternatif olarak laboratuvar düzeyinde araştırılmaktadır (Yüce 1995; Kakı 1995).

Altın üretiminde uygulanan siyanürleme yöntemi, bazik ortamlarda (pH \geq 10,5) anyonik kompleks oluşumu, tiyoüre ile özütleme yöntemi ise asidik ortamlarda (pH $<$ 3,0) katyonik kompleks oluşumu esasına dayanmaktadır. Siyanürlemede yükseltgen madde olarak hava oksijeni yeterli olmakta, tiyoüre (TU) ile özütlemeye ise demir(III)sülfat (DS), hidrojen peroksit gibi daha kuvvetli yükseltgen maddeler kullanılmaktadır. (Li and Miller 2002).

Siyanürleme:



Tiyoüre (TU: $\text{H}_2\text{N-CS-NH}_2$) çözültisiyle özütleme:



Tiyoüre yöntemiyle altın kazanımı, siyanürlemede olduğu gibi genel olarak; katı-sıvı özütlemesi (liç), aktif karbona yüzey soğurma, geri soğurma ve elektroliz aşamalarını kapsamaktadır (Ubaldini et al. 1998; Örgül ve Atalay 2002; Gönen vd. 2007; Ölçer 2010).

Bu çalışmada, cevherdeki altının sıvı faza özütlenmesinde siyanürleme yerine tiyoüre yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, altın özütlenmesi açısından refrakter tipi özellik gösteren ve daha önce yapılan doğrudan siyanürleme ve tiyoüre ile özütleme deneylerinin sonuçlarına göre yüksek oranlarda reaktif tüketimleri gerektirmesine karşın altın özütleme verimleri %65 dolayında kalan Gümüşhane-Kaletaş cevheri üzerine gerçekleştirilmiştir. Tiyoüre çözültisi ile katı-sıvı özütlemesinde altın kazanma verimlerinin artırılabilmesi için daha önce denenmemiş olan cevher tane boyutu ve liç sıcaklığının etkileri incelenmiş ve liçten önce kavurma işlemi uygulanarak altın özütlemesinde sorun yaratan veya aşırı düzeyde reaktif (TU, DS ve sülfirik asit) tüketimlerine neden olan kükürt, arsenik ve organik karbon gibi uçucu bileşenlerin ortamdan uzaklaştırılması amaçlanmıştır.

2 NUMUNE HAZIRLAMA VE YÖNTEM

Deneysel çalışma örnekleri, Gümüşhane-Kaletaş bölgesinden M.T.A. genel Müdürlüğü tarafından alınan ve daha önce yapılan siyanürleme ve tiyoüre yöntemlerine göre altın kazanımı deneylerinde de kullanılan altın cevheri numunesinden hazırlanmıştır (Gönen vd. 1999; Gönen vd. 2007). Daha önceki araştırma çalışmalarından kalan yaklaşık -0,5 cm boyutlu stok numunesinden öğütme, yarılama, çeyreklenme ve sekizleme işlemleriyle üç farklı boyutta hazırlanan (-150, -75 ve -38 μm) deneysel çalışma örneklerinin ağırlıkça boyut dağılımlarını gösteren yaş elek analizi sonuçları (Çiz.1) ile -38 μm boyutlu fraksiyondan alınan temsili örneğin MTA tarafından yapılan kimyasal analiz sonuçları (Çiz. 2) aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. Yaş elek analizi.

Elek Açıklığı (μm)	Ağırlık Dağılımı (%)		
	150 μm	75 μm	38 μm
+250	8,05	-	-
-250+150	10,44	-	-
-150+106	8,17	6,63	-
-106+75	7,07	10,46	1,55
-75+38	9,61	10,19	9,95
-38	56,66	72,70	88,50
TOPLAM	100,00	100,00	100,00

Çizelge 2. Kimyasal analiz sonuçları.

Bileşen	%	Bileşen	%
SiO_2	82,5	As	1,75
Fe_2O_3	5,0	S	0,36
Al_2O_3	4,0	C	0,15
Au	8,8 g/ton	A.Za	4,85

Tüm katıdan özütleme deneyleri, karıştırılmalı yöntemle göre cam beherlerde ve elektrikli mekanik karıştırıcı kullanılarak yapılmış, katıdan altın analizlerinde kupelasyon + ICP, sıvı fazdaki tiyoüre ve Fe^{3+} analizlerinde ise titrasyon yöntemlerinden yararlanılmıştır. Altın özütleme verimlerinin hesaplanmasında katı artıktaki altın miktarları esas alınmıştır.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DeneySEL çalışmalar kavurmasız (doğrudan liç) ve kavurmalı liç olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Cevher tane boyutu ve liç sıcaklığının incelendiği ilk aşama deneylerinde, pH ve K/S oranı ile TU, DS ve sülfürik asit (SA) tüketim miktarları olarak 2005 yılında tamamlanan ESOGÜ Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında (Gönen vd. 2005) aynı cevherin -38 µm boyutlu örnekleri için saptanan optimum koşullar baz alınmıştır (pH:1,5; K/S: 1/2; TU: 15,2 kg/ton cev., DS: 140,9 kg/ton cev.; SA: 46,2 kg/ton cev. ve liç süresi: 5 saat). Kavurma işlemi sonucunda cevherin mineralojik yapısında değişme olacağından optimum reaktif tüketim miktarları yeniden belirlenmiş ve kavurma sıcaklığının liç verimine etkisi incelenmiştir.

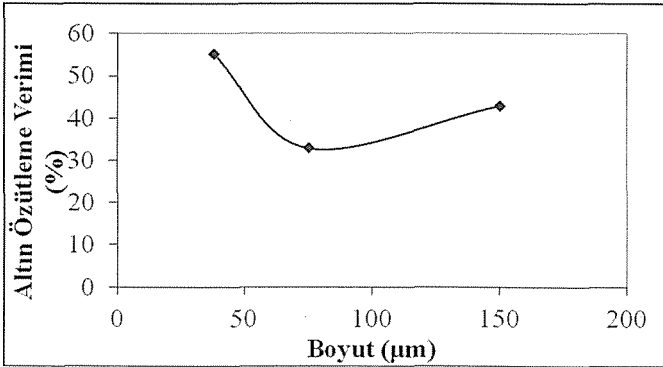
Kavurmalı veya kavurmasız tüm liç deneylerinde yaklaşık 100'er gramlık sekizleme örnekleri kullanılmış ve K/S oranı (katı/sıvı faz oranı, kg/L) 1/2 olarak sabit tutulmuştur. Deney sonu katı - sıvı faz ayırımları vakumlu süzme sistemi ile yapılmıştır. Katı fazlar, Katı/Sıvı oranı 1/1,5

koşuluna göre 10 dakika saf su ile yıkandıktan sonra 105 °C'da 3 saat kurutulup tartılmıştır.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Cevher Tane Boyutunun Özütlemeye Etkisi

-150 µm (%81,51 <150 µm), -75 µm (%82,89<75 µm) ve -38 µm (%88,5<38 µm) boyutlu cevher örnekleri üzerine laboratuvar sıcaklığı ortamında (20±1 °C) yapılan 5'er saatlik liç deneylerinin sonuçlarına göre çizilen altın özütleme veriminin tane boyutuna göre değişim diyagramında (Şek.1) görüldüğü gibi özütleme verimi, en küçük boyut olarak seçilen -38 µm için bile en fazla %55,22 düzeyinde gerçekleşmektedir. Bu değer, aynı koşullarda, aynı cevher numunesinin diğer yarılama örnekleri için daha önceki çalışmada elde edilen özütleme veriminden (% 62,5) bir miktar daha düşük düzeyde kalması, örneklerdeki altın dağılımı farklılığı ile deney ve analiz hatalarından kaynaklanabilecektir (Gönen vd 2005).



Şekil 1. Özütleme veriminin tane boyutu büyüklüğüne göre değişimi.

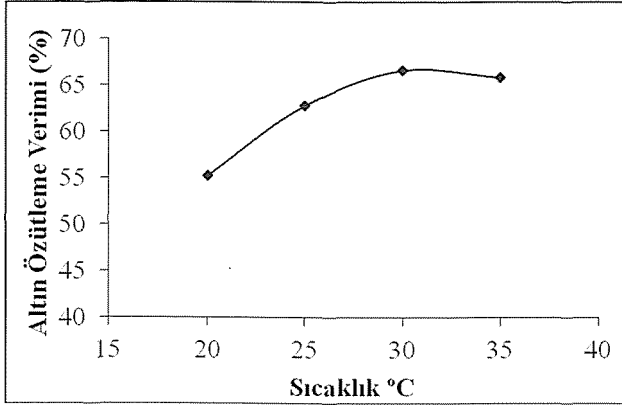
4.2 Liç Sıcaklığının Özütlemeye Etkisi

Sıcaklığın altın özütlemesine etkisinin incelenmesi için -38 µm tane boyutu büyüklüğü temel alınarak; laboratuvar ortamı sıcaklığında (20±1 °C) ve su banyosu kullanılarak 25, 30 ve 35 °C sıcaklıklarında (±0,5 °C) liç deneyleri yapılmıştır. Bu

deneylerde, literatürde de belirtildiği gibi tiyüre 40 °C'dan sonra kolay bozunabileceğinden işlemin ekonomik boyutu da dikkate alınarak 35 °C'dan daha yüksek liç sıcaklıkları denenmemiştir (Karaca 2004; Ölçer 2010).

Şekil 2’de görüldüğü gibi sıcaklık artışı 30 °C’a kadar altın özütlemesini olumlu yönde etkilemekte ve 30 °C için laboratuvar ortamı sıcaklığına göre (%55,22) yaklaşık % 20 oranında daha yüksek liç verimi

(%66,62) elde edilebilmektedir. Altın özütleme veriminin az da olsa 30 °C’dan sonra tekrar azalması, tiyoürenin sıcaklık artışına bağlı olarak yapısal bozunurluğu ile açıklanabilir.



Şekil 2. Altın özütleme veriminin liç sıcaklığına göre değişimi.

4.3 Kavurma

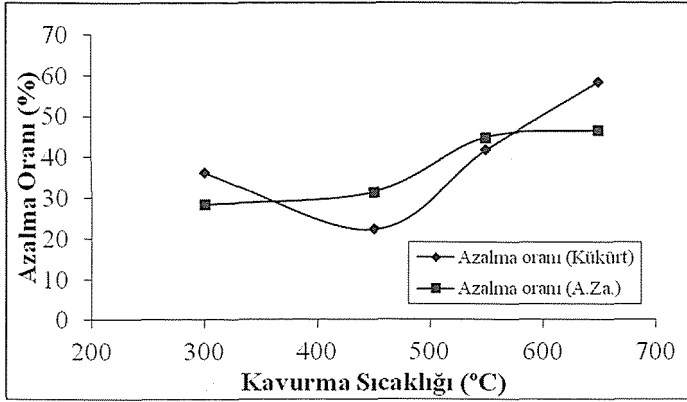
Kavurma işlemleri, maksimum 1 kg kapasiteli ve 1100 °C sıcaklığa kadar ısıtılabilen kuvars tüplü döner kavurma fırınında gerçekleştirilmiş ve tüm kavurma deneylerinde kavurma tüpünün dönme hızı 6 rpm olarak sabit tutulmuştur. Cevherin mineralojik yapısında bulunan ve altın özütlemesinde olumsuzluk yaratan As ve S ile diğer uçucu bileşenlerden oluşan A.za. (ateş zayıyatı) miktarlarının kavurma sıcaklığı ile kavurma süresi ve hava beslemesine bağlı olarak ağırlıkça azalma oranları incelenerek en uygun kavurma koşullarının belirlenmesi için -150 µm boyutundaki cevher örnekleri kullanılmıştır. Liç deneyleri için gerekli daha ince boyutlu örnekler, kavurma işleminden sonra halkalı öğütücü kullanılarak elde edilmiştir.

4.3.1 Kavurmada sıcaklığın etkisi

Orijinal cevherin daha önceki çalışmalar esnasında yapılan DTA analiz sonuçları da dikkate alınarak kavurma sıcaklığı aralıkları;

300, 450, 550 ve 650 °C olarak seçilmiş ve cevher örnekleri, hava beslemesiz koşullarda tüpün her iki ucu da atmosfer basıncına açık olarak 3'er saat kavurulmuştur. Kavurulmuş örneklerde kalan S ve Ateş zayıyatı (A.Za.) miktarları temel alınarak azalma oranları hesaplanmış, organik karbon düzeyi çok düşük olduğundan, arsenik miktarları da kavurma ile değişiklik göstermediğinden dikkate alınmamıştır.

Şekil 3’de çizilen azalma oranlarının kavurma sıcaklığına göre değişim eğrilerinde görüldüğü gibi, S ve ateş zayıyatı azalma oranları, kavurma sıcaklığına bağlı olarak artmakta ve 650 °C’da en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Cevherin yapısında bulunabilecek tüm uçucu bileşenlerin toplam azalma miktarını gösteren ateş zayıyatındaki azalma oranının 550 °C’dan itibaren daha az oranda artması, bu sıcaklık değerine kadar kimyasal tepkime ve hal dönüşümlerinin büyük oranda tamamlanması ile açıklanabilir. Bu durum, DTA sonuçlarına da uygunluk göstermiştir (Gönen vd. 2005).



Şekil 3. Ağırlıkça azalma oranlarının kavurma sıcaklığına göre değişimi.

Kavurma esnasında arsenik ortamdan uzaklaştırılmamış olmasına karşın ateş zayıyatının yüksek oranda azalması, cevherin yapısında As, S ve C dışında diğer uçucu bileşenlerin de bulunabileceğini göstermektedir.

4.3.2 Kavurma süresi ve hava beslemesinin etkisi

Kavurma deneylerinde en fazla azalma oranlarının elde edildiği 650 °C sıcaklık temel alınarak yaklaşık 100'er gram cevher örneklerine 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 ve 4,0 saat'lik kavurma süreleri uygulanmış ve oksijen beslemesi için sanayi tipi kuru hava tüpü kullanılmıştır. Kavurma sırasında gerekli hava miktarının saptanmasında, cevherdeki As, S ve C bileşenlerinin oksidasyon tepkimeleri için gerekli oksijen miktarı baz alınmış ve teorik olarak hesaplanan kuru hava/kg cevher miktarının beş katı fazlası alınarak gerekli hava beslemesi 220 L kuru hava/kg cevher olarak yapılmıştır. Hava besleme debileri manometre ve akış ölçer düzeneği ile ayarlanmış ve her kavurma süresi dolduktan sonra hava beslemesi 1 saat daha sürdürülerek hem oksidasyon veriminin artırılması hem de soğumaya katkı sağlanması amaçlanmıştır. Kavrulmuş cevher örneklerinin As, S ve ateş zayıyatı analiz sonuçlarına göre, süre artışına bağlı olarak yalnız ateş zayıyatı değerlerinin az da olsa bir miktar azaldığı ve daha önceki kavurma sıcaklığının incelenmesi

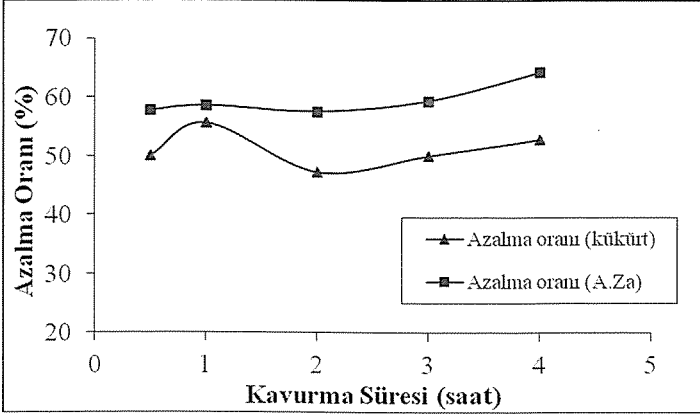
deneylerinde olduğu gibi, arsenik miktarlarında belirgin bir azalma olmadığı görülmüştür. Şekil 4'de çizilen uçucu bileşen azalma oranlarının kavurma süresine göre değişim eğrileri incelenerek en yüksek kükürt uzaklaştırma oranının elde edildiği 1 saat kavurma süresi en uygun değer olarak seçilmiştir.

4.4 Kavurmalı Liç Deneyleri

Tiyoüre çözültisi ile katı-sıvı özütlemesinde gerekli reaktif tüketim miktarlarının ve en uygun kavurma sıcaklığının belirlenmesi için yapılan liç deneyleri, hava beslemeli koşullarda 1 saat kavurma işlemi uygulanmış cevher örnekleri üzerine gerçekleştirilmiştir. Kavurmalı liç deneylerinde, aynı cevherin kavurmasız liç deneylerinde en yüksek altın özütleme verimlerinin elde edildiği, cevher tane boyutu 38 µm, pH 1,5 ve K/S 1/2 koşulları esas alınmıştır. Kavurma sırasında ince boyuttan dolayı tozlaşma ile madde kaybı olmaması için kavurma işlemi -150 µm boyutlu örneklerle uygulanmış, kavrulmuş örnekler daha sonra 38 µm boyutuna öğütülmüşlerdir. -38 µm Boyutlu deney örneklerinin elde edilmesinde, daha önce -150 µm boyutlu kavrulmamış cevher numunesine halkalı öğütücüde uygulanan devir sayısı ve öğütme süresi koşulları dikkate alınmış, ancak, kavrulmuş örneklerin nem oranı ve sertlik özellikleri bir miktar değişiklik göstereceğinden öğütme koşullarında gerekli ayarlamalar yapılarak

-38 µm boyutlu orijinal cevherin boyut dağılımına (%88,5) çok yakın değer olan % 87,69 düzeyine ulaşılmıştır (+75 µm : %2,74; -75+38 µm : %9,57). Her iki liç deneyi de, 20±1 °C dolayındaki laboratuvar

ortamı sıcaklığında yapılmıştır. Asit ilavesinden dolayı deney başlangıçlarında liç sıcaklıkları 3-4 °C kadar artmış, ancak 1. saatten sonra azalarak normal laboratuvar sıcaklığı düzeyine düşmüştür.



Şekil 4. S ve A.Za. azalma oranlarının kavurma süresine göre değişimi.

4.4.1 Reaktif tüketim miktarlarının belirlenmesi

Kavrulmuş cevher örneklerinin tiyoüre çözeltisi ile katı-sıvı özütlemesinde gerekli reaktif tüketim miktarlarının saptanması için aynı cevherin daha önce yapılan kavurmasız liç deneylerinde olduğu gibi, başlangıç reaktif derişimleri TU₀: 4 g/L (0,053 M) ve DS₀: 6 g/L (0,023 M Fe³⁺) olarak esas alınmış ve pH: 1,5 koşuluna göre her ölçüm aralığında tüketilen miktarlar kadar gerekli ilaveler yapılmıştır.

650 °C'da Kavrulmuş ve yaklaşık -38 µm boyutuna öğütülmüş 225,42 g örneğin toplam 7 saatlik liç işleminin belirli süre aralıklarında yapılan ölçüm değerlerine göre bir ton kavrulmuş cevher için toplam TU, DS ve SA tüketimleri sırasıyla; 18,7, 51,4 ve 77,9 kg olarak bulunmuş ve 7 saat sonundaki altın özütleme verimi % 52,59 olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 3 ve Şekil 5'de görüldüğü gibi reaktif tüketimleri, başlangıçta zamana göre hızlı bir şekilde artmakta ve 5. saatten sonra yavaşlamaktadır. Toplam reaktif tüketim değerleri, daha önce saptanan optimum tüketim miktarları ile karşılaştırıldığında (sırasıyla; 15,2, 140,9 ve

46,2 kg/ton cevher), TU miktarlarında bir miktar artış olmasına karşın DS miktarında büyük oranda düşme görülmektedir (Gönen vd. 2005; Gönen vd. 2007). DS miktarında görülen yüksek orandaki azalma, yükseltgen madde olarak kullanılan Fe³⁺ iyonlarının oksitlenmiş ortamlarda daha az oranda tüketildiğini göstermektedir. Tiyoüre ve demir(II) sulfata göre daha ucuz bir girdi olan sülfürik asit ile TU miktarlarındaki artış ise oksitleyici kavurma işlemi sonucunda oluşan oksitli metal minerallerinin TU ve sülfürik asitli çözeltilerde daha fazla çözünürlük kazanmaları ile açıklanabilir. Benzer şekilde, bu deneyde ve daha sonra yapılan kavurma sıcaklığının altın özütlemesine etkisinin incelenmesi deneylerinde elde edilen liç çözeltilerinin (ana çözelti) bekletilmelerinde yaklaşık 5. saatten sonra bulanma görülmesi ve 8. saat'ten itibaren de kirli sarımsı renkte çökelek oluşumu da, bu aşırı miktardaki çözünmeden veya elementel hale yükseltgenen kükürten kaynaklanabilecektir. Belirlenen reaktif tüketim miktarları henüz tüm değişkenlere göre en uygun değerler olmadığından daha sonra yapılacak

karıştırma süresinin ve pH etkisinin incelenmesi deneylerinde daha kısa liç süresi veya biraz daha yüksek pH değerleri için

(daha az asidik ortam gereksinimi) daha olumlu sonuç alınması durumunda, reaktif tüketimlerinde de azalma olabilecektir.

Çizelge 3. Reaktif tüketimleri.

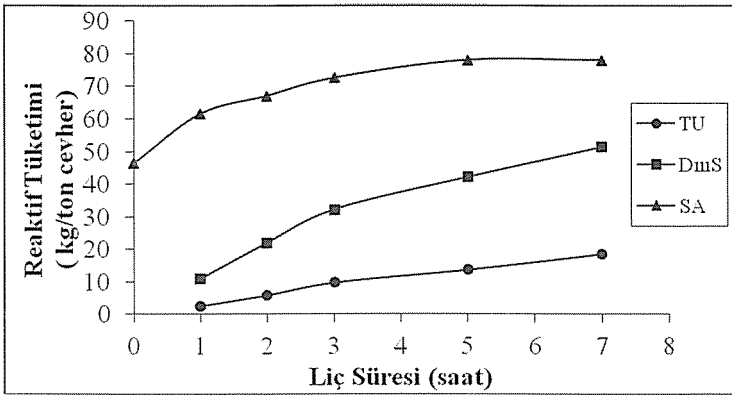
Liç Süresi (saat)	pH Son-Baş	Derişim (g / l)		Toplam Tüketim (kg / ton cevher)			Au Özütl. Verimi (%)
		TU	DS	TU	DS	SA	
0	3,61-1,50	4,00	6,00	-	-	46,23	
1	2,72-1,51	2,79	0,55	2,44	10,87	61,51	
2	1,70-1,50	2,34	0,46	5,77	21,96	67,00	
3	1,68-1,50	2,05	0,88	9,71	32,16	72,48	
5	1,70-1,52	1,99	1,00	13,71	42,14	77,96	
7	1,57	1,54	1,36	18,67	51,41	77,96	52,59

Örnek mikt.: 225,42 g

Ana çöz. Mikt.: 480,0 ml

Katı artık mikt.:205,31g

Katı artıktaki Au : 3,1 g/ton



Şekil 5. Reaktif tüketimlerinin liç süresine göre değişimi.

4.4.2 Kavurma sıcaklığının altın özütlemesine etkisi

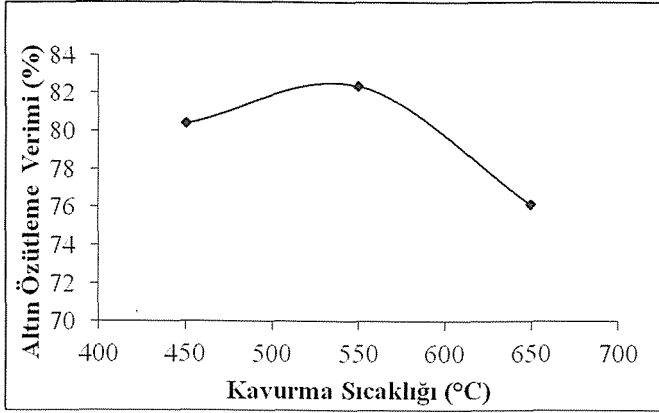
Altın özütlemesinde sorun yaratan sülfürlü mineral yapısının bozundurulması oksidasyonun sağlanması ve ortamdaki uçucu bileşenlerin mümkün olduğunca uzaklaştırılması için yapılan kavurma deneylerinde en olumlu sonuç, 650 °C'da hava beslemeli olarak 1 saat kavurma koşullarında alınmış olmakla birlikte, sıcaklık artışına bağlı olarak aşırı düzeyde oksidasyondan dolayı refrakter karakter gösteren oksit bileşikleriyle sülfat bileşikleriyle oluşabileceğinden en uygun kavurma sıcaklığının deneysel olarak belirlenmesi

kararlaştırılmıştır. Kavurma sıcaklığı aralıkları 450, 550 ve 650 °C olarak seçilmiş ve hava beslemeli ortamda 1'er saatlik kavurma işlemine göre hazırlanan yaklaşık 100'er gramlık -150µm boyutlu kavurulmuş cevher örnekleri benzer koşullar uygulanarak halkalı değirmende -38 µm boyutuna öğütülmüşlerdir. Döner fırındaki kavurmalar esnasında sıcaklığa bağlı olarak % 3-4 dolayında kütle azalması görülmekte ve kavurulmuş ürünün rengi, açık kiremit renginden koyu kiremit rengine doğru değişmektedir. Liç deneylerinde, reaktif tüketim miktarları; TU: 18,67, DS: 51,41 ve SA: 77,96 kg/ton cevher olarak sabit

tutularak pH: 1,5, liç süresi: 5 saat ve laboratuvar sıcaklığı koşullarında her kavurma sıcaklığı için altın özütleme verimleri hesaplanmıştır.

Şekil 6.'da çizilen altın özütleme veriminin kavurma sıcaklığına göre değişim eğrisinde görüldüğü gibi, en yüksek liç

verimi 550 °C'da % 82,39 olarak elde edilmiştir. Bu değer, kavurmasız koşullar için laboratuvar sıcaklığında elde edilen özütleme verimine göre (%55,22) yaklaşık % 27 kadar daha yüksek oranda altın kazanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 6. Kavurma sıcaklığına göre altın özütleme veriminin değişimi.

4 SONUÇ

Aynı cevher üzerine daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi, tiyoüre ile doğrudan özütlemeye olumlu sonuç alınamamıştır. Bu durum, cevherin altın üretimi açısından refrakter karakterli olduğunu göstermektedir. Liç sıcaklığına bağlı olarak altın özütleme verimi 30 °C'a kadar bir miktar artmış, ancak, 35 °C'dan sonra tekrar azalmıştır. Bu azalma, literatürde de belirtildiği gibi organik yapıda bir madde olan tiyoürenin ısı etkisiyle daha kolay bozunurluk göstermesinden kaynaklanabilecektir (Karaca 2004).

Katı-sıvı özütlemesinden önce kavurma işleminin uygulanması özütlemeye çok olumlu katkı sağlamış ve liç verimi %82,39'a yükselmiştir. Ayrıca, kavurmalı özütlemeye asit tüketimi daha fazla olmakla birlikte yükseltgen madde olarak kullanılan DS tüketimi çok belirgin bir şekilde azalmıştır. Ancak, elde edilen sonuçlar ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, refrakter özellik gösteren bu tür cevherlerden

- tiyoüre yöntemiyle altın üretiminin ekonomik koşullarda gerçekleştirilebilmesi için reaktif tüketimlerinin azaltılması ve altın özütleme verimlerinin yükseltilmesine yönelik araştırma çalışmalarının sürdürülmesi gerekli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Gönen, N., Körpe, E., Yıldırım, M. E., Selengil, U., 2007, Leaching and CIL processes in gold recovery from refractory ore with thiourea solutions, Minerals Engineering, 20, 559-565.
- Gönen, N., Yıldırım, M.E., Selengil, U., Körpe, E., 2005, Tiyoüre yöntemiyle altın kazanımında CIL sürecinin uygulanabilirliğinin araştırılması, ESOĞÜ, BAP, 200215029, Eskişehir.
- Gönen, N., Kabasakal, S., Özdil, G., 2004, Recovery of cyanide in gold leach waste solution by volatilization and absorption, Journal of Hazardous Materials, B113, 231-236.
- Gönen, N., Ağırçöl, A., Kılıç, S., Kızılkaya, B., Oktay, C., Özsuca, D., Üçgül, E., 1999, Gümüşhane-Kaletaş cevherinden siyanürleme yöntemiyle altın kazanımı, MTA, Rap.No: 1324.

- Kakı, E., 1995, Altının çözeltiliye alınması için yeni bir yöntem, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaca, E., 2004, Tiyoüre ile altın çözündürme kinetiğine yükseltgen madde etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Li, J., Miller, J.D., 2002, Reaction kinetics for gold dissolution in acid thiourea solution using formamidine disulfide as oxidant, Hydrometallurgy, 63-3, 215-223.
- Örgül, S., Atalay, U., 2002, Reaction chemistry of gold leaching in thiourea solution for Turkish gold ore, Hydrometallurgy, 67, 71-77.
- Ölçer, T., 2010, Tiyoüre yöntemine göre altın öztlemesinde Fe^{2+}/Fe^{3+} molar oranı ile cevher tane boyutu, liç sıcaklığı ve süresinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Smith, A., Mudder, T., 1991, The chemistry and treatment of cyanidation wastes, Mining Journal Books Limited, London.
- Tükel, C., Çelik, H., İpekoğlu, Ü., Tanrıverdi, M., 1996, Leaching of Ovacık gold ore with cyanide and thiourea, Changing Scopes in Mineral Processing, Proceedings of the 6 th. International Symposium, Kuşadası, 567-572.
- Ubal dini, S., Fornari, P., Massidda, R., Abbruzzese, C., 1998, An innovative thiourea gold leaching process, Hydrometallurgy, 48, 113-124.
- Yüce, A. E., 1995, Altın-gümüş içeren sülfürlü bakırlı- pirit cevherlerinden tiyoüre liçi ile altın ve gümüş kazanımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

7. BÖLÜM
İŞ GÜVENLİĞİ



Madencilik Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Risk Değerlendirme Karar Matrisi İle İncelenmesi

Investigation of Occupational Accident Occurred at Mining Sector by Using Risk Assessment Decision Matrix

S. Önder, N. Suner, M. Önder

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Kömür madenciliğinde yoğun olarak meydana gelen iş kazaları, iş sağlığı ve güvenliği konusunun önemini tekrar gündeme taşımıştır. Yaşanabilecek iş kazalarının azaltılabilmesi için, mevcut risklerin doğru algılanması ve analiz edilmesi gereklidir. Bu çalışmada, risk analizi için GLİ'nin yerüstü ve yeraltı işletmelerinde 2005-2009 yılları arasında meydana gelmiş olan iş kazaları incelenmiştir. Öncelikle kaza sıklık oranı (KSO) ve kaza ağırlık oranları (KAO) hesaplanarak yıllar arası karşılaştırmalar yapılmıştır. İş kazalarının nedenleri, işletmenin kayıtlarına uygun olarak, göçük taş veya kömür düşmesi, malzeme düşmesi, malzeme çarpması, elle taşıma, mekanik taşıma, makine, iş makinesi ve el aletleri olmak üzere 8 ana grupta incelenmiştir. Daha sonra 5x5'lik risk değerlendirme karar matrisi yöntemi kullanılarak, kaza nedenlerinin risk skorları ve risk grupları belirlenmiştir. Yerüstü için iş makinesi nedeninin, yeraltı için ise malzeme düşmesi nedeninin risk matrisinde yüksek risk grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

ABSTRACT Frequently occurred occupational accidents at coal mining have increased the importance of occupational health and safety. In order to reduce occupational accidents, it is necessary to correct detection and analyzing the existing risks. In this study, occupational accidents occurred at GLİ surface and underground mining operations between 2005-2009 years were examined for the risk analysis. Firstly, the accident frequency and severity rates were calculated and made comparisons between the years. The reasons of occupational accidents, according to company records, 8 main groups including falls of ground (roof, rock and coal), falling object, struck by object, manual handling, mechanical handling, machine, open-pit machinery and hand tools were examined. Then, using the 5x5 risk assessment decision matrix method, risk scores and risk groups of accident reasons were determined. The accidents related to machinery for the surface mining and the material falls for the underground mining were determined in the high risk group.

1 GİRİŞ

Arama, hazırlık, üretim, nakliyat ve cevher hazırlama evrelerinin her birinde ayrı riskler barındıran madencilik sektörü, bu risklerin önlenememesi neticesinde oldukça fazla iş kazasının meydana geldiği en tehlikeli çalışma kollarından birisidir. Kazalar, önceden planlanmamış ve istenmeyen olaylar olup, vukuunda, ölümlere, yaralanmalara ve maddi kayıplara neden olmaktadır (Güyağüler, 2007). Özellikle kömür

madenciliği, ülkemizde en fazla iş kazasının meydana geldiği iş kolları arasındadır (Yıldırım, 2009).

Literatürde kömür madenlerinde gerçekleşen kazalarla ilgili çalışmalar mevcuttur. Sarı vd. TKİ'ye bağlı GLİ Tunçbilek-Ömerler ve ELİ Soma-Eynez yeraltı kömür madenlerinde meydana gelmiş olan kazaları incelemişlerdir. Emniyet açısından klasik ve mekanize sistemleri değerlendirdikleri çalışmalarında kazaları,

kaza nedeni, kazanın meydana geldiği yer, yaralanan uzuv, meslek ve yaş grupları göz önüne alarak incelemişlerdir. Her iki işletmede de en sık karşılaşılan kaza nedenlerinin göçük, elle taşıma ve malzeme çarpması olduğunu belirlemişlerdir. En sık yaralanan uzuvların, gövde, el ve ayak olduğunu, meslek gruplarında ise kazmacı, tahkimatçı ve işçi gruplarının kaza geçirme sıklıklarının daha fazla olduğunu saptamışlardır (Sarı, vd., 2004). Diğer bir çalışmada, Amerika'da 12 yeraltı kömür ocağından alınan göçük olayları incelenmiş, yeraltı kömür madenlerinde göçükle ilgili risk değerlendirme ve yönetimi için risk ve karar analiz yöntemi önerilmiştir. Önerilen tekniğin göçük yönetimi ve belirsizliklerin üstesinden gelmek için güçlü bir teknik olduğu sonucuna varılmıştır (Düzgün and Einstein, 2004). Düzgün, 2005 yılında yaptığı çalışmada, 1986-2003 yılları arasında Zonguldak kömür havzasındaki yeraltı kömür ocaklarında göçükten kaynaklanan ölümlü ve yaralanmalı kazaları incelemiş ve bir risk değerlendirmesi ve yönetimi metodu önermiştir (Düzgün, 2005). Önder ve Adıgüzel, TTK müesseselerinde 1980-2004 yılları arasında meydana gelmiş olan ölümlü iş kazalarını uyum analizi ve hiyerarşik loglineer modelleri kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, ölümlü iş kazalarından en çok etkilenen meslek grubunun üretim işçisi olduğu ve ayrıca, göçük ve metan patlamalarının da ölümlü iş kazalarının oluşumunda en önemli faktörler arasında olduğunu tespit etmişlerdir (Önder ve Adıgüzel, 2009; 2010). Başka bir çalışmada, TKİ'ye bağlı işletmelerde 2001-2008 yılları arasında meydana gelmiş olan kazalar incelenmiştir. Analizler sonucunda, en fazla kaza geçiren iş grupları, bu iş gruplarının maruz kaldıkları kaza nedenleri ve meydana gelen bu kazalar sonucunda yaralanan uzuvlar arasındaki ilişkiler belirlenmiştir (Önder ve Önder, 2010).

Risk, tehlikeli bir durumda olumsuz bir olayın meydana gelmesi olasılığıdır. Tehlike ise belirli bir kişi için olmaktan çok genel bir kavram olarak algılanır. Çevrede bulunan çeşitli faktörler "tehlike" yaratabilir, ancak bu faktörlerle karşılaşma durumunda bu tehlikeli durumun belirli bir olasılık dahilinde meydana

gelmesi söz konusu olur. Bu durumda riskten söz edilir. Ortamda bulunan faktörlerin değerlendirilmesi anlamına gelen risk değerlendirilmesi bir dizi teknik çalışmayı gerektirir. Öncelikle işyeri ortamında hangi tür risk faktörlerinin var olduğu belirlenmeli, daha sonra bu faktörlerin düzeyi saptanmalı ve bu faktörlerin işyerinde kimleri etkilediği konuları değerlendirilmelidir (Bilir, 2005).

Madencilik gibi risklerin yaygın olduğu sektörlerde bu riskleri yönetmek ve kontrol tedbirleriyle kabul edilebilir seviyeye indirmek amacıyla yapılan risk değerlendirmesi çalışmaları büyük önem taşımaktadır (Çelik ve ark., 2009).

Bu çalışmada, TKİ'ye bağlı GLİ'nin yeraltı ve yerüstü işletmelerinde 2005-2009 yılları arasında meydana gelmiş iş kazaları incelenmiştir. Öncelikle kaza sıklık oranı (KSO) ve kaza ağırlık oranları (KAO) hesaplanarak yıllar arası karşılaştırmalar yapılmıştır. Daha sonra iş kazalarının nedenleri, işletmenin kayıtlarına uygun olarak, göçük taş veya kömür düşmesi (GTKD), malzeme düşmesi, malzeme çarpması, elle taşıma, mekanik taşıma, iş makinesi ve el aletleri olmak üzere 8 ana grupta incelenmiştir. Daha sonra kaza nedenleri 5x5'lik L tipi risk değerlendirme karar matrisi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve risk skorları belirlenmiştir. Sonuç olarak, kaza nedenleri risk skorlarına göre sıralanıp risk grupları tespit edilmiş, kazaların azaltılabilmesi için alınabilecek önlemler vurgulanmıştır.

2 GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ

Türkiye linyit rezervinin yaklaşık olarak %4,6'sı Tunçbilek'te bulunmaktadır. Yıllık toplam 50 milyon ton satılabilir linyit üretimi yapılan ülkemizde bu üretimin yaklaşık %7,5'ini GLİ gerçekleştirmektedir (www.gli.gov.tr).

GLİ Tunçbilek kömür havzasında, yeraltında kömür üretimi iki ocaktan sağlanmaktadır. Bunlar Tunçbilek ve Ömerler yeraltı ocakları'dır.

Tunçbilek yeraltı ocağında 1940'lı yıllardan itibaren üretim yapılmakta, arkadan göçertmeli dönlümlü uzun ayak kazı metodu

ile kömür kazanılmaktadır. Ayak içi tahkimatı olarak, klasik tahkimat sistemi olarak adlandırılan çelik sarma + hidrolik direkten oluşan ve aynaya dik olarak kurulan sistem kullanılmaktadır. Yaklaşık 4-12 m kalmıģındaki kömür damarının taban taşından itibaren 2 m'lik kısmı patlatma ile gevşetilmekte ve martopikörle kazılarak alınmaktadır. Üstte kalan kısmı ise ayağın arkasından konveyör üzerine göçertilerek üretilmektedir (Destanoğlu, vd., 2000).

Ömerler yeraltı ocağında 1985 yılından itibaren üretime başlanmış olup, yine arkadan göçertmeli dönümlü uzun ayak kazı metodu ve tahkimat olarak da klasik tahkimat sistemi kullanılırken, 1997 yılından itibaren tam mekanize uzun ayak sistemine geçilmiş ve klasik tipte üretim yapılan panolarda işçi yetersizliği nedeniyle üretime son verilmiştir. Halen üretim tam mekanize panoda devam etmektedir. Ömerler yeraltı ocağında ayna kömür kazısı ve yüklenmesinde kullanılan kesici makine, çift tamburlu ayak konveyörü üzerine monteli, zincirsiz çekme sistemine sahiptir. Ayak içinde kömürü nakletmek için baştan ve kuyruktan tahrikli, ortadan çift sıra zincirli, 800 ton/saat kapasiteli ayak konveyörü (AFC) kullanılmaktadır. Ayak içi konveyörü kömürü 40 m uzunluğundaki toplayıcı konveyöre nakletmekte ve buradan da 800 ton/saat kapasiteli banlı konveyöre iletilmektedir (Destanoğlu, vd., 2000).

Açık ocaklarda, dekapaj ve kömür üretimi olarak iki aşamalı faaliyet göstermektedir. Dekapajda, ekskavatör – kamyon + dragline yöntemi kullanılmakta, kömür kazısında ise hidrolik ekskavatör – kamyon yöntemi uygulanmaktadır. Delik delme işlemleri, 15 cm ve 22,5 cm'lik delik makineleri ile yapılmakta ve patlayıcı olarak ANFO kullanılmaktadır. Basamak yükseklikleri 12 m ve 15 m olan açık işlemede, 10 ve 20 yd³lük elektrikli ekskavatörlerle kazı yapılmaktadır. Örtü tabakası 85 ve 170 tonluk kamyonlarla yaklaşık 2 km mesafedeki dekapaj harmanına taşınmaktadır (Şensöğüt ve Çınar, 2006)

GLİ Müessesesinde 2005-2009 yılları arasında çalışan işçi, kaza, yaralı ve ölü sayıları ve iş günü kayıpları yeraltı için

Çizelge 1'de, yerüstü için Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yeraltı iş kazası verileri

	2005	2006	2007	2008	2009	Toplam
İşçi Sayısı	678	590	589	464	396	
Kaza Sayısı	46	31	30	34	12	153
Yaralı Sayısı	46	31	30	34	12	153
Ölü Sayısı	0	0	0	0	0	0
İş Günü kaybı	1309	503	815	713	138	3530

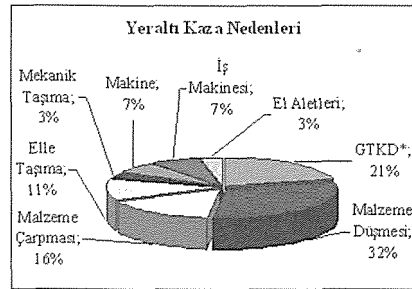
Çizelge 1 incelendiğinde, yeraltında meydana gelen kazalarda genel olarak azalma görülmektedir. 2009 yılı en az iş kazası ve iş günü kaybının yaşandığı yıl olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 2. Yerüstü iş kazası verileri

	2005	2006	2007	2008	2009	Toplam
İşçi Sayısı	2137	1995	1916	1587	1504	
Kaza Sayısı	39	17	28	39	20	143
Yaralı Sayısı	39	16	27	39	20	141
Ölü Sayısı	0	1	1	0	0	2
İş Günü kaybı	1076	7739	8181	428	245	2801

Çizelge 2 incelendiğinde, yeraltında ölümlü iş kazası meydana gelmezken, yerüstünde 2006 ve 2007 yıllarında ölümlü iş kazalarının olduğu görülmektedir. Bu kazalar iş günü kayıplarına 7500 gün olarak işlendiğinden iş günü kayıpları bu yıllarda oldukça yüksektir.

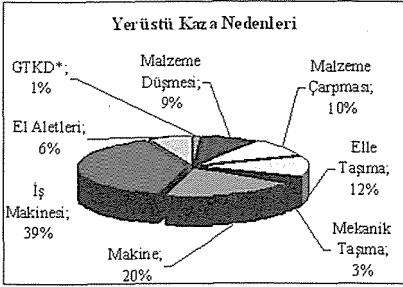
2005-2009 yılları arasında GLİ Müessesesinde meydana gelen kazaların, kaza nedenlerine göre dağılımı yeraltı için Şekil 1'de, yerüstü için Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Yeraltı kaza nedenlerinin dağılımı

Şekil 1 incelendiğinde, GLİ'de 2005-2009 yılları arasında yeraltında meydana gelen kazaların %32'sinin malzeme düşmesi, %21'inin GTKD ve %16'sının malzeme

çarpması nedeni kazalar olduğu görülmektedir.



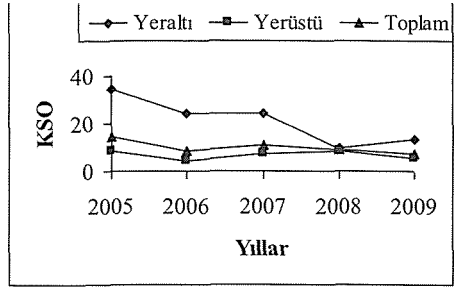
Şekil 2. Yerüstü kaza nedenlerinin dağılımı

Şekil 2 incelendiğinde, GLİ'de 2005-2009 yılları arasında yerüstünde meydana gelen kazaların %39'unun iş makinesi, %20'sinin makine ve %12'sinin elle taşıma nedeni kazalar olduğu görülmektedir.

Kazaların değerlendirilmesinde, Kaza Sıklık Oranı (KSO) ve Kaza Ağırlık Oranı (KAO) yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaza Sıklık Oranı (Accident Frequency Rate), takvim yılı içerisindeki ölümlü ve/veya ölümlü olmayan mesleki yaralanmaların toplam sayısının, aynı yıl içerisinde referans grupta yer alan işçilerin çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle elde edilen değer 1.000.000 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır ve $KSO = \frac{\text{Toplam kaza sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} * 1.000.000$ eşitliği ile belirlenir.

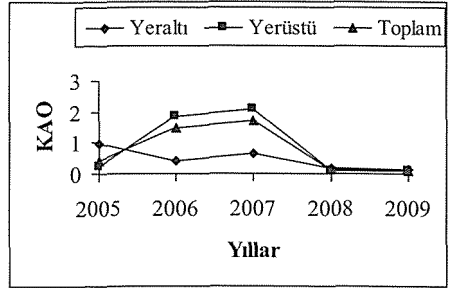
Kaza Ağırlık Oranı (Accident Severity Rate), takvim yılı içerisinde ölümlü ve/veya ölümlü olmayan mesleki yaralanmalardan dolayı toplam kayıp gün sayısının, aynı yıl içerisinde referans grupta yer alan işçilerin çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle elde edilen değer 1000 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır ve $KAO = \frac{\text{Kazalardan dolayı toplam kayıp gün sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} * 1.000$ eşitliği ile belirlenir.

GLİ müessesesinin 2005-2009 yılları arasındaki Kaza Sıklık Oranı grafiği Şekil 3'de ve Kaza Ağırlık Oranı grafiği Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Kaza sıklık oranı grafiği

Şekil 3 incelendiğinde, yerüstü KSO'larının tüm yıllarda yeraltına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca 2005-2009 yılları arasında yerüstünde meydana gelen iş kazalarının sıklık oranları hemen hemen yatay seyrederken, yeraltında meydana gelen kazalarda belirgin bir azalma dikkati çekmektedir.



Şekil 4. Kaza ağırlık oranları grafiği

Şekil 4 incelendiğinde, genel olarak KAO'larının yerüstünde daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Şekil 3'te verilen KSO grafiğinden, yerüstü iş kazalarının sıklık oranlarının yeraltına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, yerüstünde daha az iş kazası meydana gelmesine rağmen iş günü kayıplarının daha fazla olduğu, yeraltında ise kazaların daha sık yaşanmasına rağmen iş günü kayıplarının daha az olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. KAO grafiğinden görülebilecek bir diğer önemli sonuç da son yıllarda fazla iş günü kaybı ile sonuçlanan iş kazalarında belirgin bir azalma dikkati çekmektedir.

Şekil 3 ve 4'teki genel toplam değerlendireldiğinde, 2005 yılında yüksek olan KSO'nun düşmeye başladığı, 2007

yıldaki artış hariç GLİ işletmesinde KSO'larında azalma olduğu, yani daha az sayıda iş kazası meydana geldiği söylenebilir. KAO'da son yıllarda belirgin bir azalmanın meydana gelmesi iş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin göstergesi olarak yorumlanabilir. KSO ve KAO'larının ayrı ayrı değerlendirilmesinden sonra, meydana gelmiş olan kazaların sıklık ve şiddetlerini bir arada değerlendirerek sonuçlar veren bir yöntem olan risk değerlendirme karar matrisi kullanılarak çalışmaya devam edilmiştir.

3 RİSK DEĞERLENDİRME KARAR MATRİSİ VE UYGULAMASI

En sık kullanılan yaklaşımlardan biri olan risk değerlendirme matrislerinden L Tipi Matris özellikle sebep-sonuç ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu metod ile öncelikle bir olayın gerçekleşme ihtimali (Çizelge 3) ile gerçekleşmesi durumunda sonucunun derecelendirilmesi (Çizelge 4) ve ölçümü yapılır. Risk skoru ihtimal ve zarar derecesinin çarpımından elde edilir ve Çizelge 5'te verilen değerlere göre yorumlanır.

Çizelge 3. Bir Olayın Gerçekleşme İhtimali (Özkılıç, 2005)

İHTİMAL	ORTAYA ÇIKMA OLASILIGI İÇİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI
Çok küçük (1)	Hemen hemen hiç
Küçük(2)	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
Orta (3)	Az (yılda bir kaç kez)
Yüksek (4)	Sıklıkla (ayda bir)
Çok yüksek (5)	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

Çizelge 4. Bir olayın gerçekleşmesi durumunda şiddeti (Özkılıç, 2005)

SONUÇ	DERECELENDİRME
Çok hafif (1)	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Hafif (2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi ilk yardım gerektiren
Orta (3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerekir
Ciddi (4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok ciddi (5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Çizelge 5. Sonucun Kabul Edilebilirlik Değerleri (Özkılıç, 2005)

SONUÇ	EYLEM
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
Önemli Riskler (15,16,20)	Belirlenen risk azaltıluncaya kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk için devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için control prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

Yukarıdaki tablolardan elde edilen değerler matris metodolojisi temelli risk değerlendirme tablosuna (Şekil 5) kaydedilir ve Çizelge 5'de belirtilen eylemlere göre en büyük değerden başlayarak riskler için gerekli önlemler alınır (Özkılıç, 2005).

İHTİMAL	ŞİDDET				
	1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta Derece)	4 (Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
1(Çok Küçük)	Anımsız 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 5	Orta 8	Orta 10
3 (Orta Derece)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Yüksek 25

Şekil 5. 5x5 Risk Skor Matrisi

Detayları verilmiş olan risk değerlendirme karar matrisinin uygulaması için işletmede meydana gelmiş olan iş kazaları incelenmiş ve gerçekleşmiş olan kazaların nedenlerine göre risk skorları hesaplanmıştır. GLİ 2005–2009 yılları arasında meydana gelmiş olan kazaların risk değerlendirme karar matrisi ile değerlendirilmesinde, kaza nedenleri esas alındığında, GTKD, malzeme düşmesi, malzeme çarpması, elle taşıma, mekanik taşıma, makine, iş makinesi ve el aletleri gibi 8 ana neden açığa çıkmıştır. Her bir kazanın meydana geldiği dönem içerisindeki sıklığı ve şiddeti, yukarıda detayları verilen yöntemle uygun olarak değerlendirilerek matris skorları hesaplanmıştır. Kaza nedenlerine göre elde edilen risk skorları ve risk grupları, yeraltı ve yerüstü için Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Yeraltı ve yerüstü için kaza nedenlerine göre risk skorları ve grupları

Kaza Nedeni	Yerüstü		Yeraltı	
	Risk Matrisi Skoru	Risk Grubu	Risk Matrisi Skoru	Risk Grubu
GTKD	6 (2x3)	Düşük	12 (3x4)	Orta
Malzeme Düşmesi	6 (2x3)	Düşük	16 (4x4)	Yüksek
Malzeme Çarpması	12 (3x4)	Orta	12 (3x4)	Orta
Elle Taşıma	9 (3x3)	Orta	12 (3x4)	Orta
Mekanik Taşıma	6 (2x3)	Düşük	6 (2x3)	Düşük
Makine	9 (3x3)	Orta	8 (2x4)	Orta
İş Makinesi	16 (4x4)	Yüksek	9 (3x3)	Orta
El Aletleri	6 (2x3)	Düşük	6 (2x3)	Düşük

Çizelge 6’da parantez içinde verilen değerlerden ilki olayın gerçekleşme ihtimalini, diğeri olayın gerçekleşmesi durumunda şiddetini ifade etmektedir. Buna göre, malzeme düşmesi nedenli kazaların sadece anormal durumlarda ortalama olarak yılda bir kez gerçekleştiği ve iş günü kaybına yol açan, yatarak tedavi edilebilen hafif yaralanmalar ile sonuçlandığını göstermektedir. Risk skoru da 6 olarak elde edilmekte, bunun anlamı da düşük düzeyli risk olup, belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir, ancak mevcut kontroller sürdürülmeli anlamını taşımaktadır. Yeraltı

ve yerüstünde meydana gelmiş olan tüm iş kazaları benzer şekilde yorumlanarak çözüm yolları araştırılabilir. Çizelge 6 incelendiğinde, GLİ müessesesi 2005 – 2009 yılları arasında gerçekleşen kazaların nedenlerine göre genel olarak orta seviye risk grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Yerüstünde en yüksek risk skoru ile iş makinesi ve malzeme çarpması nedeni ile meydana gelen kazalar ön plana çıkarken, yeraltında ise malzeme düşmesi, GTKD, malzeme çarpması ve elle taşıma nedenli kazalar ön plana çıkmaktadır. Yerüstünde iş makinesi, yeraltında malzeme düşmesi nedenli kazalar, yüksek riskler grubuna

girmektedir. Bu riskler madencilik faaliyetlerinin devam etmesi ile ilgili olduğu için, acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyete devam edilmelidir. Alınacak önlemlerle risk seviyesi düşürülmelidir. İşçilerin bu kazalar meydana geldiğinde daha az zarar görmeleri için kişisel koruyucu donanımları doğru şekilde kullanmaları gerektiği, eğitimlerle işçilere anlatılmalı ve gerekli zorlayıcı önlemler alınmalıdır.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında madenciliğin en önemli sorunlarından olan iş kazaları ele alınmıştır. İş kazaları risk analiz teknikleri ile değerlendirilip yorumlandığında, kazaların azaltılması bakımından işletmelere faydalı bilgiler sunarlar. 2005-2009 yılları arasında GLİ müessesesinde meydana gelen iş kazalarının analizi sonucunda, yerüstü KSO'larının tüm yıllarda yeraltına göre daha düşük olduğu, yerüstü KAO'larının ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yerüstünde daha az iş kazası meydana gelmesine rağmen iş günü kayıplarının daha fazla olduğu, yeraltında ise kazaların daha sık yaşanmasına rağmen iş günü kayıplarının daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

GLİ 2005-2009 yılları arasında gerçekleşen kaza verilerinin risk değerlendirme karar matrisi ile değerlendirilmesi sonucunda, kaza nedenlerinin genel olarak orta seviye risk grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Yerüstünde iş makinesi ve malzeme çarpması nedeni ile meydana gelen kazaların en yüksek risk skoruna sahip olduğu, iş makinesi nedeninin yüksek riskler grubunda, malzeme çarpması nedeninin ise orta riskler grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Yeraltında ise malzeme düşmesi, GTKD, malzeme çarpması ve elle taşıma nedenli kazaların en yüksek risk skoruna sahip olduğu ve bu nedenlerden malzeme düşmesinin yüksek riskler grubunda yer aldığı, sıralanan diğer nedenlerin orta riskler grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

Sektörde meydana gelebilecek iş kazalarının azaltılması ile hem çalışanların, hem işverenlerin hem de ülke ekonomisinin

kazanç sağlayacağı göz önünde bulundurulursa, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yapılacak çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır. Bu ve buna benzer yöntemler kullanılarak, işletmelerin kendilerine özgü risk analizlerini yapması ve analizler sonucu gerekli tedbirleri alması ile iş kazalarının önemli oranlarda azalacağı şüphe götürmez bir gerçektir. Ayrıca verilecek eğitimlerle işçileri tehlikeler ve riskler konusunda bilgilendirmek, işçilerin kişisel koruyucu donanımları kullanma alışkanlıklarını geliştirmek açısından eğitimlerin süreklilik arz etmesi kaza meydana gelmesi durumunda, görülebilecek zararın en düşük düzeye indirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Çalışmada verilen risk değerlendirme karar matrisi, uygulaması dikkat gerektiren bir yöntem olup, başarılı bir şekilde uygulandığında, kazaların gerçekleşme olasılığını ve şiddetini bir arada değerlendirdiğinden oldukça faydalı sonuçlar verebilmektedir. Yöntemin uygulanmasında GLİ müessesesi örnek bir işletme olarak seçilmiş olup, elde edilen tüm sonuçlar sadece GLİ ile ilgilidir. Dolayısıyla ellerinde geçmiş yıllara ait kaza verileri olan tüm işletmeler çalışmada detayları verilen yöntemi kullanarak kendilerine ait risk analizlerini yaparak, iş kazalarını azaltma yönünde önemli adımlar atabilirler.

5 TEŞEKKÜR

Çalışmamıza olan katkılarından dolayı TKİ çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bilir, N, 2005. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Çağdaş Bir Yaklaşım: Risk Değerlendirilmesi ve Risk Yönetimi, *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 25, s. 9-11.
- Çelik, İF, Eratak, ÖD, Ergun, AR, 2009. Yeraltı Kömür Madenciliğinde Risk Değerlendirmesi Yaklaşımı, *Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 101-116, Adana.
- Destanoğlu, N, Taşkın, FB, Taştepe M, Öğretmen, S, 2000. *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek-Ömerler Yeraltı*

- Mekanizasyon Uygulaması*, Koza ofset, Ankara, 211 s.
- Duzgun, HSB, Einstein HH, 2004. Assessment and Management of Roof Fall Risks in Underground Coal Mines, *Safety Science*, 42/1, pp.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, pp.104-115.
- Güyağtılar, T, 2007. İnsan Özelliklerinin Kazalara Etkisi, *Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 51-55, Adana.
- Önder, M, Adıgüzel, E, 2009. Uyum Analizi ile Türkiye Taş Kömürü Kurumu Ocaklarındaki İş Kazalarının İncelenmesi, *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı*, s.597-605, Antalya.
- Önder, M, Adıgüzel, E, 2010. Evaluation of Occupational Fatalities among Underground Coal Mine Workers through Hierarchical Loglinear Models, *Industrial Health*, 48, 6, pp. 872-878.
- Önder, S, Önder, M, 2010. TKİ'ye Bağlı İşletmelerde Yaralanmalı İş Kazalarının Analizi, *Madencilik Dergisi*, , Cilt 49, Sayı 3, s.3-12.
- Özkılıç, Ö, 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara, 244 s.
- Sari, M, Duzgun, HSB, Karpuz, C, Selcuk, AS, 2004. Accident Analysis of Two Turkish Underground Coal Mine, *Safety Science*, 42 / 8, pp. 675-690.
- Şensöğüt, C, Çınar, İ, 2006. Açık ocaklarda gürültü yayılımının geliştirilen bir model ile incelenmesi, *Madencilik Dergisi*, Cilt 45, Sayı 3, s.27-33.
- www.gli.gov.tr
- Yıldırım, H, 2009. Kapalı Devre Suni Solunum Sağlayan Cihazlar, *Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 273-280, Adana.

Dairesel Testereli Kesimde Gürültü Seviyesinin Kesim Parametreleriyle İlişkileri

Relationships between Sawing Parameters and Sound Level in Circular Sawing

F. Bayram, N.E. Yaştlı

Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Aksaray

Y. Özçelik

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Dairesel testereli kesim makineleri, doğal taş işlemede yaygın şekilde kullanılmaktadır. Günümüz ekonomik şartlarında doğal taş işleme tesislerinde üretim, maliyetlerin mümkün olduğu kadar azaltılmasıyla sürdürülebilir olacaktır. Dolayısıyla, bu makinelerin çalışma koşullarının irdelenmesi ve daha verimli işletilmesine yönelik değerlendirmeler doğal taş işleme tesisleri için önemli bir konudur. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında tam otomatik dairesel testereli kesim makinasıyla yapılan doğal taş kesim çalışmalarında gürültü seviyeleri ve kesim parametreleri kaydedilmiştir. Pratikte ölçümü ve kullanımı kolay olabilecek bir veri olan gürültü seviyesinin kesim parametreleriyle (testere çevresel hızı, ilerleme hızı, tepkisel kesme kuvvetleri), testere birim aşınması ve kullanılan birim enerji ile olan ilişkileri incelenmiştir. İncelenen ilişkiler ışığında, uygulamaya yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT Circular sawing machines are commonly used for stone processing. Nowadays, it is possible that production at stone processing plant should be continued with lowering the production cost. Therefore, investigation of sawing conditions and evaluations related to more effective operating of these machines are important subjects for natural stone processing plants. In this study, the sawing tests were realized with full automatic circular sawing machine and sound levels and sawing parameters were recorded. Sound level is the simple measurable and usable parameter. Relationships among sound level and sawing parameters (peripheral speed, advance rate, reactional sawing forces), unit wear, unit energy were investigated. Some suggestions were presented related to application according to relationships.

1 GİRİŞ

Dairesel testereleler, doğal taş sektöründe blok kesiminden son ürün elde edilmesine kadar olan süreçte pek çok makinada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde, ocaktan gelen ham bloklar fiziki durumları göz önünde bulundurularak dairesel testereli kesim makinelerinde işlenmekte ve istenilen boyutlarda kesimleri gerçekleştirilmektedir.

Doğal taş yatakları bakımından oldukça zengin bir coğrafyada bulunan ülkemizde, bu kaynakların gelişigüzel kullanımından ziyade üretim aşamasından nihai ürünün kullanımına kadar her aşamada verimli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Üretim aşamasında yapılan verimlilik çalışmaları, mevcut doğal taş işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir. Mevcut ekonomik koşullar düşünüldüğünde,

doğal taş sektöründe rekabet için düşük maliyetli üretim yapmak ön plana çıkmaktadır.

Doğal taş işleme tesislerinde kullanılan dairesel testereli kesim makinalarının verimliliklerini artırmak için makina performansı hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir. Makina performansını etkileyen parametrelerin başında kesimde kullanılan testere çevresel hızı ve ilerleme hızı gelmektedir. Bunlara bağlı olarak testere soketlerindeki birim aşınmalar ve makina tarafından kullanılan birim enerji de performans tayininde kullanılan oldukça önemli parametrelerdir.

Dairesel testereli kesimde performans kriteri olarak kullanılabilen birim aşınma ve birim enerji verileri ölçümü oldukça zahmetli parametrelerdir. Performans analizinde bu parametreler yerine ölçümü daha pratik, birim aşınma ve birim enerji değerleriyle ilişkili bazı veriler kullanmak uygulama açısından etkili bir çözüm olabilir. Bu veriler kesimde meydana gelen birim aşınma ve birim enerji düzeyleri hakkında çeşitli sonuçlar verebilir. Dairesel testereli kesimde oluşan gürültü seviyesi de bu şekilde bir veri olarak kullanılabilir.

Dairesel testereli kayaç kesme sisteminde kesim performansı ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle, dairesel testerenin mekanizması ve kesim süreci çok iyi belgelenmiştir. Genel uygulaması, meselenin ana noktaları, kesme mekanizması ve kesilebilirlik, testere tasarımı, malzeme ve imalat, tasarımın kesme üzerindeki etkisi, kesmedeki sürtünmeler ve kesim parametrelerinin kayaç kesme üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Luo ve Liao 1995, Luo 1996, Ünver 1996, Konstanty 2002, Eyüboğlu vd 2003, Xu vd 2003, Ilio ve Tonga 2003, Ersoy ve Atıcı 2004, Ersoy vd 2005, Büyüksağış 2007, Bayram vd 2010). Bu çalışmalar içinde dairesel testereli kesimde oluşan gürültü seviyesinin, tali bir parametre olarak kesim performansının belirlenmesi ve denetimi için kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışmada kesimlerde oluşan gürültü seviyelerinin kesim parametreleri, birim aşınma ve birim enerji değerleriyle

ilişkilerinin incelenmesi ve gürültü seviyesinin kesim performansı ile ilgili bir kriter olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2 ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada, ticari ismi Afyon Beyaz olan hakiki mermer doğal taşı üzerinde farklı çevresel hızlarda ve farklı ilerleme hızlarında tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinasında kesimler yapılmıştır. Bu kesimler sırasında testere soketlerinde meydana gelen birim aşınmalar, kesimler için kullanılan birim enerjiler ve kesim sırasında kesme zonunda oluşan tepkisel kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Ayrıca kesim sırasında testere etrafında oluşan gürültü seviyeleri de belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise, kesim parametrelerinin ve belirlenen verilerin gürültü seviyeleriyle olan ilişkileri değerlendirilmiştir.

Çalışma boyunca Afyon Beyaz olan hakiki mermer doğal taşı kullanılmıştır. Kesimler için kullanılan numuneler 20x30x50 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Yapılan kesim işlemleri, 60 mm sabit kesme derinliğinde 4 farklı çevresel hız (40-50-60-70 m/sn) ve 6 farklı ilerleme hızında (400-500-600-700-800-900 mm/dak) olmak üzere toplam 24 farklı kesim koşulunda gerçekleştirilmiştir. Her kesim koşulunda ise kesimler 5 defa tekrarlanmıştır. Kesimlerde kullanılan su miktarı testere çapına bağlı olarak 20-22 lt/dak arasında tutulmuştur.

Kesimlerde 500 mm çapında, 30 adet elmas soketi bulunan ve C24 elmas konsantrasyonlu, hakiki mermerler için önerilen testere kullanılmıştır. Soket boyutları 40 mm uzunluk, 5.5 mm genişlik ve 7 mm yükseklik şeklindedir.

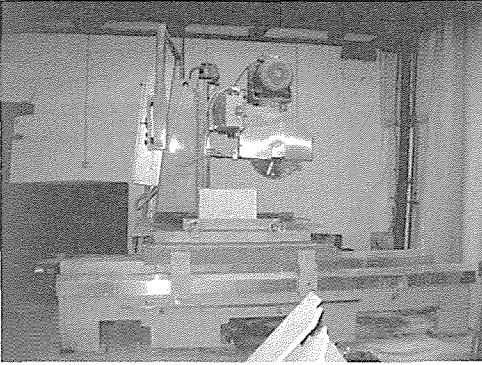
Kesim işlemleri yapılan hakiki mermere ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çiz. 1'de verilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde ISRM tarafından önerilen deney yöntemleri kullanılmıştır (ISRM 1981).

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

<i>Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)</i>	<i>Su Emme Kapasitesi (W/W) (%)</i>	<i>Gözeneklilik (%)</i>	<i>Shore Sertliği</i>	<i>Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)</i>	<i>Çekme Dayanımı (MPa)</i>	<i>Eğilme Dayanımı (MPa)</i>
2.70	0.05	0.15	49	85.77	6.22	12.93

2.1 Tam Otomatik Dairesel Testereli Kesim Makinasının Tanıtılması

Tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinası, genel olarak dikey testereli bir yan kesme makinasıdır (Şek. 1). Makinanın mekanik olarak düşey düzlemde yukarı-aşağı ve yatay düzlemde sağa-sola testere hareketi bulunmaktadır. Kesme işlemi, yatay düzlemde ileri-geri vagon hareketiyle sağlanmaktadır. Makina üzerine şu anda 400, 500 ve 600 mm çaplı testere takmak mümkündür. Makinadaki tüm işlemler bilgisayar yardımıyla kontrol edilmektedir (Bayram 2008).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan dairesel testereli kesim makinası

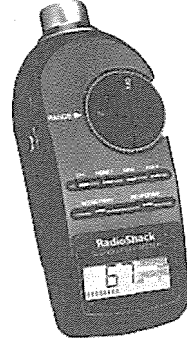
Otomasyon programıyla makina üzerinde ölçebildiğimiz veriler şunlardır:

- Kesim hızı (mm/dak)
- Testere çevresel hızı (m/s)
- Kesme derinliği (mm)
- Kesme işleminde kullanılan su miktarı (lt)
- Kesme işleminde kullanılan enerji miktarı (Wattsaat)

- Kesim sırasında testerenin sağa-sola doğru hareketinde oluşan titreşim (Hz)
 - X,Y ve Z yönlerinde kesim sırasında oluşan tepkisel kesme kuvvetleri (kgf)
- Bu veriler 250 ms aralıklarla alınıp bilgisayar ortamına Excel dosyası olarak kaydedilebilmektedir.

2.2 Gürültü Seviyesi Ölçümü

Gürültü ölçümleri, RadioShack dijital gürültü ölçer ile yapılmıştır. Çalışmada kullanılan gürültü ölçerin görünümü Şek. 2'de verilmiştir.



Şekil 2. RadioShack gürültü seviyesi ölçüm aleti

Gürültü seviyesi ölçümlerinde kesim yapılan her koşulda (belirli çevresel hız ve ilerleme hızında) makina kesime başlamadan (boşta çalışırken) testere etrafında ilk gürültü ölçümleri (dB) yapılmıştır. Testere kesime başlayıp tam olarak kayaç içerisine girdikten sonra ikinci gürültü ölçümü (dB) yapılmıştır. Bu iki ölçüm arasındaki fark alınıp her kesim koşulu için net gürültü ölçümleri (dB) bulunmuştur.

2.3 Birim Aşınma, Birim Enerji ve Tepkisel Kesme Kuvvetleri Ölçümleri

Çalışmada birim aşınma ölçümleri, özel olarak tasarlanıp imal ettirilen aşınma ölçüm standıyla gerçekleştirilmiştir. Her kesim koşulu için kesim öncesi testere üzerindeki belirli soketlerin yükseklik ölçümleri alınmıştır. Kesim sonrası yine aynı soketler üzerinde yükseklik ölçümleri yapılmış, iki ölçüm arasındaki farkın kesilen alana oranı birim aşınma olarak hesaplanmıştır.

Birim enerji ölçümleri, makina panosuna yerleştirilen enerji analizörü vasıtasıyla yapılmıştır. Birim enerji değerleri, enerji analizöründen elde edilen net enerjinin kesimlerde yerinden çıkarılan kayaç hacmine oranlanmasıyla bulunmuştur.

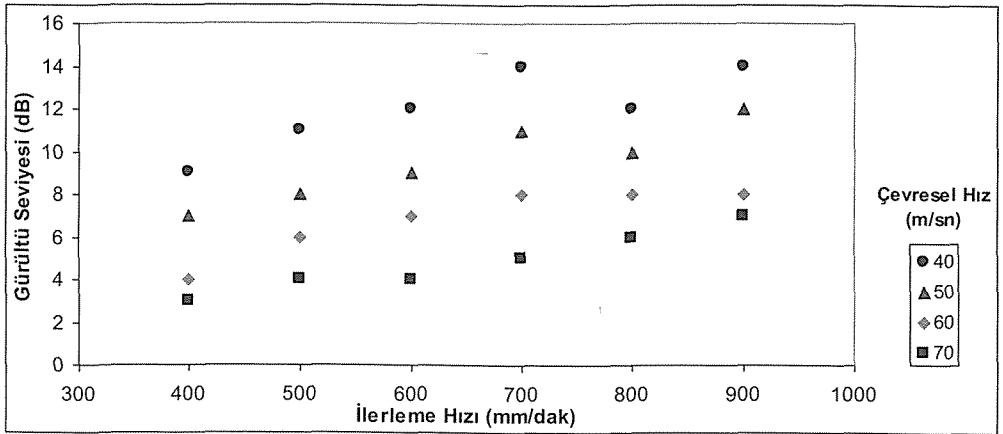
Tepkisel kesme kuvvetleri ölçümleri ise, makina üzerinde kesim yapılan tabla altına yerleştirilen yük hücreleri (load cell) ile yapılmıştır. Kesme kuvvetleri değerleri, ölçülen değerlerin bölgesel ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

3 GRAFİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Çalışmada elde edilen verilerin değerlendirme aşamasında, yapılan kesimlerdeki gürültü ölçümleriyle kesim koşullarının, kesim performansı ile ilgili birim aşınma ve birim enerji değerleriyle olan ilişkileri incelenmiş ve ortaya çıkan grafiksel sonuçlar irdelenmiştir.

3.1 Gürültü Seviyesinin Kesim Koşullarıyla İlişkisi

Afyon Beyaz hakiki mermer doğal taşı üzerinde 24 ayrı kesim koşulunda yapılan çalışmalarda elde edilen gürültü seviyeleriyle kesim koşulları arasındaki ilişki incelenmiş ve farklı çevresel hızlarda ilerleme hızı ile gürültü seviyeleri arasındaki ilişki Şek. 3'te verilmiştir.

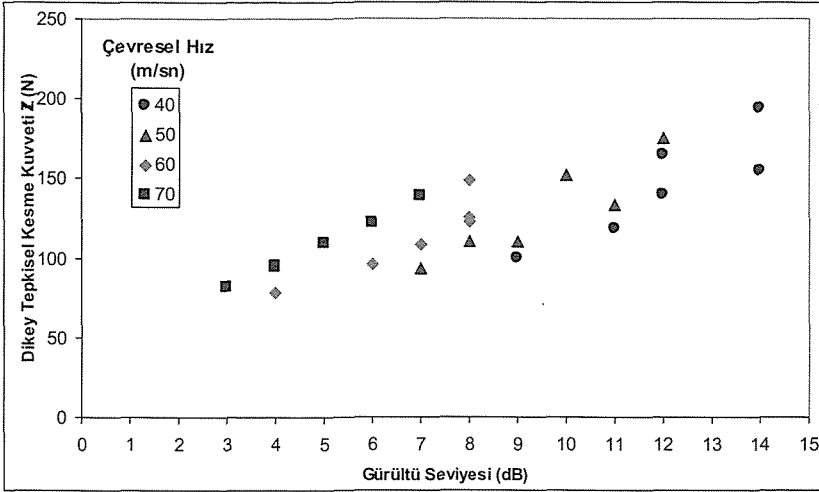


Şekil 3. Farklı çevresel hızlarda ilerleme hızı ile gürültü seviyeleri ilişkileri

Şek. 3'e göre, farklı çevresel hızlarda ilerleme hızı ile gürültü seviyesi arasında doğrusal yüksek bir ilişki vardır. Grafik incelendiğinde, farklı ilerleme hızlarında da çevresel hızlarla gürültü seviyeleri arasında açık bir ilişki görülmektedir.

3.2 Gürültü Seviyesinin Tepkisel Kesme Kuvvetiyle İlişkileri

Yapılan kesim çalışmalarında, kesim sırasında oluşan düşey yöndeki tepkisel kesme kuvveti ile gürültü seviyesi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen ilişki Şek. 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Farklı çevresel hızlarda gürültü seviyeleri ile düşey tepkisel kesme kuvveti ilişkisi

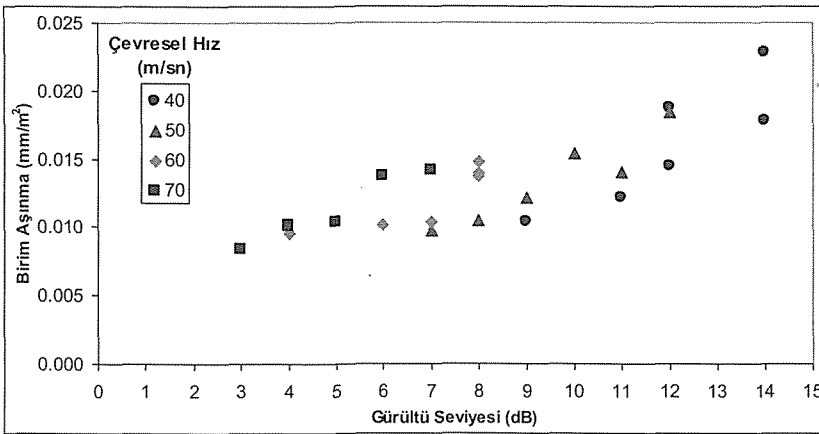
Düşey tepkisel kesme kuvvetleri ile gürültü seviyesinin doğrusal olarak yüksek ilişkili olduğu belirlenmiştir.

3.3 Gürültü Seviyesinin Kesim Performans Kriterleriyle İlişkileri

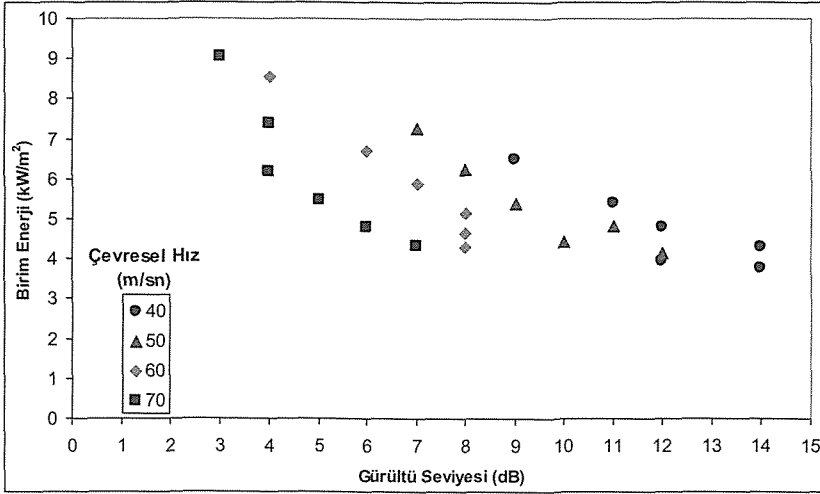
Bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinasıyla yapılan kesim işlemlerinde, dairesel testere soketlerinde meydana gelen birim aşınma ve makina tarafından kullanılan birim enerji kesim verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerdir. Dolayısıyla bu

parametreler genellikle kesim performansını değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında, farklı ilerleme hızlarında ve farklı çevresel hızlarda yapılan kesimlerde elde edilen gürültü seviyeleri ile birim aşınma ve birim enerji değerlerinin ilişkileri incelenmiştir. Farklı çevresel hızlarda birim aşınma ile gürültü seviyesi arasındaki ilişki Şek. 5'te, birim enerji ile gürültü seviyesi arasındaki ilişki ise Şek. 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Farklı çevresel hızlarda gürültü seviyeleri ile birim aşınma ilişkileri



Şekil 6. Farklı çevresel hızlarda gürültü seviyeleri ile birim enerji ilişkileri

Şekil 5 ve 6 incelendiğinde, kesimlerde oluşan gürültü seviyelerinin soketlerdeki birim aşınma ve makina birim enerji değerleriyle yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. Farklı çevresel hızlarda yapılan kesimlerde, ilerleme hızlarının değişimiyle gürültü seviyesinin birim aşınma değerleriyle doğrusal şekilde arttığı, birim enerji değerleriyle birebir ilişkili olarak azaldığı görülmektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında yapılan grafiksel değerlendirmeler sonucunda kesim sırasında ölçülen gürültü seviyelerinin uygulanan kesim koşullarıyla, kesim sırasında oluşan tepkisel kesme kuvveti, birim aşınma ve birim enerji değerleriyle yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Ölçümü yönünden, kıyaslandığı parametrelere göre, oldukça pratik bir veri olması nedeniyle yapılan kesim işlemlerinde gürültü seviyesinin bir performans göstergesi olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Dairesel testere makinalarda kesim performansı açısından önemli iki parametre olan birim aşınma ve birim enerji değerleriyle gürültü seviyesinin yüksek ilişkili olması, kesim sırasında meydana gelen birim aşınma ve birim enerji

düzeylerinin gürültü seviyesi ile tahmininde kullanılabilir.

Doğal taş işleme tesislerinde, bu tip makinalarda gürültü seviyelerinin tespiti ve kontrolü yapılan işlemlerin sağlıklı ve verimli bir şekilde yürütülüp yürütülmediğine dair pratik bilgiler verebilir. Bu tip makinalarda yapılan kesim işlemlerinde, belirli bir kesim koşulunda gürültü seviyesinin normalden yüksek seviyelere çıkışı makinadan kaynaklı bir sorun olmaması durumunda ya soketlerde meydana gelen aşırı aşınmanın ya da enerjinin fazla kullanılmasının bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

- Bayram, F, 2008. *Karbonat Kökenli Doğal Taşların Dairesel Testere İle Kesilmesinin Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140 s.
- Bayram, F, Yaşıtılı, NE, Özçelik, Y, Kulaksız, S, 2010. Dairesel Testerelelerde Kesim Parametrelerinin Birim Aşınma ve Birim Enerjiye Etkilerinin İncelenmesi, *Türkiye VII. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi*, s. 129-134, Afyonkarahisar.
- Büyüksağış, S, 2007. Effect of Cutting Mode on The Sawability of Granites Using Segmented Circular

- Diamond Sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, 183, pp. 399–406.
- Ersoy E ve Atıcı, Ü, 2004. Performance Characteristics of Circular Diamond Saws in Cutting Different Types of Rocks, *Diamond and Related Materials*, 13, pp. 22-37.
- Ersoy, A, Büyüksağış, S ve Atıcı, Ü, 2005. Wear Characteristics of Circular Diamond Saws in The Cutting of Different Hard and Abrasive Rocks, *Wear*, 258, pp. 1422–1436.
- Eyüboğlu, AS, Özçelik, Y, Kulaksız, S ve Engin, İC, 2003. Statistical and Microscopic Investigation of The Segment Wears on Disc Cutting in Sawing Ankara-Andesites, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 40, pp. 404-415.
- Ilio, AD ve Togna, A, 2003. A Theoretical Wear Model For Diamond Tools in Stone Cutting, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, pp. 1171–1177.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization Testing and Monitoring: Suggested Methods*, Oxford, 16 p.
- Konstanty, J, 2002. Theoretical Analysis of Stone Sawing With Diamonds, *Journal of Materials Processing Technology*. 123, pp. 146–154.
- Luo, SY ve Liao, YS, 1995. Study of The Behavior of Diamond Saw-Blades in Stone Cutting Processing, *Journal of Materials Processing Technology*, 51, pp. 296–308.
- Luo, S.Y., 1996; Characteristics of Diamond Sawblade Wear in Sawing, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36, pp. 661–672.
- Ünver, B, 1996. A Statistical Method for Practical Assessment of Sawability of Rocks, *Eurock ISRM International Symposium*, pp. 59–65, Torino, Italy.
- Xu, X, Li, Y ve Yu, Y, 2003. Force Ratio in The Circular Sawing of Granites With a Diamond Segmented Blade, *Journal of Materials Processing Technology*, 139, pp. 281–285.



Orta ve Yüksek Gerilim Madencilik Kablolarında Koruyucu Ekran Kullanım Gerekliliği

Essentiality of Individual Shield for Medium and High Voltage Mining Cables

O.H.Tokuç

Lapis Makine Danışmanlık Maden Tic. Ltd. Şti., Makine Müh., Ankara

ÖZET Madencilik makinalarının güç kablolarındaki her iletken damarına sarılı “iletken polimer ve bunun da üzerinde bulunan genellikle bakır alaşımli örgü” olarak tanımlanabilen ekran, kablunun yüksek teknolojiyle üretilebilen bileşenlerinden ve tamamlayıcı parçalarından biridir. Ekran kullanımının avantajları arasında gerilim alanını kablo yalıtımında tutarak iş ve işçi güvenliğini yükseltmesi, elektriksel stresleri kablo yalıtımında homojen dağıtarak kablunun verimliliğini ve ömrünü artırması ve kıvılcım oluşumunu engelleyerek yanıcı ve patlayıcı ortamlarda kablunun güvenli kullanımını sağlaması sayılabilir.

Ülkemizde üretilen güç kablolarında ekran bulunmaması nedenlerinde ilk sırayı yasal zorunluluk bulunmaması almaktadır. Teknoloji yetersizliği ve kablo maliyetlerini artırması da diğer nedenlerdendir. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki ICEA ve NEMA’nın, yine aynı ülke Maden, Güvenlik ve Sağlık İdaresi (MSHA) için hazırladıkları standartlarda güç kablolarında zorunlu hale getirdikleri siper uygulaması, Avrupa madencilik standartlarında hızla yerini almaktadır. Türkiye’de özellikle açık ocak kömür işletmelerinde kullanılan orta gerilim güç kablolarında da siper uygulaması zorunluluğu çağdaş ve güvenli madenciliğin değişmez şartlarından biri olmalıdır.

ABSTRACT Shield is one of the high technology applied components of mining machinery power cables and can be defined as “conducting polymer layer surrounded by copper braid”. Some of the advantages of applying shields in the cables may be summarized as increased safety by confining electrical fields within the insulation, greater cable reliability and longer cable life by keeping electrical stresses uniformly distributed within the insulation and safe application in flame hazardous regions by eliminating possibility of electrical sparks.

Main reason for eliminating shield in the cables produced in Turkey is lack of presence in the related rules and standards. Other reasons may be summarized as lack of high tech and increased production costs. In the standards ICEA (Insulated Cable Engineers Association) and NEMA (National Electrical Manufacturers Association) prepared for MSHA (Mine, Safety and Health Administration), shield is a must in power cables and also increasingly takes place in mining standards applied in Europe. Especially in the open pit coal mines of Turkey where medium voltage power cables are popularly consumed, shielded cables must be mandatory in order to achieve safe and civilized mining conditions.

1 GİRİŞ

Çalışan güvenliği ve sağlığının en üst düzeyde önemli olduğu madencilik sektörü, özellikle orta ve yüksek gerilim güç kablolarının en yoğun ve yaygın biçimde kullanıldığı ve tüketildiği sektörlerden biridir. Bu sektördeki kullanıcıların güç kabloları üreticilerinden beklentisi çalışan güvenliği ve sağlığı kriterlerine uygun, maliyeti düşük, kullanım süresi uzun, kaliteli ürünler piyasaya sunmasıdır.

Güç kablolarındaki her iletken damarına sarılı "iletken polimer ve bunun da üzerinde bulunan genellikle bakır alaşımli örgü" olarak tanımlanabilen koruyucu ekran, kablounun yüksek teknolojiyle üretilebilen bileşen ve tamamlayıcı parçalarından biridir. Kabloya ilave bileşen ve işçilik eklediği, dolayısı ile maliyetini artırdığı için güç kablolarında neden ve ne zaman koruyucu ekran kullanılması gerektiği özellikle tüketiciler tarafından uzun yıllardır sorgulanmaktadır.

Bu çalışmada, uygulama koşullarına göre güç kablosu seçiminde "bireysel siper" veya bilinen adıyla "koruyucu ekran" bulunması kriteri neden ve ne zaman bir gerekliliğe dönüşmeli sorusu cevaplanmaktadır.

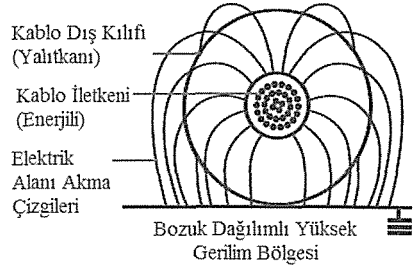
2 GÜÇ KABLolarında ENERJİ İLETİMİ MEKANİZMASI

Elektrik iletkenlerinin birincil görevi gerilim ve akım iletmektir. Yalıtım uygulamaktan amaç ise iletilen gerilimi iletkenin içinde tutmaktır. Hiçbir yalıtım malzemesi bu amacı tam olarak karşılayamaz. Bütün yalıtım malzemeleri yüzeylerinde bir miktar elektrik yükü oluşumuna izin verirler.

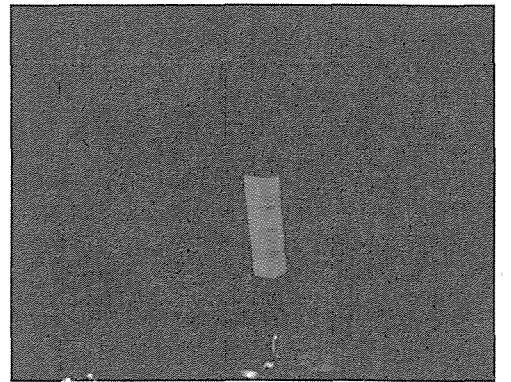
Elektrostatik enerji yada gerilmeler yalıtım görevi gören dış kılıfı aşarak toprağa akabilmek amacıyla yalıtım bölümünün dış yüzeyinde toplanır. Bu elektrostatik yükler elektrik iletkeni tarafından üretilirler ve kablo merkezinden yayılmaları nedeni ile radyal yada çapsal gerilmeler adını alırlar. Bu gerilmeler eğer gözle görülebilseydi, at arabası tekerine benzer bir görüntü oluştururlardı çünkü ideal ortamda güç çizgileri düzgün bir dağılım sergilerler.

2.1 Koruyucu Ekranlı Güç Kabloları

Koruyucu ekranlı olarak üretilmiş bir yüksek gerilim güç kablosunda oluşan elektrostatik alan çizgileri, kablounun topraklanmış bir yüzeye temas etmesiyle bozuluma uğrarlar (Şek. 1.). Bunun sonucunda kablounun yalıtkan yüzeyi etrafında değişken voltaj gerilmeleri oluşur. Eğer güç kablosunun işletme gerilimi yeteri kadar yüksek ise, örneğin 2400 Volt, ve güç kablosu ıslak bir satıh üzerine serili veya nemli, tozlu, karbon yada diğer kirlenmelerle temas halinde ise korona boşalımı (Resim 1.) veya toprağa boşaltım yaşanır. Bu boşaltım sırasında kablo çevresinde mor bir ışık belirir, cızırtı olarak ses duyulur ve ozon gazı oluşur.



Şekil 1. Yüzeye temas eden kablo kesiti.



Resim 1. Koruyucu ekranlı yüksek gerilim güç kablosunda korona boşalımı

Korona boşalımı veya toprağa boşaltım nedeniyle güç kablosu ile iletilen güçte % 3 oranında kayıplar yaşanır. Boşaltım olan bölgede elektromanyetik girişimler oluşur ve bu da haberleşme ve iletişimde problemler görülmesine neden olur. Tüm bu olumsuzluklara ilave olarak, güç kablosu yalıtımında hasarlar meydana getirir ve kablo patlamalarının en önemli sebebidir.

Açık ocak madencilik makinalarına güç aktarımında olduğu gibi, orta veya yüksek gerilim güç kablosunun toprak ile temas etmesi durumunda, temas noktasındaki elektrostatik gerilmeler teğetsel yüzey gerilimi yaratır. Islak ve kuru bölgeler arasında gezinen bu gerilim toprak ile değişken direnç yaratır. Bu da güç kablosunun yalıtımını zayıflatan etkenlerden biridir.

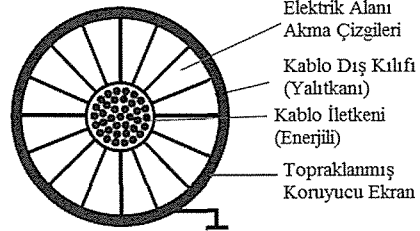
Açık ocak madencilik işletmelerinde sıklıkla görülen bir enerji nakil sistemi de havai enerji nakil hatlarıdır. Bu havai hatlara bağlanan koruyucu ekranlı güç kabloları; şimşek, elektrik yüklü bulut veya sisten gelebilecek gerilim dalgalanmalarını taşırlar ve gerilim darbesi ile kablo yalıtımında hasar yaratarak kablo patlamalarına sebebiyet verirler.

Yine açık ocak madencilik işletmelerinde karşılaşılan diğer güç kablosu sebepli iş kazaları da ağır iş makinalarını koruyucu ekranlı güç kablolarının altından geçirirken yaşanmaktadır. Bu kabloların toprak ile teması kesilerek havaya kaldırılmaları esnasında yükseklik farkından dolayı potansiyel enerji yüklemesi oluşmaktadır. Bu potansiyel enerji dış kılıf üzerinde depolanmakta ve yine dış kılıf üzerinde oluşan değişken voltaj gerilmeleri nedeniyle kıvılcıklar oluşurmakta, kabloya temas halinde ise ölümlü sonuçlanabilen iş kazaları meydana gelmektedir. Bu sebeple geçişlerde kanlolardaki enerjinin kesildiğinden emin olunduktan sonra kablunun havaya kaldırılması gerekmektedir.

2.2 Koruyucu Ekranlı Güç Kabloları

Güç kablolarında bulunan topraklanmış koruyucu ekran, kablo içinde oluşan gerilmeleri yalıtım bölgesinin çevresi

boyunca düzenli bir dağılımla paylaşır ve gerilim yoğunlaşması ve yüzey voltajlarının oluşumunu engeller (Şek. 2.). Toprağa boşaltım, korona boşalımı, ozon ve gerilim dalgalanmaları oluşmayacağı için, koruyucu ekranlı güç kablosu, her türlü madencilik uygulamasında ve şartında rahatlıkla kullanılabilir.



Düzenli Gerilim Dağılımı

Şekil 2. Koruyucu ekranlı kablo kesiti

Güç kablolarında koruyucu ekran uygulaması temelde, topraklanmış iletken yada yarı iletken ekran malzemesinin yalıtım üzerine sarılarak kablo dielektrik alanını kablo içerisinde muhafaza etmektir. Koruyucu ekran uygulamasında tercih edilen malzemeler metal bantlar, metal örgüler, metal borular, yarı iletken bantlar ve yarı iletken örgüler olarak listelenebilir.

Koruyucu ekranlı güç kablolarında yaşanan tüm problemler, koruyucu ekran kullanılması ile sona erdirilebilir. Özellikle çalışan güvenliği ve sağlığı alanlarında uygulanabilecek en iyi çözümdür. Tek olumsuz yanı ise kablo üretim maliyetlerini yükseltici etkisidir. Uygulama alanları koruyucu ekran gerektiriyor mu ve koruyucu ekranlı kablo fiyatı elde edilecek kazançları dengeliyor mu sorularına aranılan yanıtlar beraberinde özellikle A.B.D.'nde birçok araştırmaya konu olmuş ve artık kabloculuk sektöründe kural olarak belirlenmiş bir sonuca ulaşmıştır. **“Eğer kullanılacak kablo 4160 Volttan yüksek bir gerilim iletecekse, hem ekonomik olarak hem de çalışan güvenliği ve sağlığı kural ve kanunları gereği koruyucu ekranlı güç kablosu kullanılmalıdır.”**

3 KORUYUCU EKRAN UYGULAMA STANDART VE KURALLARI

A.B.D.'nde 1925 yılından bu yana güç dağıtımları ve kontrolü ile haberleşme alanlarında kullanılan kablolar için standartlar yayınlayan profesyonel bir kuruluş olan The Insulated Cable Engineers Association (Yalıtımlı Kablo Mühendisleri Birliği) I.C.E.A., koruyucu ekranlı güç kabloları için geçmişte birçok standart yayınladı. Bu standartlardan bazıları National Electrical Manufacturers Association (Ulusal Elektrikli Cihazlar Üreticileri Birliği) N.E.M.A., standartları ile birebir örtüşüyordu. Nitekim bu iki kuruluş 2000 li yıllara girerken, hazırladıkları standartları birleştirme ve American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) A.N.S.I. ye sunma, dolayısı ile ulusal standartlar olarak kullanma kararı aldı. Uzun süren çalışmalar sonucu iki kuruluş ICEA S-93-639 / NEMA WC 74 Shielded Power Cable 5-56 kV (Koruyucu Ekranlı Kablo 5 – 56 kV) isimli birleştirilmiş madencilik kabloları standartlarını 2001 yılında A.N.S.I. ye sundu. Standart bir devrim niteliğindedeydi ve 5000 Volt ve üstü gerilim ileten güç kablolarında koruyucu ekran uygulamasını zorunlu kılıyordu. A.N.S.I. de bu standartı 2006 yılında NEMA WC74-2006/ ANSI / ICEA S-93-639 Shielded Power Cables 5,000 – 46,000 V adı ile onayladı ve A.B.D.'nde kullanılan tüm orta ve yüksek gerilim madencilik kablolarında koruyucu ekran bulunması zorunlu hale getirildi.

Amerikan Çalışma Bakanlığı bünyesinde 1978 yılından bu yana faaliyette olan M.S.H.A. Mine Safety and Health Administration (Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi) 2006 yılında aldığı bir kararla, test ederek onayladığı ve A.B.D. sınırları içerisindeki tüm madenlerde çalışabilir raporu verdiği orta ve yüksek gerilim güç kablolarının test prosedürünü değiştirerek ANSI standartlarını uygulamaya almıştır.

Avrupa Birliği de A.B.D.'deki gelişmelere paralel olarak standartlarında ve madencilikle ilgili kanunlarında revizyona gitmektedir. Özellikle İngiltere bu konuda liderlik vazifesini ele alarak ülke içerisinde

çalışmalara hız vermiştir. Yine yoğun madencilik faaliyetleri olan Almanya'da güç kablosu üreticileri orta ve yüksek gerilim sınıfında ürettikleri kablolarda koruyucu ekran kullanımını yaygınlaştırmaya başlamışlardır.

4 SONUÇLAR

Madencilikte ilerleme ve mekanizasyonunun çok hızlı bir şekilde gerçekleştiği yurdumuzda, bu gelişime paralel olarak orta ve yüksek gerilim güç kablolarının kullanımı da hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle açık işletme kömür madenleri gibi ağır iş makinelerinin fazla miktarlarda kullanıldığı, çalışma koşullarının ağır olduğu işletmelerde güç kabloları sarf malzemesi olarak algılanmakta ve tüketilmektedir. Kablonun ana malzemesinin bakır olduğu anımsanacak olursa, kablo yenileme maliyetlerinin boyutları kolayca tahmin edilebilir.

Orta ve yüksek gerilim güç kablolarında koruyucu ekran uygulaması hem ekonomik açıdan hem de çalışan güvenliği ve sağlığı açısından kullanıcıya büyük faydalar sağlamaktadır. Kablo ömürleri A.B.D. de normal çalışma şartları altında 20 – 25 yıl olabilirken yurdumuzda her sene km.lerce güç kablosu devlet işletmelerince satın alınmaktadır. Yine yurdumuzda güç kablosu nedenli iş kazaları hala olabilmektedir. Hem bu kazaların önüne geçebilmek hem de yurdumuz ekonomisine katkı sağlamak için her uygulama için doğru güç kablosu seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- Amercable Incorporated, 2003. Why You Should Shield High Voltage Trailing Cables, *Tiger Tips*
Amercable Incorporated, 2010. *Surface Catalogue*
Goldman, M., 1985. The Corona Discharge, its properties and specific uses, *Pure & Appl. Chem.*, Vol.57, s.1353 – 1362, İngiltere
ICEA S-75-381, *Design Standard For Mining Cables*
MSHA, 184-MSHA
ICEA S-75-381/NEMAWC-58
ICEA S-93-639/NEMA WC-74, *Shielded Power Cable 5-56 kV*
NEMA WC74-2006/ANSI/ICEA S-93-639, *Shielded Power Cables 5,000 – 46,000 V*

Madencilikte Meslek İçi Eğitimin Önemi: Çayırhan Örneği

The Importance of Vocational Retraining in Mining: The Case of Çayırhan

E. Kahraman, H.H. Erdem, O.E. Doğan, C. Sığırcı

Park Termik A.Ş., Ankara

ÖZET Madencilik sektöründe çalışmaların güvenli bir şekilde yürütülmesi, daha iyi çalışma koşullarının ve bilinçli/disiplinli bir iş gücünün sağlanmasıyla mümkün olacaktır. Sektördeki risklerin azaltılabilirliğine yönelik çalışmaların yürütülmesi, çalışmaların ekonomikliğini/verimliliğini pozitif olarak etkileyecektir. Bu bakımdan, işletmeler bünyesinde çalışan personellerin bahsedilen risklerle alakalı bilgilendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Sektörde çalışan mühendisler, lisans eğitimlerine ilave olarak mezuniyet sonrası, meslek odaları tarafından verilen çeşitli eğitim seminerlerine katılabilmekte ve çeşitli bilimsel çalışmalardan faydalanarak mesleki gelişimlerine katkıda bulunabilmektedirler. Ancak, işçi statüsündeki personelde ciddi eğitim eksiklikleri bulunmaktadır. Her ne kadar bazı işletmeler kendi bünyesinde çalıştırdığı personele mesleki eğitim verse de bu sayı oldukça azdır. İşyerlerinde performansı artıracak eğitim çalışmaları, son kanunla zorunluluk haline getirilmiştir. Bu çalışmada Çayırhan' da yer altı mekanize linyit işletmesinde çalışanlara yönelik olarak uygulanan eğitim çalışmalarından bahsedilmiştir.

ABSTRACT In mining sector, conducting the workings safely would be possible by supplying better working conditions and a deliberative/disciplined work force. Performing the studies aimed at degradability the level of the available risks would affect the economy/productivity of the workings positively. From this point of view, informing the personnel about the risks mentioned is of capital importance. In addition to their license educations, engineers working in the sector could attend the education seminars given by trade association after graduation and could make contribution to their career development by benefiting from various scientific studies available. However, many personal in worker status is lack of education. Although some mining companies gives vocational education to their personals, their number is highly limited. Educational studies that would increase the working performance have been made necessary with the last law. In the current study, educational studies for personals are mentioned in underground mechanized lignite plant in Çayırhan.

1 GİRİŞ

Madencilik sektöründe, diğer sektörlerle nazaran daha fazla bilgi birikimine gereksinim duyulmaktadır. Bu yüzden sektörde çalışanlar için eğitim büyük önem arz etmektedir.

Madencilik sektöründe mekanize sistemlerin giderek yaygınlaşmasıyla üretim kapasitesi artmış ve güvenli çalışma koşulları elde edilmiştir. Bu olumlu gelişmelere karşın mekanize sistemlerin doğasından kaynaklanan bazı önemli sorunlar da ortaya çıkabilmektedir. Yer

altında yürütülen madencilik faaliyetlerinde/ çalışmalarında makine kullanımı dikkat, beceri, iyi bir eğitim ve deneyim sonucu elde edilen bir bilgi birikimini gerekli kılmaktadır. Yer altı maden işletmelerinde yürütülen mekanize çalışmalarda kumanda, gözlem, bakım ve onarım, vb. gibi işlemlerde iş gücüne ihtiyaç duyulmaktadır (Hekimoğlu 1993).

İşletme bünyesinde çalışmaya yeni başlayan ve çalışmalarını devam ettiren personelin çalışma sürecinde ortaya çıkan teknolojik yeniliklere ayak uydurabilmesini ve çalışma koşulları hakkında bilgi

edinebilmesini sağlamak büyük önem arz etmektedir. İşletmelerde verimliliği artırmak için yürütülen bu tarzda çalışmalara "eğitim" adı verilmektedir (Ceylanoğlu, vd. 1993).

Eğitim, örgün eğitim ve yaygın eğitim olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Örgün eğitim, okullarda verilen eğitim çalışmalarını kapsamaktadır. Çalışanlara iş yaşamlarında verilen eğitimler, hizmet içi eğitim olarak adlandırılmakta olup yaygın eğitim başlığı altında incelenmektedir (Demirel 1978).

Madencilik sektörü, ağır ve tehlikeli işler grubuna girmektedir. Ağır ve tehlikeli işler kapsamında olan ya da bir bölümünde bu tarzda işler yürütülen işletmeler, bu alanlarda çalıştırdıkları personellerini mesleki eğitimle desteklemelidirler. Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalıştırılacakların Mesleki Eğitimlerine Dair Tebliğ' le zorunluluk haline gelmiştir (Ağır 2009).

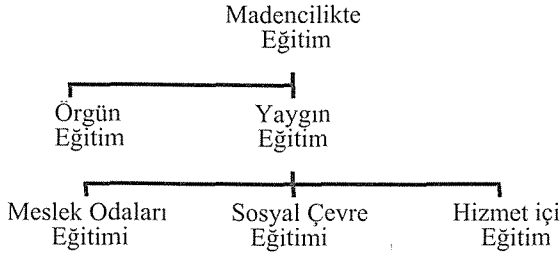
Bu çalışmada, madencilikte eğitim türlerine değinilerek sektör için büyük önem arz eden meslek içi eğitim detaylı olarak ele alınmıştır. Bu bilgiler ışığı altında Çayırhan

Linyit İşletmesi' nde gerçekleştirilen eğitim uygulamalarından bahsedilmiştir. İşletmede eğitim çalışmalarının, Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalıştırılacak İşçilerin Mesleki Eğitimlerine Dair Tebliğ' e istinaden yapılan çalışmalarla, yeniden düzenlenmesinden bahsedilmiştir. Modüller haline getirilmiş, meslek gruplarının kısa tanımlamaları yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2 MADENCİLİKTE EĞİTİM

Yer altı kaynaklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi, onları arayıp bulan jeoloji ve jeofizik; işleten maden ve petrol; zenginleştiren cevher hazırlama mühendisleri ile aynı dallardaki nezaretçi ve ustaların uyum içinde çalışabilmeleri halinde sağlanabilmektedir. Bu çerçevede madencilik sektörünün ihtiyacı olan yetişmiş iş gücü ancak eğitimle sağlanabilmektedir (DPT, 2009).

Madencilikte eğitim kaynakları Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Madencilikte eğitim kaynakları

2.1 Madencilikte Örgün Eğitim

Madencilikte örgün eğitim, mühendis ve teknikerlerin yetiştirildiği üniversitelerde verilen eğitimdir. Üniversitelerde lisans eğitimi veya meslek yüksek okulu sonrası lisans tamamlama eğitimi yoluyla mühendis yetiştirilmektedir (DPT 2009). Mühendis ve teknikerler, üniversitelerde teorik çalışmaların yanı sıra kamu ve özel sektörde

staj çalışmalarını tamamlayarak mezun olmaktadır.

Maden bölümü, lisans ve ön lisans eğitiminde, yeraltı maden işletmelerinde yürütülen çalışmalar ve mevcut risk faktörleri hakkında yeterli eğitim verilmektedir. Ancak, özellikle mekanize yeraltı madencilik çalışmalarında makine, elektrik, vb. branşlarda çalışan mühendis ve teknikerler örgün eğitimlerinde yer altı

işletmelerinin mevcut risk koşulları konusunda bilgilendirilmemektedir.

2.2 Madencilikte Yaygın Eğitim

Yaygın eğitim, meslek odaları eğitimi, sosyal çevre eğitimi ve hizmet içi eğitimi içermektedir. Meslek odaları eğitimi, sürekli eğitim merkezinde açılan mesleki eğitimlerle sağlanmaktadır. Sosyal çevre eğitimi ise aile, basın, gazete vb. etkenlerle kazanılan eğitimlerdir. Ek olarak hizmet içi eğitim, işyerlerinde çalışanlara yönelik olarak verilen eğitimidir. Personel, çalışmaya başlama tarihinden itibaren işinin gelişimine yönelik her türlü gelişme ve değişimlere uyum sağlayabilmelidir. Bu ise sürekli eğitimle, yani hizmet içi eğitim almakla mümkün olacaktır (Selimoğlu ve Yılmaz 2009).

Sektördeki iş kazalarının azaltılabilmesi için alınacak önlemlerden ilki eğitimidir. Bütün sektörler için önemi olan hizmet içi eğitim, madencilik sektörü için ayrı bir önem arz etmektedir.

2.3 Madencilikte Hizmet İçi Eğitim

Hizmet içi eğitim, aşağıda maddeler halinde yazılan durumların gerçekleşmesi amacıyla işgücüne verilen temel planlı eğitim etkinlikleridir. Bu eğitimlerde personele meslek ve beceri eğitimi yanında verim düzeyini yükseltici bilgiler de verilmektedir.

- i. üretim ve hizmette etkinliğin, verimin, kalitenin yükseltilmesi
- ii. ürünün üretimi ve tüketimi sürecinde meydana gelebilecek hataların ve kazaların azaltılması
- iii. maliyetlerin düşürülmesi
- iv. satış ve hizmet sunumunda nitel ve nicel yönden gelişmenin sağlanması
- v. karların yükseltilmesi
- vi. vergi gelirinin ve tasarrufların artırılması

(Selimoğlu ve Yılmaz 2009)

Madencilikte hizmet içi eğitim mühendis eğitimi, nezaretçi eğitimi ve usta eğitimi temel konuları altında, yeni işbaşı eğitimleri, tekamül (yenileme) eğitimleri, yetiştirme eğitimleri eğitimlerden oluşmaktadır.

Sektörde verilecek hizmet içi eğitim, bütün çalışanları (amir, nezaretçi, usta, işçi) kapsmalıdır ve sürekli olmalıdır. Amir veya nezaretçi statüsündeki personeller okul sonrası, meslek odaları faaliyetleri ve çeşitli bilimsel etkinliklerle hizmet içi eğitime tabi tutulmaktadır. Fakat bu eğitimlerin yeterli olmadığını yaşanan iş kazalarından tahmin edebilmek hiç de zor değildir. Özellikle mekanize yer altı işletmelerde elektrik ve makine mühendisleri, amir ve nezaretçi olarak görev yapabilmektedirler. Bu mühendislik dallarının örgün eğitim ve meslek odaları eğitimlerinde yer altı faaliyetleri ile ilgili yeterli bilgi sunulmamaktadır.

Yer altı maden işletmelerinde çalışma şartlarının uygulanan üretim yöntemi, arazi koşulları, vb. gibi faktörlere bağlı olarak sürekli değişkenlik arz etmesi, özellikle işletmeler bazında meslek içi eğitimini gerekli kılmaktadır. Meslek içi eğitimde en önemli konu ustalık eğitimidir. Sektör uygulamaları dışında, bu konuda herhangi bir örgün eğitim olanağı yoktur.

19.06.1986 tarihinde yürürlüğe giren 20.06.2001 tarih ve 4702 sayılı kanunla değişik 3308 sayılı Meslek Eğitimi Kanununda üç yöntemle usta yetiştirilmesi öngörülmüştür. Bunlar: Çıraklık Eğitimi, Endüstri Meslek Liselerinde eğitim ve meslek kurslarıdır. Çıraklık Eğitimi ve Endüstri Meslek Liselerinde eğitim, 14-17 yaşları arasındaki öğrencilere verilen eğitimidir. Meslek liselerinde eğitim yoluyla usta yetiştirilmesi mümkün olamamaktadır. Bunun nedenlerini iki başlıkta toplamak mümkündür. Bunlar;

- i. "Ağır ve Tehlikeli İşler Yönetmeliği" ne göre 18 yaşından küçük olanların yeraltında çalıştırılmaması,
- ii. Açık işletmelerin V.Risk grubundaki işkolunda bulunması nedeniyle çıraklık eğitimi verilememesidir.

Bu nedenle maden işletmelerinin kalifiye eleman ihtiyacının karşılanmasında en uygun yöntem yetişkinlere yönelik meslek kurslarıdır (DPT 2009).

Madencilik faaliyetleri için kalifiye eleman yetiştirmede genellikle şletme bünyesinde verilen meslek içi eğitimlerden yararlanılmaktadır. şletme bünyesinde eğitim, çalışma esnasında (işbaşında eğitim) ve iş dışı (meslek kursları, seminerler, konferanslar) eğitimi olmak üzere iki şekilde sunulmaktadır.

şbaşında eğitim çalışmalarında, daha önceden benzer yöntemle ehliyetini almış kalifiye elemanın tecrübesinden yararlanılır. Bu elemanlar yanlarına tertip edilen personelin, çalışırken stajı izlemesi, nezaretçi ve mühendislerin denetimlerinde ustanın varsa hatalı çalışmalarında ikazları ve teorik bilgi kazandırmak için meslek kurslarına alınmaları şeklinde olmaktadır (DPT 2009)

ř dışı eğitim çalışmaları şletme içinde verilen kurs, seminer ve konferanslardan oluşmaktadır. Buna ilave olarak diğer kurumlar tarafından verilen iş dışı eğitimler seminer, konferans, kurs, gezi-gözlem, vb. den oluşmaktadır (Ergül 2006).

3 ÇAYIRHAN LİNYİT İşLETMESİNDE EĞİTİM FAALİYETLERİ

Çayırhan Linyit şletmesi, Ankara İlinin Nallıhan İlçesine bağlı Çayırhan Beldesi' ndedir. şletme Ankara' ya 122 km. mesafede olup Ankara-Nallıhan yolu üzerinde bulunmaktadır. Yeraltından tam

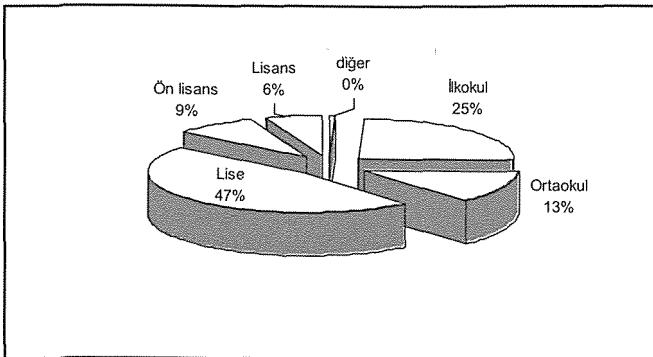
mekanize üretim yöntemi ile yılda ortalama 5 milyon ton tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır. Üretilen linyit kömürü Park Termik bünyesindeki Çayırhan Termik Santrali' nin kömür ihtiyacını karşılamaktadır.



şekil 1. Yer bulduru haritası

3.1 şletme Çalışanlarının Eğitim Profili

Çayırhan Linyit şletmesi çalışanlarının 2010 yılı eğitim durumlarını incelenerek bir eğitim profili çıkartılmıştır (şek. 2). Personelin, % 47' si lise mezunu olup bunu sırasıyla % 25 ile ilkokul mezunları, % 6 ile de lisans mezunları takip etmektedir. Lisans mezunlarının % 60' ı maden mühendisliği bölümlerinden mezun olmuşlardır. Lise mezunlarının ise % 77' si endüstri meslek lisesi mezunu kişilerdir.



şekil 2. şletmede çalışanların eğitim durumları

3.2 İşletmede Eğitim Faaliyetleri

İşletme bünyesinde, İSG birimine bağlı olarak faaliyet gösteren Tahlisiye ve Eğitim Merkezi bulunmaktadır. Tahlisiye ve Eğitim Merkezindeki eğitim faaliyetleri; meslek içi eğitimler, staj işlemleri ve müesseseyi gezileri içermektedir.

Bu meslek içi eğitimler;

- i. yeni işbaşı eğitimleri (intibak eğitimleri),
- ii. yetiştirme eğitimleri,
- iii. tekamül (tekrarlama) eğitimleri,
- iv. meslekte yükselme eğitimleri ve
- v. ön lisans-lisans öğrencilerine yönelik stajyer eğitimlerinden oluşmaktadır.

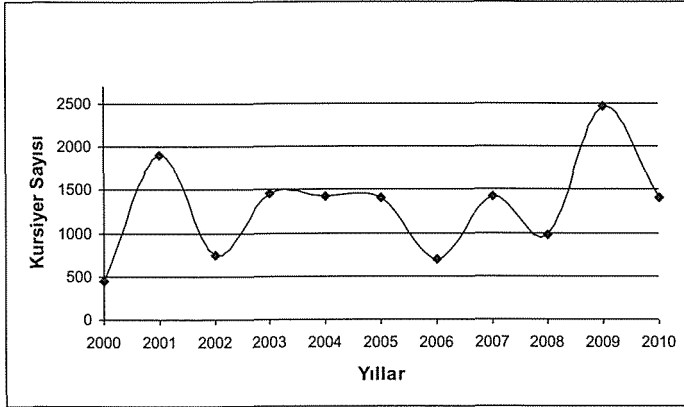
Ayrıca zaman zaman çeşitli konularda seminer ve konferanslar da verilmektedir.

Tahlisiye ve Eğitim Merkezi faaliyetleri kapsamında, 2000-2010 yılları arasında 58 farklı konuda, uzmanlık alanlarına yönelik eğitim kursları düzenlenmiştir. Bu kurslarda işletmede çalışan personellere yönelik eğitimler verilmiştir. Teorik ve pratik çalışmaları kapsayan eğitimler sonrası düzenlenen sınavlarla, belirli bir seviye baz alınarak başarılı olanlara sertifika verilmiştir.

Eğitim faaliyetleri kapsamında işletmeye her yıl yaklaşık 200 stajyer öğrencinin eğitim işleri de yürütülmektedir.

Eğitim faaliyetleri kapsamında, işletmeye teknik gezi amaçlı gelen gruplara gerekli yardımda bulunmak, yer altı ve yerüstü tesislerini gezdirmek ve gerekli bilgileri vermek gibi çalışmalarda yürütülmektedir.

2000-2010 yılları arasında açılan kurslarda eğitim verilen personel sayısı Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3 . Tahlisiye ve Eğitim Merkezinde eğitim gören personelin yıllara göre dağılımı

İşletmede yapılan madencilik faaliyetleri ağır ve tehlikeli işler sınıfına girdiğinden, 31.05.2009 tarihli ve 27244 sayılı resmi gazetede yayınlanan tebliğ gereğince 2010 yılı itibarı ile işletmede verilen eğitimler yeniden düzenlenmiştir. Çalışanların mesleki eğitimini sağlamak, mesleki ve teknik eğitim sertifikalarını düzenlemek amacıyla Nallıhan Halk Eğitim Merkezi ile protokol yapılmıştır. Akabinde, Çıraklık Yaygın

Eğitim Genel Müdürlüğü ile yapılan çalışmalar sonucu işletmede verilen eğitimlerin MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi) kapsamında modül ve modül programlarına dönüştürülmesi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla 544 Foet kodlu, Madencilik ve Maden Çıkarma alanında, 19 farklı ustalık programı ve 522 Foet kodlu Elektrik ve Enerji alanında, 16 farklı ustalık

programı geliştirilmiştir. 18 Ekim 2010 tarihli Bakanlık onayını takiben Nallıhan Halk Eğitim Merkezi ile yapılan Protokol gereği bu programlara yönelik kurslar açılarak, eğitimlere bu kapsamda devam edilmiştir. Modül geliştirme ve içerik oluşturma çalışmalarına devam edilmektedir (URL 1, 2010).

Çalışmalar sonucunda belirlenen ustalık alanlarına yönelik modül ve modül programları (mesleki eğitimler) ve kısa tanımları şunlardır (URL 1, 2010):

Bant Konveyör Tamir ve Bakımcısı: Yer altından üretilen kömürün yer üstündeki tesislere nakliyatının sağlanması için bant konveyör sistemlerinin kontrol, bakım ve onarımlarını, montaj ve demontajını, İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Galeri Açma Makinesi Bakımcılığı ve Operatörlüğü: Yeraltında, galeri açma makinelerinin ve elektrikli hidrolik yükleyicilerin montaj-demontaj, tamir-bakım ve kullanımını (operatörlüğünü) İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Kaynakçılık: Maden işletmesinde yer altında veya yer üstünde kaynak işlerini, ilgili iş tanımları ve teknik gerekliliklere, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Kazı-Söküm Tahkimat İşleri: Yeraltında açılan boşlukların tahkimatını yapabilen, mekanizasyonda üretimin ilerlemesi için gerekli tahkimatları yapabilen, pano söküm ve montaj işlerinin nasıl yapılacağını bilen, ocak içerisinde gerekli olan her alanda yapılması gereken tahkimat türünü bilen ve İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Kompresörcü: Yeraltında kullanılacak basınçlı havanın temini amacıyla, kompresörlerin çalışmasını sağlayacak, uygun şartlarda hava üretimini yapabilecek, havanın kurutulmasını, vb işleri, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Monoray-Kulikar ve Vinç Operatörlüğü: Yer altında ve yer üstünde, monoray-kulikar ve vinçleri, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Pres İşleri: Pres işlerini, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Ramble Tamir ve Bakımcısı: Yeraltında gerekli olan yerlerde ramble (pnömatik dolgu) işini yapabilen, ramble makine, ekipman ve hat kontrolünü, tamir ve bakımını, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Sondajcılık: Sondaj yerinin hazırlanması, sondaj makinesinin bakımı, arızalarının giderilmesi ve sondaj makinesinin kullanılması işini, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Tahlisiye Cihazları ve Gaz Ölçüm Cihazları Bakımcılığı: Tahlisiye cihazlarının ve gaz ölçüm cihazlarının bakım-onarım ve kalibrasyonunu, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Tahlisiyecilik: Yer altı maden işletmelerinde ocak yangını, göçük, vb. gibi beklenmeyen durumlarda gerekli emniyet önlemlerini alarak, cihaz donanımı kuşanarak insan ve malzemeyi kurtarabilen bireylerdir.

Talaşlı İmalat: Talaşlı imalat işlerini, ilgili iş tanımları ve teknik gerekliliklere, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Tamburlu Kesici-Yükleyici Makine Bakımcısı: İSG kurallarına uygun olarak, yer altında tamburlu kesici yükleyici makine ve makine sistemlerinin (zincirli konveyör) bakımını, montajını-demontajını yapabilen, arızalarını giderebilen ve gerektiğinde makineyi kullanabilen bireylerdir.

Tamburlu Kesici-Yükleyici Makine Operatörlüğü: İşin gereklerine uygun olarak, yer altında kömür üretimini yapmak amacıyla tamburlu kesici yükleyici makineyi, İSG kurallarına uygun şekilde kullanabilen bireylerdir.

Tulumbacı: Gerekli ortam ve donanım sağlandığında pompaların çalıştırılmasını, tamir ve bakımını, İSG kurallarına uygun şekilde yapabilen bireylerdir.

Yer altı Elektrik İşleri: Yeraltında üretim ve hazırlık ünitelerinin arızasız ve düzenli çalışması için elektriksiz ekipmanların kontrol ve bakımlarını, üniteler için gerekli elektrik işlerini, ünitelerin bakım ve

onarımını İSG kurallarına uygun şekilde yapabiren bireylerdir.

Yer altı Nakliyat Bakımcılığı: Yer altında, sağlık ve güvenlik şartlarına bağılı olarak monoray-kulikar nakliyat sistemleri ve havalı monorayların bakımını yapabiren, gerektiğı durumlarda monoray-kulikar operatörlüğü yapabiren bireylerdir.

Yürüyen Tahkimat Hidrolik Tamir-Bakımcılığı: Yer altında ve yer üstünde yürüyen tahkimatların bakımını, ilgili iş tanımları, teknik gereklilikler ve İSG kurallarına uygun şekilde yapabiren bireylerdir.

Yürüyen Tahkimat Sürücülüğü: Yeraltında, panonun ilerlemesine bağılı olarak yürüyen tahkimat ve konveyörün hidrolik sistem yardımıyla ilerletilmesini, ilgili iş tanımları, teknik gereklilikler ve İSG kurallarına uygun şekilde yapabiren bireylerdir.

4 SONUÇLAR

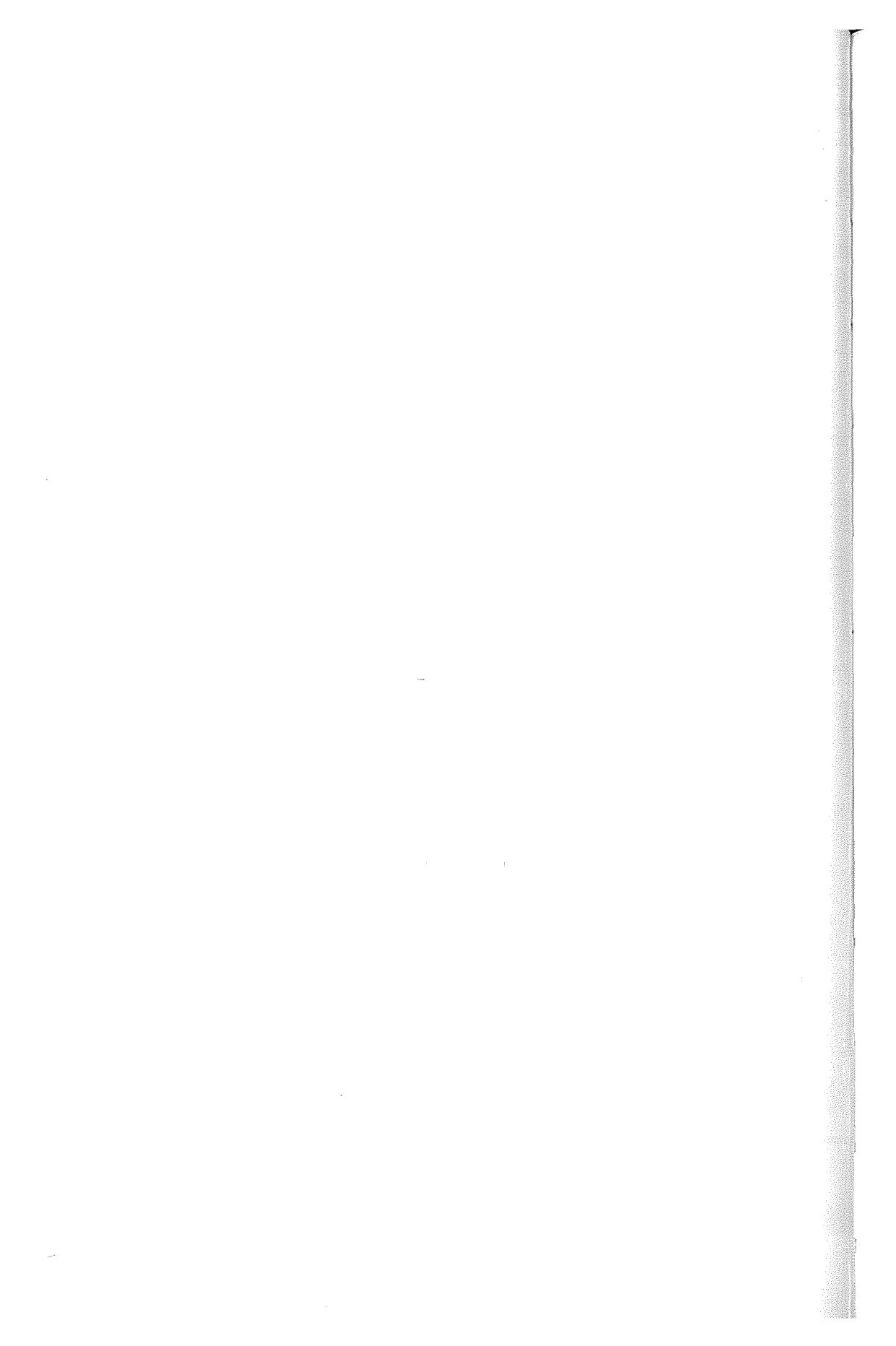
Çalışma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- i. İşyerlerinde işçi sağlığı ve iş güvenliğine yönelik uygulamaların başarıyla sürdürülebilmesi eğitim çalışmalarıyla mümkün olacaktır. Meslek içi eğitimlerle kısmen de olsa iş kazaları ve meslek hastalıkları önlenabilmektedir.
- ii. Meslek içi eğitimlerin, "Ağırlı ve Tehlikeli İşlerde Çalıştırılacakların Mesleki Eğitimlerine Dair Tebliğ" kapsamında yeniden düzenlenmesi amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda, tam mekanize Çayırhan Linyit işletmesindeki ustalık konuları hakkında modül ve modül programları geliştirilmiştir. Eğitimlere bu kapsamda devam edilmekte ve program geliştirme çalışmaları işletme bünyesinde devam ettirilmektedir.
- iii. Oluşturulan modül içeriklerine bağılı olarak verilen eğitimlerle, sektörde çalışılan uzmanlık alanları (ustalıklar) ulusal bir standartta kavuşturulmuştur.

- iv. Çalışmada bahsedilen programlara uygun meslek gruplarının olduğu maden işletmeleri yasal olarak zorunlu olan mesleki eğitimleri, bağılı buldukları İlçe Milli Eğitim Müdürlüğüne ya da İl Milli Eğitim Müdürlüğüne başvurup, birlikte protokol düzenleyerek, bu tür eğitimleri verebileceklerdir.

KAYNAKLAR

- Ağırlı, A., 2009, Ağırlı ve Tehlikeli İşlerde Çalıştırılacak İşçilerin Mesleki Eğitimlerine Dair Tebliğ' in Getirdikleri, İSG Dergisi, Sayı 41, s. 16-18, Ankara.
- Ceylanoğlu, A., Kahrıman, A., Canbazoğlu, M., 1993. İş Analizi ve Eğitimin İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğindeki Önemi, Madenlerde İş Kazaları ve Teknik Elemanların Önemi Sempozyumu, s. 149-160, Zonguldak.
- Demirel, A., 1978. İşyeri ve Hizmet İçi Eğitimi Ereğli Kömürleri İşletmesinde Eğitim Uygulamaları, Türkiye I. Kömür Kongresi, s. 621-635, Zonguldak.
- DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Dokuzuncu Kalkınma Planı
- Ergül, H.F., 2006. İşletmelerde Eğitim Etkinliğinin Değerlendirilmesi, SBArD, s. 51-72.
- Hekimoğlu, O. Z., 1993. Yer altı Mekanizasyonunda İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Açısından Maden Teknikerlerinin Rolü, Madenlerde İş Kazaları ve Teknik Elemanların Önemi Sempozyumu, s. 51-58, Zonguldak.
- Selimoğlu, E. ve Yılmaz, H. B., 2009. Hizmet içi Eğitimin Kurum ve Çalışanlar Üzerine Etkileri, Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, Sayı 5.
- URL 1, 2010. <http://cygm.meb.gov.tr>



8. BÖLÜM

**MADENCİLİK VE
ÇEVRE**



Türkiye’de Bazı Eski Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları

Some Abandoned Mine Land Reclamations Practices In Turkey

Prof. Dr. Seyfi KULAKSIZ

Hacettepe Üniversitesi

Mehmet TOMBUL

Maden İşleri Genel Müdürlüğü

Yüksel AKIN

TKİ Güney Ege Linyit İşletmeleri

Hakkı DURAN

TKİ Soma Linyit İşletmeleri

Necati ATAY

Aydın Linyit İşletmeleri A.Ş.

ÖZET Ülkemizde eski maden sahalarının yeniden doğaya kazandırma çalışmalarına örnek sahalar ve bunların uygulamaları bu çalışmada değerlendirilecektir. Çalışmada beş adet maden sahası üzerinde çalışılmıştır. Örnek seçilen bu eski maden sahalarından dört tanesi endüstriyel hammadde ocağı, bir tanesi de metal maden sahasıdır. Seçilen bu sahalarda ocak içi ve döküm harmanlarının yeniden kazandırma çalışmaları birlikte değerlendirilmiştir. Maden sahalarının üç tanesi özel sektöre, iki tanesi de devlet sektörüne aittir. Bu uygulamalardan iki tanesi bölgeye katma değerde devamlılık arz eden ve istihdam sağlayan tarıma yöneliktir. Eski maden sahalarının doğaya yeniden kazandırma uygulamalarının noksanlıkları, yönetmelik ve yerel yönetimlerin etkileri veriler ışığında bilimsel olarak sunulacaktır.

ABSTRACT Abandoned mine land reclamations examples of our country applications and evaluations are given in this study. Investigations were done in fire mine field. Selected examples of mine reclamations mostly were belong to industrial raw materials mines. Only one mine was metallic open cast. Reclamation areas of inner and outer dumping field were evaluated together. The selected three mine areas are belong to private sector and two state enterprises. The investigated reclaimed two mine areas are continuing to support public social economical type projects. The authors discuss and criticize the reclamation of mined land feasible applications, regulations and their effects from the technical point of view.

1 GİRİŞ

Eski maden sahalarının doğaya yeniden kazandırma çalışmaları teknik terim olarak, farklı ekollerden gelen teknik elemanlarca, reklamasyon, restorasyon, rehabilitasyon, rekültivasyon, revejitasyon terimlerinin kullanılmış olması bir kavram karmaşası

doğurmaktadır. Eski maden alanlarının yeniden kullanılmasına yönelik olarak bu terimler arasında çok küçük farklılık olmasına rağmen amaç aynıdır.

İnsanlığın medenileşmesinde ve ticaret tarihinin başlangıcında madencilik sisteminin lokomotifliği olmuştur. Çakmaktaşı üretimi ve

bunu takip eden Tunç çağı ile ticaret kolonileri başlamıştır. Anadolu tarih öncesinde Endüstriyel Hammadde, Metal ve Mermer madencilğine öncülük etmiştir.

İnsan yaşamının bulunduğu doğa her türlü nebatat ve hayvan türlerinin ekosistem dengesinin bulunduğu bir ortamdır. Dolayısıyla çevrede, insan merkezde yer almaktadır. İnsanın temel ihtiyaçları bu doğal ortamdaki temin edilmektedir. Bu doğal denge bozulduğunda, ekosistem dengesi bozulur ve ekolojik sorunlar ortaya çıkar.

İnsan yaşamı için gerekli beslenme, barınma, yaşam kalitesi gibi yaşamsal faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için çevre ile barışık yaşamaları şarttır.

İnsanın barınma, ulaşım, ısınma gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi ve medeniyetin gelişmesi için madencilik gereklidir.

İnsanın beslenme yaşamsal faaliyeti de çevreye bağlıdır (Bitki-Hayvan). Madencilik faaliyetlerinin herhangi bir nedenle durması insan yaşamının gelişim ve ilerlemesinin sonu olabilir. Bu nedenle madencilik ve çevre birbirlerine tercih edilmemesi gereken iki ana unsurdur. Bu iki temel öge eşit değerinde uyum içinde çalışmak zorundadır. Birinin diğerine tercih edilmesi insan yaşam sisteminin çöküşü olur.

2 MADENCİLİK FAALİYETLERİ SONUCU SAHALARIN DÜZENLENMESİ VE DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRILMASI

2.1 İnceleme ve Planlama

Burada kazı yapılan sahanın topografik yapısı ile en son açık ocağın geometrisi, toprak harmanı ve/veya atık havuzlarının yapısı ön plana çıkmaktadır. Yeniden doğaya kazandırma da, sahanın hangi amaçla kullanılacağı iyi seçilmelidir. (Kulaksız ve

diğ., 2010, Micheal R. Ve diğ., 1991) Amaç sadece maden sahasının doğaya kazandırılmasında orman ağaçlandırması hedefi alınması yanlıştır. Yörenin sosyo-ekonomik yapısına katkı koyacak üretken bir yeniden yapılandırma seçerek köyden kente göçün önlenmesi hedeflenmelidir.

2.2 Arazilerin Yeniden Yapılandırılması ve Doğaya Kazandırmada Veriler ve Etkenler

Eski bir maden sahasının doğaya yeniden kazandırılması için, planlamanın eksiksiz yapılması gerekir. Bunun için de mevcut arazinin yapısı ve buna bağlı olarak oluşturulacak yeni yapının sorgulanması gerekir. (Everigen M.M., Onocak T. , 1986, Keller 1976) Doğaya yeniden kazandırmada bu sorgulamanın planı aşamalar ve zaman çizelgesi şeklinde olması gerekir. Ana başlık olarak,

A) Madencilik faaliyetleri öncesi planlaması
B) Madencilik Faaliyetleri sonucu oluşacak yapı ve bunun planlaması
C) İzleme ve takip ekonomik değerlendirme
Bunun başka bir şekilde ifade edilmesi gerekir ise; arazinin düzenlenmesi ve iyileştirilmesi ile işletme sonrası arazi planlamasında Genel Bilgiler (Ramani ve diğ. 1990'dan değiştirilerek düzenlenmiştir, Çizelge 1).

Doğaya yeniden kazandırmada planlamada öncelik dış harmanlara tanınmalı ve arazi kullanımına göre döküm harmanının tanzim edilmesi önceliklidir. Ocak genel şev açısı ve basamak boyut ve açıları ekonomik faktörlere bağlıdır. Yoksa bugünkü doğaya yeniden kazandırma yönetmeliğindeki gibi ısmarlama şev açısı ve örtü toprağı mecburiyeti dayatması olmaması gerekir.

Çizelge 1. Doğaya yeniden kazandırmada etkin faktörler

I DOĞAL FAKTÖRLER			
A. Topografya: Açık ocaklarda üretim öncesi ve sonrası		G. Yersel Ekoloji	
1. Yükseklik		1. Doğal bitkilerin karakterleri, büyüme gereksinimlerinin belirlenmesi	
2. Eğim		2. Hububat	
3. Döküm Harmanı Geometrisi		3. Av hayvanları	
B. İklim		4. Kalıcı ve göçmen kuşlar	
1. Yağış		5. Bol ve tükenmekte olan cinsler	
2. Rüzgar, hava akımları düzeni, şiddet		H. Su Ekolojisi	
3. Nem		1. Su hayvanları	
4. Isı		2. Su bitkileri	
5. İklim türü		3. Suda yaşayan canlıların özellikleri, kullanımı ve yaşam özelliklerinin belirlenmesi	
6. Büyüme mevsimi (bitki)		II. KÜLTÜREL VE SOSYO EKONOMİK FAKTÖRLER	
7. Mikroiklimsel yapı		A. Lokasyon (Yer)	
C. Görünüş		B. Ulaşılabilirlik	
D. Hidroloji		1. Mesafe	
1. Yüzeysel hidrolojisi		2. Zaman	
a) Su havzalarının durumu		3. Ulaşım vasıtaları	
b) Sel baskınları durumu		C. Arazi Boyutları ve Şekli	
c) Yüzeysel drenaj düzeni		D. Civarında Arazi Kullanımları	
d) Yağış miktarı ve kalitesi		1. Mevcut	
2. Yeraltı suyu hidrolojisi		2. Geçmişe ait	
a) Yeraltı su tablası		3. Arazi kullanım planları	
b) Akifer		4. Bölgesel talimatnameler	
c) Yeraltı suyu akış miktarı ve kalitesi		E. Arazi Mülkiyeti	
d) Tekrar dolma potansiyeli		1. Kamu	
E. Jeoloji		2. Endüstri	
1. Stratigrafi		3. Özel	
2. Yapı		F. Kullanım Şekli, Yoğunluğu ve Değeri	
3. Jeomorfoloji		1. Ziraat	
4. Örtü tabakasının kimyasal yapısı		2. Orman	
5. Kömür özelliklerinin belirlenmesi		3. Dinlenme	
F. Toprak		4. Yerleşim (Konut)	
1. Ziraat özellikleri		5. Ticari	
a) Doku		6. Endüstriyel	
b) Yapı		7. Kurumsal	
c) Organik madde oranı		8. Ulaşım/taşınma (yol)	
d) Nem oranı		9. Su	
e) Geçirgenlik		G. Sosyo-Ekonomik Özellikleri	
f) pH		1. Nüfus değişimi	
g) Alt kayacın derinliği		2. Nüfus yoğunluğu	
h) Renk		3. Yaş dağılımı	
2. Mühendislik Özellikleri		4. Aile yapısı	
a) Çekme-kabarma potansiyeli		5. Ailedeki insan sayısı	
b) Islaklık		6. Ortalama gelir	
c) Alt kayacın derinliği		7. İş gücü, işsizlik	
d) Taşınabilirlik (erozyon)		8. Eğitim düzeyi	
e) Eğim		9. Bölge halkı istekleri	
f) Yük taşıma kapasitesi			
g) Organik tabakalar			

3 UYGULAMA ÖRNEKLERİ

3.1 Aydın Linyit İşletmesi A.Ş.

2000 yılından itibaren Orman Bakanlığı Ormancılık Araştırma Müdürlüğü ile iş birliği yapılarak kızılçam, yalancı akasya, iğde, badem ve zeytinin tarımsal bakım uygulamalarıyla yetiştirildiği 5 yıllık proje 695 dekarı izinli orman sahası, 894 dekarı özel ağaçlandırma alanı, 1300 dekarı ise şirkete ait tapulu arazi de uygulanmaktadır. Yalancı akasya ağaçlarının özellikle şevlerde erozyonu önleme amacına yönelik olarak

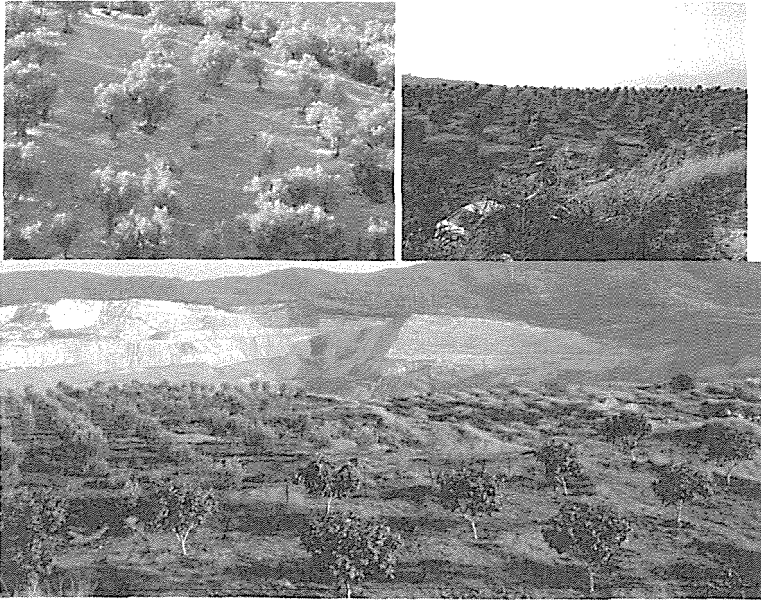
dikildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca iyi gelişmiş bağ ve incir ağaçları rekültivasyonda başarı ile kullanılmıştır. Orman ve Ziraat mühendisleriyle yapılan işbirliği olumlu değerlendirilmiştir. Ancak ekosistemin yeniden oluşturulması için erozyonun etkin biçimde önlenmesi, şev stabilizasyonunun güvenli olarak sağlanması yanında, terk edilen alanların işletme sonrası kullanım planlanmasında uzman eksikliği burada görülmektedir (Kulaksız ve diğ. 2010).

Döküm alanlarının büyük bir kısmının mülkiyetinin maden sahibinin olması

projelendirmede büyük kolaylık sağlamıştır. Buna bağlı olarak iklim ve toprak analizlerinin bilimsel olarak yaptırılması Tarım Bakanlığına bağlı Bahçe Tarımı Enstitüleri ile işbirliğinin yapılması Milli Ekonomiye kazandırılan kömür üretimi bölgeye ekonomik katkı sağlarken, devamlılık arz edecek bir tarım ürünleri üretimi hedeflenmiştir. Araştırma-Geliştirme (AR-GE) çalışmaları bu enstitüler ile yürütülmüş ve buna bağlı olarak toprak, kimyasal gübre araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Zeytincilik ve İncir Enstitüleri ile işbirliği çerçevesinde güz dönemi inciri (Siyah İncir) ile zeytin dikimine karar verilmiş ve ekim gerçekleştirilmiştir. Kömür üretiminin tamamlanan alanları ise dikime hazırlanmakta olup, projenin devamı

şeklinde kömür sahasının bitirilmesine kadar devam edecektir. Burada bilinçli bir tarıma yönelme sistemi var olup ihracata yönelik incir üretimi ile zeytinyağı üretimine yönelik fabrika ve tesislerin kurulduğu görülmektedir. Damlama Sulama Sistemi kurulmuş olup ocak içi göletinde su temin edilmektedir. Yaklaşık bin (1.000) adet incir ağacı ile 500 hektarlık alanda yaklaşık on bin (10.000) zeytin ağacı dikimi gerçekleştirilmiş olup ağaç başı verimi 10 kg. zeytinyağını geçmektedir.

Diğer yönden yeni ve eski zeytinlik alanların konuları aşağıdaki fotoğraflarda görülmektedir.(Şekil 1) Doğaya yeniden kazandırılan alanlarda bilinçli bir zeytincilik ve sistematik bir dikim ortaya konulurken eski zeytinlik alanların düzensizliği ve verimsizliği görülmektedir.



Şekil 1. Kömür üretimi öncesi ruhsat alanındaki zeytinlik alandan bir görünüm ve eş zamanlı işlevler

3.2 TKİ Ege Linyitleri İşletmesi

Yılda yaklaşık 10 milyon ton linyit kömürü üreten işletme Soma, Deniz ve Eynesiz havzalarında büyük bir kısmı orman olan alanlarda açık ocak üretimi yapmaktadır.

Bazı alanlarda kömür üretim faaliyetleri devam etmektedir. Burada arazi mülkiyetleri açısından ormana ait arazileri kamulaştırılan özel şahıs arazileri olmak üzere hukuken farklı iki arazi mevcuttur.

Mülkiyeti Ormana ait arazi ağaçlandırması Orman Bölge Müdürlükleri ile ortakça planlanarak ağaçlandırma yapılmaktadır. Bu ortak çalışmada yapılan işler Orman Genel Müdürlüğü talepleri doğrultusunda yapılmaktadır. Bu planlamada çevrenin Sosyo-Ekonomik boyutu dikkate alınmadan tek düze ağaçlandırma söz konusudur.

Diğer taraftan mülkiyeti TKİ geçmiş alanlarda ağaçlandırma kısmı Sosyo-Ekonomik içeriği olmakla beraber, endüstriyel ürün değerlendirilmesi ve çevre insanlarına da ileride katkı koyacak planlamanın yeterli olmadığı görülmektedir. Orman statüsündeki alanlarda Manisa ve Çevre Orman Müdürlüğü ile ortak çalışmalar yapılmakta, geri kalan kısımlarda ise değişik türler dikilmiş olduğu görülmüştür. Kızılçam, Karaçam, Fıstık Çamı, Sedir, Mavi Servi, Melez Servi (*Cupressocyparis leylandii*) kozalaklı ağaçlarıyla, İhlamur, Çınar, Akça Ağaç, Yalancı Akasya, her dem yeşil Manolya yapraklı ağaçları ve ateş dikenini, Zakkum, Gül gibi çalı formu bitkiler alanda bulunmaktadır. Dikimi hazır alanlarda bazı öncü otsu bitkiler kendiliğinden gelişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Rehabilitasyon sonrası ağaçlandırılan alanların bir kesiminden yakın görünüm

Öksürük otu (*tussilago farfara*) dominant yayılışı ve yüksek vitalitesi ile dikkat çekmektedir. Geniş düzlüklerde dikilen orman ağaçları yanında eğilimli alanlarda yalancı akasya (*robinia pseudoacacia*) beklenildiği gibi başarılı olmuştur. Ancak ekosistemin restorasyonunun tek bir tür ağaçlandırma ile sağlanamayacağı açıktır. Bu nedenle doğal orman ekosistemi örnek alınarak çevre vejetasyonundaki bazı türlerin ekim-dikim faaliyetlerinde ağaçlarla birlikte - uygun periyotlarla - alana getirilmesi şarttır. Özellikle şevlerde başarıyla tutunmuş Yalancı Akasyaların erozyonu önlemedeki

doğal yetersizlikleri nedeniyle, şevleme, bu bitkilerin altında, onlarla birlikte yaşayabilecek ve toprağın üstünü örterek onu koruyacak otsu annual ve perennial'ler, çalı formunda bitkiler, dikilmeli ve bu bitkilerin iyi bir bal kaynağı olan Yalancı Akasya'nın çiçeklenme süresi dışında ve aralıksız bir periyotla arıları cezbederek, başarılı arıcılık çalışmalarının süresini uzatmak yerinde olacaktır. Karışık Meşçere'nin ormancılık kitaplarında vurgulandığı şekilde uygulanması birçok yararları olan bir uygulama olacaktır.

Eğimli alanlarda görülen sorunların giderilmesinde; bu bitki türleri yanında çeşitli Peyzaj Onarım Teknikleri'nin uygulanması sürece önemli katkıda bulunabilecektir(Şekil 3 ve 4).

Büyük gayretlerle dikilen 867.285 adet ağaç, takdire şayan olup özellikle düz alanlarda tutma oranının yüksekliği ve sağlıklı gelişen bitkiler, başarılı bir ağaçlandırma çabasının örneğidir.

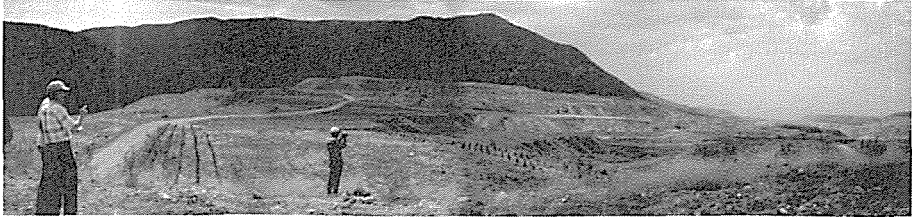
Öncelikle şev stabilizasyonu amacıyla, ikinci gerekçe olarak da ekosistemi tamamlayıcı türlerle ve öncü bitkilere uygulamaları ile rehabilitasyonun sağlanması, dinamik bir doğal denge içinde alanın kendine yeterli bir

devinim kazanmasını, bakım gereksinimini elimine edeceğini belirtmek doğru olacaktır. Diğer bir faktör de bölgeye çok önemli bir sosyo-ekonomik katkısı olan maden'in kapatılması sonrası yöre halkının sürdürülebilir gelişimi için seçilen bitki türleri irdelenmelidir.

Madencilik faaliyetleri sonucu kömürü alınan veya dışa döküm sonucu oluşturulan döküm harmanlarında Doğaya Yeniden Kazandırma çalışmaları planlanmış ve 1991 yılından itibaren de ağaçlandırma çalışmalarına başlanılmıştır. Bölgedeki genel ağaçlandırma toplamı aşağıda Çizelge 2 de verilmiştir.



Şekil 3. Ağaçlandırma öncesi arazinin düzenlenmesi ve dikime hazır hale getirilmesi çalışmalarından görüntü.



Şekil 4. Rehabilitasyon sonrası arazinin son görünümü.

Çizelge 2 Soma bölgesi ağaçlandırma alanı ve ağaç cinsleri

SIRA NO	DİKİM YERİ	YILI	ALAN (Dekar)	DİKİLEN CİNSLER					TOPLAM
				Y. Akasya	Kırm. Çam	Fırtılı Çam	Mavi Selvi	Diğer	
AĞAÇLANDIRMA GENEL TOPLAMI			~658,0	323.800	187.300	92.800	23.500	239.885	867.285

1990-1996 yılları arasında 800 dekar (8000 dönüm) alana 33.785 adet ağaç dikimi yapılmış iken 1997-2009 arası yaklaşık 7000 dekar (70.000 dönüm) 834.000 ağaç dikildiği görülür. Buna neden ise kömür üretiminin 1996 itibaren fazla artmaması ve kazı

alanlarının görülmesidir.2009 yılı itibariyle doğaya kazandırma çalışmaları alan olarak 76.500 dönüm ve 867.285 adet ağaç dikimine ulaşmıştır.

Bu çalışmalar mevcut Çevre-Tarım-Orman Bakanlığı doğaya yeniden kazandırma

yönetmelikleri ve tüzükleri olmadan gerçekleştirildiği görülür. Eski maden sahalarının doğaya yeniden kazandırma bilinci ve buna bağlı yönetmelikler ve planlamalar yok iken bu başarıya ulaşması yönünde ilgili kurum çalışanlarını ve kurumu kutlamak gerekir.

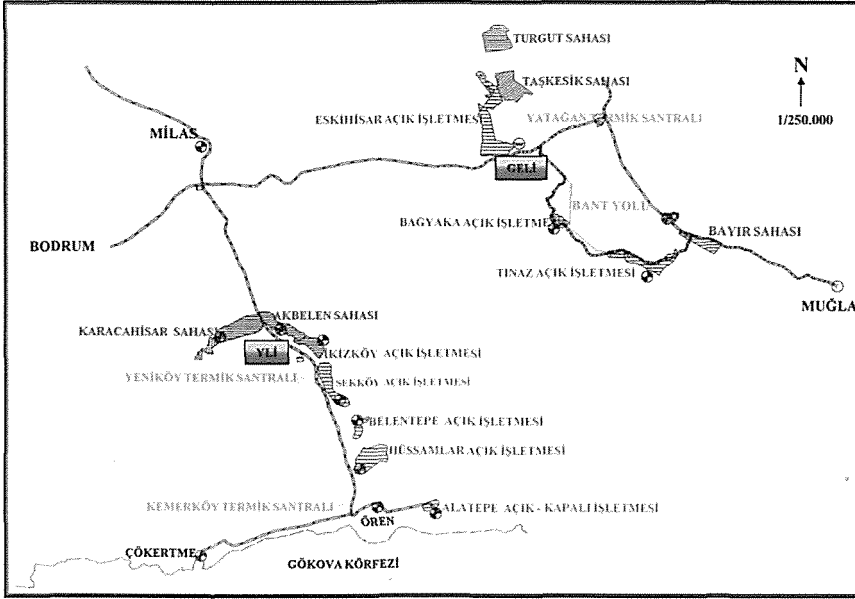
Burada bazı gözlemlerimizde dile getirmekte fayda vardır.

- 1.Yeniden doğaya kazandırılacak alanlarının planlanan amaca düzenlenmesi
- 2.Orman sahalarındaki düz alanlara Sosyo-Ekonomik açıdan çevre insanına katkı koyacak uygun ağaçlandırma yapılması (Zeytinlik, Fıstık çamı, İncir, Ceviz v.b)
- 3.Genel iç gerek dış döküm sahalarında toprak kalitesinde uygun seviyelerin üst alanlara serilmesi

4.Arıcılığa Yönelik ağaçlandırılmanın (Kestane, Ihlamur, Akasya)planlanmasının yöreye katkı koyacağı düşünülmektedir

3.3 TKİ GELİ Yatağan İşletmeleri

GELİ Açık Ocak Linyit İşletmesi Eskişehir ve Tınaz olmak üzere iki farklı alanda faaliyet göstermektedir. Bunlar Eskişehir açık ocak linyit işletmesi altı (6) bölgeden oluşmaktadır. Yatağan çevresindeki GELİ' ye ait Eskişehir, Bağyaka ve Tınaz açık işletmeleriyle YLİ 'ye ait Ören-Milas güzergâhındaki İkizköy, Sekköy, Belentepe ve Hüssamlar açık işletmeleri incelenmiş ve inderlemeler aşağıda belirtilmiştir(Şekil 5).

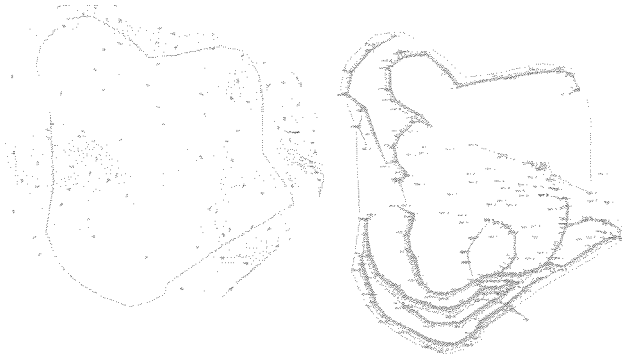


Şekil 5 GELİ Açık Ocak İşletme Sahaları

Toplam yıllık 15.150.000 Ton üretim yapılan sahalarında, termik santrallerde yakılan yaklaşık 10.000.000 Ton dışındaki miktar satılmaktadır.

Alan plastiği oluşturulduktan sonra şevlere Yalancı Akasya, düz alanlara Servi, Kokar Ağaç, İğde, Diş Budak, Akça Ağaç, Fıstık Çamı, Kurt Bağı, Zeytin, İncir, Ceviz Ağaçları dikilmiştir. Daha önce dikilen

yalancı Akasyalar kesilerek yerlerine zeytin dikimi yapılmak istenmektedir. Toprağın önceki bitkilerce zenginleştirilmesi yararlı olacaksa da, gerek zeytin'in organik madde ihtiyacının düşük olması, gerekse dikim-kesim- yeniden dikim işleminin maliyeti düşünüldüğünde, öncü bitkilerle bitkileme yapılmasını daha rasyonel olacağı değerlendirilmektedir. Gerek ekolojik çeşitliliği artırması, gerek erozyonu önlemesi, gerekse fauna'yı cezbetmesi doğru seçilecek bitkilerin kullanımını şart kılmaktadır (Şekil 7). Aynı zamanda arı bal toplama mevsimini uzatmaya da katkıda bulunabilecektir. Arıların ekosistemdeki etkinliği son derece önem taşımaktadır. Yalancı Akasyaların alandan arındırılması zorluk çıkarabilecektir. Bu bitkiler mücadele ve yaşam gücü çok yüksek bitkilerdir.



Şekil 6 Üretim öncesi ve sonrası topografik yapı haritası

Bu doğal ortama döndürme de ağaçlandırma bal arısı ve yayılım alanı hedeflendiğinde öncelikle akasya ağaçlandırması görülür. Bazı alanlarda bölge halkına ekonomik açıdan yarar sağlayacak şekilde yeniden doğaya kazandırma alanlarında önceki akasya ağaçlandırması yerine programlanmış yüz bin (100.000) adet zeytin ağacı dikimi

Kokarağacın istila edici bir tür olduğu dikkate alınarak, tek bir adet kalmamacasına temizlenmesi gereklidir. Aksi takdirde 50-100 yılda birçok türü kovarak alanı işgal edebilecektir. Zeytin dikimi çok isabetli bir seçim olmuş, Sökülen yaşlı ağaçların taşınarak Tekrar dikimleri önemli bir kazanç olmuştur. İşletme sonunda oluşacak topografya'nın – Orman sahaları dışında - çeşitli kullanımlara uygun olarak planlanması, rehabilitasyon'un bu plana uygun olarak gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır. Çağdaş planlama anlayışı bunu gerektirmektedir.(Şekil 6)

Bu altı bölgeden güney-güneybatıdaki sahalarda kömür üretimleri tamamlanmış ve yeniden doğaya kazandırma planlanması çerçevesinde, doğal ortama döndürülmüştür.

sakız ağacı dikimi ile desteklenmesi de yararlı olacaktır.

Bu gün ise bu alanların bazıları sosyo-ekonomik yönden yöre halkına katkı sağlayacak zeytin- incir alanlarına dönüştürülmesi yapılmaktadır. Bu bölgede yapılan ağaçlandırmanın ve yeniden doğaya kazandırması yapılan alanların miktarları aşağıda toplu olarak Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Geli Bölgesi Cinslerine Göre Dikilen Toplam Ağaç Miktarları

CİNSİ	ALANI (HA)	ADEDİ
AKASYA	607	1.417.205
KARA SERVİ	0,7	17.052
AYLANTLUNS		14.000
İĞDE		5.000
FISTIK ÇAMI	12,4	18.503
KIZIL ÇAM	2,0	3.000
ZEYTİN	165	41.500
İNCİR	2,3	795
CEVİZ	1,5	218
MAZI ve Diğerleri		1.120
TOPLAM	790,9	1.524.730



Şekil 7 GELİ Eskişehir Bölgesi Zeytin Ağaçlandırması teras yamaçları akasya ağaçlandırması düzlek yapıda olan sahaların tarıma elverişli zeytin alanlarına dönüştürülmesi.

4 DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRMADA ÖRGÜT YAPISI

Doğaya yeniden kazandırmada yeni bir örgütlenmeye ihtiyaç vardır. Bunun Enerji ve

Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bir üst kurul olarak yapılanmasında fayda vardır. Üyeler;

- A. Maden İşleri Genel Müdürlüğü
 - 1- Maden İşletme Ruhsat Dairesi Başkanı
 - 2- Doğaya Yeniden Kazandırma Daire Başkanı
- B. Çevre ve Orman Bakanlığı
 - 1- Çevre Dairesi Başkanı
 - 2- Orman Genel Müdürlüğü
- C. Tarım Bakanlığı
 - 1- Ağaçlandırma Daire Başkanı
 - 2- Tarla ve Bahçeler Daire Başkanı
 - 3- Peyzaj Mimarlık Daire Başkanı
- D. Devlet Su İşleri
 - 1- Sularla İlgili Daire Başkanı

Eski maden sahalarını doğaya yeniden kazandırmada kurum/kuruluş ve kişilere düşen görevler.

- a- Devletin üzerine alması gereken sorumluluklar
- b- Kurum/kuruluş/şahıs işletmelerinin sorumlulukları
- c- Teknolojik sorumluluklar
- d- Kişi ve sivil toplum kuruluş sorumlulukları
- e- Yukarıda sıralanan sorumluluk bilinci ve taraflara uyum halinde olması nasıl planlanır?

Doğaya yeniden kazandırma projelendirmesinde;

1. Kamu tarafından MADENCİ den alınan AĞAÇLANDIRMA bedeli Ağaçlandırma Teminat bedeli olarak alınmalıdır.
2. Taahhüt senetlerinde orman alanlarının idare tarafından teslim alınması sırasında Madencinin ağaçlandırması şartı konulmalıdır.
3. Ağaçlandırmanın madenci tarafından yapılmaması halinde ağaçlandırma teminat bedeli iade edilmeyerek O.G.M. tarafından söz konusu ağaçlandırmanın kolaylıkla yapılması mümkün olacaktır.

Yıllık doğaya kazandırma raporları

- A. Programlar
- B. Tamamlananlar

C. Devam Edenler

Şeklinde düzenlenerek ilgili kurumlara verilmelidir.

Yapılan bu programda öncelikle belirlenen Topografyanın Yeniden Yapılandırma Hedefleri (Kullanım Alanları Açısından)

1. Tarım toprakları
2. Çayır ve meralar
3. Yoncalıklar
4. Ağaçlandırma (Meyve ve orman ürünlerine yönelik)
5. Halk ve Özel Kullanım Alanları (Rekreasyon Alanı) (Kamp, Piknik, Park, Eğlence Alanları, Göletler) (Spor Tesisleri)
6. Diğer Alanlar (Endüstri ve Ticaret vb.)

Doğaya yeniden kazandırmada amaç estetik bir görünüm sağlarken maksimum bir üretkenlik hedeflenmelidir.

Madencilik faaliyetleri önce çevre ile madencilik sonrası çevrenin mukayesesi önemli değerlendirme kriteridir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kısa ve uzun vadede arazinin kullanımının sosyo-ekonomiklik öne çıkarılarak planlanması gerekir.

Bu günkü uygulamalarda bu görünmemektedir. Kamuoyunda yaratılması gereken temel olgu şu olmalıdır. Bu gün yer üstünde yer alan, flora ve fauna, madencilik faaliyetleri sonucunda zamana bağlı olarak yeniden yapılandırılması mümkündür.

Arazinin madencilik amacıyla sadece geçici olarak kullanılması söz konusu olup, aynı arazinin gelecekte başka kullanımları için tekrar uygun hale getirilmesi mümkündür ve böyle anlaşılmalıdır.

Madencilik faaliyeti ancak bulunduğu alanda yapılması şarttır. Başka bir alanda yapılamamasıdır.

Amaç sadece maden sahasının doğaya kazandırmada orman ağaçlandırması hedef alınması yanlıştır. Yörenin sosyo-ekonomik yapısına katkı koyacak üretken bir yeniden yapılandırma seçerek köyden kente göçün önlenmesi hedeflenmelidir.

Doğaya yeniden kazandırma birimleri yeniden kurulmalı ve yeni örgüt oluşturulmalıdır.

Tabii ki arazinin madencilik öncesi orijinal verimliliğine yakın ve eşdeğer hale getirileceğinin iyi anlatılması ve anlaşılmasıdır. Bu bağlamda, bir maden ocağının işletilmesinde düzensiz ve belli bir planlaması olmayan geleneksel alışkanlıklardan vazgeçilerek, farklı bilim dalları arasındaki işbirliği ile disiplinler arası tetkik, inceleme ve planlaması/ uygulaması yapılan saha olmalıdır.

Bu bildiriye göre görüşler yazarlara ait olup kurum ve kuruluşlar ile ilgili değildir.

KAYNAKLAR

- EVİRGEN M.M., ONACAK T. 1986, Madencilik faaliyetlerinden sonra Çevrenin düzenlenmesi ve iyileştirilmesi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:21 Ankara
- KELLER, A.E., 1976, Environmental geology, Charles E. Merrill Publishing Company, Ohio, 448 p.
- KULAKSIZ S.,GÜNEY M.A., UĞURLU A., TOMBUL M. , GÜNGÖR N., YOLCU B., BÜYÜKGENÇ M.; 2010 ; Madencilik Faaliyetleri Sonucu Topografik Yapısı Bozulanların Doğaya Yeniden Kazandırılmasına Yönelik Uygulamalar Hakkında Rapor ve Öneriler ; Ankara, Migem, 45 S.
- Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu Genel Müdürlüğü Ege Linyit İşletmeleri Müessesesine Müdürlüğü Ağaçlandırma ve Çevre Düzenlemesi Çalışmaları. 2001, 2009 Soma-Manisa
- Mahallinde yapılan tetkik ve gözlemler esnasında ilgililer ile yapılan şifahi görüşmeler.
- MICHAEL R. NORLAND ,DAVID L. VEİTH 1991, Soil Characterization and Soil Amendment Use on Coal Surface Mine Lands, Bureau Of Mines IC 9285 , USA 392

- Ramani, R.V., Sweigrad, R.J., Clar, M.L.;
1990; Reclamation Planning Surface
Mining Handbook s. 750 - 769
- 2004 – Reference Document on Best
Available Techniques for Management of
Tailings and Waste-Rock in Mining
Activities



Geleceğin Madenleri: E-atıklar *Mines of Future: E-waste*

EY Yazıcı, H. Deveci

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Cevher ve Kömür Haz. ABD, 61080, Trabzon

ÖZET Elektrik elektronik atıklar (e-atıklar), dünyada en hızlı artan atık türüdür. Bu atıklar çok çeşitli (>1000) zararlı organik ve inorganik maddeler içerir ve bundan dolayı bu atıkların sürdürülebilir şekilde yönetimi, çevre kirliliğinin önlenmesi bakımından bir zorunluluktur. Diğer taraftan, önemli miktarda baz ve değerli metaller içermesi e-atıkları, doğal kaynakların hızla tükendiği ve buna karşılık artan metal talebi de göz önüne alındığında, geleceğin önemli bir potansiyel kaynağı yapmaktadır. Bu çalışmada dünya ve Türkiye e-atık potansiyeli, e-atıkların zararlı özellikleri, yasal durumu ve çevresel düzenlemeler sunulmuştur. E-atıkların ekonomik potansiyeli değerlendirilmiş, cevherler ile karşılaştırılmış ve ikincil kaynak olarak potansiyeli ortaya konmuştur. Bunlara ilaveten, e-atıklardan metal kazanımı yöntemleri irdelenmiştir.

ABSTRACT Electrical-electronic waste (e-waste) is the most rapidly growing type of waste in the world. It contains many (>1000) hazardous organic and inorganic substances and its sustainable management is, therefore, prerequisite for the environmental protection. On the other hand, e-waste contains appreciably high levels of base and precious metals, which renders it a valuable feedstock of metals in the future given the rapid diminution of natural resources and ever increasing demand for metals. This paper reports e-waste potential of the world and Turkey. Hazardous characteristics, legal status and environmental regulations for e-waste were presented. Economic potential of e-waste was appraised and compared with ores to demonstrate the resource potential that e-waste offers. Furthermore, options for recovery of metals from e-waste were examined from technical and economic points of view.

1 GİRİŞ

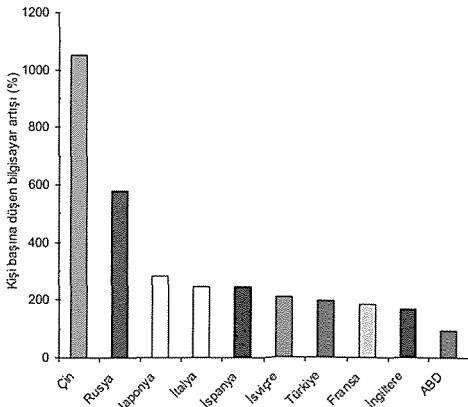
Hızla gelişen teknoloji ile elektrik-elektronik cihaz (EEC) üretimi/tüketimi hızla artmaktadır. Elektrik-elektronik ürün çeşitliliği ve buna paralel olarak da ürünlerin kullanım süreleri giderek azalmaktadır. Dünyada, cep telefonu satışlarının hızla arttığı ve 2009'da 1,2 milyara ulaştığı bildirilmiştir (Gartner Inc., 2010). Ülkemizde her ay 1 milyonun üzerinde cep telefonunun satıldığı tahmin edilmektedir

(Uzelli, 2008). Bilgisayar satışları ise dünyada yıllık ortalama %10'dan fazla bir oranda artmaktadır (Kang ve Schoenung, 2005). Şekil 1'de görüldüğü gibi kişi başına düşen kişisel bilgisayar (PC) sayısı (1993-2000) ülkelere göre %96-1052 artmıştır. Ülkemizdeki kişi başına düşen kişisel bilgisayar artışı (%198) birçok gelişmiş ülkenin üzerindedir (Şekil 1). TÜBİTAK'a (1999) göre Ülkemizdeki bilgisayar ve diğer elektronik cihaz tüketiminin 1995-2010 döneminde 6,5 kat, bilgisayar sayısının 24,4

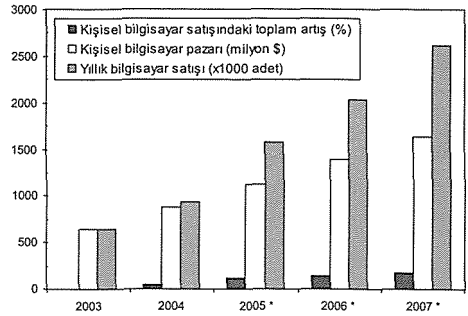
kat ve kişi başına düşen elektronik cihaz tüketiminin ise 5,4 kat artacağı öngörülmüştür. DPT (2006) raporunda kişisel bilgisayar (masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar) satışının 2007'de %172 artacağı, kişisel bilgisayar pazarının ise %154 artışla 1,637 milyar \$'a ulaşacağı tahmin edilmiştir (Şekil 2).

Özellikle teknolojik gelişmelere bağlı olarak ürünlerin kullanım ömürleri azalmaktadır (Çizelge 1). Bir bilgisayarın ortalama ömrü 4,5 yıldan 2-3 yıla (1992-2005) (Modesitt ve Gilbert, 2005) ve bir işlemcinin (CPU) ömrü 4-6 yıldan 2 yıla (1997-2005) düşmüştür (Culver, 2005). Cep telefonlarının kullanım ömürleri 2 yıldan daha aza erilemiştir (MBM, 2001).

Atıl duruma gelen ve/veya kullanım ömrü dolan elektrik-elektronik cihazlar ve malzemeler (TV, bilgisayar, yazıcı, telefon, modem, faks cihazı, fotokopi makineleri, ekranlar, baskılı devre kartları, entegre devreler, tıbbi cihazlar vs.) ürün sahipleri tarafından hurdaya ayrılmaktadır. Elektronik cihazların/malzemelerin oluşturduğu bu atıklar kısaca "elektrik-elektronik atık (e-atık)" olarak ifade edilmektedir. Elektronik cihaz tüketimindeki artış ve ürün kullanım süresinin azalma hurdaya ayrılan elektronik cihaz miktarının önemli oranda artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 1. Çeşitli ülkelerde kişi başına düşen kişisel bilgisayar (PC) artışı (1993-2000) (Anon, 2009).

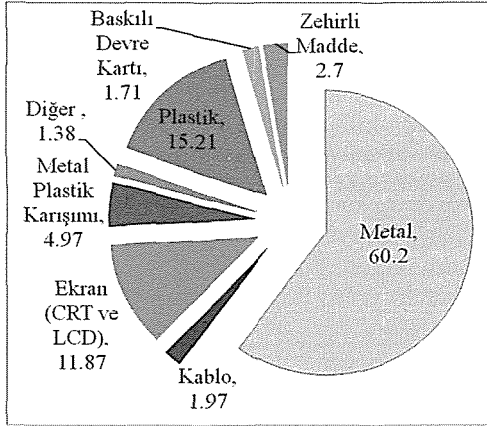


Şekil 2. Türkiye'deki kişisel bilgisayar satışları ve pazarıyla ilgili bazı veriler (2003-2007) (DPT, 2006).

Dünyada üretilen e-atık miktarının yılda 20-50 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (UNEP, 2006). ABD'de, 2005 yılı itibariyle 200 milyon cep telefonu kullanımda iken kullanım ömrü dolan cep telefonu sayısı ise 130 milyon (65 bin ton) olarak öngörülmüştür. ABD'de 1997-2007 arasında 500 milyon atık bilgisayar açığa çıktığı tahmin edilmektedir (Fishbein, 2002). Avrupa'da üretilen e-atık miktarının 1998 yılında 6,8 milyon ton olduğu ve yılda %3-5 arttığı belirtilmiştir (EC, 2006; ERP, 2009). Evsel atıklarla karşılaştırıldığında üç kat daha hızlı büyüyen e-atıklar Avrupa'da en hızlı büyüyen atık türüdür (EC, 2006). E-atıkların evsel atıklar içindeki oranı %8 olarak belirtilmiştir (Widmer vd., 2005).

Çizelge 1. Bazı elektrik-elektronik cihazların ağırlıkları ve kullanım ömürleri (Culver, 2005; Modesitt ve Gilbert, 2005; Robinson 2009)

EEE	Ağırlık (kg)	Tipik kullanım ömrü (yıl)
PC	25	2-3
Faks	3	5
Cep telefonu	0.1	<2
Fotokopi makinası	60	8
Radyo	2	10
Televizyon	30	5
Video, DVD	5	5



Şekil 3. E-atıkların bileşimi (Widmer vd. (2005)).

İstatistiklere göre, Ülkemizde 1997-2006 yılları arasında son kullanıcılar bünyesinde yılda yaklaşık 225 bin ton tüplü monitör ve televizyonun hurdaya ayrıldığı belirtilmektedir. Ayrıca, bu cihazların üretimi sırasında üreticiler tarafından ortalama 950 ton televizyon tüpünün (CRT) atığa ayrıldığı tahmin edilmektedir. Ülkemizde 2005 yılında satın alınan bilgisayarların hurdaya ayrılma oranı ~%20 (460 bin adet) olarak öngörülmektedir (Gürer, 2008).

Bu çalışmada, dünyada ve Ülkemizde giderek artan e-atıkların çevresel etkileri, ikincil bir kaynak olarak ekonomik potansiyeli ve e-atıklardan metallerin geri kazanımı yöntemleri sunulmuştur.

2 E-ATIKLAR VE ÇEVRE

E-atıkların temel bileşenleri plastikler, metaller ve seramik malzemelerdir (Şekil 3). E-atıklar birçok (>1000) farklı organik (klorlu/bromlu alev geciktiriciler, farklı plastikler vb.), inorganik (Hg, Pb, Cd, Cu, Fe, Al vb.) maddeler içerir (Widmer vd., 2005). Bu maddelerin bir çoğu çevreye zararlıdır (Kaya, 2005; Widmer vd., 2005; Deniz, 2008). E-atıklarda bulunan çevreye zararlı bazı organik ve inorganik maddelerin buldukları bileşenler Çizelge 2'de sunulmuştur.

Evsel atıklarla birlikte atılması/bertaraf edilmesi durumunda e-atıklar, içerdikleri zararlı bileşenler nedeniyle bazı çevresel sorunlara yol açmaktadır. ABD'de atık depolama alanlarında kirliliğe neden olan civa (Hg) ve kadmiyumun (Cd) %70'inin, ve kurşunun (Pb) %40'ının elektronik cihazlardan kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Widmer vd., 2005). Toprak kirliliğinin yanı sıra, e-atıklardaki ağır metaller, yağmur sularının etkisiyle çözünerek yeraltı ve yüzey sularının da kirlenmesine sebep olabilmektedir (Kaya ve Sözeri, 2007). E-atıklar yakıldığında ise içerdiği klorlu/bromlu alev geciktirici maddeler zararlı dioksinlere ve furanlara (poliklorürlü organik bileşikler) dönüşmektedir (Robinson 2009).

E-atıkların çevresel karakterizasyonu üzerine yapılan çalışmalarda, bu atıkların ağır metal (özellikle Pb, Cd ve Cu) salınımı bakımından zararlı atık sınıfına girdiği bulunmuştur (Li vd., 2006; Yazıcı vd, 2010). Yazıcı vd. (2010) tarafından bilgisayar baskılı devre kartları üzerine yapılan testlerde, Pb salınımının USAEPA tarafından öngörülen TCLP limitlerinden 41-kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer çevresel etki testlerinde (SPLP, EN12457-2 ve ASTM-D-3987) As, Pb, Cu, Cd, Ba ve Al salınımının öngörülen limitlerden yüksek olduğu bulunmuştur.

3 YASAL DÜZENLEMELER VE YÖNETMELİKLER

Artan çevresel kaygılar, e-atıkların geri dönüşümü/kazanımını zorunlu hale getiren bazı uluslararası sözleşme ve yasal düzenlemeler yapılmasını gerekli kılmıştır (Widmer vd., 2005; Kaya ve Sözeri, 2007). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) e-atıklar da dâhil olmak üzere zararlı atıkların üretiminin azaltılması, gelişmiş ülkelerden diğer ülkelere ithalinin/sevkinin yasaklanması ve atıkların buldukları yerde geri dönüşüme/ kazanıma tabi tutulmalarını öngören bir anlaşma hazırlamıştır. Basel Sözleşmesi (Basel Convention) olarak bilinen bu anlaşma 1989 yılında yapılmış ve

Çizelge 2. E-atıkların içerdiği çevreye zararlı bazı organik ve inorganik maddelerin buldukları bileşenler (McPherson 2005; Mahesh, 2007).

Zararlı madde	Bulunduğu bileşen
Organik maddeler (Halojenli bileşikler)	
Poli klorürlü bifenil (PCB)	Kondansatör ve transformatörler
Bromlu alev geciktiriciler*	Baskılı devre kartları, entegre devreler (IC), kabloların koruyucu plastikleri
Kloroflorokarbon CFC	Soğutma ünitesi, yalıtım köpüğü
Polivinil klorür (PVC)	Yalıtımlı kablolar
İnorganik maddeler (Metaller)	
Antimony (Sb)	Alev geciktiriciler
Arsenik (As)	Diyotlar (LED) ve mikrodalga entegre devreler
Baryum (Ba)	Katot ışın tüpleri (CRT)
Berilyum (Be)	Güç kaynakları, konnektörler
Civa (Hg) *	Floresan lambalar, piller, ağ anahtarları
Çinko sülfür (ZnS)	CRT ekranlarında nadir toprak elementleri ile
Galyum (Ga)	Diyotlar (LED)
Kadmiyum (Cd) *	Toner, plastikler, Ni-Cd piller
Kalay (Sn)	LCD, baskılı devre kartları (lehim)
Krom (VI) (Cr ⁺⁶) *	Disketler, çeşitli kaplamalar
Kurşun (Pb) *	CRT, piller, baskılı devre kartları (lehim)
Lityum (Li)	Lityum piller
Nadir toprak elementleri	CRT
Nikel (Ni)	Ni-Cd piller, Ni-MH piller, elektron tabancaları
Selenyum (Se)	Doğrultucular, eski nesil fotokopi cihazları

* Avrupa Birliği'nin RoHS yönergesi ile kullanımı kısıtlanmıştır.

ve 1992 yılında uygulamaya geçmiş olup Ülkemiz de dahil olmak üzere 170 ülke tarafından imzalanmıştır (Widmer vd., 2005). E-atıkların yönetimi ile ilgili olarak ise Avrupa Komisyonu, 2002/96/EC sayılı "Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) (Atık Elektrik ve Elektronik Cihazları)" yönergesini yayınlamıştır (EC, 2003a). Bu yönerge (EC, 2003a) ile üreticiler, ürettikleri elektrik-elektronik ürünleri geri dönüşüme uygun tasarlamaya ve yeni ürünlerin üretim sürecinde geri dönüştürülmüş malzemeleri kullanmaya teşvik edilmektedir. Yönerge kapsamında EEE üreticilerine çeşitli yükümlülükler getirilmiştir. Buna göre:

- Belediyeler, elektronik atıkların, evsel atık depo sahalarında diğer atıklarla birlikte atılmasını önlemekle yükümlüdürler.

- Üreticiler sattıkları ürünleri, kendi kurdukları veya diğer lisanslı tesislerde geri dönüşüme/kazanıma tabi tutmakla sorumludurlar.
- Üreticiler, elektronik atıkların geri dönüşümünü/kazanımını sağlamak ve daha kolay geri dönüşüm/kazanım için araştırmalar yapmak veya yaptırmakla yükümlüdürler.

Avrupa Komisyonu, 2002/95/EC sayılı "Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances (RoHS) (Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılması)" yönergesiyle elektrik-elektronik cihazların üretiminde Pb, Cd, Cr, Hg ve bromlu alev geciktiricilerin kullanımını kısıtlamıştır (Çizelge 2) (EC, 2003b). AB üyesi olmayan birçok ülkede (Japonya, Norveç, İsviçre ve ABD gibi) bu iki yönergenin içerik ve koşullarıyla uyumlu yasal düzenlemeler

yapılmakta ve proje çalışmaları yürütülmektedir (Widmer vd., 2005). Ülkemizde T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2008a; 2008b), "Atık Elektrikli Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü Yönetmeliği" ve "Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılmasına Dair Yönetmelik" isimleri altında iki yönetmelik hazırlamaktadır. Buna göre, Ülkemizde de e-atıkların geri dönüşümü yasal olarak zorunlu olacaktır.

4 İKİNCİL KAYNAK OLARAK E-ATIKLAR

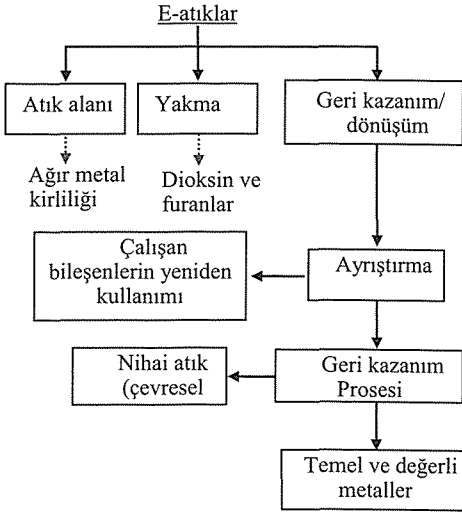
E-atıklarda bulunan metal (Cu, Fe, Ni vb.) ve özellikle değerli metallerin (Au, Ag, Pd vb.) önemli bölümü baskılı devre kartlarında bulunmaktadır (Goosey ve Kellner, 2002). Çizelge 3'te farklı e-atıkların metal içerikleri ve ekonomik potansiyeline katkısı görülmektedir. Buna göre, metal içerikleri e-atığın türüne ve modeline göre önemli farklılıklar göstermektedir.

Cep telefonları, bakırın yanı sıra özellikle yüksek miktarda değerli metal (Au, Ag ve Pd) içermektedir (Çizelge 3). Buna göre cep telefonu atıkları, altın cevherlerine (~1-10 gr/ton Au) göre 35-350 kat daha fazla altın ve bakır cevherlerine (~%0,5-1 Cu) göre ise 13-26 kat daha fazla bakır içermektedir. Genel olarak e-atıkların ekonomik değerinin önemli bölümünü değerli metaller (Ag, Au ve Pd) ve ikinci olarak da bakır (Cu) oluşturmaktadır. Değerli metal içeriği, e-atıklardan metal geri kazanımı yönteminin seçilmesinde/geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, ergitme tesislerine beslenecek e-atığın, ekonomik olarak geri dönüşümü için değerli metal içeriğinin yüksek olması gerekmektedir (Hagelüken, 2006). Fakat e-atıkların değerli metal içeriği ekonomik ve teknolojik nedenlerden dolayı giderek azalmaktadır. Örneğin, eski nesil kişisel bilgisayarlar (PC) bilgisayar başına 4 gr Au içermekte iken bu miktar 1 gr'a gerilemiştir (Widmer vd., 2005).

Çizelge 3. E-atıkların metal içeriği ve metallerin e-atıkların ekonomik potansiyeline katkısı* (Hagelüken, 2006; Yazıcı ve Devenci, 2009; Devenci vd, 2010).

E-atık	Fe %	Cu %	Al %	Pb %	Ni %	Sn %	Ag gr/ton	Au gr/ton	Pd gr/ton
Cep Tel.	5 (0)	13 (5)	1 (0)	0,3 (0)	0,1 (0)	0,5 (1)	1380 (6)	350 (65)	210 (24)
PC Devre Kartı (1)	7 (0)	20 (10)	5 (1)	1,5 (0)	1 (1)	2,9 (4)	1000 (5)	250 (61)	110 (16)
PC Devre Kartı (2)	3,6 (1)	15,5 (41)	4,9 (3)	3,9 (3)	0,2 (2)	4,3 (32)	380 (10)	6 (8)	0 (0)
PC Devre Kartı (3)	2,1 (0)	18,5 (11)	1,3 (0)	2,7 (0)	0,4 (1)	4,9 (8)	694 (4)	86 (24)	309 (52)
TV Devre Kartı (1)	28 (4)	10 (29)	10 (7)	1 (1)	0,3 (2)	1,4 (11)	280 (8)	20 (28)	10 (8)
TV Devre Kartı (2)	0,04 (0)	9,2 (62)	0,75 (1)	0,003 (0)	0,01 (0)	0,72 (14)	86 (6)	3 (10)	3,7 (7)
E-atık	27,3 (0)	16,4 (16)	11 (3)	1,4 (0)	0 (0)	0 (0)	210 (2)	150 (71)	20 (6)
Cevher	25	0,5	30	5	0,5	0,5	200	1	-

*7 Şubat 2011 tarihli metal fiyatları esas alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4. E-atıkların yönetimi (Yazıcı ve Deveci 2009).

E-atıkların yönetimi için olası seçenekler atık alanlarında depolama, yakma ve geridönüşüm/kazanımdır (Şekil 4). Atıkların ekonomik potansiyelinin değerlendirilmesi için geri dönüşüme tabi tutulması gerekmektedir. Ancak, e-atıkların önemli bir kısmı (~%90) evsel atıklar ile birlikte depolanmakta veya yakılmaktadır (EC, 2006). İngiltere’de atığa ayrılan baskılı devre kartlarının (50.000 ton/yıl) ancak %15’i geri kazanım işlemlerine tabi tutulmaktadır (Goosey ve Kellner, 2002). ABD’de televizyon, bilgisayar ve cep telefonlarının geri dönüşüm oranı (2006-2007) sadece %18’dir (USEPA, 2009).

5 E-ATIKLARDAN METALLERİN GERİ KAZANIMI

Yüksek metal (özellikle değerli metal) içerikleri nedeniyle önemli bir ikincil kaynak konumundadır. E-atıklardan metallerin geri kazanımı doğal kaynakların korunması, atıkların en uygun şekilde yönetimi, metal ve metal olmayan kısımların kazanılması açısından büyük öneme sahiptir (Yazıcı ve Deveci, 2009). Bununla birlikte, cevherlerden metal üretimi ile karşılaştırıldığında, ikincil

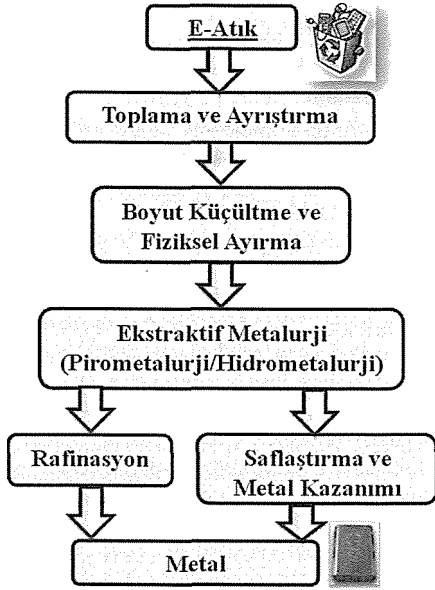
kaynaklardan metal geri kazanımı için, %60-95 daha az enerji gerekir (Çizelge 4) (Cui ve Forssberg, 2003).

Çizelge 4. Geri kazanımla elde edilen metallerin/malzemelerin enerji tasarruf oranları (Cui ve Forssberg, 2003).

Metal/Malzeme	Enerji tasarrufu (%)
Alüminyum	95
Bakır	85
Demir ve çelik	74
Kurşun	65
Çinko	60
Kağıt	64
Plastik	>80

E-atıklardan metallerin geri kazanımında fiziksel, hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemlere dayanan süreçler uygulanmaktadır (Şekil 5) (Cui ve Zhang, 2008; Yazıcı ve Deveci, 2009). Fiziksel ayırma yöntemleri (elektrostatik ayırma, eddy-current ayırma, manyetik ayırma ve ağır ortam/gravite ile ayırma), ekstraktif metalurjik işlemler öncesi sadece “ön ayırma/zenginleştirme” (ön hazırlık) yöntemleri olarak, malzeme miktarını azaltmak ve metal içeriğini arttırmak amacıyla uygulanır. Metal ve metal olmayan kısımlar, demir (Fe, Ni, Co) ve demir dışı metaller (değerli metaller, Cu ve Al) uygun fiziksel ayırma yöntemleri ile ayrılabilir. Fiziksel ayırma yöntemlerinin en önemli dezavantajı metal (Au, Ag, Pd ve Cu) kayıplarıdır (Hagelüken, 2006).

E-atıklardan metallerin geri kazanımında pirometalurji (Noranda, Boliden Rönnskär ve Umicore prosesleri) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, yüksek işletme giderleri nedeniyle daha çok ekonomik potansiyeli yüksek değerli metal (Au, Pd gibi) bakımından zengin atıklar için uygundur (MBM, 2001; Hagelüken, 2006). Ergitme işlemi sırasında oluşan çevresel açıdan zararlı (özellikle dioksin ve furan içeren) gazlar ve tozlar hava kirliliğine neden olabilmektedir (Fishbein, 2002).



Şekil 5. E-atıklardan metallerin geri kazanımı süreçleri

Hidrometalurjik yöntemler, yaş kimyasal yöntemlerdir; uygun reaktifler veya reaktif sistemleri kullanılarak katı malzemelerden metal/minerallerin liçi ve yüklü liç çözeltilerinden metal ve bileşiklerin tekrar kazanılması esasına dayanır. Pirometalurjik yöntemlerle karşılaştırıldığında hidrometalurjik yöntemler; ilk yatırım giderleri düşük, çevresel etkisi az, metal kazanma verimi yüksek ve nispeten küçük ölçekli uygulamalar için daha uygun yöntemlerdir. Ayrıca, hidrometalurjik süreçlerde, fiziksel yöntemler kullanıldığında oluşan metal kayıpları da (%10-35) en aza inmektedir (Goosey ve Kellner, 2002). Bu nedenlerden dolayı, e-atıklardan metallerin kazanımında hidrometalurjik yöntemler önemli bir potansiyele sahiptir (Goosey ve Kellner, 2002; Cui ve Zhang, 2008).

6 SONUÇLAR

E-atıklar hızla gelişen teknolojinin getirdiği ve hızla artan yeni bir atık türüdür. İçerdiği

çevreye zararlı maddelerden (organik veya inorganik) dolayı e-atıkların evsel atıklarla birlikte depolanması veya yakılması çeşitli çevresel sorunlara sebep olmaktadır. Bu nedenle de Ülkemizde, AB’de ve diğer ülkelerde özellikle son yıllarda geri dönüşümü/kazanımı zorunlu kılan çeşitli yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Diğer taraftan e-atıklar, yüksek temel (Cu gibi) ve değerli metal (Au, Ag, Pd gibi) içerikleri nedeniyle önemli bir ekonomik potansiyele sahip ikincil kaynak durumundadır. Buna göre geri dönüşüm/kazanım e-atıklar için en uygun atık yönetimi yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. Elektronik atıklardan metallerin geri kazanımı, Ülkemizin doğal/birincil metal kaynaklarının korunması ve verimli kullanılması yönüyle de önem kazanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 109M111 No’lu TÜBİTAK projesi ve 2009.112.008.1 No’lu KTÜ BAP kapsamında yapılan çalışmalardan üretilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anon, 2009. PC Growth per Capita Between 1993 and 2000. <http://india.ewasteguide.info> (18 Şubat 2009).
- Cui, J. ve Forssberg, E., 2003. Mechanical Recycling of Waste Electric and Electronic Equipment: A Review. *J. of Hazardous Materials*, 99, s.243-263.
- Cui, J. ve Zhang L., 2008. Metallurgical Recovery of Metals from Electronic Waste: A Review. *J. of Hazardous Materials*, 158(2-3), s.228-256.
- Culver, J., 2005. *The Life Cycle of a CPU*. <http://www.cpushack.net/life-cycle-of-cpu.html> (21 Şubat 2009).
- Deniz, V., 2008. E-atıklar: Büyüyen Tehlike. *Geri Dönüşüm Teknoloji Sistemleri*, 8, s.14-18.
- Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Aydın, U., Yazıcı, R., Akcil, A. U. 2010. Extraction of Copper from Scrap TV Boards by Sulphuric Acid Leaching Under Oxidising Conditions. *Proc. of Going*

- Green-CARE INNOVATION 2010 Conference, 8-11 November, Vienna, Austria, Paper no: 45.
- DPT, 2006. *Bilgisayar Sahipliğinin Yaygınlaştırılması*. Devlet Planlanlama Teşkilatı, E-Dönüşüm Türkiye Projesi, 2005 Yılı Eylem Planı, 34 Nolu Eylem Raporu, 36 s.
- EC, 2003a. *Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Official Journal L 037, 13/02/2003, 24-39 s.
- EC, 2003b. *Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)*. Official Journal L 037, 13/02/2003, 19-23 s.
- EC, 2006. *Implementation of Waste Electric and Electronic Equipment Directive in EU 25*. European Commission, Technical Report Series, EUR 22231 EN, 108 s.
- ERP, 2009. *European Recycling Platform (ERP) Brochure*. 4 s. <http://www.erp-recycling.org> (21 Şubat 2009)
- Fishbein, B.K., 2002. *Waste in the Wireless World: The Challenge of Cell Phones*. INFORM Inc., Mayıs, 103 s.
- Gartner Inc., 2010. *Gartner Says Mobile Phone Sales Will Exceed One Billion in 2009*. <http://www.gartner.com/> (23 Şubat 2009).
- Goosey, M. ve Kellner, R., 2002. *A Scoping Study: End-of-Life Printed Circuit Boards*. Intellect and the Department of Trade and Industry, Makati City, 44 s.
- Gürer, T., 2008. E-Hurda Nereye Gidiyor? *National Geographic*, Ocak, s.136-141.
- Hagelüken, C., 2006. Recycling of Electronic Scrap at Umicore Precious Metals Refining. *Acta Metallurgica Slovaca*, 12, s.111-120.
- Kang, H-Y. ve Schoenung, J., 2005. Electronic Waste Recycling: A Review of U.S. Infrastructure and Technology Options. *Resources. Conservation and Recycling*, 45(4), s.368-400.
- Kaya, M., 2005. Küresel Elektronik Atık (e-Atık) Pazarı 2009'da 11 Milyar Doları Geçecek. *Üniversite ve Toplum*, 5(4), s.1-3.
- Kaya, M. ve Sözeri, A., 2007. Elektronik Atık (E-Atık) Geri Dönüşümü/Kazanımı. *AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu (TÜRKAY 2007)*, 28-31 Mayıs, İstanbul.
- Li, Y., Richardson, J.B., Walker, A.K. ve Yuan, P-C., 2006. TCLP Heavy Metal Leaching of Personal Computer Components. *J. of Environmental Engineering*, 132(4), s.497-504.
- MBM, 2001. Electronic Scrap: A Growing Resource. *Metal Bulletin Monthly (MBM)*, Haziran, s.21-24.
- Modesitt, K. ve Gilbert, J., 2005. The Growing E-waste Problem. *Air & Waste Management Association*, Mayıs, s.8-14.
- Robinson, B.H., 2009. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Sci.of the Total Environment*, 408, s. 183-191
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008a. *Atık Elektrik Elektronik Eşyaların (AEEE) Kontrolü ve Yönetimi Yönetmeliği*. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008b. *Elektrikli ve Elektronik Eşyalarda Bazı Zararlı Maddelerin Kullanımının Sınırlanmasına Dair Yönetmelik*. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- TÜBİTAK, 1999. *Türkiye Ulusal Enformasyon Altyapısı (TUENA) Anaplanı-Sonuç Raporu*. T.C. Ulaştırma Bakanlığı, TUENA Proje Ofisi, Ekim, 93 s.
- UNEP, 2006. *The Environment in the News*. UNEP (United Nations Environment Programme), 11 Aralık, 59 s.
- USEPA, 2009. *Statistics on the Management of Used and End-of-Life Electronics*. <http://www.epa.gov/> (20 Şubat 2009).
- Uzelli, R., 2008. *Ayda 1 Milyondan Fazla Cep Telefonu Satılıyor*. <http://www.ntvmsnbc.com/> (25 Ocak 2008).
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M. ve Böni, H., 2005. Global Perspectives on E-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, s.436-458.
- Yazıcı, E.Y., Deveci, H., 2009. E-atıklardan Metallerin Geri Kazanımı. *Madencilik*, 48 (3), s.3-18.
- Yazıcı, E.Y., Deveci, H., Alp, İ., Akçil, A., Yazıcı R. 2010. Characterisation of Computer Printed Circuit Boards for Hazardous Properties and Beneficiation Studies. *XXV. Int. Mineral Processing Congress, IMPC 2010*, 6-10 Sept., Brisbane, Australia, s.4009-4015.

Türkiye'nin Gerçekleştirdiği Metan Emisyonları: Madencilik Faaliyetlerinin Payı

Methane Emissions from Turkey: The Share of Mining Activities

İ. Karakurt, G. Aydın ve K. Aydın

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Küresel ısınmaya katkıda bulunan ikinci büyük sera gazı olan metanı konu alan çalışmalar, emisyonların tahmini, sınıflandırılması ve gazın bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Antropojenik (insan faaliyetleri sonucu oluşan) metan emisyonu kaynaklarını; enterik fermantasyon, doğal gaz ve petrol sistemleri, çöp dolgusu, pirinç tarlaları, atık suyu yönetimi, kömür madenciliği, gübre yönetimi biyokütle yanması olarak sıralamak mümkündür. Bu çalışmada, Türkiye'nin gerçekleştirdiği metan emisyonları kaynaklar bazında irdelenerek madencilik kaynaklı emisyonlara yönelik sayısal bir değerlendirme yapılmıştır.

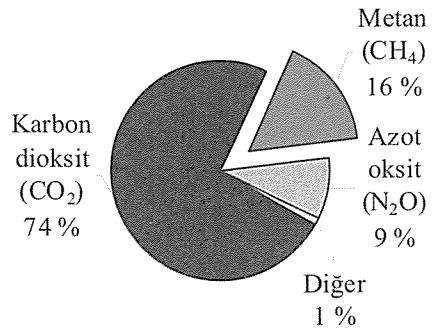
ABSTRACT Studies on methane that is the second biggest contributor to global warming, have concentrated on predicting and classifying the emissions and evaluating the gas as an energy source. It can be possible to range the anthropogenic (released as a result of human activities) sources of methane emissions as enteric fermentation, natural gas and oil systems, land filling of solid waste, rice cultivation, wastewater management, coal mining, manure management and biomass combustion. In this study, a quantitative investigation of methane emissions from mining activities are carried out by examining the methane emissions from Turkey in terms of sources.

1 GİRİŞ

Sera gazları atmosferde birikerek atmosferin kimyasal özelliklerini etkilemekte ve uzun vadede küresel ölçekte iklim değişikliğine neden olmaktadır. Karbondioksit, metan, azot oksit ve kloroflorokarbon başlıca sera gazlarıdır (Doğan, 2005).

Sera gazları içerisinde önemli bir yere sahip olan metan antropojenik sera gazı emisyonlarının % 16'sını oluşturmaktadır (Şekil 1) ve organik artıkların oksijensiz ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) sonucunda meydana gelmektedir (Aydın, 2008). Oranı binlerce yıldan beri değişmemiş olan metan gazının atmosferdeki oranı, son birkaç yüzyılda iki katına çıkmıştır. Bu değişiklik karbondioksit seviyesindeki artışa göre az olsa da en az karbondioksit kadar iklim değişikliklerini etkilemektedir. Bunun nedeni metanın

küresel ısınma potansiyelinin karbondioksitin 21 katı olmasıdır (Çizelge 1)



Şekil 1. Antropojenik sera gazı emisyonlarının küresel sera gazı emisyonlarındaki payı (Kruger and Franklin, 2006).

Çizelge 1. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri (KIP) (EPA, 2006)

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, HFC-4310mee	1,3
HFC-143a	3,8
HFC-152a	140
HFC-227ea	2,9
HFC-236fa	6,3
CF ₄ , C ₂ F ₆ , C ₄ F ₁₀ , C ₆ F ₁₄	6,5-9,2
SF ₆	23,9

Metan doğal yollarla ve insan faaliyetleri sonucunda açığa çıkmaktadır. İnsan kaynaklı metan emisyonları küresel metan emisyonunun % 60'ını oluşturmaktadır. Çizelge 2'de antropojenik metan oluşumuna yol açan faaliyetler ve bu faaliyetlerin küresel emisyonlardaki payı sunulmuştur.

Çizelge 2. Antropojenik kaynakların küresel metan emisyonlarındaki payı (EPA, 2006)

Kaynak	Oran
Enterik Fermantasyon	30,30
Doğal gaz ve petrol sistemleri	17,83
Çöp dolgusu	12,17
Pirinç tarlaları	10,45
Atık su yönetimi	8,41
Kömür madenciliği	6,91
Diğer	6,29
Gübre yönetimi	3,72
Biokütle yanması	2,87
Sabit ve hareketli yanmalar	1,04

Not:

Çalışmada EPA tarafından yayınlanan (EPA, 2006) ve sera gazlarını konu alan raporda sunulan veriler kullanılmıştır. Çalışmada verilen katkı oranları 1990 ve 2010 yılları arasındaki ortalama emisyon değerleri baz

alınarak hesaplanmıştır (2010 yılına ait değerler projeksiyon değerlerdir).

2. EMİSYON KAYNAKLARI

2.1 Enterik fermantasyon

Enterik fermantasyon, hayvanların sindirim sisteminde mikroplar vasıtasıyla yiyeceklerin mayalanma işlemini ifade etmektedir. Bu olay sonucunda oluşan metan hayvanlar tarafından nefes alıp verilirken yan ürün olarak açığa çıkmaktadır (Moss vd., 2010).

2.2 Gübre yönetimi

Gübrenin çukur, havuz ya da kıyı gölleri gibi sıvı ortamlarda depolanması durumunda, oksijensiz ortam koşulları gelişebilecek ve bu ortamda oluşan ayrışmalar metan emisyonlarının oluşmasına sebep olacaktır (Lusk, 1998)

2.3 Pirinç tarlaları

Sulu pirinç tarlalarındaki organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışması, metanın açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Organik maddelerin ayrışması, pirinç tarlalarının sulanmasıyla birlikte toprak ve su içerisinde var olan oksijeni yavaş yavaş tüketmektedir. Ortamdaki oksijen tükendiğinde metanojenik bakteriler metanın açığa çıkmasını sağlamaktadır (Anand vd., 2005).

2.4 Doğal gaz ve petrol sistemleri

Doğal gazın birincil bileşeni olan metan doğal gazın üretimi, zenginleştirilmesi, depolanması ve dağıtım süreçlerinde serbest kalmaktadır. Doğal gaz genellikle petrol rezervleriyle aynı ortamlarda bulunduğundan dolayı petrol üretim ve prosesleri esnasında da önemli miktarlarda metan emisyonları gözlenmektedir. Hem petrol hem de doğal gaz sistemlerinde oluşan bu emisyonlar sistemlerdeki kaçaklardan meydana gelmektedir (Robinson vd., 2009).

2.5 Kömür madenciliği

Açık ocak ve yeraltı kömür madenciliğinde kömür üretimi sonucunda metan emisyonları

gerçekleşmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde üretim esnasında açığa çıkan metan havalandırma fanları kullanılarak seyreltilmekte ve atmosfere salınmaktadır. Açık ocak çalışmalarında gerçekleşen metan emisyonları ise direkt olarak atmosfere salınmaktadır. Düşük basınç ve ranktan dolayı yüzey madenciliği sonucu gerçekleşen metan emisyonları yeraltı madenciliğiyle kıyaslandığı zaman daha azdır. Kömürün rankı ve geçirgenliği, damarın derinliği, jeolojik etkenler, üretim miktarı açığa çıkan metan miktarını etkileyen faktörler olarak sıralanabilmektedir (Aydın, 2008).

2.6 Yanma kaynaklı emisyonlar

Tam yanmanın gerçekleştiği ideal koşullarda başlıca su ve karbondioksit oluşmaktadır. Doğal yanmalarda ise yetersiz oksijen desteğinden ötürü tam olarak gerçekleşmeyen yanmalar gözlenebilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen fosil yakıt yakılmasında metan emisyonları gerçekleşmektedir. Metan emisyonları tam olarak gerçekleşmeyen biyokütle yanması sonucunda da gözlenebilmektedir (Delmas, 1994).

2.7 Çöp depolama alanları

Kapalı çöp depolama alanlarında ortamda bulunan oksijen mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilmekte ve depon gazları, yüksek kirletici konsantrasyonlarına sahip sızıntı suları ile birlikte stabilize olmuş atıklar oluşmaktadır. Depo gazlarından bir tanesi olan ve depo gazlarının yaklaşık olarak % 50'sini oluşturan metan gazı çöp depolama alanlarında organik materyallerin aneorobik olarak ayrışması sonucunda oluşmakta ve çevreye yayılmaktadır (Özcan vd., 2005).

2.8 Atık su yönetimi

Endüstriyel atık sularının arıtılması aşamasında metan emisyonları gözlenmektedir. Atık suyundaki organik materyaller aneorobik olarak ayrıştıkları zaman metan açığa çıkarmaktadırlar.

Gelişmiş ülkelerin çoğu atık suların bertarafında aerobik arıtma yapmaktadırlar. Bu sebepten açığa çıkan metan miktarı oldukça düşüktür. Ancak atık suyunun biriktirilmediği yada çok azının biriktirildiği ve arıtıldığı gelişmekte olan ülkelerde tuvaletler, açık kanalizasyonlar gibi anaerobik sistemler daha çok yaygındır ve önemli miktarlarda metan açığa çıkarmaktadırlar (EPA, 2006).

3 TÜRKİYE'NİN GERÇEKLEŞTİRDİĞİ METAN EMİSYONLARI

Çizelge 3'te metan emisyonlarının çoğunluğundan sorumlu olan ülkelerin 1990 ve 2010 yılları arasında gerçekleştirdiği emisyonlar sunulmuştur. Değerlerden de anlaşılacağı gibi Çin dünya genelinde metan emisyonlarına en fazla katkıda bulunan ülkedir. Çin'i sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Rusya Federasyonu Brezilya ve Çizelgede belirtilen diğer ülkeler takip etmektedir. Türkiye ise bu listede 12. sırada yer almaktadır.

Çizelge 4'te Türkiye'nin gerçekleştirdiği emisyonların, emisyon kaynaklarına bağlı olarak 1990-2010 yılları arasındaki değerleri verilmiştir. Türkiye'de doğal gaz ve petrol sistemlerine bağlı olarak gerçekleşen emisyonlar küresel metan emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Başka bir deyişle; metan emisyonlarının % 42,15'i bu sektörde yürütülen faaliyetlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Doğal gaz ve petrol sistemlerini sırasıyla enterik fermantasyon, çöp dolgusu, gübre yönetimi, atık suyu, biyokütle yakılması, kömür madenciliği ve tabloda belirtilen diğer faaliyetler takip etmektedir.

Kömür üretimine bağlı olarak gerçekleşen emisyonların miktarı düşük olup dünya ortalamasının altındadır. Madencilik faaliyetlerin sonucunda gerçekleşen metan emisyonlarında Türkiye 19. sıradadır (Çizelge 5). Türkiye'nin gerçekleştirdiği bu emisyonlar artan kömür üretiminin bir sonucu olarak 1990-2010 yılları arasında artış göstermiştir. Bu değer 1990 yılı için 1,63 Mt Eşd. CO₂ (milyon ton eşdeğer

karbondioksit) iken günümüzde 1,74 Mt Eşd. CO₂' e yükselmiştir.

Çizelge 3. Emisyonların çoğunluğundan sorumlu olan ülkelerin gerçekleştirdiği metan emisyonlarının yıllara göre dağılımı (EPA, 2006)

Sıra	Ülke	1990	1995	2000	2005	2010	Ort.
1	Çin	749,03	802,04	788,11	853,26	924,19	823,33
2	ABD	599,29	592,91	546,42	521,02	528,98	557,72
3	Hindistan	428,62	460,43	498,12	547,69	597,11	506,39
4	Rusya Federasyonu	561,55	409,60	306,82	314,46	326,21	383,73
5	Brezilya	291,17	305,18	365,55	389,07	416,31	353,46
6	Endonezya	138,16	158,60	170,66	183,02	192,40	168,57
7	Meksika	133,12	137,22	161,09	184,82	217,61	166,77
8	Ukrayna	195,32	161,78	148,08	153,41	157,40	163,20
9	Nijerya	77,85	96,65	130,08	150,54	171,74	125,37
10	Avustralya	114,11	112,63	124,55	128,85	137,51	123,53
11	Kanada	77,67	118,89	96,56	102,00	107,99	100,62
12	Türkiye	74,76	82,62	90,79	105,26	114,45	93,58

Çizelge 4. Türkiye' nin gerçekleştirdiği metan emisyonlarının kaynaklar bazında değerleri (EPA, 2006)

Kaynak	1990	1995	2000	2005	2010	Ort.	Oran
Doğal gaz ve petrol sistemleri	20,7	29,18	39,22	50,88	57,2	39,44	42,15
Enterik Fermantasyon	25,52	23,9	21,36	22,26	23,23	23,25	24,85
Çöp dolgusu	8,16	8,93	9,67	10,38	11,04	9,64	10,30
Gübre yönetimi	8,41	8,28	7,59	7,88	8,18	8,07	8,62
Atıksu yönetimi	5,72	6,27	6,8	7,27	7,67	6,75	7,21
Biokütle yanması	1,9	1,79	1,83	2,19	2,61	2,06	2,21
Kömür madenciliği	1,63	1,56	1,7	1,83	1,96	1,74	1,86
Diğer	1,37	1,45	1,5	1,5	1,5	1,46	1,56
Sabit ve hareketli	1,06	0,97	0,76	0,7	0,66	0,83	0,89
Pirinç tarlaları	0,27	0,29	0,35	0,38	0,4	0,34	0,36

Çizelge 5. Ülkelerin madencilik faaliyetlerine bağlı olarak gerçekleştirdikleri metan emisyonları (EPA, 2006)

Sıra	Ülke	1990	1995	2000	2005	2010	Ort.
1	Çin	126,13	149,10	117,57	135,66	153,75	136,44
2	Amerika	81,89	65,78	56,22	71,50	75,86	70,25
3	Rusya	60,90	36,75	28,98	26,25	27,51	36,08
4	Ukrayna	55,34	30,12	28,33	26,32	24,48	32,92
5	Kuzey Kore	25,26	27,23	26,91	25,56	24,28	25,85
6	Avustralya	15,82	17,48	19,64	21,82	26,38	20,23
7	Hindistan	10,87	13,65	15,84	19,46	23,08	16,58
8	Almanya	25,77	17,59	10,18	8,39	7,75	13,94
9	Polonya	16,77	15,57	11,90	11,33	10,77	13,27
10	Kazakistan	24,87	17,19	9,98	6,67	6,38	13,02
11	İngiltere	18,29	12,59	7,00	6,73	6,60	10,24
12	Güney Afrika	6,72	6,66	7,08	7,40	7,21	7,01
13	Çek Cumhuriyeti	7,60	5,81	5,02	4,82	3,91	5,43
19	Türkiye	1,63	1,56	1,70	1,83	1,96	1,74

4 SONUÇLAR

Küresel ısınmanın kendini hissettirmeye başladığı bu dönemlerde sera gazı salımlarının önlenmesine/azaltılmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Sera gazları arasında önemli bir yere sahip metanın kaynaklarını konu alan ve bu kaynaklar arasında kömür madenciliğinin payını dünya ve Türkiye ölçeğinde vurgulayan çalışmanın sonuçlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- i. Küresel metan emisyonların çoğunluğunu oluşturan kaynaklar enterik fermantasyon, doğal gaz ve petrol sistemleri ve çöp dolgusu olarak sıralanmaktadır. Bu faaliyetler sonucu gerçekleşen emisyonlar küresel emisyonların yaklaşık olarak % 60'ını oluşturmaktadır.
- ii. Küresel emisyonların yaklaşık % 7'si kömür madenciliğinde yürütülen aktivitelere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Çin ve Amerika Birleşik Devletleri kömür üretimine bağlı olarak gerçekleşen emisyonların büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır.
- iii. Türkiye madencilik kaynaklı metan emisyonlarına yol açan ülkeler sıralamasında 19. sırada yer almaktadır. Kömür madenciliğinden kaynaklanan metan emisyonları Türkiye'nin gerçekleştirdiği metan emisyonlarının % 2'sini oluşturmaktadır. Bu değer dünya genelindeki değerin altındadır.
- iv. Madencilik kaynaklı metan emisyonlarının azaltılabilmesi mümkündür. Gaz kömür damarından drene edilerek çeşitli uygulamalarda bir yakıt olarak kullanılabilir. Ek olarak maden havasındaki metanın tutulmasına yönelik çalışmalar devam etmekte olup gelecekte yaygın kullanım alını bulması beklenmektedir. Bu uygulamalarda gaz yakılarak

karbondioksit'e dönüştürülmekte ve küresel ısınma üzerindeki etkisi 20 kata kadar azaltılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anand, S, Dahiya, P.R., Talyan, V. and Vrat, P., 2005. "Investigations of methane emissions from rice cultivation in Indian context" Environment International 31 (2005) 469-482
- Aydın, G., 2008 "Kömür Kökenli Metanın Kullanım Teknolojileri ve Enerji Üretiminden Kaynaklanan Antropojenik Metan Emisyonlarının Analizi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, 2008, Trabzon
- Delmas, R, 1994. "An Overview of Present Knowledge on Methane Emission from Biomass Burning" Fertilizer Research 37: 181-190, 1994
- Doğan, S. 2005. "Türkiye'nin Küresel İklim Değişikliğinde Rolü ve Önleyici Küresel Çabaya Katılım Girişimleri" C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 2005
- EPA, 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/pdfs/global_emissions.pdf 28 Aralık 2007
- Kruger, D. and 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.
- Lusk, 1998. "Methane Recovery from Animal Manures the Current Opportunities Casebook" <http://biosystems.okstate.edu/Home/robert.frazier/A/D%20Case%20Study%20Paper.PDF>
- Moss, R.A., Jouany, P.J. and Newbold, J. 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming" Ann. Zootech. 49 (2000) 231-253
- Özcan, K.H., Borat, M. ve Bayat, C., 2005. "Katı Atık Depo Sahası Gazları ve Çevresel Etkileri" II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005 İstanbul 17-19 Kasım 2005
- Robinson, D. R., Fernandez, R. and Kantamaneni, R. K., 2009 'Methane Emissions Mitigation Options in the Global Oil And Natural Gas Industries' <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/naturalgas/NG020.pdf>



Karbondiyoksit Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Uygulanabilecek Stratejilerin Değerlendirilmesi

Assessment of the Applicable Strategies for Decreasing CO₂ Emissions

G. AYDIN, İ. KARAKURT ve K. AYDINER

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Sera gazları arasında önemli bir yere sahip olan karbondiyoksit, fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömürlerin ve doğal gazın) sanayide kullanılması sonucunda atmosfere karışmaktadır. Günümüzde, fosil yakıt tüketiminin hızla artması ve ormanların tahribi, atmosferdeki karbondiyoksit konsantrasyonunu son yılların en yüksek seviyelerine ulaştırmıştır. Fosil yakıtların çevreye vereceği zararın minimuma indirilmesi fosil yakıt kaynaklı karbondiyoksit emisyonlarının azaltılmasıyla mümkün olacaktır. Bu çalışmada enerji kaynağı olarak fosil yakıtların önemi vurgulanmış ve fosil kaynakların yol açtığı karbondiyoksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik uygulanabilecek stratejiler değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Carbon dioxide having a important place between greenhouse gases releases to atmosphere as a result of using fossil fuels in industry. Currently, rapidly increase in fossil fuel consumption and destroying of forest has caused to reach carbon dioxide concentration to the highest level of recent years in atmosphere. Minimizing the environmental damage caused by fossil fuels would be possible by mitigating of carbon dioxide emissions related to fossil fuel. In the current study, the importance of fossil fuels as an energy source is emphasized and the strategies that can be applied for mitigating of carbon dioxide emissions caused by fossil fuels are assessed.

1 KÜRESEL ISINMA VE FOSİL YAKITLAR

Atmosfere gelen güneş enerjisinin yaklaşık % 26'lık bir kısmı bulutlar ve diğer atmosferik partiküller tarafından uzaya geri yansıtılmakta olup yaklaşık % 19'lük bir kısmı su buharı, karbondiyoksit ve metan gazının dünyanın üzerinde oluşturduğu doğal bir örtü tarafından tutulmaktadır. Bu da yeryüzünün yeterince sıcak kalmasını sağlamaktadır. Ancak atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun artması daha fazla enerjinin tutulmasına ve küresel sıcaklıkların artmasına yol açmaktadır (Aksay vd., 2005). Bu ise küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır.

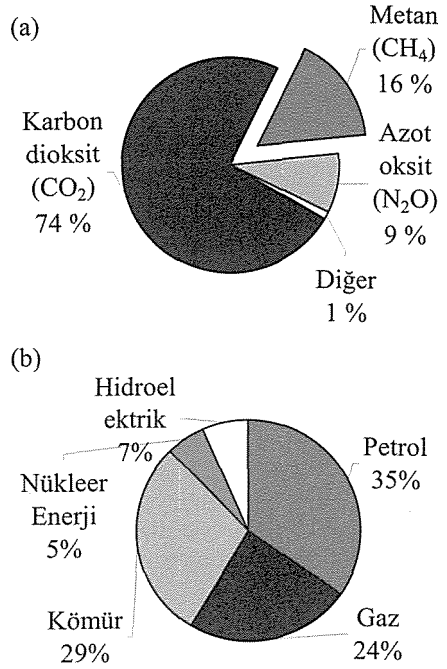
Sera gazları arasında önemli bir yere sahip olan karbondiyoksit, fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömür ve doğal gaz) sanayide kullanılması sonucunda atmosfere salınmaktadır. Bu yolla atmosfere salınan karbondiyoksitin oranı % 80-85 arasındadır. % 15-20'lik bir kısım ise canlıların solunumu ve mikroskopik canlıların organik maddeleri ayrıştırması sonucunda salınmaktadır (Çepel ve Ergün, 2005).

Bir yandan fosil yakıt kullanımının hızla artışı, öte yandan fotosentez için tonlarca karbondiyoksit harcayan ormanların ve bitkisel planktonların tahribi, atmosferdeki karbondiyoksit miktarını son 160 bin yılın en yüksek düzeyine ulaştırmıştır. Yapılan araştırmalar, bu artışın devam edeceğini

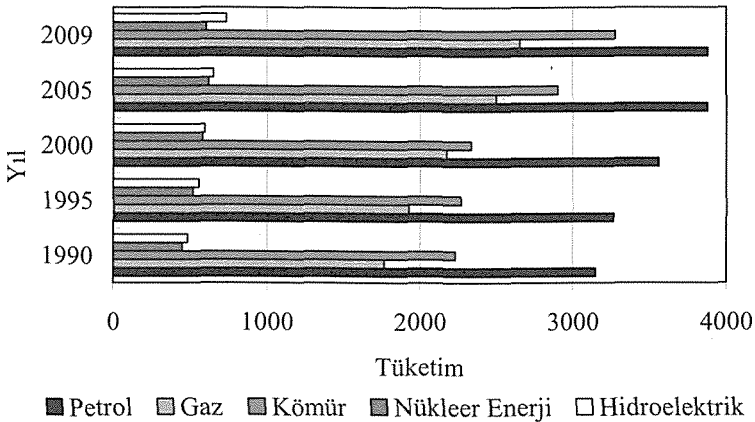
öngörmektedir (Karakurt vd., 2009; Aydın vd., 2009).

Sera gazları arasında küresel ısınmada en büyük paya sahip gaz karbondioksittir (% 74). Karbondioksiti sırasıyla metan azot oksit ve şekilde diğer diye isimlendirilen CFC, HFC, PFC, SF₆ gazları takip etmektedir (Şekil 1a). Termik santral ile üretilen her kWh elektrik için kullanılan yakıtla bağlı olarak kömür için 1 kg, petrol için 650 gr ve doğal gaz için 450 gr sera gazı atmosfere salınmaktadır (Anonim, 2010).

Dünya birincil enerji tüketimi 1990 yılında 8096,56 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) iken bu değer 2009 yılında 11164,3 Mtep' lere ulaşmıştır. Şekil 1b, enerji kaynaklarını ve bunların enerji tüketimindeki kullanım oranlarını göstermektedir. 2010 yılındaki veriler temel alındığında fosil yakıtların enerji tüketimindeki payının % 88 olduğu görülmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde petrol % 35' lik bir oranla ilk sırada yer almakta olup onu sırasıyla kömür ve doğal gaz takip etmektedir. Geçmişten günümüze yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artmasına rağmen, enerji tüketimindeki payında önemli değişiklikler olmamıştır (Şekil 2).

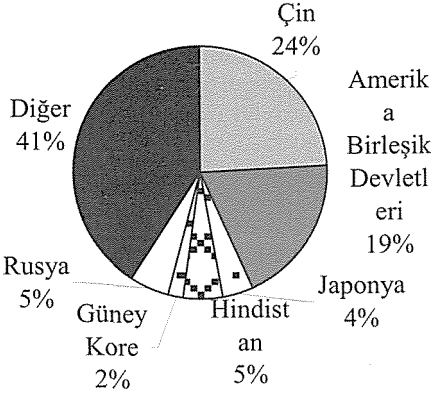


Şekil 1. Sera gazlarının küresel sera gazı emisyonlarına katkısı (EPA, 2006) ve enerji kaynaklarının 2010 yılı için enerji tüketimindeki payı (BP, 2010)



Şekil 2. Enerji tüketiminin kaynaklar bazında 1999-2010 yılları arasındaki değişimi (BP, 2010)

Şekil 3 yüksek miktarlarda karbondioksit yayan ülkelerin küresel karbondioksit emisyonlarına katkısını göstermektedir. Görüldüğü gibi Çin % 24 ile ilk sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Hindistan, Japonya ve Güney Kore takip etmektedir. Bu altı ülke karbondioksit emisyonlarının % 58' inden sorumludur.



Şekil 3. Yüksek oranlarda karbondioksit yayan ülkelerin küresel emisyonlara katkısı (BP, 2010)

2 AZALTIM SEÇENEKLERİ

Sera gazı emisyonlarını kontrol altında tutulmasına ve azaltılmasına yönelik teknolojiler/uygulamalar sürekli gelişmektedir. Yeni teknolojilerin çoğu, enerji çevriminin ya da enerji kullanımının verimliliğini iyileştirmeye ve düşük/sıfır karbonlu enerji kaynaklarının geliştirilmesine odaklanmaktadır (Türkeş, 2003). Karbondioksit emisyonlarının azaltılabilmesine yönelik uygulamaları aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması
- Enerji üretim proseslerinin veriminin artırılması
- Karbondioksitin jeolojik rezervuarlarda depolanması
- Mineral karbonizasyonu

- Karbondioksitin endüstriyel kullanımları
- Karbondioksitin okyanuslarda depolanması

2.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması

Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artmasına karşın fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin sınırlı olduğu bilinmektedir. Enerji kaynaklarının güvenliğinin sağlanması ve bu kaynakların çevreye verdiği zararın minimuma indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle son dönemlerde enerji kaynaklarının çeşitlendirmesi amacıyla yeni enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Ülkeler hem enerji kaynaklarının sürekliliğini sağlamak hem de çevre kirliliğini önlemek amacıyla alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları olarak tanımlanan bu kaynakların başlıcaları hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle enerji kaynaklarıdır (Gürbüz, 2009). Bu kaynakların enerji tüketimindeki payının artması sonucu karbondioksit emisyonlarında azalma meydana gelecektir.

2.2 Güç üretim süreçlerinin veriminin artırılması

Güç üretim süreçlerinde verimin artmasının bir sonucu olarak daha az miktar yakıtla fazla miktarlarda enerjinin üretilmesi mümkün olacaktır. Bu hem yakıt ücretlerini düşürecek hem de karbondioksit emisyonlarının azalmasına imkan sağlayacaktır (EPA, 2010).

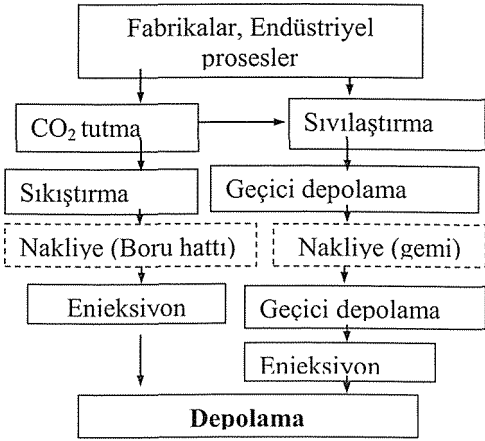
2.3 Jeolojik rezervuarlarda depolama

Termik santrallerden ve diğer yanma kaynaklarından açığa çıkan baca gazları, çoğunlukla yüksek oranda nitrojen ve düşük oranda (% 5-15) karbondioksit içermektedir. Karbondioksitin yeraltında depolanabilmesi için diğer baca gazlarından arındırılarak tutulması gerekmektedir (Benson, 2009). Karbondioksit tutmanın amacı, yüksek basınç ve konsantrasyonda bir karbondioksit akışı elde etmektir.

Fosil yakıt kullanılmasına bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının tutulmasında kullanılan temel sistemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- i. Yanma öncesi karbondioksitin tutulması
- ii. Yanma sonrası karbondioksitin tutulması
- iii. Oksijenle yakma (oxy yakıt sistemleri)

Şekil 4, karbondioksitin tutulmasından depolanmasına kadar olan aşamaları göstermektedir.



Şekil 4. Karbondioksit tutma ve depolama aşamaları (IPCC, 2006)

Karbondioksit emisyonuna yol açan tesisin depolanma sahasına uzak olması durumunda karbondioksitin taşınması gerekmektedir. Karbondioksit katı, sıvı ve gaz olarak taşınabilmekte olup ticari ölçekli taşımalarda tanklar, boru hatları ve gemiler kullanılmaktadır (Aydın vd., 2010a).

Karbondioksit, süperkritik bir sıvı olarak yer altı jeolojik rezervuarlarda depolanabilmektedir. Karbondioksitin süper kritik evresinde sıvı ve gaz arasında ayrımı yapılamamaktadır. Başka bir deyişle CO₂ bulunduğu kabın şeklini almakla beraber sıkıştırılabilen bir sıvı olarak davranmaktadır (Aydın vd., 2010b). Karbondioksitin yoğunluğu ise sıvı yoğunluğuna eşittir.

Karbondioksitin depolanabileceği jeolojik rezervuarlar;

- i. petrol ve doğal gaz rezervuarları,
- ii. derin tuzlu formasyonlar ve
- iii. işletilemeyen kömür damarlarından oluşmaktadır.

2.4 Mineral karbonizasyonu

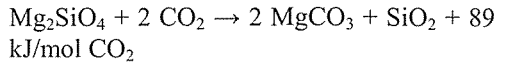
Mineral karbonizasyonda tutulan karbondioksit, metal oksit bulunduran materyaller ile reaksiyona girerek karbonat ve katı bir yan ürün oluşturur. Bir ton karbondioksit tecridi yaklaşık 1,6-3,7 ton kayaç gerekmektedir (IPCC, 2006).

Karbondioksit, metal oksitler ile reaksiyona girdiğinde (MO ile gösterilmiştir, M; kalsiyum, magnezyum veya demir gibi iki değerlikli metal) uygun karbonatlar oluşur ve aşağıdaki kimyasal reaksiyonda ısı açığa çıkar:

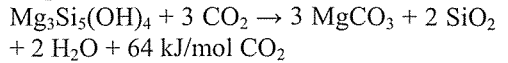


Örnek olarak;

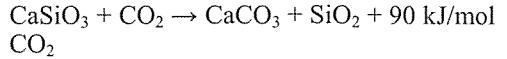
Olivine:



Serpantin:



Wollastonit:



2.5 Karbondioksitin endüstriyel kullanımları

Kimyasal işlemlerde gaz, sıvı ya da bir beslenme deposu olarak tutulan karbondioksitin endüstriyel kullanımları ile değerli ürünler (karbon içerikli) elde edilmesi mümkündür. Dolayısıyla endüstriyel kullanımlar bir karbon yutağı sağlayabilmektedir (IPCC, 2006).

2.6 Okyanuslarda depolama

Tutulup sıkıştırılan karbondioksit gemilere konularak direkt olarak okyanusa enjekte edilebildiği gibi deniz tabanında da biriktirilebilir. Gemilere yüklenen karbondioksit, nakil sistemleri (borular vb.) ile dağıtılabilir ya da sabit platformlara taşınarak deniz tabanında oluşturulan karbondioksit gölüne bırakılabilir. Karbondioksit gölleri 3 km'den daha derin

mevkilerde olmalıdır. Çünkü bu derinliklerde karbondioksitin yoğunluğu su yoğunluğundan daha fazda olacaktır. Bu yöntemlerden herhangi biri prensipte karbonat minerallerinin nötralizasyonu ile beraber uygulanabilir (IPCC, 2006).

Çizelge 1'de karbondioksit tutma ve depolama sistemlerinin uygulanabilirliğine yönelik değerlendirmeler sunulmuştur.

Çizelge 1. Karbondioksit tutma ve depolama sistemlerinin bileşenleri ve uygulanabilirliği (IPCC, 2006)

Karbondioksit tutma ve depolama işlemleri bileşeni	Karbondioksit tutma ve depolama teknolojisi	Araştırma aşamasında	Deneme aşamasında	Özel koşullarda ekonomik uygunluğu	Gelişmiş pazar
Tutma	Yanma sonrası Yanma öncesi Oxy yakıt kullanımı Endüstriyel ayrıştırma		X	X	X
Nakliye	Boru hattı				X
Jeolojik depolama	Gemi taşımacılığı Petrol üretimini artırmak için Gaz ve Petrol sahaları Tuzlu formasyonlar KKM'nin üretiminin artırılmasında			X X X	X
Okyanusta depolama	Direkt enjeksiyon (çözündürme modeli) Direkt enjeksiyon (göl tipi)	X X			
Mineral karbonizasyonu	Doğal silikat mineralleri Atık maddeleri	X	X		
Karbondioksitin endüstriyel kullanımı					X

3 SONUÇLAR

Dünya enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 90'ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yakılması sonucunda atmosfere yüksek miktarlarda karbondioksit salınmaktadır. Karbondioksitin miktarının özellikle son dönemlerde tehlikeli boyutlara ulaşması çeşitli önlemlerin alınma zorunluluğunu doğurmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve ülkelerin enerji politikalarını şekillendirirken sera gazı

emisyonlarını göz önünde bulundurması büyük önem arz etmektedir.

Fosil yakıt yakan termik santrallerde güç üretim proseslerinin veriminin yükseltilmesiyle daha az yakıtla daha fazla enerji üretilebilecektir. Dolayısıyla da yakıt başına açığa çıkan karbondioksit emisyonlarında azalmalar gözlenecektir.

Karbondioksitin kaynağından tutulması ve çeşitli rezervuarlarda yada okyanuslarda depolanması azaltım seçenekleri arasında yer almaktadır. Konu üzerine çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmekte olup

uygulamalarda özellikle ilerleyen dönemlerde önemli artışlar beklenmektedir. Mineral karbonizasyonu ve karbondioksitin endüstriyel kullanımları karbondioksit emisyonlarının azaltılmasında diğer bir seçenek olarak dikkat çekmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2010. Nükleer Enerji Santrallerinin ve Fosil Yakıt Kullanan Termik Santrallerin Kuruluş Amaçları ve Terk Edilmelerinin Nedenleri. http://www.emo.org.tr/ekler/908744a7082090a_ek.pdf?dergi=5
- Aksay, C., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L., 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *SÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 25, 29-41.
- Aydın, G., Karakurt, İ. ve Aydın, K., 2009. İşletilemeyen Kömür Damarlarında Karbondioksitin Depolanması. *Madencilik* 48 (4), 31-44
- Aydın, G., Karakurt, İ. ve Aydın, K., 2010a. Evaluation of Geologic Storage Options of CO₂: Applicability, Cost, Storage Capacity and Safety. *Energy Policy*, 38 (9), 5072-5080.
- Aydın, G., Karakurt, İ. ve Aydın, K., 2010b. Karbondioksitin Tutulması, Nakliyesi ve Kömür Damarlarında Depolanma Olanaklarının Araştırılması. *17. Kömür Kongresi*, 2-4 Haziran, Zonguldak, Sayfa: 331-340
- Benson.,2009.Overview of Geological Storage of CO₂.<http://els.nas.edu/besr/docs/BENSON.pdf>
- BP Statistical Review of World Energy June 2010. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf
- Çepel, N. ve Ergün, C., 2005. Küresel Isınma ve Küresel İklim Değişikliği. <http://www.tema.org.tr/CevreKutuphanesi/KureselIsinma/pdf/KureselIsinma.pdf>
- Dooley, J., Dahowski, T., Davidson, C., Wise, M., Gupta, N., Kim, S. ve Malone, E., 2006. Carbon Dioxide Capture and Geologic Storage: A Core Element of a Global Energy Technology Strategy to Address Climate Change”, A technical Report from the Second phase of Global Energy Technology Strategy Program
- EPA, 2006. Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2020. <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/pdfs>
- IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Carbon Dioxide Transport, Injection and Geological Storage. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_5_Ch5
- Karakurt, İ., Aydın, G. ve Aydın, K., 2009. Yeraltı Jeolojik Rezervuarlarında Karbondioksitin Depolanması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2 (2), 175-184
- Solomon, S., Carpenter, M. ve Flach, T., 2008. Intermediate storage of carbon dioxide in geological formations: A technical perspective. *International journal of greenhouse gas control* 2, 502-510.
- Shi, Q ve Durucan, S., 2005. CO₂ Storage in Deep Unminable Coal Seams” *Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP*, 60 No. 3, 547-558.
- Türkeş, M. 2003. Sera Gazı Salımlarının Azaltılması İçin Sürdürülebilir Teknolojik Ve Davranışsal Seçenekler. V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 267-285, Ankara.

Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Alanların Rehabilitasyonu

The Rehabilitation of the Damaged Areas After the Mining Activities

F. Geyikçi, S.Çoruh

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Samsun

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun

ÖZET Madencilik faaliyetleri sonucunda doğada olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Bununla birlikte doğaya yapılan müdahale sonucu oluşan yeni durum, maden işletmecisi açısından teknik, hukuki ve etik boyutları olan bir sorumluluk oluşturur. Bu çalışmada, madencilik faaliyetleri sonucu oluşabilecek çevresel sorunlar incelenerek bu sorunların çözümünde uygulanabilecek doğaya yeniden kazandırma alternatifleri sunulmuştur.

ABSTRACT Mining activities may cause bad environmental impact. The interference to nature develops technical, legal and ethical duty to the mining operators. In this study, the unfavourable environmental problems are investigated and applicable alternative rehabilitation methods are give

1 GİRİŞ

Madenler bir ülkenin doğal zenginliği ve ekonomik açıdan en önemli değerleridir. Endüstrileşme ile birlikte madencilikte artan talebin karşılanması için işletilmeleri gerekir. Madenlerin işletilmesi sırasında arazi bozulmaları ve doğal çevrenin tahribatı karşılaşılan başlıca sorunlardır.

En genel tanımı ile madencilik, yer kabuğundan minerallerin elde edilmesi işlemidir. Bir mineral, belirli bir kimyasal bileşimi ve ayrı fiziksel özellikleri olan ve tabiatta doğal olarak bulunan bir maddedir. Genel olarak madencilik, arama faaliyetleri ile başlayan, cevher üretimi-zenginleştirilmesi ile devam eden ve çalışılan madenlerin kapatılması ve çevre düzenlemesi ile son bulan bir süreçler bütünüdür (ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, 1996; Eskişıkaya v.d., 2005). Maden kaynakları yenilenebilir nitelikte olmayan doğal kaynaklardır. Bu nedenle kıtlaşabilir hatta tamamen tükenebilir

özelliktedirler. Bir maden ocağının rezervinin tükenebileceği düşünülerek, madencilik ile ilgili işletme kararlarının, gelecek nesillerin haklarının da gözetilerek alınması ve uygulanması gerekmektedir. Ekonomik açıdan değerli olan rezervler belirli bölgelerde yoğunlaşmışlardır. Madencilikte, madenlerin bulunduğu yerde üretilme zorunluluğu olması nedeniyle yer seçme şansı bulunmamaktadır.

Madencilik faaliyetlerini aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

A- Madenin aranması

B- Madenin çıkarılması

— Açık ocak işletmesi

— Yeraltı işletmesi

C- Cevher hazırlama tesisleri

— Kırma-eleme, öğütme-yıkama

D- Cevher zenginleştirme tesisleri

—Biyolojik, kimyasal, ısı işlem

Bu faaliyetlerin tamamı bir maden işletmesinde bulunabileceği gibi, yalnızca bir tesisinin gerçekleştirildiği faaliyette bir

maden işletmesi olarak adlandırılabilir. Her bir faaliyetin yaratacağı çevre sorunu madenin türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bir metalik madende yaşanabilecek asit-kaya drenajına karşı alınacak önlemlerle, bir kalsit ocağında üretimden kaynaklanacak toza karşı alınacak önlemler farklıdır. Bu yüzden madencilik çevre bilimi ile etkileşimi başlı başına uzmanlık gerektiren bir uğraştır (Çoruh ve Tibet, 2009)

Madencilik süreçleri genel olarak dört safhada toplanmaktadır. Bunlar prospeksiyon, arama, geliştirme ve üretim şeklindedir. Mineral yataklarının araştırılması işlemi olan prospeksiyonu izleyen arama safhasında cevher yatağının yayılımı ve kalitesi hakkında farklı yöntemler uygulanarak detaylı bilgiler elde edilmektedir. Elde edilen bilgiler ışığında üretime başlanabilmesi amacıyla cevher kütlesine erişim çalışmaları, cevher hazırlama dahil yerüstü tesislerinin inşası, işgücünün oluşturulması ve eğitimi ya da cevherin satılacağı piyasaların araştırılması yapılmaktadır. Üretim safhasında ise, mineralin yer kabuğundan alınarak işlenmesi söz konusudur. Seçilen işletme yöntemine göre çevreye verilen tahribatın da boyutu farklı olacaktır.

Madencilik faaliyetlerinin ekolojik çevreye olan etkisi, açık işletme veya yeraltı maden işletme tekniklerinden herhangi birisinin uygulanması sonucu mutlaka kendini göstermektedir. Çünkü jeolojik yapı, bölgesel iklim, bitki örtüsü, su rejimi ve toprak maden işletmelerinin olduğu yerde zamanla değişime uğramaktadır. Bu araştırmada maden sahalarında karşılaşılan çevre bozulmalarının önlenmesi ve rehabilite edilmesi sırasında izlenecek bir yol haritası oluşturulmaya çalışılmıştır.

2 MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN YARATTIĞI ÇEVRESEL SORUNLAR

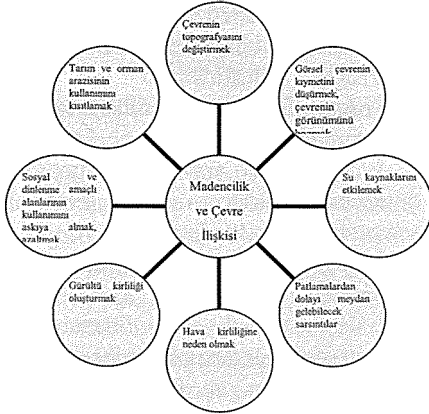
Madencilik faaliyetlerinin çevre ilişkisi kaçınılmazdır. Çevresel etkileri en fazla olan faaliyetler olarak görülen madencilik doğrudan bozulma ve dolaylı bozulma olarak ifade edilen iki farklı çevresel bozulmaya neden olmaktadır.

Doğrudan bozulma; maden ocakları çalışma sahalarındaki örtü ve atık yığınları ile madencilik binalarının inşa edildiği diğer alanlardaki toprak ve bitki örtüsünün yok edilmesi sonucu meydana gelmektedir.

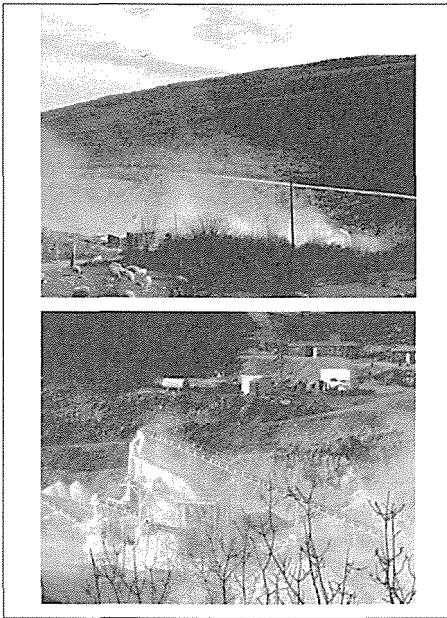
Dolaylı bozulma eski maden hafriyat yerleri, örtü ve atık yığınları, maden binaları ile mineral zenginleştirme tesislerinin bulunduğu yerlerde toprak yapısı, su ilişkileri, kimyasal özellikler, toprak ve bitki örtüsü, yerel iklim, insan ve hayvan sağlığının değişime uğraması gibi olaylar görülebilmektedir (Akat, 1992; Ceylan ve Özhkaraman, 2000; Dikmen v.d., 2007). Genel olarak madencilik faaliyetlerinin eğer kontrol edilmezse çevreye olabilecek etkileri Şekil 1. de verilmiştir.

Tüm bu etkiler, madencilik faaliyetlerinin çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak veya önlemek için neler yapılması gerektiğini gündeme getirmiştir. Ancak maden yatakları sabit yerdedir, bu nedenle bölge seçimi ve önceden planlama gibi alternatifler geliştirilemez (Elevli, 1998). Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmektedir. Söz konusu hareket sırasında da bir kısım iç öğütme süregelir. Bu nedenler ile belirli bir miktar toz emisyonu kaçınılmazdır. Ne var ki büyük açık ocak maden işletmelerinde yapılan gözlemlerde, patlatma ile verilen toz emisyonu, diğer toz kaynaklarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar az miktarlarda ve kısa süreli olmaktadır. Ancak galeri patlatmalarında büyük kütlelerin inceden iri boyuta ufalanması bir anda büyük toz bulutunu oluşmasına neden olmakta, bu

durum ise özellikle taş ocağına yakın yerleşim birimi ve yeşil alanların toz kütlesinden birinci derecede etkilenmesine neden olmaktadır. Şekil 2’de taşocaklarından kaynaklanan tozların neden olduğu kirlilik görülmektedir.



Şekil 1. Madencilik Sektörü ve Çevre İlişkisi



Şekil 2. Taşocaklarından kaynaklanan kirliliğin çevresel etkileri

3 MADENCİLİKTE REHABİLİTASYON ÇALIŞMALARI VE ÇEVRESEL PLANLAMA

Madencilik faaliyeti sırasında değişime uğrayan arazinin, madencilik faaliyetinin tamamlanmasından sonra ve hatta faaliyet devam ederken tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için iyi bir işletme tasarımı ve uygulaması gerekmektedir. Bu hem arazinin etkileşimini en aza indirger hem de arazinin sonraki kullanımı için hazırlanmasını kolaylaştırır.

Madencilik yapılan bir arazinin iyileştirilmesi, iki aşamalı olarak yapılır. Bunlardan birincisi yeniden düzenleme, ikincisi ise bitki örtüsü ile kaplamaktır (Madencilik Sektörü Toplantı Raporu, 2000).

İyileştirmedeki başlıca amaç, madencilığe bağlı olarak bozulan ve etkilenen alanlara ekolojik ve ekonomik değerlerini mümkün olduğu ölçüde geri kazandırmak olmalıdır. Yeniden kazanma arazinin güzel bir peyzaj görünümüne sahip olması kadar, bu alanlardan ekonomik olarak yararlanmayı da hedefler. Bu maksatla sığ hafriyat yerleri suyla doldurulup balık yetiştirmeye uygun hale getirilebilir. Derin ocak alanları ise, su tutma yerleri olarak kullanılacağı gibi eğlence, dinlenme yerleri olarak da düzenlenebilir. Çok derin hafriyat yerleri dik eğimleri nedeni ile yalnızca su tutma yapıları olarak kullanılabilir. Taş yığınları, pasa barajları aynı zamanda kuru hafriyat yerleri ve çökmüş ocaklar, tarım ve ormancılık amaçları için iyileştirilebilir. Madencilik yapılmış bazı alanlar konut yerleri, spor alanları, kentsel yeşil alanlar ve benzeri amaçlar için geri kazanılabilir (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Madencilik faaliyetlerinin yol açtığı olumsuz sonuçları gidermek, bozulan araziler ile ekolojik ve ekonomik iyileştirmeler için geri kazanma çalışmaları yapılmaktadır. Geri kazanma çalışmalarıyla

aşağıda belirtilen konularda sahaların yeniden kazandırılması söz konusu olabilir.

- a) Ziraat (tarım, bahçe, çayır, mera v.s.)
- b) Orman (ticari ve ticari olmayan)
- c) Rekreasyon (eğlence ve dinlenme yerleri, parklar, halka açık alanlar),
- d) Su kullanımı (balıkçılık, toplumsal ihtiyaçlar için),
- e) İnşaat (hafif endüstriyel binalar, konut ve hizmet binaları),
- f) Yaban hayatı (doğal koruma alanları olarak ayrılabilir) gibi faaliyetler için sahalar

Çevreyi koruma, kirliliği önleme ve ekolojik değerleri kazanmada en etkili ve maliyeti en ucuz olan yol, arazi ve çevre bozulmalarını önlemeye işletme safhasında başlamak ve üretim süreci boyunca mümkün olduğunca çevreci mantıkla yönetim anlayışı gerçekleştirmektir. Bu anlayış beraberinde bazı geri kazanımlarla ekonomiklik sağlayacağı için mühendisliğin de gereğidir. İyileştirmede temel amaç, madencilik faaliyetlerine bağlı olarak bozulan ve etkilenen alanlara ekolojik ve ekonomik değerleri geri kazandırmaktır. Yeniden doğaya kazandırma süreci arazinin güzel bir peyzaj görünümüne sahip olması kadar bu alanlardan ekonomik olarak yararlanmayı da hedeflemektedir. İyileştirme planlamasında bazı kriterler göz önünde bulundurularak incelemelidir:

- Alternatif iyileştirme tekniklerinin tanımı
- Korunması gereken topraklar hakkında niteliksel ve niceliksel çalışmalar ve bu tabakaların çıkarılma tekniklerinin irdelenmesi, malzemenin taşınma, nihai ve geçici yığınlara yerleştirilmesi
- Yeraltından ve cevher hazırlama tesislerinden çıkan atık suyun kullanılabilirliğinin araştırılması

- Verimli toprak tabakasının iyileştirilmesi ve kaybının an aza indirilecek biçimde depolanması için gerekenlerin tespiti

-Pas yığınları ve dolaylı bozunma zonları arasında su ilişkilerinin düzenlenmesi ve yöntemleri

-Dekapaj alanlarının su ile doldurulması durumunda suyun özelliklerinin belirlenmesi ve kirlenmesini önleme yöntemleri

-Yolların iyileştirilmesi

-İyileştirilmiş arazinin kullanımının programlanması

-İyileştirilmiş arazinin tarıma açılması durumunda türlerin seçimi yöntemleri ve sonuçlarının araştırılması

-İyileştirme maliyetinin işletme maliyetine etkileri

-İyileştirme maliyetinin finansmanı

-İyileştirilmiş arazinin gelecekte kullanımı için, ürün satış ve dağıtım yöntemlerinin araştırılması

-İyileştirilmiş arazinin kullanıcıları için öneriler.

4 MADENCİLİKTE YASAL DÜZENLEMELER

Madencilik faaliyetleri Anadolu topraklarında ilk olarak 1858 yılında çıkarılan "Arazi Kanunu" ile yasal bir çerçeveye oturtulmuştur. 1906 yılına kadar değişik nizamnameler ile yönlendirilmiş, sonrasında 1954 yılına kadar "Maden Nizamnamesi" adı altında bir düzenleme yürürlükte kalmıştır. Madencilikte yeni bir devir açan kanun, 1954 yılında kabul edilmiş fakat 1985 yılında ise yürürlükten kaldırılmıştır. Aynı yıl "3213 Sayılı Maden Kanunu" hazırlanmıştır ve hala Türkiye'deki madencilik faaliyetleri bu kanun hükümlerine göre yürütülmektedir. 26.05.2004 tarihli 5177 sayılı kanun ile biraz daha iyileştirme yapılmıştır. Yapılan değişikliklerle;

Daha önce maden kanunu kapsamında yer almayan taş, kum-çakıl ocakları maden

kanunu kapsamına alınmıştır. Taş ocakları Nizamnamesi yürürlükten kaldırılmıştır.

Madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak alınacak izinlere ilişkin düzenlemeler getirilmiştir (Dikmen v.d., 2007).

23 Ocak 2010 Tarihli Resmi Gazetede Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından "MADENCİLİK FAALİYETLERİ İLE BOZULAN ARAZİLERİN DOĞAYA YENİDEN KAZANDIRILMASI YÖNETMELİĞİ" yayınlanarak çevre ile ilgili düzenlemeler yasal bir çerçeveye oturtulmuştur. Yönetmelik dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde amaç, kapsam, dayanaklar ve tanım verilmektedir (Resmi Gazete, 2010).

Bu Yönetmeliğin amacı; madencilik faaliyetleri, malzeme ve toprak temini için arazide yapılan kazılar, dökümler ve doğaya bırakılan atıklarla bozulan doğal yapının yeniden kazanılmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

Bu Yönetmeliğin kapsamı, orman sayılan alanlar, tarım veya mera alanları, 17/7/2008 tarihli ve 26939 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamı dışında olan madencilik faaliyetleri, su kaynaklarının korunması ile ilgili mevzuata uyulması şartı ile baraj ve gölet projelerinde rezervuar altında kalacak alanlar dışındaki madencilik faaliyetleri, malzeme ve toprak temini için arazide yapılan kazılar, dökümler ve doğaya bırakılan atıklarla bozulan doğal yapının yeniden kazanılmasına ilişkin usul ve esasları içermektedir.

Yönetmelikte, arazinin yeniden düzenlenmesi, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED): doğaya yeniden kazandırma ve planlama, döküm, duraylılık, erozyon, faaliyet alanı, havza madenciliği, kapatma, madencilik faaliyetleri gibi ifadelerin tanımlamaları yapılmıştır.

İkinci bölümde; Doğaya yeniden kazandırma yükümlülüğü, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamında

olmayıp arama ruhsatı olan sahalarda yapılacak arama faaliyetleri, Doğaya yeniden kazandırma çalışmalarına ilişkin esaslar, Doğaya yeniden kazandırma çalışmasının sonuçlandırılması gibi konular yasal çerçeve içinde açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde "İzleme, Denetim, Yaptırım ve Raporlama" dördüncü bölümde ise "Ruhsat Süreci ve Haber Verme Yükümlülüğü" noktaları yasal olarak ifade edilmiştir. Kanunun beşinci bölümünde doğaya yeniden kazandırma planı çerçevesinde bazı açıklıklar getirilerek madencilik faaliyetleri ile ilgili çevre tahribatının azaltılmasına çalışılmıştır.

5 SONUÇ

Madencilik faaliyetleri esnasında ve sonrasında sebep olunan çevresel olumsuzlukların giderilmesi veya yeniden kazanımına yönelik iyileştirme ve kullanım için planlar yapılmalı ve ocağın işletmeye açılmasıyla beraber bu plan programlı olarak uygulanmalıdır. Unutulmaması gereken gerçek şudur ki; çevreyi koruma, kirliliği önleme ve ekolojik değerleri geri kazanmada en etkili ve maliyeti en ucuz olan yol, arazi ve çevre bozulmalarını önlemeye erken başlamaktır.

Sonuç olarak, endüstride kullanılan hammaddelerin büyük bir kısmı yeraltı kaynaklarından sağlanmaktadır ve giderek artan talepler, madencilik teknolojisindeki ilerlemeler madencilik alanlarının genişlemesini ve düşük tenörlü maden yataklarının da işletilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum ise arazi ve çevre bozulmalarını daha da yaygınlaştırmaktadır. Ayrıca teknolojik gelişmelerin arazi üzerindeki olumsuz etkileri çok daha belirgin olan açık maden işletmeciliğinde daha fazladır. Madenciliğin çevre üzerindeki doğrudan etkisi, toprak ve bitki örtüsünü yok etmesidir. Madencilik yapılan alanlarda çoğu zaman peyzajda önemli olumsuzluklar meydana geldiği görülmektedir. Aynı

zamanda madencilikğin bitişik alanlar üzerinde dolaylı etkileri de vardır. Bunlar cevher, bitki örtüsü ve atık yığınları ile madencilik binaları ve tesislerinin bulunduğu arazilerde meydana gelmektedir. İyileştirme ve yeniden kazanma çalışmaları üretim süreci çerçevesinde planlanmalıdır. Bu şekilde geri kazanma çalışmaları daha ekonomik olabilmekte ve minimum zaman kaybı ile iyileştirme gerçekleştirilebilmektedir. İyileştirme çalışmalarına başlamadan önce jeolojik, hidrojeolojik, meteorolojik, klimatolojik, arazi kullanım gibi ön araştırmalara gerek vardır. Hiçbir şey insan ve çevre korumasından daha önemli değildir. Çevremizi ve insanımızı koruyabildiğimiz sürece madenler ayakta kalır. Madenler işletildiği ve doğayı korudukları sürece insanlığın ve endüstrileşmenin ilerlemesi paralel olarak artma şansına sahiptir.

KAYNAKLAR

- Akat M., İstanbul Çevresinde Açık Maden İşletmelerinin Getirdiği Sorunlar ve Çözüm Yolları, 1992, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 70 s.
- Ceylan, H., Özkahraman, H.T. Madencilik Faaliyetlerinde Çevresel Planlama ve Uygulanabilecek Doğaya Yeniden Kazandırma Alternatifleri, Türkiye 12. Kömür Kongresi, 23-26 Mayıs 2000, Kdz- Ereğli, Zonguldak.
- ÇED ve Planlama genel Müdürlüğü, Çevreyi Öncelikle Etkileyen Bazı Sanyiler ve Temel sektör Faaliyetleri, Çevre Bakanlığı, Ankara, 1996.
- Dikmen Ç., Güner M.O., Değerli E., "II Madencilik ve Çevre Sempozyumu" TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 12-13 Nisan 2007, Ankara.
- Eveli B., Madencilik, Çevre ve ÇED Raporu, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No: 78, Sivas, 1998.
- Eskikaya Ş., Karpuz C., Hindistan M.A., Tamzok N., Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2005.

Madencilik Sektörü Toplantı Raporu, 2000, Madencilik Sektörünün Ekonomideki Yeri, Ankara.

Resmi Gazete, 23 Ocak 2010, Sayı: 27471, Ankara.

Türkiye Çevre Atlası, 2004, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Envanteri Daire Başkanlığı, Ankara.

Tibet, Y., Çoruh, S., "Madencilik Faaliyetlerinin Neden Olduğu Çevresel Sorunlar", *Türkiye Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu IV*, Gebze, Kocaeli, 2009.

Maden Mühendisleri Odası
Kütüphanesi