

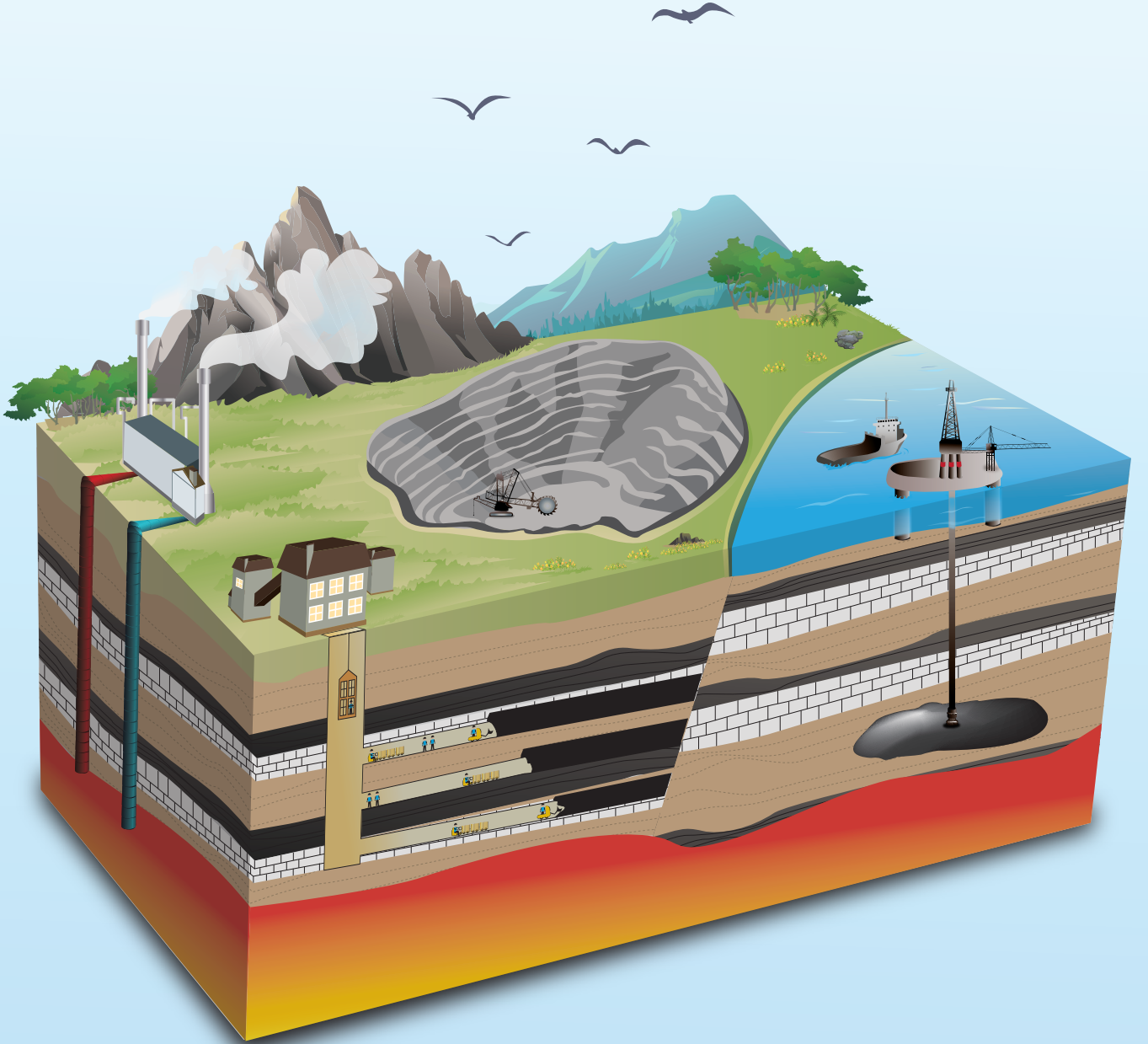
MT Bilimsel

www.mtbilimsel.com

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Yıl:2 Sayı:4 Temmuz 2013
Year:2 Number:4 July 2013

ISSN: 2146-9431



MT Bilimsel

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Derginin Adı
MT Bilimsel

İmtiyaz Sahibi
MAYEB Madencilik ve Yer
Bilimleri Basım Yayın Dağıtım
Ltd. Şti.

Genel Koordinatör
Onur Aydın
onur@mtbilimsel.com

Yazı İşleri Müdürü
Dış İlişkiler
O. Çağım Tuğ
caгим@madencilik-turkiye.com

İdari İşler
Volkan Okyay
volkan@madencilik-turkiye.com

Grafik Tasarım - Uygulama
M. Anıl Tuğ
anil@madencilik-turkiye.com
Arzuhan Adıgüzel
arzu@ideakup.com

İnternet Teknolojileri
Bilgin B. Yılmaz
bilgin@madencilik-turkiye.com

Hukuk Danışmanı
Av. Evrim İnal
evrim@madencilik-turkiye.com

Yayın İdare Merkezi
1042. Cd. (Eski 4. Cd.) 1335. Sk.
(Eski 19. Sk.) Vadi Köşk Apt.
No: 6/8 A. Öveçler ANK.
Tel : +90 (312) 482 18 60
Fax : +90 (312) 482 18 61
info@mtbilimsel.com

www.mtbilimsel.com

Yerel Süreli Yayıncıdır

ISSN 2146-9431

Ulusal Hakemli Dergidir



Yayın Kurulu

Baş Editör:

C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
o.aksoy@mtbilimsel.com

Yardımcı Editörler:

Mahmut Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üni., Maden Müh. Bölümü

Vehbi Özacar
Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü

Madencilik Türkiye Dergisi Temsilcisi

Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)
onur@mtbilimsel.com

Editörler (Alfabetik):

- Ali Sarıışık (Afyon Kocatepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Bahtiyar Ünver (Hacettepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Christopher Mark (Mine Safety & Health Admin., Coal Mine S. & H.)
- Çağatay Pamukçu (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Emin Candansayar (Ankara Üni., Jeofizik Müh. Bölümü)
- Erol Kaya (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- G. Gülsev Uyar Aldaş (Ankara Üni., Jeofizik Müh. Bölümü)
- Güner Gürtunca (National Institute for Occupational Safety & Health)
- Hakan Başarır (Malatya İnönü Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Işık Yılmaz (Cumhuriyet Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- İhsan Özkan (Selçuk Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Kadri Dağdelen (Colorado School Of Mines, Dept. of Mining Eng.)
- Kerim Küçük (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Melih Geniş (Zonguldak Karaelmas Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Melih İphar (Eskişehir Osmangazi Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Mustafa Ayhan (Dicle Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuh Bilgin (İstanbul Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuray Demirel (Orta Doğu Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Pinnaduva Kulatilake (The Univ. of Arizona, Dept. of Min. & Geo. Eng.)
- Raşit Altındağ (Süleyman Demirel Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Reşat Ulusay (Hacettepe Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- Sair Kahraman (Niğde Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Samuel Frimpong (Missouri Univ. of Science & Tech., Dept. of Min. Eng.)
- Şevket Durucan (Imperial College, Mining And Environmental Eng.)
- Tim Joseph (Univ. of Alberta, School of Mining & Petroleum Eng.)
- Turgay Ertekin (The Pennsylvania State Univ., Petroleum & Nat. Gas Eng.)
- Turgay Onargan (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)

İçindekiler

Tuncay Uslu, Ercan Şahinoğlu, Oktay Celep

İnce Boyutlu Kömürlerin Karıştırılmalı Değirmende Yapılan Seçimli Aşındırma İle Kuru Olarak Temizlenebilirliğinin Belirlenmesi

Determination of Dry Cleanability of Fine Coals by Selective Attrition in a Stirred Mill.....1

Kadir Karaman, Ayhan Kesimal

Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Ultrasonik Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Evaluation of the Relationship between Uniaxial Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Rocks.....9

İsmail Ergüder, Ezel Babayiğit

Kömür Üretimi ve Arkeoloji; Seyitömer Höyüğü Jeofizik Çalışması

Coal Production and Archeology; Seyitömer Cairn Geophysical Survey.....19

Öykü Bilgin, Ercüment Koç

Çimento Üretim Teknolojisinde Kullanılan Ana Ekipmanlar

Main Equipment Used in Cement Production Technology.....31

MT Bilimsel

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

İnce Boyutlu Kömürlerin Karıştırmalı Değirmende Yapılan Seçimli Aşındırma İle Kuru Olarak Temizlenebilirliğinin Belirlenmesi

Determination of Dry Cleanability of Fine Coals by Selective Attrition in a Stirred Mill

Tuncay Uslu^{1*}, Ercan Şahinoğlu¹, Oktay Celep¹

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

* Sorumlu Yazar: tuncay43@ktu.edu.tr

Özet

Kömür madenciliğinde üretim, nakliye ve temizleme işlemleri sonunda büyük miktarlarda ince boyutlu kömürler oluşmaktadır. Eğer kaliteleri düşükse bu kömürlerin temizlenmesi ve enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada, oksitli-kırılgan yapıya sahip ince boyutlu kömürün, laboratuvar ölçekli dikey pinli karıştırmalı değirmende öğütücü ortam kullanılmadan yapılan seçimli aşındırma ve sonrasındaki eleme işlemleriyle kuru olarak temizlenebilirliği araştırılmıştır. Değirmenin dönme hızı, aşındırma süresi ve ayırma eleği boyutu değişken olarak incelenmiştir. Bu yöntemle, % 1.70 - 22.45 oranlarında külün, % 24.92 - 98.99 yanabilir madde verimleriyle kömürden uzaklaştırılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnce Boyutlu Kömür, Kömür Temizleme, Seçimli Aşındırma, Karıştırmalı Değirmen

Abstract

In coal mining, large amounts of fine coals are produced during excavation, transportation and processing. If their qualities are low, these fine coals should be cleaned and evaluated as energy source. In the present study, cleaning possibility of the fine coal with oxidized - brittle structure by selective attrition in a laboratory scale pin-type vertical stirred mill without grinding media and the subsequent screening was investigated. The stirring speed, attrition time and screen size were examined as variables. It was determined that 1.70 - 22.45% of ash could be rejected from the coal with combustible matter recoveries of 24.92 - 98.99%.

Keywords: Fine Coal, Coal Cleaning, Selective Attrition, Stirred Mill

1. Giriş

Günümüzde yaş yöntemler, kömürün temizlenmesinde, diğ er bir ifadeyle kül ve/veya kükürt içeriğ inin azaltılmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Dwari ve Rao, 2007). Buna karş ın, kömürün kuru olarak temizlenmesinin, su kirliliğ inin yaratılmaması, susuzlandırma iş leminin bertaraf edilmesi, suya ihtiyaç duyulmaması, enerji gereksiniminin daha az olması, temizleme sonrası iş lemlerin kolaylaş mış olması, kendiliğ inden parçalanma, tozlanma ve donma olumsuzlukların azaltılması gibi avantajları mevcuttur (Haibin ve ark., 2011; Dwari ve Rao, 2008; Arslan, 2006; Chen ve Wei, 2003). Bu avantajlar, kuru temizlemenin yaş yöntemlere göre daha az yatırım ve iş letme giderlerinin olmasını sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı son yıllarda kuru kömür temizleme yöntemleri birçok araştırmacı tarafından yoğun olarak çalışılmaktadır. Bunlardan, havalı ağır ortam, havalı masa ve havalı jig ticari boyutta uygulama alanı bulmuştur (Chen ve Wai, 2003).

Kömürün iç erdiğ i kül yapıcı mineral maddelere göre daha gevrek ve sertliğ inin daha az olması özelliğ inden faydalanılarak uygulanan tamburlu kırma yöntemi uzun yıllardır bilinmektedir. Bu yöntem, nihai temizleme iş leminden ziyade bir ön temizleme iş lemi olup iri boyutlu gangı kömürden uzaklaştırmaktadır. Bu yöntemde tamburlu eleğ in iç ine giren iri boyutlu tüvenan kömür tamburun dönmesiyle üst seviyelere çıkmakta ve sonra alt kısma sert bir şekilde düşmektedir. Yan kayaca göre daha kırılğan olan kömür ufalanarak deliklerden geçmekte ve iri boyutta kalan yan kayaç kırıcı ç ıkışından atılmaktadır (Dwari ve Rao, 2007; Arslan, 2006). Aynı esasa dayalı farklı sistemler hala araştırılmaktadır. Yeraltında kömürün dişli merdaneli kırıcıda kırıldıktan sonra hızla dönen bir bant konveyör üzerinden karş ıda duran kırma plakasına çarpıtılarak plaka önündeki elek vasıtasıyla kömürle gangının ayrılması ile yerüstünde yapılacak nihai temizleme öncesi ön temizleme sağ lanmış tır (Jianping ve ark., 2010). Bir başka çalışmada çekiçli kırıcıda kırılan kömürün darbeli öğütme ve sonrasındaki eleme iş lemiyle nihai temizleme yapılmış tır (Csoke ve ark., 2003). Yukarıda bahsedilen çalışmalar iri boyutlu kömürler için yapılmış olup, bu çalışma kapsamındaki ince boyutlu kömürler için seçimli aşındırmaya dayalı temizleme çalışmasına literatürde rastlanmamış tır.

Karış tırmalı değ irmenler son yıllarda birçok cevherin olduğ u gibi kömürün de ince öğütülmesinde kullanılmaya baş lanmış olup bu konuda birçok çalışma mevcuttur (Celep ve ark., 2008; Samanlı ve ark., 2010; Hacıfazlıoğ lu ve ark., 2007). Fakat bu çalışmada, karış tırmalı değ irmen, öğütme amacından ziyade, iç inde öğütücü ortam olmadan, sadece iç inde bulunan pinli shaftın karış tırma etkisine bağ lı olarak çalışan bir aşındırıcı (attritör) olarak kullanılmış tır. Karış tırma iş lemiyle, kömür tanelerinin birbirlerine ve pinlere sürtünerek seçimli ufalanması ve ardından eleme iş lemiyle kuru olarak temizlenmesi hedeflenmiş tir. Aynı yöntem ve ekipmana dayalı başka bir ince kömür temizleme çalışması bulunmamaktadır. Kullanılan kömür örneğ i de ince boyutlu kırılğan, çatlaklı ve oksitli yapısıyla seçimli aşındırma ile temizlenebilirlik açısından çok uygundur.

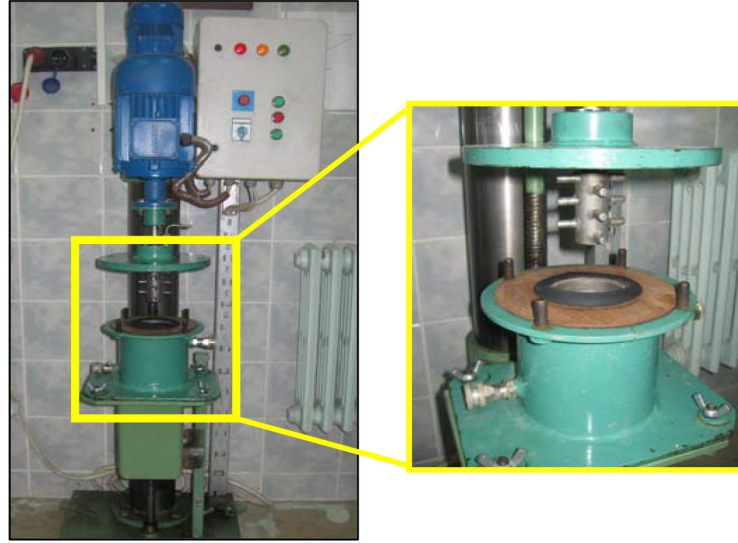
2. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde kullanılan kömür örneğ i Müzret havzasından (Yusufeli-Artvin) temin edilmiş tir. Kömür, yüksek sülfat kükürdü oranı, kırılğan ve çatlaklı yapısı, düşük koklaş ma özelliğ i, zayıf yüzdürülebilirlik gibi özellikleriyle tipik bir oksitli kömür özelliğ i göstermektedir. Kömürün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmektedir. Yapılan petrografik ve mineralojik incelemeler, kömürdeki miktar olarak en önemli mineralin pirit olduğ unu göstermiş tir. Gözlenen diğ er mineraller ise kil, kalsit, kuvars, jips ve siderit'tir.

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem, (%)	1.85	-
Kül, (%)	18.37	18.71
Uçucu Madde, (%)	23.55	24.00
Sabit Karbon, (%)	56.23	57.29
Sülfat Kükürt, (%)	1.30	1.32
Piritik Kükürt, (%)	2.52	2.57
Organik Kükürt, (%)	2.68	2.73
Toplam Kükürt, (%)	6.50	6.62
Kalorifik Değer, (kcal/kg)	6135	6250

Çizelge 1. Kömürün kimyasal analiz sonuçları

Büyük çoğunluğu zaten <1 cm olan kömür örneği %100'ü <1cm olacak şekilde kontrollü olarak kırılmış, örnek bölücü ile azaltılmış ve deneylerde kullanılmak üzere paketlenmiştir. Kömüre uygulanan aşındırma işlemi, içinde öğütücü ortam bulunmayan dikey pinli bir karıştırmalı değirmende yapılmıştır (Şekil 1). Diğer bir ifadeyle karıştırmalı değirmen, değirmenden ziyade bir aşındırıcı (attritör) olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. Aşındırıcı olarak kullanılan dikey pinli karıştırmalı değirmen

Aşındırma deneyleri 500-1000-1500 dev/dk. karıştırma hızlarında ve 5-10-15 dk. öğütme sürelerinde kuru olarak yapılmıştır. Aşındırılmış kömür, yine kuru olarak elek analizine tabi tutulmuştur. Her bir fraksiyonun kül analizleri yapılmıştır. Kümülatif elek üstü atıldığında veya kümülatif elek altı alındığında elde edilen yanabilir madde verimi (YMV), kül uzaklaştırma oranları (KUO) ve kül ayırma etkinlikleri (KAE) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YMV (\%) = (A_p/A_F) \times 100 \quad (1)$$

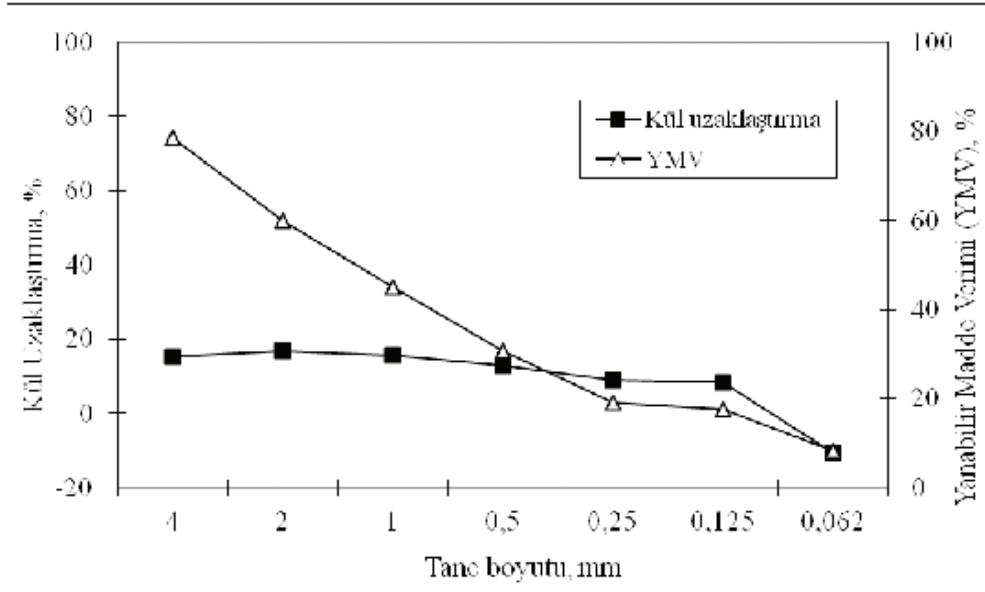
$$KUO (\%) = [(K_F - K_P)/K_F] \times 100 \quad (2)$$

$$KAE (\%) = YMV + KUO - 100. \quad (3)$$

Burada; A_p , A_F , kuru külsüz bazda sırasıyla kümülatif elek altı ürününün ağırlığı (gr), elek beslemesinin ağırlığı (gr), K_F ve K_P kuru bazda elek beslemesinin külü (%) ve kümülatif elek altı ürünün külü (%)’dür.

3. Sonuçlar ve Tartışma

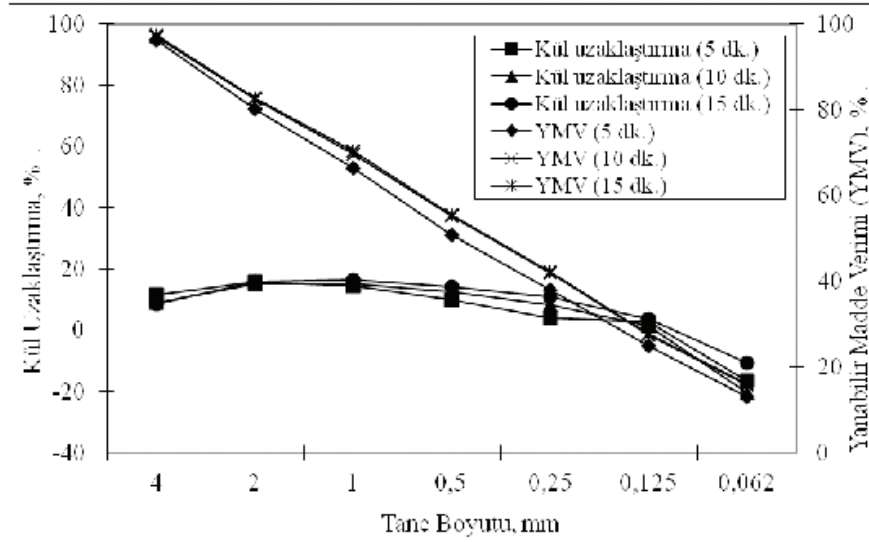
Şekil 2’den görüleceği üzere, kömür örneğinin elek analizinde, aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme işlemi ile bile azda olsa gang ile kömür ayrışmasının sağlanabileceği veya külün uzaklaştırılabileceği görülmektedir. +2mm ve özellikle +4mm’lik boyutlarda kömürün kül içeriğinin fazla olması, kül yapıcı mineral maddenin üst boyutlarda biraz daha fazla toplanması bu sonucu doğurmuştur. Bu durum, kömürün ilk kırma işlemi sonucu ortaya çıkan kırılgenlik farkına dayalı ayrışmasından kaynaklandığı kadar, çok kırılgen, çatlaklı ve oksitli yapısı sonucu gerçekleşen kendiliğinden ufalanmanın da bir sonucudur. Kül oranının <0,062mm’de bir miktar artması, killerin ince boyutları sebebiyle ve bu boyutun altında biraz daha fazla yoğunlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



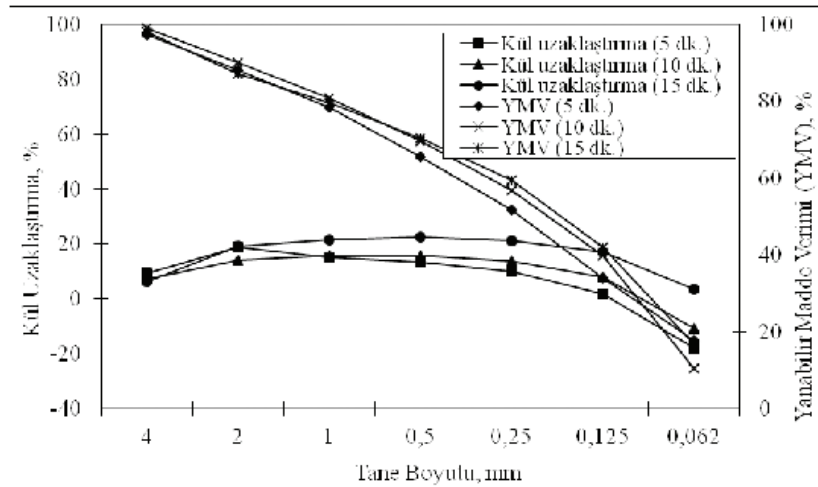
Şekil 2. Aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri

Aşındırma işlemi ile +4mm’lik fraksiyonların kül içeriği yaklaşık %51-63’lere yükseltilmiştir. Bu durum kül yapıcı mineral maddelerin aşındırma işleminden daha az etkilendiğini göstermektedir. Aşındırma işlemi sonucu her bir fraksiyonun elek altı miktarları da doğal olarak artmış, bu artış genel olarak gerek artan karıştırma hızı gerekse karıştırma süresiyle doğru orantılı olmuştur. Şekil 3-5’den görüldüğü üzere aşındırma deneyleri sonucu ürünün +4mm’lik kısmı atıldığında, külün %4.9-11.42 arasında uzaklaştırıldığı, elde edilen yanabilir madde verimlerinin %96.99-98.99 arasında değiştiği görülmektedir. Aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme sonucu +4mm’lik kısmın atılmasıyla sağlanan kül uzaklaştırma oranı %15.29, yanabilir madde verimi ise %78.5’dir. Yani, aşındırma ürününün +4mm’lik kısmı atılırsa kül uzaklaştırma oranında bir artış sağlanamamakta, fakat daha fazla yanabilir madde verimi elde edilmektedir. Bu durum, aşındırma sonucunda +4mm’lik kısmın kül oranının yüksek olmasına rağmen miktarının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Aşındırma ürününün +2mm’lik kısımları atılırsa %14-19 arasında kül %82-93 arasında değişen yanabilir madde verimleri elde edilerek uzaklaştırılabilmektedir. Maksimum yanabilir madde veriminin (%93.31) gerçekleştiği durumda kül uzak-

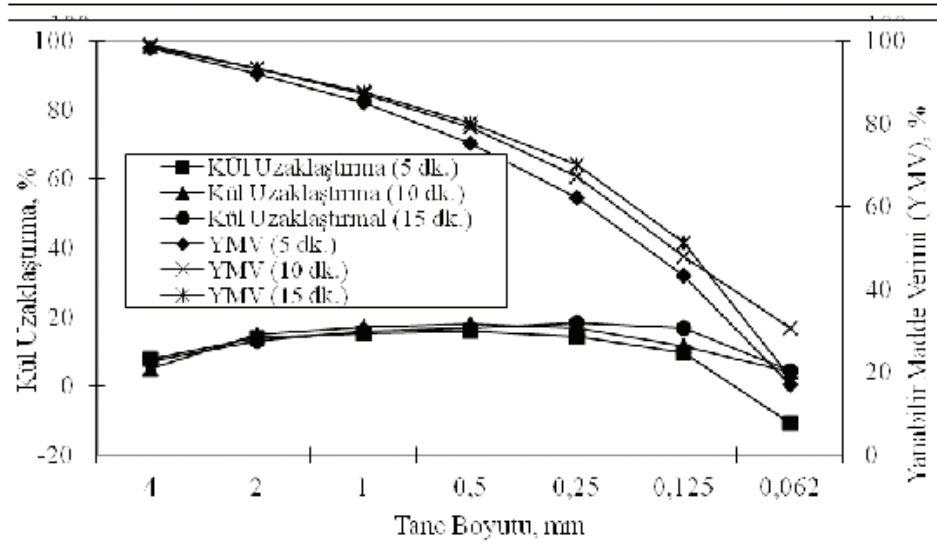
laştırma oranı %14.99 olurken maksimum kül uzaklaştırma (%19.23), %87.19 yanabilir madde verimiyle elde edilmiştir. Aşındırma öncesi yapılan eleme işlemi ile +2mm'lik kısım atıldığında elde edilen kül uzaklaştırma oranının yaklaşık %16.93, yanabilir madde veriminin ise % 59.83 olduğu düşünülürse, aşındırma işlemiyle, aşındırma öncesi sadece eleme ile uzaklaştırılan kül miktarının bir miktar daha fazla, yanabilir madde veriminin ise oldukça fazla artırılması sağlanmıştır. +1mm'lik kısmın atılmasıyla %14.58-21.63 oranlarında kül azaltımı, %66.30-87.52 yanabilir madde verimleriyle sağlanmıştır. En fazla kül uzaklaştırma (%21.63), %79.70 yanabilir madde verimiyle sağlanırken, en fazla yanabilir madde veriminde (%87.52) sağlanan kül uzaklaştırma %15.73 olmuştur. +0.5mm'lik kısım atıldığında ise %12.60-22.45'lik kül-süzleştirme %50.85-80.19'luk yanabilir madde verimleriyle gerçekleştirilmiştir. En yüksek kül uzaklaştırma (%22.45) ve yanabilir madde verimlerine (%80.19) karşılık gelen yanabilir madde verimleri ve kül uzaklaştırmalar sırasıyla %70.41 ve %16.9'dur. <0,5mm'lik elekler için elek üstü kısımlar atıldığında elde edilen yanabilir madde verimlerinin çoğu düşük (%60'ın altında) gerçekleştiğinden bu boyutlardaki kül uzaklaştırmalar çok fazla anlam ifade etmemektedir.



Şekil 3. Aşındırma (500 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri



Şekil 4. Aşındırma (1000 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri



Şekil 5. Aşındırma (1500 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri

Genel olarak, sağlanan yanabilir madde verimlerinin aşındırma süresinin ve karıştırma hızının artmasıyla arttığı görüls e de 500 dev./dk.'lık karıştırma hızında 10 ve 15 dak.'lık sürelerdeki değerler birbirine çok yakındır. Kül uzaklaştırma oranlarının da genel olarak süreyle arttığı görüls e de farklı karıştırma hızları için bu artışın başladığı elek boyutları farklıdır. 500 dev./dk., 100 dev./dk.ve 1500 dev./dk. karıştırma hızları için bu boyutlar sırasıyla 1mm, 2mm ve 0,5mm'dir. Karıştırma hızları ile kül uzaklaştırma oranları arasındaki ilişki, farklı elek boyutları ve aşındırma sürelerine bağlı olarak değiştiği için net bir şekilde ortaya koyulamamıştır. Fakat en fazla kül uzaklaştırma oranlarının 1000 dev./dk.'lık karıştırma hızında ve 15dk.'da yapılan aşındırma işlemi ile sağlandığı açıkça görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Kömürden %1.70-22.45 oranlarında kül, %24.92-98.99 yanabilir madde verimleriyle uzaklaştırılmıştır. %22.45'lik en yüksek kül uzaklaştırma %70.41 yanabilir madde verimiyle sağlanırken (karıştırma hızı:1000 dev/dak; aşındırma süresi:15 dak.; ayırma elek boyutu:0.5 mm), %98.99'luk en yüksek yanabilir madde veriminde sağlanan kül uzaklaştırma %7.40 olmuştur (karıştırma hızı:1000 rpm; aşındırma süresi:10 dk.; ayırma elek boyutu:4 mm). Kül uzaklaştırma oranı ve yanabilir madde verimleri beraber dikkate alındığında, yani kül ayırma etkinliği dikkate alındığında ise en başarılı sonuç %93.31 yanabilir madde verimiyle külün %14.99'unun uzaklaştırıldığı deneyde (karıştırma hızı:1500 dev/dak; aşındırma süresi:10 dk.; ayırma elek boyutu:2 mm) elde edilmiştir. Yine aynı esasa göre %96.99, %98.99, %98.35 ve %87.19' luk yanabilir madde verimleriyle sırasıyla %8.87, %7.40, %7.31 ve %19.23 oranlarında külün uzaklaştırıldığı deneyler de başarılı sayılabilir.

Bu çalışma temizlenebilirliğin belirlenmesi amaçlı olup sonraki çalışmalarda aşındırma sonrası sınıflandırmanın elek haricinde, hava esaslı sınıflandırıcılar kullanılarak yapılması tavsiye edilebilir. Böyle bir sınıflandırmada, ince tane boyutlarında elek ile sınıflandırmanın dezavantajları aşılmış olacak ve sadece aşındırma sonucu oluşan, kömürün organik kısmıyla çeşitli mineral maddeler arasındaki kırılgenliğ e dayalı boyut farklılığı değil özgül ağırlık farkları da etken olduğundan çok daha başarılı bir kül uzaklaştırma sağlanabilecektir.

Kaynaklar

- Arslan, V., 2006. Kuru kömür hazırlama yöntemleri, Madencilik, 45 (3), 9-18.
- Celep, O., Alp. İ., Türk, T., 2008. İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 21 (2), 61-73.
- Chen, Q. and Wei, L., 2003. Coal dry beneficiation technology in China: The state-of-the-art China, Particuology, 1 (2), 52-56.
- Csoke, B., Bokanyi, L., Bohm, J. ve Petho, Sz., 2003. Selective grindability of lignites and their application for producing an advanced fuel, Applied Energy, 74, 359–368.
- Dwari, R.K. and Rao, K.H., 2007. Dry beneficiation of coal-a review, Mineral Processing and Extractive Metallurgical Review, 28, 177-234.
- Dwari, R.K. and Rao, K.H., 2008. Non-coking coal preparation by novel tribo-electrostatic method Fuel, 87, 3562–3571.
- Jianping, L.I., Changlong, D.U. and Jianwei, B.A.O. 2010. Direct-impact of sieving coal and gangue, Mining Science and Technology, 20, 0611–0614
- Hacıfazlıoğlu, H., Pilevneli, C.C. and Toroğlu, İ., 2007. Dikey pinli karıştırmalı değirmende Armutçuk kömürünün kuru öğütülmesi ve bilya boyutunun ürün inceliğine etkisi, Madencilik Dergisi, 46 (1), 33-41.
- Haibin, L., Zhenfu, L., Yuemin, Z., Wanchang, W., Cuiyu, Z. ve Ningning, D., 2011. Cleaning of South African coal using a compound dry cleaning apparatus, Mining Science and Technology (China), 21, 117-121
- Samanlı, S., Çuhadaroğlu, D., Uçbaş, Y. and Ipek, H. 2010. Investigation of breakage behavior of coal in a laboratory-scale stirred media mill, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 30, 20–31.

Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı ile Ultrasonik Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Evaluation of the Relationship between Uniaxial Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Rocks

Kadir Karaman^{*1}, Ayhan Kesimal¹

¹*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

^{*}*Sorumlu Yazar: kadirkaraman@ktu.edu.tr*

Özet

Bu çalışmada, 29'u magmatik, 8'i metamorfik ve 10'u tortul olmak üzere 47 farklı kayaç türü üzerinde tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve ultrasonik P dalga hızı (UPV) deneyleri yapılmıştır. Ultrasonik dalga hızı deneyinden köken bazında (magmatik, metamorfik ve tortul) kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahminine yönelik istatistiksel eşitlikler belirlenmiştir. UPV deneyi kullanılarak magmatik kayaçların UCS tahmini, metamorfik ve tortul kayaçlara göre daha az güvenilir olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tek eksenli basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı

Abstract

In the current study uniaxial compressive strength (UCS) and ultrasonic P-wave velocity experiments were conducted on forty seven rock types, 29 of which were igneous, 8 were metamorphic, and 10 were sedimentary. Statistical equations have been determined for estimating the uniaxial compressive strength of rocks using ultrasonic pulse velocity test based on the rock origins (igneous, metamorphic and sedimentary). The ability to estimate the UCS of igneous rocks using the UPV test was less reliable that those of metamorphic and sedimentary rocks.

Keywords: Ultrasonic pulse velocity, uniaxial compressive strength

1. Giriş

Kayaçların en önemli mekanik parametrelerinden biri olan tek eksenli basınç dayanımı (UCS) maden, jeoloji, inşaat vb. mühendisler tarafından yerüstü ve yeraltı yapılarının tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Karaman ve ark., 2011). UCS, hem Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği (ISRM, 2007), hem de Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM, 1984) tarafından önerilen yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Ancak, UCS deneyi için pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulması ve özellikle problemlili kaya kütlelerinden (bol çatlaklı, çok zayıf vb.) standartlara uygun ölçüde karot alınamaması gibi nedenlerle uygulamada güçlükler yaşanmaktadır (Ersoy ve Kanık 2012; Fener ve ark., 2005; Shalabi ve ark., 2007). Ultrasonik dalga hızı (UPV) deneyi hasarsız bir test yöntemi olup, hem laboratuvar hem de arazide kayaçların UCS değerlerini tahmin etmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Altındağ, 2012; Karaman ve ark., 2010; Tuğrul ve Zarif, 1999; Yağız, 2011).

UPV deneyi kayaçların UCS değerlerini tahmin etmenin dışında; kayaçların ayrışma derecelerinin belirlenmesi (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997), kaya kütlelerinin elastik özelliklerinin tahmin edilmesi (Gladwin, 1982; Onodera, 1963) ve kazı çalışmalarında uygulanan patlatmaların kayaçlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi (Young ve ark., 1985) gibi farklı uygulamalarda kullanılmıştır. Bazı yazarlar yapı taşlarındaki ayrışma derinliğinin tahmininde UPV'yi kullanmışlardır (Christaras ve ark., 1997; Christaras, 2003). Bazı yazarlar kayaçlardaki porozite ve su içeriğinin ultrasonik hız üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Wyllie ve ark. (1956) kumtaşlarının, Thill ve Bur (1969) granodiyoritlerin ve Ramana ve Venkatanarayana (1973) Kolar (Hindistan) şehrindeki kayaçların su içeriğinin P dalga hızı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca bazı yazarlar (Kahraman, 2007; Karaman ve ark., 2010; Vasconcelos ve ark., 2008) kuru ve doymuş ultrasonik dalga hızları arasındaki ilişki ve değişimlerinin etkisi üzerinde çalışmışlardır. Karaman ve ark., (2010) ayrıca numune uzunluğunun kuru ve doymuş UPV üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kahraman (2002) izotropik kayaçlar için laboratuvarında uygulaması daha kolay olan dolaylı UPV deneyleri yaparak doğrudan yapılan deney sonuçları ile karşılaştırmış ve yüksek ilişkiler bulmuştur.

Literatürde UPV deneyinden UCS tahminine yönelik çok sayıda çalışma olmasına rağmen kayaçların jeolojik kökenlerine yönelik ayrı ayrı eşitliklerin geliştirildiği sınırlı sayıda çalışmaların olduğu anlaşılmaktadır (Altındağ, 2012; Babacan ve ark., 2012; Moh'd, 2009; Tuğrul ve Zarif, 1999; Vasconcelos ve ark. 2009; Yaşar ve Erdoğan, 2004). Tuğrul ve Zarif (1999) ve Vasconcelos ve ark. (2009) granitik kayaçlar için UPV ile UCS arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Yaşar ve Erdoğan (2004) karbonatlı kayaçlar için, Moh'd (2009) oolitle kireçtaşları için ve Babacan ve ark. (2012) ise bej kireçtaşları için UPV deneyinden UCS tahminine yönelik eşitlikler geliştirmişlerdir. Ayrıca, Altındağ (2012) tortul kayaçlar için UPV deneyinden UCS değerlerini tahmin etmeye yönelik basit regresyon analizleri yapmış ve UCS değerlerinin UPV deneylerinden tahmin edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca yazar, kayaçların UCS ve UPV arasındaki ilişkileri dikkate alındığında, istatistiksel analizlerde kayaçların jeolojik kökenlerine (magmatik, metamorfik ve tortul) göre ayrılması gerektiğini vurgulamıştır. Literatürden de anlaşılacağı gibi çalışmalar genellikle tortul ve az oranda magmatik kayaçlar üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bazı yazarların (Altındağ, 2012) önerileri de dikkate alınarak kayaçları jeolojik kökenine göre ayırıp UPV deneyinden UCS değerlerinin tahminine yönelik eşitlikler geliştirmektir.

2. Örneklem ve Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, 29 magmatik, 8 metamorfik ve 10 tortul olmak üzere toplam 47 farklı kayaç üzerinde çalışılmıştır. 37 farklı kayaç Trabzon Çambaşı tüneline (Çizelge 1) 5 farklı kayaç

(biyomikritik kireçtaşları ve kumlu kireçtaşı) Trabzon–Araçlı Taşönü kireçtaşı ocağından ve diğer kayaçlar ise Trabzon ve Giresun İllerindeki muhtelif taş ocaklarından temin edilmiştir. ISRM (2007) tarafından önerildiği gibi karot örneklerinin alınabilmesi için, arazide her blok örneğinin makroskopik incelemeleri yapılarak çatlak, kırık ve ayrışma gibi olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır.

Laboratuvarda karot alma ve düzeltme makineleri deney örneklerinin hazırlanması için kullanılmıştır. UCS ve UPV deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmıştır. Deneyler sağlam karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Zayıflık düzlemi veya içerdiği kırık zonlardan dolayı örnek yenildiğinde sonuçlar çıkarılarak ortalamaya dahil edilmemiştir. Deneylerde kullanılan kayaç isimleri ve ortalama değerler Çizelge 1’de yer almaktadır.

2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Dalga Hızı Deneyleri

UCS deneylerinde boy/çap (L/D) oranı en az 2.5 olan NX (54.7 mm) çaplı karot örnekleri kullanılmıştır. Deneyler, 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres ile yükleme hızı 0.5–1.0 MPa/s arasında olacak şekilde uygulanmıştır. Biyomikritik kireçtaşları için 10, diğer kayaçlar için 5 adet karot örneği her kaya türü için deneye tabi tutulmuştur.

Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinden önce aynı karotlar üzerinde UPV deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan karotların uçları zımpara ile parlatılmış ve jeofonların temas edeceği yüzeylerin düzgün olması sağlanmıştır. İnce bir vazelin tabaka jeofonların temas edeceği karotların uç kısımlarına iyi bir iletim sağlanması için sürülmüştür. Örnekten geçen ultrasonik P dalgası 0.1 mikro saniye (μ s) hassasiyetle okunmuştur. P dalga hızı verici ve alıcı arasındaki mesafenin (örnek boyu) geçiş süresine oranı ile elde edilmiştir.

Kayaç kodu	Örnek noktaları	Kayaç adı	Kaya sınıfı	UCS (MPa)	UPV (m/s)
1	Çambaşı Tünel-km-0+495.10	Bazalt	Magmatik	197	5855
2	Çambaşı Tünel- km-0+702.00	Metabazalt	Metamorfik	158	5009
3	Çambaşı Tünel- km-0+919.00	Metabazalt	Metamorfik	66	3944
4	Çambaşı Tünel- km-1+110.00	Metabazalt	Metamorfik	146	4864
5	Çambaşı Tünel- km-1+325.00	Metabazalt	Metamorfik	133	4800
6	Çambaşı Tünel- km-1+675.00	Bazalt	Magmatik	95	4467
7	Çambaşı Tünel- km-1+813.80	Bazalt	Magmatik	115.3	5239
8	Çambaşı Tünel- km-2+473.00	Bazalt	Magmatik	152.4	4605
9	Çambaşı Tünel- km-2+677.00	Metabazalt	Metamorfik	96	4172
10	Çambaşı Tünel- km-3+005.00	Metabazalt	Metamorfik	111	4389
11	Çambaşı Tünel- km-3+310.00	Metabazalt	Metamorfik	71	4223
12	Çambaşı Tünel- km-3+580.00	Metabazalt	Metamorfik	81	4325
13	Çambaşı Tünel- km-3+743.00	Bazalt	Magmatik	75	4576
14	Çambaşı Tünel- km-3+901.00	Bazalt+killi kireçtaşı	Magmatik	34	2985
15	Çambaşı Tünel- km-4+090.00	Dasit	Magmatik	61	4534
16	Çambaşı Tünel- km-4+300.00	Bazalt+dasit	Magmatik	87	5031
17	Çambaşı Tünel- km-4+427.00	Dasit	Magmatik	61	4129
18	Çambaşı Tünel- km-4+572.00	Dasit	Magmatik	72	4356
19	Çambaşı Tünel- km-4+772.00	Dasit	Magmatik	65.5	4226

Kayaç kodu	Örnek noktaları	Kayaç adı	Kaya sınıfı	UCS (MPa)	UPV (m/s)
20	Çambaşı Tünel- km-4+874.00	Dasit	Magmatik	56	4052
21	Çambaşı Tünel- km-4+950.00	Kireçtaşı	Tortul	117	4968
22	Çambaşı Tünel- km-5+052.00	Kireçtaşı	Tortul	92	4340
23	Çambaşı Tünel- km-5+235.00	Bazalt+dasit	Magmatik	100	5310
24	Çambaşı Tünel- km-5+350.00	Kireçtaşı	Tortul	91	4836
25	Çambaşı Tünel- km-5+545.30	Kireçtaşı	Tortul	75	3382
26	Çambaşı Tünel- km-5+690.00	Bazalt+dasit	Magmatik	77	4435
27	Çambaşı Tünel- km-5+857.50	Volkanik breş	Magmatik	41	4182
28	Çambaşı Tünel- km-6+005.00	Kireçtaşı	Tortul	120	5366
29	Çambaşı Tünel- km-6+171.00	Bazalt+dasit	Magmatik	94	3983
30	Çambaşı Tünel- km-6+300.00	Bazalt+dasit	Magmatik	125	4934
31	Çambaşı Tünel- km-6+400.00	Bazalt+dasit	Magmatik	68	3956
32	Çambaşı Tünel- km-6+403.00	Bazalt+dasit	Magmatik	66	3943
33	Çambaşı Tünel- km-6+560.00	Bazalt+dasit	Magmatik	107	5602
34	Çambaşı Tünel- km-6+725.00	Dasit	Magmatik	132	4968
35	Çambaşı Tünel- km-6+873.00	Dasit	Magmatik	87	4336
36	Çambaşı Tünel- km-6+994.00	Dasit	Magmatik	110	4648
37	Çambaşı Tünel- km-7+119.80	Dasit	Magmatik	90	4356
38	Trabzon	Andezit	Magmatik	173	5000
39	Trabzon	Silisli andezit	Magmatik	134.5	4716
40	Trabzon	Bazalt	Magmatik	86	4475
41	Giresun	Granit	Magmatik	215	6234
42	Trabzon	Dasit	Magmatik	111	4730
43	Trabzon	Biyomikritik kireçtaşı-1	Tortul	11.6	1993
44	Trabzon	Biyomikritik kireçtaşı-2	Tortul	18.9	1817
45	Trabzon	Biyomikritik kireçtaşı-3	Tortul	8.5	2009
46	Trabzon	Biyomikritik kireçtaşı-4	Tortul	7.7	1397
47	Trabzon	Kumlu kireçtaşı	Tortul	22.5	2731

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan kayaçlar ve ortalama deney sonuçları

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Kayaçların Dayanım ve Ultrasonik Dalga Hızı Sınıflamaları

Kayaçların UCS değerleri 7.7 ile 215 MPa arasında değişmektedir. Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen UCS dayanım sınıflamasına göre bu çalışmada kullanılan kayaçların dayanım sınıflaması değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Çizelge 2; 4 farklı kategoriye göre (bütün kayaçlar, magmatik, metamorfik ve tortul kayaçlar) değerlendirilmiştir.

Çizelge 2'ye göre; bütün kaya sınıfını temsil eden kayaçların bu çalışmada kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ancak kayaçların yaklaşık % 83'ü "orta dayanımlı" ve "yüksek dayanımlı" sınıfında yer almaktadır. "Çok düşük dayanımlı" kaya sınıfında yer alan kayaçları (Trabzon-Araklı Taşönü kireçtaşı ocağından alınan) tortul kayaçlar oluşturmaktadır. Ayrıca "düşük dayanımlı" kaya sınıfında sadece magmatik kökene ait kayaçlar bulunmaktadır. Örneklenen metamorfik kayaçlar "orta dayanımlı" ve "yüksek dayanımlı" sınıfında yer almaktadır.

Kaya sınıfı	UCS (MPa)	Bütün kayaçlar	Magmatik	Metamorfik	Tortul
Çok düşük dayanımlı	1 – 25	5 (%10.6)	–	–	5
Düşük dayanımlı	25 – 50	2 (%4.3)	2	–	–
Orta dayanımlı	50 – 100	22 (%46.8)	15	4	3
Yüksek dayanımlı	100 – 200	17 (%36.2)	11	4	2
Çok yüksek dayanımlı	> 200	1 (%2.1)	1	–	–
Toplam kayaç sayısı		47	29	8	10

Çizelge 2. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966)

Bu çalışmada ayrıca kayaçlar Anon (1979) tarafından önerilen ultrasonik dalga hızı sınıflamasına göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3). Çizelge 3'e göre; kayaçların büyük çoğunluğunun (%76.5'inin) "yüksek hız" ve "çok yüksek hız" sınıfına dahil olduğu anlaşılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı sınıflamasında olduğu gibi kayaçların tüm sınıfları temsil ettiği görülmüştür. "Çok düşük hız" sınıflamasında sadece tortul kayaçların bulunduğu çizelge 3'ten anlaşılmaktadır. Ancak, tek eksenli basınç dayanımı sınıflamasında kayaçların %46.8'i "orta dayanımlı" sınıflamasında yer alırken, ultrasonik dalga hızı sınıflamasında "orta hız" sınıflamasında kayaçların yalnızca %8.5'i yer almaktadır. Bu sınıflamalar farklı yazarlar tarafından önerildiğinden, önerilen sınıflamalarda yazarların kullandıkları kayaç türleri ve örnekleri aldıkları bölgeler farklı olmaktadır. Bu nedenle, tek eksenli basınç dayanımı ile ultrasonik dalga hızı sınıf aralıklarına ait tanımlamaların farklı çıktığı düşünülmektedir.

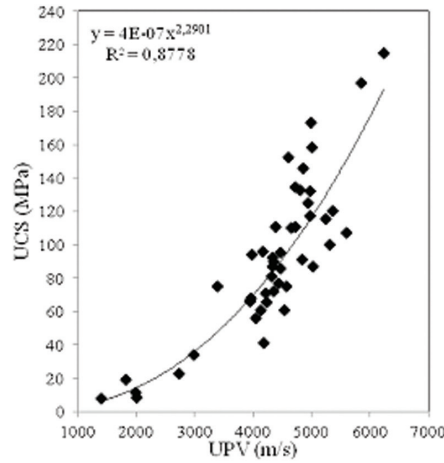
Sınıf	UPV (m/s)	Tanımlama	Bütün kayaçlar	Magmatik	Metamorfik	Tortul
1	<2500	Çok düşük hız	4 (%8.5)	–	–	4
2	2500 – 3500	Düşük hız	3 (%6.4)	1	–	2
3	3500 – 4000	Orta hız	4 (%8.5)	3	1	–
4	4000 – 5000	Yüksek hız	27 (%57.4)	18	6	3
5	>5000	Çok yüksek hız	9 (%19.1)	7	1	1
Toplam kayaç sayısı			47	29	8	10

Çizelge 3. Kayaçların ultrasonik dalga hızına göre sınıflandırılması (Anon, 1979)

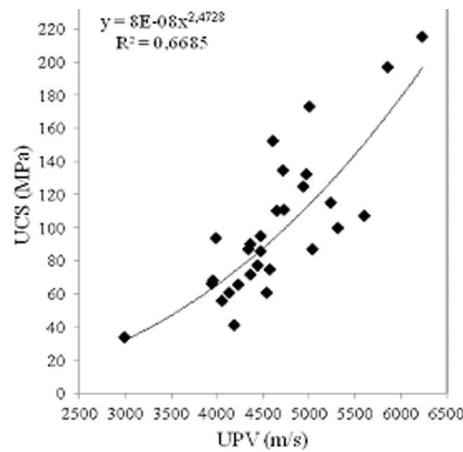
3.2 Verilerin İstatistiksel Analizleri

Her bir bağımsız değişken için basit regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen ilişkiler arasında (üs, üstel, logaritmik ve doğrusal (lineer)) deneysel sonuçları en iyi temsil eden ilişki belirlenmiştir. İlişkinin kuvveti R^2 kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, bütün kayaçların UCS değerleri ile UPV değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Daha sonra kayaçların jeolojik kökenine göre (magmatik, metamorfik ve tortul) ayrı ayrı UCS ile UPV arasında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır.

Tüm kayaç bazında yapılan basit regresyon analizine göre; UCS ile UPV arasında anlamlı doğrusal olmayan bir ilişki gözlenmiştir (Şekil 1). UCS ile UPV arasındaki ilişkinin kuvvetini ifade eden $R^2=0.8778$ olarak bulunmuştur. Magmatik kayaçlar için UCS ile UPV arasındaki ilişki anlamlı olmasına rağmen, determinasyon katsayısı ($R^2=0.6685$) tüm kayaçlar için bulunan determinasyon katsayısından daha düşük çıkmıştır (Şekil 2). Metamorfik ve tortul kayaçlarda UCS ile UPV arasında kuvvetli pozitif lineer ilişki gözlenmiş olup, determinasyon katsayıları sırasıyla $R^2=0.9076$ ve $R^2=0.9476$ olarak bulunmuştur (Şekil 3 ve Şekil 4). Metamorfik kayaçlarda dayanım arttıkça veya yüksek dayanımlı metamorfik kayaçlarda UPV ile UCS değerleri arasındaki ilişkinin arttığı anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle, yüksek dayanımlı metamorfik kayaçlarda UPV deneyinden UCS tahmininin daha güvenilir olduğu gözlenebilmektedir. Bununla beraber tortul kayaçların, UCS değerlerindeki UPV değerleri hafif saçınım göstermesine rağmen, en yüksek determinasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Şekillerden (Şekil 1–4) görüldüğü gibi UCS değerleri arttıkça UPV değerleri de artış göstermiştir.

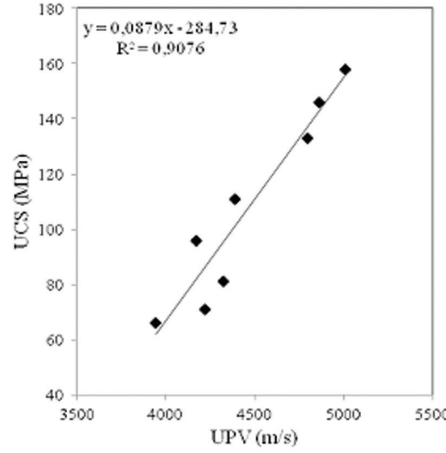


Şekil 1. Bütün kayaçlarda UCS ve UPV arasındaki ilişki

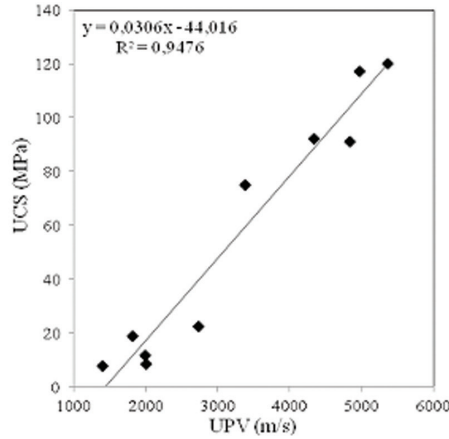


Şekil 2. Magmatik kayaçlarda UCS ve UPV arasındaki ilişki

Literatürde birçok yazar (Diamantis ve ark., 2009; Kahraman, 2001; Lama ve Vutukuri, 1978; Yagiz, 2011) ultrasonik dalga hızı ile kayaç özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişler ve kayaç parametrelerinin dalga hızı ile yakından ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Kılıç ve Teymen (2008) ve Moh'd (2009) UCS ile UPV arasında doğrusal olmayan yüksek bir ilişki (sırasıyla; $R^2=0.94$ ve 0.83) bulmuşlardır. Kahraman (2001) UCS ve UPV arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulmuş olup ($r=0.83$), dayanım arttıkça UPV değerlerinin daha fazla saçınım gösterdiğini ifade etmiştir. Yasar ve Erdoğan (2004) UCS ile UPV arasında doğrusal bir ilişki ($R^2=0.80$) bulmuşlardır. Ayrıca, Babacan ve ark. (2012) UCS ve UPV arasında doğrusal bir ilişki ($R^2=0.79$) bulmuşlardır. Bu çalışmada, UCS ve UPV arasında tüm kayaç bazında ve magmatik kökenli kayaçlarda doğrusal olmayan, metamorfik ve tortul kayaçlar da ise doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bu çalışmadaki kayaç sayısı oldukça fazla olduğundan kayaçların kökenine yönelik ayrı ayrı UCS ile UPV arasındaki ilişkiler incelenebilmiştir.



Şekil 3. Metamorfik kayaçlarda UCS ve UPV arasındaki ilişki



Şekil 4. Tortul kayaçlarda UCS ve UPV arasındaki ilişki

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 29'u magmatik, 8'i metamorfik ve 10'u tortul olmak üzere 47 farklı kayaç türü için tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve ultrasonik P dalga hızı (UPV) deneyleri yapılmıştır. UCS ile UPV sınıflamalarına göre kayaçlar değerlendirilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik basit regresyon analizleri yapılmıştır. Literatürde genellikle tek bir kökene veya tüm kayaçların jeolojik kökenlerini içerecek şekilde UPV'den UCS tahminine yönelik eşitlik geliştirilmektedir. Bu çalışmada, UPV'den UCS tahminine yönelik hem tüm kayaç

bazında hem de ayrı ayrı kayaçların jeolojik kökenine (magmatik, metamorfik ve tortul) yönelik regresyon analizleri yapılmıştır. Magmatik kayaçlarda daha az güvenilir olmasına rağmen, UPV değerlerinin metamorfik ve tortul kayaçlarda oldukça yüksek güvenilirlikle UCS'yi temsil ettiği görülmüştür.

Kaynaklar

- Altındağ, R., 2012. Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *The Southern Afr. Inst. Min. Metall.* 112, 229-237.
- Anon., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1-rock and soil materials. *Bull. Int. Ass. Eng. Geo.* 19, pp. 364-371.
- ASTM., 1984. Standart test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens. *Soil and rock, building Stone, annual book of ASTM standards 4.08.* ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelişli, K., 2012. Kayaçların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin ultrasonik hız tekniği ve zaman-frekans analiziyle belirlenmesi: Bej kireçtaşları (KD Türkiye) üzerine örnek bir çalışma. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 36 (1), 63–73.
- Christaras, B., Mariolakos, I., Foundoulis, J., Athanasias, S., Dimitriou, A., 1997. Geotechnical input for the protection of some Macedonian Tombs in Northern Greece. *Proceedings of the 6th International Symposium Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Rhodes*, pp. 125–132.
- Christaras, B., 2003. P-wave velocity and quality of building materials. *Proceedings of the International Symposium Industrial Minerals and Building Stones, Istanbul*, Yuzer, E., Ergin, H., and Tugrul, A. (eds.). pp. 295–300.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. *Technical report no. AFWL-TR 65-116*, University of Illinois: p. 300.
- Diamantis, K., Gartzos, E., Migiros, G., 2009. Study on uniaxial compressive strength, point load strength Index, dynamic and physical properties of serpentinites from central Greece: Test results and empirical relations. *Eng Geol.*, 108, 199–207.
- Ersoy, H., Kanik, D., 2012. Multicriteria decision-making analysis based methodology for predicting carbonate rocks' uniaxial compressive strength. *Earth Sci. Res. J.* 16 (1), 65–74.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Günaydin, O., 2005. A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mech Rock Eng* 38 (4), 329–343.
- Gladwin, M.T., 1982. Ultrasonic stress monitoring in underground mining. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 19, 221–228.
- ISRM., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), *Suggested methods prepared by the commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.* Pp. 628.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 38, 981–994.
- Kahraman, S., 2002. Estimating the direct P-wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements. *Int J Rock Mech Min Sci.*, 39, 101–104.
- Kahraman, S., 2007. The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks. *Ultrasonics*, Vol. 46, 341–348.
- Karaman, K., Cihangir, F., Ercikdi, B., Kesimal, A., 2010. Killi-karbonatlı kayaçlarda numune uzunluğunun ultrasonik P-dalgı hızı üzerindeki etkisi. *Madencilik Dergisi*, 49 (4), 37-45.
- Karaman, K., Erçıkdi, B., K., Cihangir, F., Kesimal, A., 2011. Kayaçların tek eksenli basınç

- dayanımı tahmininde Schmidt çekici sertlik tayini değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi. 22. Dünya Madencilik Kongresi, Ankara, 87-94.
- Karpuz, C., Pasamehmetoglu, A.G., 1997. Field characterization of weathered Ankara andesites. Eng. Geol., p.17.
- Kılıç, A., Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. Bull. Eng. Geol. Environ., 67, 237-244.
- Lama, R.D., Vutukuri, V.S., 1978. Handbook on mechanical properties of rocks. Trans Tech Publications, Vol. 2, Clausthal, Germany.
- Moh'd, B.K., 2009. Compressive strength of vuggy oolitic limestones as a function of their porosity and sound propagation. Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences 2(1), 18–25.
- Onodera, T.F., 1963. Dynamic investigation of foundation rocks, In Situ. in: Proceedings of the 5th US Symposium on Rock Mechanics, pp. 517–533.
- Ramana, Y.V., Venkatanarayana, B., 1973. Laboratory studies on Kolar rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 10, 465–489.
- Shalabi, F.I., Cording, E.J., Al-Hattamleh, O.H., 2007. Estimation of rock engineering properties using hardness tests. Eng Geol 90, 138-147.
- Thill, R.E., Bur, T.R., 1969. An automated ultrasonic pulse measurement system. Geophysics. 34, 101–105.
- Tugrul, A., Zarif, I.H., 1999. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng Geol., 51:303–317.
- Vasconcelos, G., Lourenco, P.B., Alves, C.A.S., Pamplona, J., 2008. Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. Ultrasonics 48, 453-466.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., Gardner, L.W., 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics. 21, 41–70.
- Yagiz, S., 2011. P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials. Bull Mater Sci., 34, 947–953.
- Yasar, E., Erdogan, Y., 2004. Correlating sound velocity with density, compressive strength and young modulus of carbonate rocks. Int J Rock Mech Min Sci., 41(5), 871–875.
- Young, R.P., Hill, T.T., Bryan I.R., Middleton, R., 1985. Seismic spectroscopy in Fracture characterization. Quart. J. Eng. Geol. 18, 459–479.

Kömür Üretimi ve Arkeoloji; Seyitömer Höyüğü Jeofizik Çalışması

Coal Production and Archeology; Seyitömer Cairn Geophysical Survey

İsmail Ergüder^{1*}, Ezel Babayigit¹

¹ *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara*

* *Sorumlu Yazar: erguderi@tki.gov.tr*

Özet

Ülkemizin hemen her yerinde, tarihi binlerce yıl öncesine uzanan arkeolojik kalıntılara rastlamak mümkündür. Kömür sahalarında yapılan madencilik faaliyetleri sırasında karşılaşılan kültür varlıkları, zaman zaman kömür üretimini doğrudan etkileyebilmektedir. Böyle durumlarda, kültür varlıklarının kurtarma kazıları bitene kadar, madencilik faaliyetleri alternatif alanlarda sürdürülmektedir. Kömür sahalarında kültür varlıkları ile karşılaşıldığında, bu kalıntıların tam yerlerinin ve yayılımlarının sınırının bilinmesi, hem arkeoloji hem de madencilik faaliyetlerinin planlanması bakımından çok önemlidir. Günümüzde jeofizik yöntemler arkeolojik arama amacı ile yaygın ve etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Madencilik faaliyetleri öncesinde veya sırasında arkeologlar tarafından belirlenen potansiyel alanlarda yapılan jeofizik çalışmalar ile bu kalıntıların yerleri ve yayılımları belirlenerek tam yerinde kurtarma kazılarının yapılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, Kütahya İli Seyitömer kömür havzası içerisinde bulunan Seyitömer Höyüğü'nde yapılan jeofizik öz direnç etüdü ve sonuçları anlatılmaktadır. Önerilen yerlerde yapılan arkeolojik kazılar, jeofizik çalışma sonuçlarını doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Arkeoloji, jeofizik, kömür

Abstract

It is possible to come across with archaeological remains date back thousands of years in almost every part of our country. Cultural assets that encountered in coal fields during mining operations sometimes can effect coal production directly. In such cases, mining operations are kept on alternative fields till the end of excavation of salvage of cultural assets. Knowing exact location and distribution of cultural assets is very important in point of planning both archeological and mining activity when encounter with cultural assets in coal fields. At the present time, geophysical methods are widely and effectively used for archeological search. Excavation of salvage at exact location are provided by geophysical surveys at potential fields where determined by archaeologist before or during mining operations. This study contains the geophysical survey and its results performed at Seyitömer Cairn in Seyitömer coal basin in Kütahya. Archeological excavations carried out at recommended places verified geophysical surveys results.

Keywords: Archaeology, geophysics, coal

1. Giriş

Açık ocak işletmeciliği ile üretim yapılan kömür sahalarındaki gömülü kültür varlıklarının yerlerinin ve yayılımlarının tespit edilerek, kurtarma kazılarının hızla tamamlanması ve bu alanların tekrar madencilik faaliyetlerine açılması, kömür üretiminin kesintiye uğramaması açısından önemlidir. Arkeolojik alanlarda jeofizik yöntemler (Elektrik-özdirenç, jeoradar (GPR), doğal potansiyel (SP), manyetik gradyometre ve sismik) kullanılarak, kazı yapılacak alanın kazı öncesi yol gösterici ve yönlendirici haritası elde edilebilmektedir. Etütler sonucunda arkeologlara, arama zamanından ve giderlerden kazanç sağlanarak en hızlı ve en ekonomik bir biçimde kazı yapma olanağı sunulabilmektedir. 1940'lı yılların sonunda başlayan arkeoloji ve jeofizik ilişkisi hızlı bir ivmenin de etkisiyle, günümüzde jeofiziği arkeolojik aramacılığın vazgeçilmez yöntemlerinden biri durumuna getirmiştir. Yurdumuzda ilk uygulamaları ise 1960'lı yılların sonlarında görülür. Yöntem, özellikle 1980'li yılların bitimine doğru arkeolojik yerleşmeler üzerinde yoğun bir şekilde denenmeye başlamıştır. 1990 yılından günümüze arkeolojik alanlarda etkili bir biçimde kullanılmaktadır (Drahor, 1999).

Seyitömer kömür havzası içerisinde bulunan 150×140 m ölçülerinde ve orijinal yüksekliği 23.5 m olan Seyitömer Höyüğünde, höyüğün altında bulunan 12 milyon ton kömür rezervinin kullanılabilir duruma getirilebilmesi amacıyla, 1989 yılından itibaren ilk yıl Eskişehir Müzesi Müdürlüğü, 1990-1995 yıllarında Afyon Müzesi Müdürlüğü tarafından kazı çalışmaları yürütülmüştür. Bir süre ara verilen kazı çalışmaları 2006 yılında, Prof. Dr. A. Nejat Bilgen başkanlığında, Dumlupınar Üniversitesi Arkeoloji Bölümü tarafından yeniden başlatılmıştır (Bilgen, 2011).

Bu çalışmada Seyitömer Höyüğü güney eteklerinde yapılan jeofizik etüt ve sonuçları anlatılmaktadır.

2. Çalışma Sahası

Çalışma sahası Kütahya İli, Seyitömer kömür havzası içerisinde bulunan Seyitömer Höyüğü'dür. Kütahya İl merkezinin kuzeybatısında olup, Kütahya-Tavşanlı karayolunun 17. kilometresine 11 km uzunluğunda asfalt bir yol ile bağlanmıştır (Şekil 1). Yine bu bölgede, kurulu gücü toplam 600 MW olan Seyitömer Termik Santrali bulunmaktadır. Santral bu havzadan üretilen kömürlerle beslenmektedir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası (KGM, 2013)

Jeofizik çalışmanın yapıldığı Seyitömer Höyüğü'nün güney eteğindeki etüt alanı ile höyük üzerinde test ölçümlerinin yapıldığı alanın, doğu yönünden görünümü Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Etüt alanı ve test ölçümü yapılan alan

3. Rezistivite (Özdirenç) Yöntemi

Bu çalışmalarda arkeolojik nesnelere aranmasında en çok kullanılan ve en duyarlı jeofizik yöntemlerden biri olan rezistivite (özdirenç) yöntemi, elektrik profili ölçüsü şeklinde uygulanmıştır.

Rezistivite, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öziletkenliğin tersidir ve birimi ohm-m dir. Rezistivite yöntemleri, yere verilen suni bir akımın, yer altında yarattığı elektrik alanın potansiyelini ölçerek, potansiyel-akım şiddeti bağıntısından yeraltındaki katmanların rezistivite ve kalınlık değerlerinin hesaplanması prensibine dayanır.

$$\rho_a = k (\Delta V / I) \quad (1)$$

k : Geometrik Faktör (Elektrot dizilim tekniğine göre değişir)

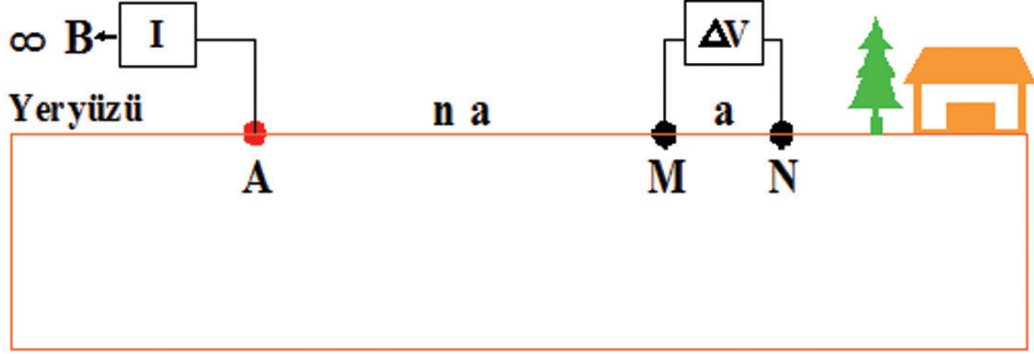
ΔV : Ölçülen potansiyel farkı (mV)

I : Yere verilen akım (mA)

ρ_a : Görünür rezistivite (ohm-m)

Bu yöntemle yeraltındaki kayaların özdirençlerine bağımlı olan görünür özdirenç, bağıntı (1)'den belirlenerek, yer içinin jeolojik yapısı elektrik (özdirenç) özelliğine göre haritalanır. Yöntem maden, petrol, su, jeotermal, arkeolojik aramalar ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır (Candansayar, 2006). Arkeolojik nesnelere içinde buldukları ortamdan daha yüksek özdirenç değerine sahiptir. Boşluklar, mezarlar, taş duvarlar ve tümülüs içindeki koridorlar içinde buldukları ortamdan daha yüksek rezistivite gösterirler. Arkeolojik nesnelere yüksek özdirenç değerlerine sahip olması, bunların aranmasında jeofizik özdirenç yönteminin kullanımını olanaklı kılar (Başokur, 1999).

Ölçümler pole-dipole elektrot dizilimi ile alınmıştır. Bu dizilimde akım elektrotlarından biri, AM mesafesine göre sonsuz sayılabilecek bir mesafeye, arazinin durumuna göre profil doğrultusunda veya profile dik olacak şekilde irtibatlandırılır (Şekil 3).



Şekil 3. Pole-dipol elektrot dizilimi

Bu dizilimde geometrik faktör k , bağıntı (2)'den hesaplanır.

$$k = 2 \pi n (n \pi l) a \quad (2)$$

Şekil 3'de gösterilen A ve B akım elektrotlarını, M ve N ise gerilim elektrotlarını temsil etmektedir. $MN = a$, $AM = na$, $n=1, 2, 3, 4, \dots$, $\pi = 3.14159$ olarak kullanılmaktadır.

4. Arazi Çalışması

Elektrik profil ölçülerinde pole-dipole elektrot dizilimiyle 2.25, 3.75, 5.25 ve 6.75 metre arasındaki teorik derinliklere karşılık gelen seviyelerde, ölçümler yapılarak profiller boyunca öz direnç değişimleri incelenmiştir.

Ölçümler, Scintrex-Saris çok elektrotlu rezistivite cihazı ve çok kanallı kablo düzeniği kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4). Kullanılan akımın değerleri 500 volt-1 amper, ölçü istasyonları arası uzaklık 1.5 metredir.

Ölçü başlangıcında, ölçülecek profile ait parametreler cihaza girilir ve ölçü başlatılır. Profilin tamamı kısa sürede otomatik olarak ölçülerek elde edilen veriler daha sonra kullanılmak üzere hafızaya depolanır.



Şekil 4. Otomatik rezistivite cihazı ve çok elektrotlu ölçü düzeniği

5. Değerlendirme ve Yorum

Verilerin araziden toplanıp işlenmesinden sonra değerlendirme (verilerin jeofizik, jeolojik ve arkeolojik yorumu) çalışmaları yapılmıştır.

Seyitömer Höyüğünde yapılan jeofizik ölçümler sonunda elde edilen rezistivite (özdirenç) değerlerine göre tüm kesitlerin SURFER, MATLAB, RES2DINV bilgisayar programları kullanılarak rezistivite grafikleri, yer-elektrik kesitleri, 2-B yapma-kesit ve ters çözüm kesitleri ile etüt alanlarının eş-rezistivite seviye haritaları, 3-B rezistivite anomali haritaları yapılmıştır.

Rezistivite grafikleri yeraltının yanal değişimlerini belirlemek için yapılır. Her seviye (derinlik) için hesaplanan ρ (özdirenç), profil boyunca x 'in (metre) fonksiyonu olarak çizilir. Yer-elektrik kesiti ve yapma-kesit, kesit boyunca ölçülen derinliklere ait rezistivite değerlerinin yerlerine yazılıp konturlanması ya da bu değerlere göre renklendirilmesiyle elde edilir. Profil uzunluğunun düşey düzlemindeki özdirenç değişimini gösterirler. Bu kesitler, katmanların doğrultu ve eğimleri, cevher oluşukları, süreksizlikler, boşluk, blok, duvar, mezar vb. yeraltı yapılarının belirlenmesini sağlarlar.

2-B Ters çözüm ise yeni bir veri işlem tekniğidir. Olası yapının konumu, derinliği ve boyutları hakkında bilgi verir. Eş-rezistivite seviye haritaları ölçülen teorik derinliklere ait rezistivite değerlerinin harita üzerinde yerlerine yazılıp konturlanması veya renklendirilmesiyle elde edilir, çizildikleri seviyedeki yatay özdirenç dağılımını gösterirler.

Bilgisayar ortamında yapılan tüm bu jeofizik kesit ve haritalar arkeolojik açıdan değerlendirilip yorumlanarak, antik yapıların buldukları ortam içerisindeki göstergesi olan yüksek özdirençli zonlar belirlenmiştir.

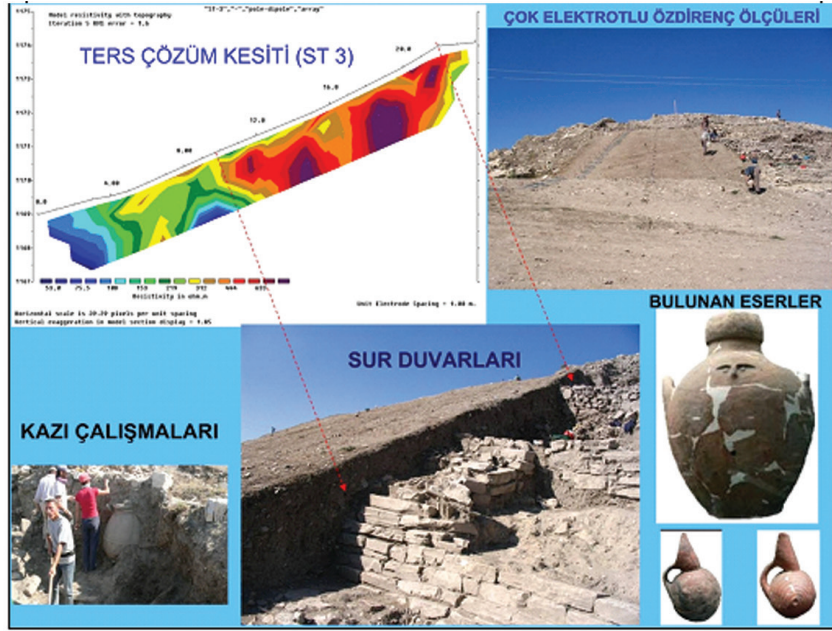
5.1 Höyük Üzerinde Test Ölçümü Yapılan Alan

Test ölçümü höyüğün güneyinde yer alan ve açılmış olan sur duvarlarının arasında kalan kazılmamış alanda yapılmıştır. Sur duvarlarının jeofizik kesitlerde vereceği anomaliyi görmek için duvarlarının hemen kontağında istasyon aralıkları 1m ve kesit aralıkları yaklaşık 4 m olan kuzey-güney doğrultulu 3 adet profil (ST1, ST2 ve ST3) üzerinde pole-dipole elektrot dizilimi kullanılarak elektrik ölçümleri alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Test ölçümü yapılan alan ve ST1, ST2 ve ST3 profilleri (güneydoğudan görünümü)

Sur duvarlarının gerçek konumları ile jeofizik kesitlerdeki yerleri çakışmıştır. ST3 Profilinin 2-B ters çözüm kesiti örnek olarak konulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. ST3 profilinin 2-B ters çözüm elektrik (rezistivite) kesiti ve sur duvarlarının konumu

ST3 Profilinin 2-B ters çözüm programı yapılan ters çözüm elektrik kesitinin 9. ve 24. metreleri arasında 4 adet anomali görülmüştür (koyu kırmızı, morumsu renk). Bu aralıkta rezistivite değerleri çevresine göre daha yüksek çıkmıştır. Gerçek rezistivite 528 ohm-m den başlayıp, 852 ohm-m'yi aşan değerlere ulaşmıştır. Kesitte görülen ilk 3 anomali, test alanının doğu tarafında açılan sur duvarlarına karşılık gelmektedir.

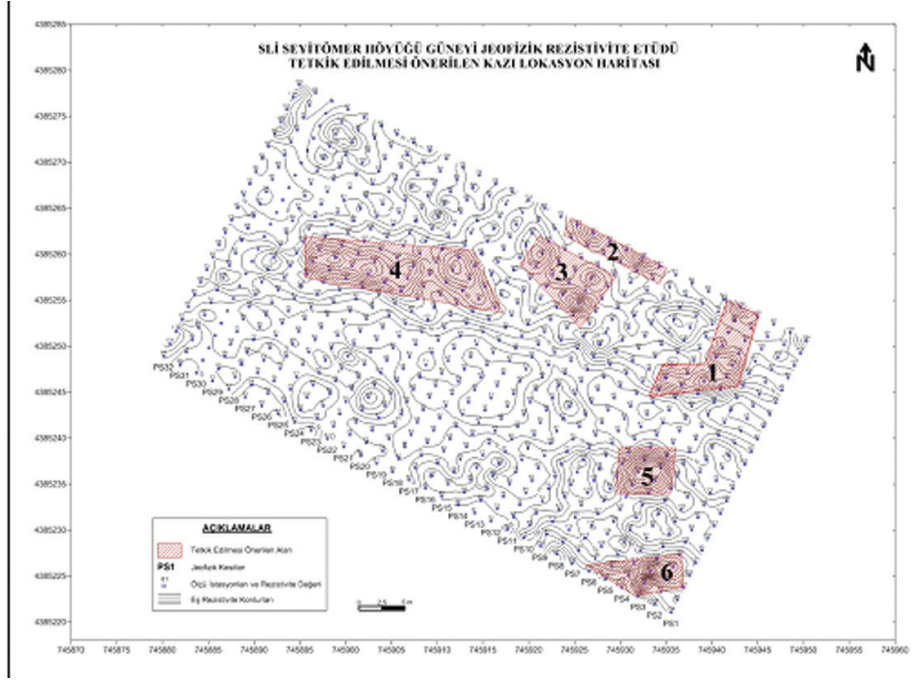
5.2 Höyüğün Güneyinde Jeofizik Etüdü Yapılan Alan

Seyitömer Höyüğü'nün güney eteklerindeki 2160m² (36×60) alanda, istasyon aralıkları 1.5 m ve kesit aralıkları 2 m olan 32 adet profil (PS1- PS32) üzerinde pole-dipole elektrot dizilimi kullanılarak elektrik ölçüleri alınmıştır. Bu ölçümler sonunda sahanın 4 seviye (derinlik) için eş-rezistivite seviye haritaları yapılmıştır.

Eş-rezistivite haritaları SURFER programı kullanılarak 2.25, 3.75, 5.25 ve 6.75 m teorik derinliklere ait rezistivite değerlerinin harita üzerinde yerlerine yazılıp 10 ohm-m kontur aralığı ile konturlanmasıyla elde edilmiştir. Yapılan haritada, ölçülen jeofizik kesitler, ölçü istasyonları mavi küçük daire şeklinde gösterilmiş ve üzerine rezistivite değeri yazılmıştır. Bu haritalarda konturların sıklaştığı yerler, olası arkeolojik nesnelere işaret edebilecek çevresine göre yüksek rezistiviteli zonlardır (Şekil 7).

Eş-rezistivite ve 3 boyutlu rezistivite anomali haritaları da aynı şekilde SURFER programı ile yapılarak renklendirilmiştir. Her iki haritada, ölçülen jeofizik kesitler ve ölçü istasyonları küçük daire şeklinde gösterilmiştir. Bu haritalarda yüksek rezistiviteli zonlar, sarımsı kırmızımsı renk ile görülmektedir. Mavimsi tonlar düşük rezistivite değerlerini, yeşil renk ise düşük rezistivite değerlerinden yüksek rezistivite değerlerine geçişi ifade etmektedir.

Bu alanda öncelik sırasına göre belirlenen ve olası bir arkeolojik nesneyi işaret edebilecek,



Şekil 7. Etüt alanının eş-özdirenç haritası ve önerilen kazı yerleri

çevresine göre yüksek öz dirençli 6 adet anomali alanı belirlenmiştir.

Sur duvarlarının görünür-rezistivite değerleri 600 ohm-m'nin üstünde ölçülmüştür. Höyüğün güneyindeki alanda yapılan çalışmada ise, en yüksek görünür-rezistivite değeri 250 ohm-m civarındadır. Rezistivite değerlerindeki bu farklılık, çalışma sahası içerisinde, höyük içerisinde görülen sur duvarları niteliğinde yapıların olmayacağı, buna karşılık daha küçük yapı taşları ile oluşturulmuş kalıntıların olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

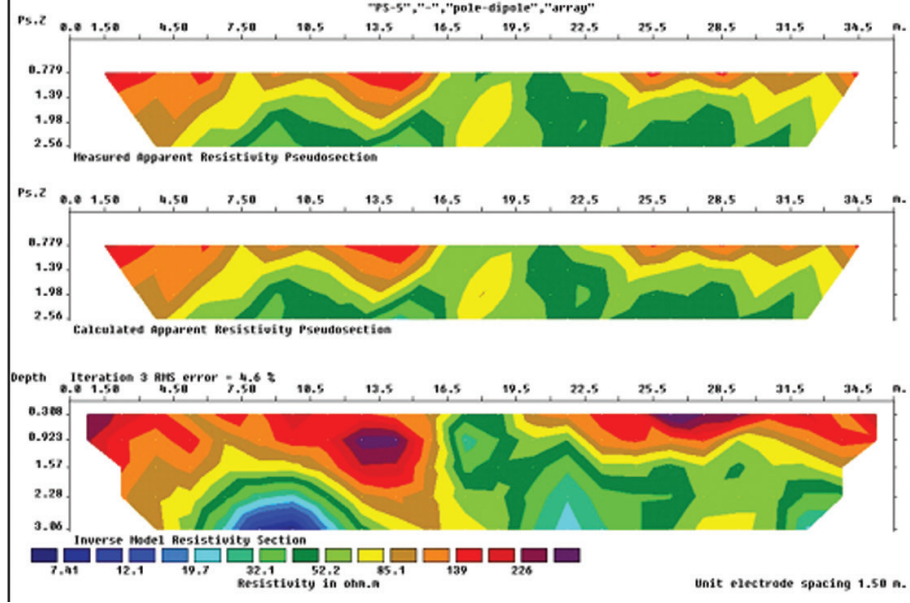
5.2.1 Tetkik Edilmesi Önerilen Kazı Alanları

Bu bölümde höyüğün güneyindeki etüt sahasında tespit edilen 6 adet anomali alanlarının resimleri ile bu anomalilerin ölçüldüğü jeofizik kesitlere ait örnekler verilmiştir. Tetkik edilmesi önerilen 6 adet anomali alanının yaklaşık sınırları Şekil 8'de görülmektedir.



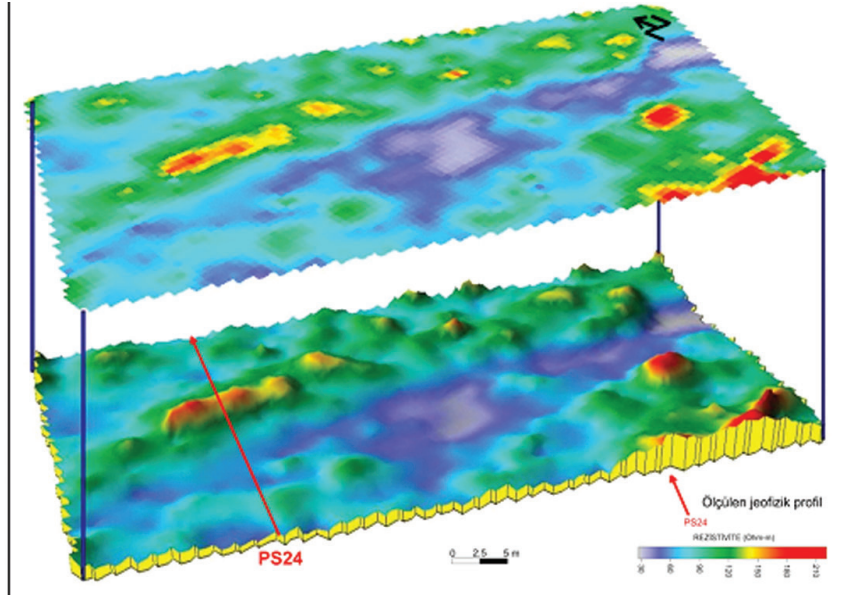
Şekil 8. Tetkik edilmesi önerilen anomali alanları (kuzeyden görünümü)

PS5 Profilinin 2-B ters çözüm programı (Loke, 2003 RES2DINV) ile yapılan görünür, kuramsal ve ters çözüm elektrik kesitinde 3 adet anomali görülmüştür (kırmızımsı-morumsu renk). Kesitin 0-4.5 metreleri arasında görülen anomali 6 No'lu anomali alanına, 12-15. metreler arasında görülen anomali 5 No'lu anomali alanına ve 24-36. metreler arasında görülen anomali ise 1 No'lu anomali alanına aittir. Bu aralıkta rezistivite değerleri 226 ohm-m'nin üstüne çıkmıştır (Şekil 9).



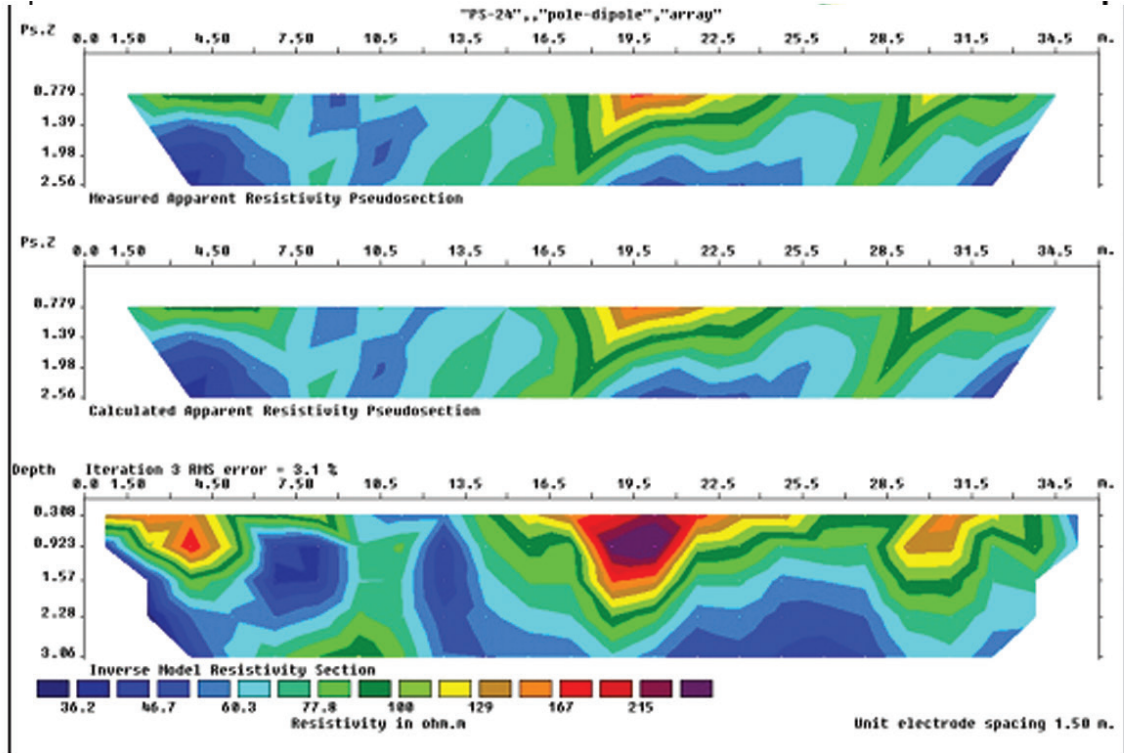
Şekil 9. PS5 profilinin 2-B görünür, kuramsal ve ters çözüm elektrik (rezistivite) kesiti

Şekil 10'da PS24 profilinin image ve 3B anomali haritalarındaki konumu gösterilmekte ve Şekil 11'de bu profile ait ters çözüm kesiti görülmektedir.

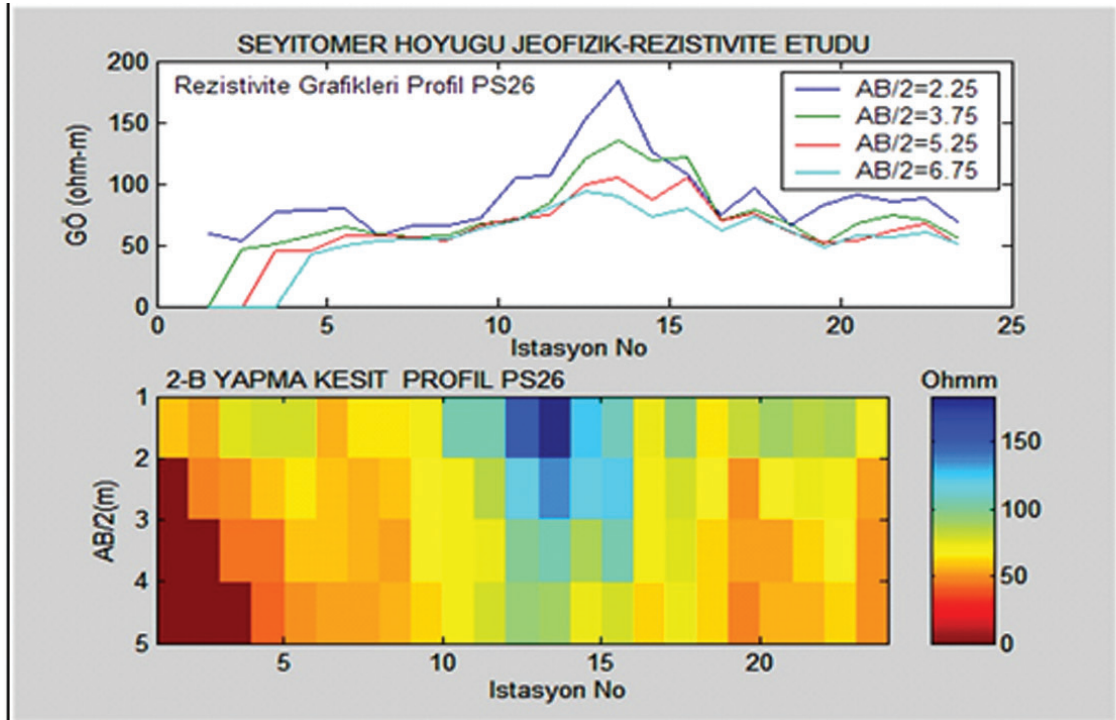


Şekil 10. Etüt alanının görünür öz direnç 3B ve image anomali haritası ile PS24 profili.

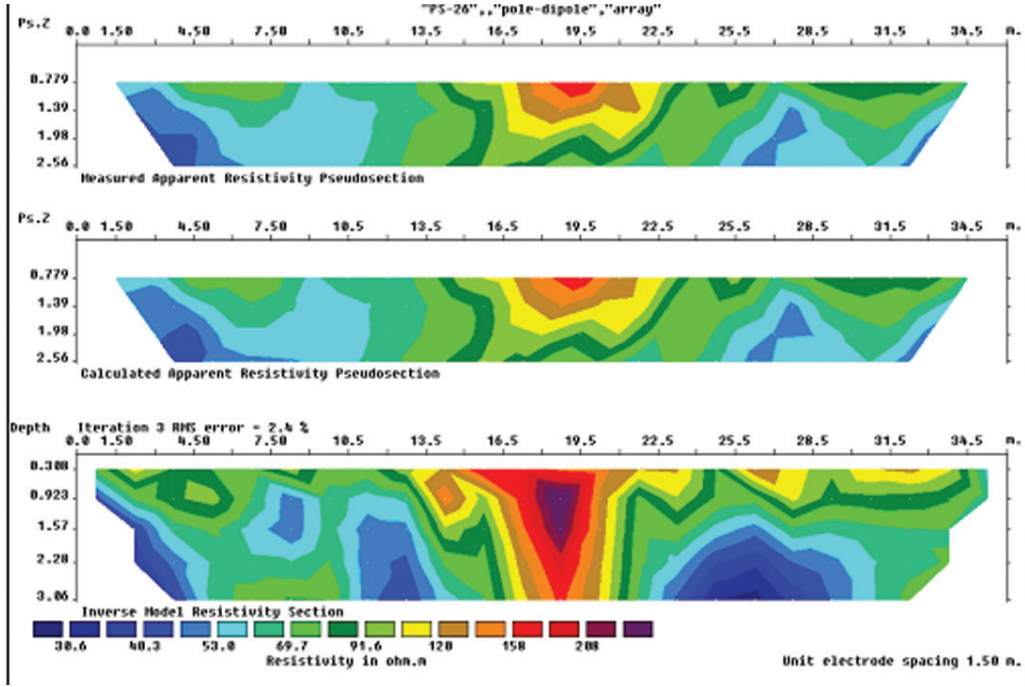
Her iki şekilde de profilin 17-21 metreleri arasında yüksek öz dirençli anomali gözlenmektedir.



Şekil 11. PS24 profilinin 2-B Ters çözüm elektrik (rezistivite) kesiti.



PS26 Profilin MATLAB 6.5 programı kullanılarak yapılan rezistivite grafikleri, 10 ve 14. istasyonları arasında pik değere (184 Ohm-m) ulaşmaktadır. 2-B yapma-kesitinde de bu anomali mavi renk ile görülmektedir (Şekil 12). Aynı Profilin 2-B ters çözüm programı (Loke, 2003) ile yapılan, ters çözüm kesitinin 15 ve 21 metreleri arasında anomali (kırmızımsı, morumsu renk) görülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Profil PS26 görünür, kuramsal ve ters çözüm elektrik (Rezistivite) kesiti

6. Tartışma ve Sonuçlar

Kütahya İli Seyitömer kömür havzası içerisinde yer alan Seyitömer Höyüğünün güney eteklerinde, Seyitömer Höyüğü Kurtarma Kazısı Başkanlığı ile mutabık kalınarak belirlenen parselde, gömülü antik yapıları araştırmak amacıyla, 25-28 Eylül 2007 tarihleri arasında yapılan jeofizik-rezistivite (özdirenç) etüdünde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yöntem ile yüzeyden 2.25, 3.75, 5.25 ve 6.75 m teorik derinliklere ait rezistivite (özdirenç) değerleri tespit edilerek, yer içinin hem düşey, hem de yatay yöndeki rezistivite yapısı hakkında bilgi edinilmiştir.

Çalışma sahası tüm verilerin denetiminde ve höyük üzerinde alınan test ölçüleriyle analiz edilmiş, arkeolojik açıdan yapılan değerlendirmeler, yorumlar ve yerinde gözlemsel incelemeler sonucunda; olası bir arkeolojik nesneyi işaret edebilecek 6 adet anomali alanı belirlenmiştir.

Öncelik sırasına göre tespit edilen 6 adet anomali alanından 1 ve 2 No'lu alanda Kazı Başkanlığı tarafından arkeolojik sondaj yapılması ve kazı sırasındaki bulgulara göre de kazının 3 No'lu alana yönlendirilmesi önerilmiştir. 4, 5 ve 6 No'lu anomali alanlarının ise, Seyitömer Höyüğü Kurtarma Kazısı Başkanlığı tarafından yapılacak yüzey araştırmalarıyla desteklenmesi durumunda, kömür üretimi faaliyetlerinden önce arkeolojik sondaj ile tetkik edilmesinde yarar görülmüştür.

Kazı Başkanlığı tarafından bu alanlarda yapılan arkeolojik kurtarma kazılarıyla höyük ile bağlantılı yapı kalıntılarına ulaşılmış olup sonuçlar jeofizik etüt sonuçları ile uyum sağlamaktadır. Şekil 14'de, jeofizik etüdü yapılan alanın bir bölümü ve bulunan yapı temelleri görülmektedir.



Şekil 14. Jeofizik etüdü yapılan alan ve ortaya çıkan yapı kalıntıları (Bilgen'den değiştirilerek)

Jeofizik Etütler sonucunda; geleneksel kazı yöntemlerine göre, daha hızlı ve daha ekonomik kazı yapılması olanağı sağlanmış, kazı öncesi yol gösterici haritalar, arkeolojik yüzey araştırması yapılacak alan ve arkeolojik sondaj lokasyonu belirlenerek bilimsel yol izlenmiş, Arkeoloji ve Jeofizik bilim dallarının birlikte çalışmasının güzel bir örneği verilmiştir.

Katkı Belirtme

Yazarlar, çalışmalar sırasında gösterdikleri ilgi ve sağladıkları destekten dolayı, Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü'ne, Seyitömer Höyüğü Kurtarma Kazısı Başkanı Sn. Prof. Dr. A. Nejat Bilgen'e ve Arkeolog Sn. Ahmet İlaslı'ya teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Başokur, A. T., 1999. Doğru Akım Yönteminin Arkeolojik Amaçlı Kullanımı Üzerine Bir Derleme. Workshop Arkeoloji ve Jeofizik Bildiri Özetleri Kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, İzmir, s.4.
- Bilgen A. N., 2011. Seyitömer Höyüğü Kurtarma Kazısı 2006 yılı Çalışması. Seyitömer Kurtarma Kazısı Başkanlığı, Kütahya.
- Candansayar, M.E., 2006. Doğru Akım Özdirenç Yöntemi. Lisans Ders Notları, Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü (yayınlanmamış).
- Drahor, M. G., 1999. Arkeojeofizik Aramacılığın Tarihi. Workshop Arkeoloji ve Jeofizik Bildiri Özetleri Kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, İzmir, s.3.
- KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013.
- www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMimages/Haritalar/ (Erişim Tarihi: 11.01.2013)
- Loke M.H., 2003. RES2DINV, ver. 3.51, www.geoelectrical.com

Çimento Üretim Teknolojisinde Kullanılan Ana Ekipmanlar

Main Equipment Used in Cement Production Technology

Öykü Bilgin^{1*}, Ercüment Koç²

¹*Şırnak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak*

²*Atatürk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum*

* *Sorumlu Yazar: ykbilgin@yahoo.com*

Özet

Çimento hammaddeleri olan kalker ve şist; patlatmalı kazı yöntemi ile kazıcı-yükleyici, sondaj, kompresör, taşıyıcı gibi ekipmanlar yardımıyla ocaktan çıkarılmaktadır. Öğütülmüş kalker ve diğer hammaddeler belirli oranlarda karıştırılmakta ve döner fırınlarda pişirildikten sonra klin-ker elde edilmektedir. Çimentonun ana malzemesi olan yarı mamul klinker ve istenilen çimento çeşidine göre alçı taşı, tras, kül, demir gibi diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak çimento de-ğirmeninde öğütülmesiyle toz halindeki bağlayıcı olan çimento elde edilmektedir. Elde edilen çimento yatayda havalı bant ve düşeyde elevatör aracılığı ile çimento silolarına taşınmakta ve stoklanmaktadır. Bu stoklardan paketleme ünitesinde paketlenerek veya dökme olarak satışa sunulmaktadır. Bu çalışmada örnek bir çimento fabrikasında kullanılan kırıcılar, farin de-ğir-menleri, döner fırın, çimento değirmenleri, taşıyıcılar ve silo gibi ana ekipmanların özellikleri anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çimento, üretim, teknoloji.

Abstract

Cement raw materials, limestone and schist, are mined from quarry by applied blasting excava-tion method with backhoe loaders, drilling, compressors and conveyors. Ground limestone and other raw materials, after mixing specific proportions by clinker in rotary kilns is obtained by cooking. According to the desired type of cement; clinker by adding additives such as gypsum, trass, flyash and iron mixed in cement mill. In this way cement is milled to obtain the binder in the powder form. Obtained cement transported and stocked to silos by pneumatic bands and elevators. Then, offered for sale as in bulk or packaged form by the packaging unit. In this study, described the characteristics of the main equipments for the cement plant such as crus-hers, grinding mills, rotary kiln, cement mills, silos and conveyors.

Keywords: Cement, production, technology.

1. Giriş

Çimento; doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanmaktadır. Çimento tanelerinin gözenek açıklıkları 5-90µ arasında değişmektedir. Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalik öğeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik öğelerden oluşmaktadır (Scheineider ve ark., 2011). Çimento bağlayıcılık görevini su ile tepkimeye girdikten sonra kazandığı için hidrolik bağlayıcı olarak adlandırılmaktadır. Çimento hammaddeleri; kalker (kireçtaşı), marn (kalker-kil karışımı) ve kildir. Çimento çeşitleri; portland çimentosu, yüksek fırın cüruf çimentosu, traslı çimento, katkılı çimento ve diğer çimento şeklinde sınıflandırılmaktadırlar. Çimento üretimi, toprağın doğal kaynaklarından büyük ölçüde yararlanan bir endüstri dalıdır. Çimento üretimi, çok dikkatle ayarlanmış hammaddelerle kimyasal madde karışımından, bunların bünyesini belli bir ölçüde değiştiren işlemlerle üretim yapmayı amaçlamaktadır (Akçansa, 2008; Strazza ve ark., 2011).

2. Çimento Üretiminde Kullanılan Ana Ekipmanlar

Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler; hammadde ocaklarından genellikle patlayıcı maddeler yardımıyla çıkarılmaktadır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırıcılara taşınmaktadır. Taşınan hammaddeler kırıldıktan sonra stoklanmaktadır. Taşıyıcılar Bantlı konveyör gibi taşıyıcılar yardımıyla stoktan alınan hammaddeler farin değirmenlerde belli oranlarda karıştırılmakta ve öğütülmektedirler. Öğütülen malzeme farin değirmenlerde yaklaşık 1400-1450°C sıcaklıkta pişirilmekte ve elde edilen klinker yarı mamül ürün klinker stok holünde stoklanmaktadır. Daha sonra üretilecek çimento cinsine göre uygun katkılarla çimento değirmenlerinde öğütülmekte ve ayrı ayrı silolarla stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulmaktadır. Tüm bu işlemlerin gerçekleşmesi için kullanılan ana ekipmanlar; hammadde ocaklarında kullanılan ekipmanlar ve fabrikada kullanılan kırıcılar, farin değirmenleri, döner fırın, çimento değirmenleri, taşıyıcılar ve silolardır. Çizelge 1'de örnek alınan hammadde ocaklarında kullanılan ana ekipmanlara ait özellikler verilmektedir. Çizelge 2'de örnek bir çimento fabrikasında kullanılan ana ekipmanlar ve özellikleri gösterilmektedir (Çardak, 2008 Koç, 2008).

	Cinsi	Modeli	Özellikleri
Kazıcı Yükleyici	1. Ekskavatör	Kırıcı	Komatsu PC200 155HP
	2. Ekskavatör	Kazıcı Yükleyici	Komatsu PC300 242 HP
	3. Ekskavatör	Kazıcı Yükleyici	Sumitomo SH-450 335HP
		Yükleyici	
	Kepçe	Yükleyici	Case 921E 290HP
Sondaj	Delici	Dikey delme	Gemsa 2 silindir, 3 teker basit şasi
	Delici	Dikey delme	Böhler 2 silindir, 3 teker basit şasi
Kompresör	Komprasör	Mobil	Atlas Capco XA-350 205 HP
Taşıyıcı	Kamyon	Damperli	Özel üretim 26 ton kapasiteli

Çizelge 1. Örnek alınan hammadde ocaklarında kullanılan ana ekipmanlar ve özellikleri.

	Cinsi	Modeli	Özellikleri
Kırıcılar	1. Kırıcı	Çift Milli - Çekiçli	Humbolt marka 250 t/s kapasiteli
	2. Kırıcı	Çift Milli - Çekiçli	Humbolt marka 250 t/s kapasiteli
	3. Kırıcı	Çift Milli - Çekiçli	Humbolt marka 300 t/s kapasiteli
	4. Kırıcı	Çift Milli - Çekiçli	Humbolt marka 600 t/s kapasiteli
	5. Kırıcı	Tek Milli - Çekiçli	Humbolt marka 150 t/s kapasiteli kömür için
Farin Değirmenleri	1. Farin değirmeni	Bilyalı - Yatay	90 t/s kapasiteli
	2. Farin değirmeni	Bilyalı - Yatay	140 t/s kapasiteli
	3. Farin değirmeni	Bilyalı - Yatay	115 t/s kapasiteli
Döner Fırın	1. Döner fırın	Silindir - Yatay	4.5 m çap, 60 m boy %2-6 eğim
	2. Döner fırın	Silindir - Yatay	4.5 m çap, 60 m boy %2-6 eğim
	3. Döner fırın	Silindir - Yatay	4.5 m çap, 60 m boy %2-6 eğim
Çimento Değirmenleri	1. Çimento değirmeni	Bilyalı - Yatay	F.L. Smidth 2 kamaralı 80 t/s kapasiteli
	2. Çimento değirmeni	Bilyalı - Yatay	F.L. Smidth 2 kamaralı 80 t/s kapasiteli
	3. Çimento değirmeni	Bilyalı - Yatay	F.L. Smidth 2 kamaralı 100 t/s kapasiteli
	4. Çimento değirmeni	Bilyalı - Yatay	F.L. Smidth 2 kamaralı 100 t/s kapasiteli
Taşıyıcılar	Fuller bant	Hava akışlı	Fuller pompa yardımıyla hava akışlı taşıma
	Elevatör	Asansör	Öğütülmüş malzeme sevkiyatı
	Kovalı Bant	Metal	Sıcak klinker sevkiyatı
	Havalı Bant	Hava akışlı	Kuru toz malzeme sevkiyatı
Silolar	Çimento Siloları	Dikey Silindirik	10 adettir toplam 40.000 t kapasiteli
	Hammadde Siloları	Dikey Silindirik	Kırıcılardan sonradır
	Farin Siloları	Dikey Silindirik	Farin değirmeninden sonradır
	Klinker Stokhol	Kubbemsi	Döner fırından sonradır

Çizelge 2. Örnek bir çimento fabrikasında kullanılan ana ekipmanlar ve özellikleri.

Çimento üretim prosesi için gerekli ana ekipmanların özellikleri ve örnek bir fabrikada çimentonun üretim aşamaları aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

2.1. Kırıcılar

Çimento üretiminde gelen hammaddenin üretime girmeden önce belli boyutlara ulaşması gerekmektedir. Aksi takdirde işleme enerjide, iyi kalitede malda ve iş gücünde büyük kayıplarla karşılaşmaktadır (Yiğit, 2008). Ocaklardan çıkan hammaddeler içlerinde belli bir rutubet barındırmaktadır. Malzemenin kırılması ve öğütülmesiyle tane büyüklüğünün azaltılması mad-

denin ana işleme tabi tutulduğunda içindeki rutubetin tamamen kaybolmasını sağlayacaktır. Ayrıca çimento için gerekli olan kimyasal bileşimin oluşturulmasında iyi öğütülmüş ve homojenize edilmiş hammaddenin önemi büyüktür. Kırıcıların bunkerlerine ocaklardan kamyonlarla getirilen malzeme çelik bantların aracılığı ile kırıcılara aktarılır. Örnek alınan çimento fabrikalarında dördü hammadde ve biri de katı yakıt için olmak üzere toplam beş adet kırıcı bulunmaktadır.

1., 2., ve 3. kırıcılar aynı prensiple çalışmaktadır. Çelik bantların yardımıyla konkasörün ortasına düşen parçalar ilk önce burada bir ayırım ve parçalanmaya uğrayarak, mil çevresinde bulunan çekiç darbeleri yardımıyla daha da ufalanarak millerin altındaki eleklerden aşağıya inmektedirler. Buradan lastik bantlar yardımıyla stok hollere aktarılmaktadır.

4. kırıcı kapasite bakımından ve alt kısmında ızgara ve elek olmadığından diğer kırıcılardan farklılık göstermektedir. Bu kırıcıda çelik bantlar yardımıyla hammadde konkasöre alınır konkasörün ilk rotuna çarpan malzeme üstte bulunan plakaya çarpar ve bu plakadan geçerek altta bulunan milin rotuna ve plakasına çarparak geçer. Son kısmında bulunan aralıktan aşağıya düşen malzeme doğrudan stokhole ve kalker homojenizasyonuna dökülmektedir (Güneş, 2008; Koç, 2008).



Şekil 1. Hammadde Homojenizasyon Ünitesi.

2.2. Hammadde Homojenizasyon Ünitesi

5. kırıcı kömür için çalışmaktadır. Kömürler çelik bantlar yardımıyla konkasöre alınmaktadır. Konkasör içindeki silindirlerden aşağı inen malzeme rotor ve silindir arasındaki çekiçlerde parçalanarak son silindirin altından aşağıya inmekte ve doğrudan lastik bantlarla kömür homojenizasyonuna gönderilmektedir. Fabrikada kullanılan yakıtın büyük bir bölümünü oluşturan kömürün belli bir kaloriye yanması için homojenize olması gerekmektedir. Çeşitli kömürler (linyit ve petrokok) fabrikanın stok sahasına gelmektedir. Bu kömürlerin analizi sonucu istenilen kaloriye ulaşmak amacıyla belirli oranlarda kömür homojenizasyon tesisine lastik bantlar ile aktarılmaktadır.



Şekil 2. Kırıcı Görüntüsü.

Kömürde olduğu gibi gelen hammadde de çimento için gerekli belli bir oran olmalıdır. Kalker homojenizasyonu ile bu gerçekleştirilmeye çalışılır. Çimento için gerekli olan CaCO_3 kalkerden sağlanmaktadır. Çeşitlilik göstergesi nedeniyle kalkerin belli oranda CaCO_3 mitarında hazırlanması gerekir. Bunun sağlanması içinde homojenizasyondan geçen kalkerler çimentoya eklenir. Ayrıca homojenizasyonda çimentonun kimyasal bileşimini sağlayacak olan diğer maddelerinde (kum, şist, demir ve gerekli olduğu durumlarda sülfat) oranı ayarlanır. Her 100gr çimento hammaddesinin %78' i kalker, %5' i kum, % 14' ü şist ve %3'ü demir olmalıdır (TSE, 1978). Kırıcılardan çıkan 0 – 50 mm çapında tanecikli hammadde homojenizasyonda yukarıdaki oranlarda birleştirilir. Bunun için homojenizasyona girmeden önce online analizörler kullanılarak malın girişi ve yüzdesi ayarlanır.

2.3. Farin Değirmenleri

Hammadde öğütmenin amacı uygun kimyasal oranlarda bir hammadde karışımı elde etmektir. Bu karışım fırında istenen yanma şartını karşılayabilmek için ayrıca uygun tane büyüklüğü ve inceliğinde olmalıdır. İşte bu son şartı sağlayabilmek için hammadde homojenize edildikten sonra tekrar bir öğütme işleminden daha geçirilir. Bu öğütme işlemi farin değirmenlerinde yapılmaktadır.

Örnek bir çimento fabrikasında 3 adet farin değirmeni bulunmaktadır. Bunlar çimento sektöründe en çok kullanılan tip olan yatay bilyeli değirmenlerdir. Bununla birlikte ileri zamanlarda 2 tane düşük kapasiteli değirmen yerine 1 tane daha yüksek kapasiteli dikey valsli değirmen yapılması planlanmaktadır. Yatay bilyalı değirmen içerisinde 90 – 30 mm çaplarında bilyalar bulunmaktadır. Bunlarla büyük hammaddeler daha küçük parçalara ufalanmaktadır. Değirmenin çıkış kısmına doğru bilye çapı küçülür. Bu da daha ince öğütmeyi sağlamaktadır.

Örneğin 3 farklı adet farin değirmenin özellikleri sırasıyla; 1. Farin değirmeni; yatay silindirik şekildedir. Kırıcıdan gelen mallar direk girer, öğütülür ve çıkar. Kapasitesi 90 ton/saat' tir. 2. Farin değirmeni; yatay silindirik şekildedir. Değirmenin girişinden önce kırıcı ve roller-pres bulunur. Bu iki makine ile tonaj artırımını sağlar. Kapasitesi 140 ton/saat' tir. 3. Farin değirmeni; yatay silindirik şekildedir. 2 bölmesi bulunur. İlk bölümünde hammaddenin öğütülmesinin kolaylaşması için kurutma işlemi yapılır. 2. bölümünde ise öğütme işlemi yapılmaktadır. Kapasitesi 115 ton/saat' tir. Farin değirmenlerinin genel işleyiş prensibi ise; homojone olmuş hammadde binlik bant ve elavatorler yardımıyla Farin değirmenlerine gönderilir. Burada iri parçalı olan hammadde farin değirmenlerinin girişindeki 90'lık bilyalarca daha küçük parçalara çıkışa doğru ise 30'luk bilyalarla daha da küçük parçalara ve toz haline öğütülür. Değirmen çıkışında farin vantilatörler yardımıyla separatöre gönderilir. Burada siklonlara giremeyecek kadar büyük parçalar separatör'ün rotor hızına göre ayrılarak, tekrar öğütülmek üzere değirmene gönderilmektedir (Koç, 2008).



Şekil 3. Farin Değirmeni Görüntüsü.

Farin değirmenlerinden çıkan madde farindir. Farin, çimentonun yarı mamulüdür. Buradan pişirilmek üzere fırına gönderilmektedir. Farin fırına girmeden önce ön ısıtıcı kuleden geçer. Ön ısıtıcı kulede fırındaki kimyasal işleme hazırlanan yarı mamul enerjiden tasarruf, elde edilen malzemede artış ve döner fırının boyunun kısılması gibi avantajlar sağlamaktadır.

2.4. Döner Fırın

Döner fırın, yavaşça dönen silindir şeklindeki bir borudan ibarettir. Boyu 60 m, çapı ise yaklaşık 4.5 m'dir. %2 - %6 arasında değişebilen bir eğime sahip olan döner fırının içi çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı tuğla ile örülüdür.

Piştirilecek madde fırının üst kısmından yani besleme ucundan girer, yakma düzlemi ise aşağı kısımdan yani başlama ucundan çalışmaktadır. Buna göre döner fırının ters akım prensibine göre çalıştığını anlayabiliriz. Döner fırınlarda yakıt olarak toz kömür, fuel-oil, doğal veya atık lastik kullanılmaktadır. Bu yakıtlara bir de kontamine yağların da katılması sağlanabilmektedir. Döner fırınlarda ısı alımı alev borusu sayesinde gerçekleşmektedir. Homojenizasyona uğramış kömür tozu da bu borunun içinden geçerek yakılmaktadır. Döner fırın temel olarak 5 ana bölmeye ayrılmaktadırlar. Bunlar;

- Kalsinasyon Bölgesi: Sıcaklığın 1150 °C'ye kadar çıktığı fırının giriş bölgesidir.
- Emniyet Bölgesi: Sıcaklığın 1250 °C'ye ulaştığı fırın çapının 2 katı kadar olan bölgedir.
- Geçiş Bölgesi: Fırın içindeki maddenin likitleşmeye başladığı bölümdür.
- Sinter Bölgesi: Döner fırında kimyasal reaksiyonların meydana geldiği yani klinker bileşiklerinin oluştuğu bölgedir. Bu bölgede sıcaklık ortalama 1450-1500 °C civarındadır. Bu bölümün içine kaplı olan anzast maddesi çok önemlidir. Bu madde sayesinde fırın içine örülmüş tuğla yüksek sıcaklıktan korunur ve ömrü uzar. Ancak anzast kaplama kalınlığıda çok önemlidir. Kalın anzast kaplaması enerji israfı yaparken ince olan kaplamalarda tuğlalar fırın içinden kopabilmekte ve fırının durmasına sebep olabilmektedirler. Ayrıca sinter bölgesinin uzunluğu da çimento fabrikasının yarı mamullerinden biri olan klinkerin kalitesinde büyük rol oynamaktadır. Bu kısım ne kadar uzun olursa kimyasal reaksiyon uzun süreceğinden oluşan klinkerin kalitesi bozulur ve öğütülmesi güçleşir.
- Havuzlama bölgesi: Döner fırının son bölmesidir. Bu kısımda alev tesiri biter ve oluşan klinker 1450-1500 °C' den 1300-1200 °C' ye kadar düşer. Buradan sonra tam soğuma için klinker soğutmaya gönderilir.

Döner fırın çıkışında çimento fabrikaları için diğer bir yarı mamul sayılan klinker oluşmaktadır. Bu çimentonun % 95' ini oluşturan bir maddedir. Bu madde kolay taşınma, kolay öğütme ve kalitede iyileştirme gibi nedenlerle fırın çıkış sıcaklığından normal sıcaklığa kadar soğutulur ve yine bantlarla klinker stokhollerine aktarılmaktadır. Elde edilen klinkeri soğutmak için Fuller- Izgaralı soğutucu kullanılmaktadır. Çelik bir ızgaraya dökülen bant buradan taşınarak kapalı ortama hava üfleyen vantilatörler yardımıyla ızgara içindeki boşluklara üflenmektedir. Soğutucudan çıkan klinker tekrar bir kırıcıya girer büyük parçaları öğütülmekte ve buradan çelik bantlar yardımı ile klinker stok hollerine aktarılmaktadır. Klinker döner fırından çıktıktan sonra soğutucuya yeraltından giden çelik bantlarla taşınmaktadır (Koç, 2008).



Şekil 4. Döner Fırın Görüntüsü.

2.5. Çimento Değirmeni

Klinkerin çimentoya öğütülmesi, çimento üretiminde temel ve aynı zamanda son teknolojik operasyondur. İmalat şekli çimentonun kalitesi üzerinde çok büyük etkisi olan bir olaydır. Öğütme ise imalatın en önemli safhasını oluşturur. Bunun yanında istenilen çimento tipine göre eklenen yan ürünler çimento cinsinin ve kalitesinin belirlenmesinde büyük rol oynayan ikinci etmenlerdir.

Çimento üretimi için kullanılan enerjinin yaklaşık % 85'i hammaddenin kırılma ve öğütülmesinde harcanmaktadır. Bu kullanılan enerjinin de %75'i öğütmede kullanılmaktadır. 4.7 Farin değirmenlerinde olduğu gibi çimento değirmenlerinde de bilyalı sistemler vardır. Bilyalı ve veya diğer bir deyişle boru değirmenler yatayda dönen büyük çelik silindirlerdir. Bunların içinde öğütülen maddenin ufalanması öğütme malzemesinin hareketi sayesinde olmaktadır. Öğütme malzemelerinin ve plakalarla kaplanmış değirmen gövdesinin arasındaki çarpma ve sürtünme sayesinde öğütme gerçekleşmektedir.

Döner fırınlardan çıkan klinker döner fırın akışındaki kırıcılarda kırılarak havalı bantlarla stok hollere götürülmektedir. Buradan alınan klinker bazı katkı maddeleri ile (alçı, tras vb.) çimento değirmenine verilmektedir (Güneş, 2008).

Örneğin bir çimento fabrikasında 4 adet çimento değirmeni vardır. Tüm çimento değirmenleri 2 kamaralıdır ve içlerinde bulunan diyafram panelleri sayesinde birbirinden ayrılırlar. Değirmen giriş bölgesi (1. kamar), ikinci bölmeden biraz daha uzundur. Birinci bölgede yine aynı farin değirmenin de olduğu gibi iri bilyalar (110-160 ton) ikinci kamarada ise 90 ton ağırlığında ve 15-20 mm çaplarında mini bilyalar bulunmaktadır.

Değirmen çıkan çimentonun tane büyüklüğü değirmenin ürettiği malın miktarı ile ayarlanır. Tane boyutları büyük ise değirmene gönderilen mal miktarı azalır. Böylece geçen mal debisi azaldığından tanelerin öğütülmesi daha iyi olur ve daha küçük taneli mal çıkmaktadır. Klinkerin değirmen içindeki sıcaklığı da önemlidir. Çünkü çimento 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozulur.⁸ Bu yüzden çimento değirmeninin soğutma sistemi de vardır. Düşük sıcaklıkta ise ufalamak ve ezmek zorlaşır. Çimento değirmeninden çıkan malzeme rutubetsiz ve yeterince kalın tane boyutundaysa elekten geçerek elevatöre gelir. Buradan dolmuş sevk tankına gelerek hava ile silolarına basılmaktadır. Eğer rutubetli ve çok ince taneli ise emiş hava ile emilmekte ve filtre takılan çimento, tekrar helezon ve havalı bantlarla çimento silolarına taşınmak üzere elevatöre getirilip sisteme dahil edilmektedir.



Şekil 5. Bilyalı Çimento Değirmeni İç Görüntüsü.

Yukarıdaki temel teknolojilerin yanı sıra bunların arasında taşımayı sağlayan birçok araç kullanılmaktadır. Bunlar fuller pompa, elavator, kovalı bant, lastik bant ve toz çekme zinciridir (Koç, 2008).

2.6. Taşıyıcılar

Bir çimento fabrikasında kullanılabilen taşıyıcılar dört çeşittir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır (Koç, 2008).

2.6.1. Fuller Bant

Farin çimento ve kömürün bir yerden diğer bir yere sevk edilmesinde rol oynar. Burada genel olarak fuller pompanın ürettiği hava ile taşınma işlemi yapılır (Güneş, 2008).

2.6.2. Elevatör

Fabrika içinde malzemelerin taşınmasında kullanılan diğer bir makine sistemidir. Elavator; bir oluklu tabanına dökülen malı kovalarına alır ve en üst noktadan başka bir oluğa döker. Elavatorler daha ziyade öğütülmüş ince malzemelerin sevkinde kullanılırlar (Güneş, 2008).

2.6.3. Kovalı Bant

Klinker ve benzeri irilikteki malzemeyi bir yerden bir yere sevk eden bir nakil makinesidir. Kovalı bant sistem olarak elavatore benzer. Kovalı bant soğumadan dökülen klinkeri stokhole nakleder (Güneş, 2008).

2.6.4. Havalı Bant

Farin ve çimentoyu hava ile sevk etmeye yarayan bir taşıma sistemidir. Havalı bantta bandın üzerine dökülen malzeme bandın altından dökülen hava ile hareket ettirilir ve akış sağlanır. Havalı bandın yağmur ve kar sularından korunması gerekmektedir. Çünkü ıslanan malzeme bu bant ile taşınmaz (Güneş, 2008).



Şekil 6. Taşıyıcı Bant Görüntüsü.

2.7. Silolar

Örnek fabrikada hammadde, yarı mamul ve mamul depolamanın hepsi silolarda olur. Bu depolamalar üretimin devamlılığı için çok önemlidir. Örneğin bir çimento fabrika bünyesinde 10 adet çimento silosu bulunmaktadır. Üretilen farklı tipteki çimentolar, farklı çimento silolarında depolanmakta ve bu konuda devamlılık sağlanmaktadır. Toplam kapasiteleri 40.000 ton olan bu siloların yanında kırıcılardan sonra hammadde siloları, farin değirmeninden sonra farin siloları ve döner fırından sonra klinker stokholleri bulunmaktadır.



Şekil 7. Siloların Görüntüsü.

Üretilen çimento; dökme çimento veya paket çimento şeklinde hazırlanmaktadır. Çimento paketleme otomasyon sisteminde; çimento torbalarının alınıp ve paketleme öncesi hazırlanması, çimento doldurulması ve torbaların kontrolü (tartı ve deforme) yapılmaktadır (Koç, 2008).

Sonuçlar ve Tartışma

Çimento sektöründe kullanılan tüm makineler birbirine bağlı ve çok büyük makinelerdir. Alternatif teknoloji olarak önerilebilecek basit konular fabrikada uygulanmaya konulmuştur. Bunların başında fırınlarda kullanılan yakıt çeşitlendirilmelidir. Tüm teknoloji üretim binası içinde bulunan merkezi kumanda odasından bilgisayarlar ile kontrol edilmektedir. Herhangi bir aksaklık buradan rahatça tespit edilebilmektedir. Bunun yanı sıra merkezi kumandaya gelen üretim ve stok verileri ile de planlanan üretimin ne kadarının gerçekleştiği belirlenebilmektedir. Tüm fabrikada olduğu gibi merkezi kumanda da 7 gün 24 saat çalışılmaktadır. Fabrikada yalın yaklaşım, esnek üretim sistemi gibi değerler uygulanmaktadır. Yalın yaklaşımın amacı; değerler ilk hammaddeden başlayarak üretim süreci boyunca hiç kesintisiz akıtılarak hızla nihai müşteriye ulaştırılmasıdır. Esnek üretim sisteminin fabrikada kullanıldığı en büyük kanıtı tüm fabrikanın merkezi kumandanın idare edilmesidir. Bu sayede üretimde robotların ve bilgisayarların kullanımı sağlanmıştır. Merkezi kumandanın verdiği kararlar doğrultusunda silolardan değirmenler yarı mamul ve hammadde beslemesi yapılabilmekte bunun yanında yine robotlarla atık lastiklerin kullanım sayısı ve zamanı belirlenebilmekte ve fırınlara besleme yapılabilmektedir. Direkt işçiliğin, malzeme taşıma ve depolama ile ilgili problemlerin asgariye indirilerek, sürat ve verimliliğin artırıldığı bu sistemler, sistem elemanlarının hazırlık zamanından dolayı hiçbir diğer sistem elemanında kesinti oluşmayacak şekilde tasarlanmıştır (Akçansa, 2008; Koç, 2008).

Katkı Belirtme ve Teşekkür

Katkılarından dolayı Akçansa büyükçekmece çimento fabrikasına, başta sayın İmran Güneş ve sayın Duran Çardak olmak üzere tüm çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Akçansa, 2008, Tanıtım Kataloğu ve Faaliyet Raporu.
- C. Strazza, A. Del Borghi, M. Gallo, M. Del Borghi, 2011, Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: analysis of co-incineration in cement plants through a life cycle approach, *Journal of Cleaner Production* 19.
- Çardak, D., 2008, Kişisel görüşme. Akçansa büyükçekmece çimento fabrikası, İstanbul, Türkiye.
- E. Yiğit, 2008, Cevher hazırlama ve zenginleştirme, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü.
- Güneş, İ., 2008, Kişisel görüşme. Akçansa büyükçekmece çimento fabrikası, İstanbul, Türkiye.
- Koç, E., 2008, Akçansa staj raporu, KTÜ, 65s.
- M. Schneider, M. Romer, M. Tschudin, H. Bolio, 2011, Sustainable cement production—present and future, *Cement and Concrete Research* 41, pp 642–650
- TS EN 1978-1, Türk Standartları Enstitüsü.

Makale Yazım Kuralları

1.Dergi Hakkında

MT Bilimsel, Türkiye'nin ilk ve tek madencilik ve yer bilimleri dergisi olan Madencilik Türkiye Dergisi'nin yayıncı şirketi MAYEB Madencilik ve Yerbilimleri Basım Yayın Dağıtım Ltd. Şti. tarafından çıkarılmaktadır.

MT Bilimsel'de yayınlanması için hazırlanan makaleler daha önce yayınlanmamış özgün yazı, derleme yazı, teknik notlar ve tartışma yazıları niteliğinde olmalıdır. Yazının MT Bilimsel'e gönderilmesi, daha önce basılmamış veya başka bir yerde incelemede olmadığını kabulü anlamına gelmektedir.

Maden, petrol, doğal gaz, jeotermal gibi her türlü yer altı kaynakları konusunda ve alt dallarında; ilk kez yazarı tarafından açıklanan teorik ve pratik çalışmaları içeren yazılar **özgün yazı**, daha önce yapılmış çalışmaları eleştirel bir yaklaşımla derleyip o konuda yeni bir görüş ortaya koyan yazılar **derleme yazısı**, devam eden bir çalışmanın ön notları, önceden yapılmış bir çalışmanın uzantısı, sınırlı bir çalışmanın tam anlatımı, özel bir uygulamanın ya da uygulanan deneysel bir işlemin tanıtımı şeklinde çalışılan bilimsel içerikli yazılar **teknik not**, dergide daha önce yayımlanan yazılara okurlardan gelen eleştiriler, katkılar ve bu eleştirilere yazar tarafından verilen yanıtları içeren yazılar da **tartışma yazısı** olarak adlandırılır.

2.Yazıların Telif Hakları

MT Bilimsel'de yayınlanan makalelerin telif hakları MAYEB'e aittir. Yazının yayına kabulünün ardından Yayın İdare Merkezi (YİM) tarafından sorumlu yazara elektronik ortamda "telif hakkı devir sözleşmesi" gönderilir. Bu sözleşme ile dergide yayınlanan yazılar, yazarları adına koruma altına alınmış olur ve başka bir yayın organında yayınlanamaz. Telif hakkının devredildiğine ilişkin bu belgenin imzalanarak YİM'e gönderilmesiyle makale yayın için hazırlanır. Sözleşme YİM'e ulaşmadan, makale kabul edilmiş olsa bile dergide yayınlanmaz.

3.Yazıların Hazırlanması

MT Bilimsel Türkçe ve İngilizce yayınları kabul etmektedir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı, özeti, çizelge ve şekillerin açıklamaları editörlükçe Türkçe'ye çevrilir.

Makalelerin MS Word formatında ve aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanması gerekmektedir.

3.1 Makale Bölüm Sıralaması

Makaleler aşağıdaki başlık sıralamasına uygun bir biçimde hazırlanmalıdır.

- Özet
- Abstract
- Giriş
- Ana Başlık
- Alt Başlıklar

Sonuçlar ve Tartışma
Katkı Belirtme ve Teşekkür
Referanslar

3.1.2 Başlık

Yazının başlığı, olabildiğince kısa ve çalışmanın içeriğini net bir şekilde yansıtmalıdır. Başlığın mutlaka İngilizcesi de bulunmalıdır. Türkçe başlık 14 punto, koyu (bold), satır arası tek ve yalnızca kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde; İngilizce başlık ise 11 punto, italik, satır arası tek ve yalnızca kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde yazılmalıdır. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise yukarıda belirtilenlerin tersi uygulanmalıdır.

3.1.2 Yazarlar

Yazarların ad - soyadları açıkça ve yalnızca ilk harfler büyük olacak şekilde yazılmalı, çalışılan kuruluş isimleri, yazar soyadının sonuna konulacak bir numara ile bir alt satırda italik olarak belirtilmelidir. Birden fazla yazar bulunan makalelerde "Sorumlu Yazar" soyadının sonuna konulacak " * " işareti ile belirtilmelidir. Yazarların elektronik posta adresleri de italik olarak belirtilmelidir.

Sorumlu Yazar: Birden fazla yazara sahip makalelerde YİM ile iletişimde kalacak kişidir. Özellikle belirtilmediyse, yayına kabul aşamasında yazışmalar hangi yazar ile gerçekleştirildiyse, o kişi sorumlu yazar olarak kabul edilir. Sorumlu yazarın telefon, faks elektronik posta adresi ve posta adresi YİM'e bildirilmelidir. İletişim bilgilerinin, sorumlu yazar tarafından güncel tutulması gerekir.

Bu bölümdeki tüm karakterler 11 punto büyüklüğünde, tek satır arası bırakılarak hazırlanmalıdır. Yalnızca belirteçler üslû olarak yazılmalıdır. Örnek yazar adı yazımı aşağıdaki şekildedir:

C. Okay Aksoy^{1*}, Bülent Kaypak²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Ankara

* Sorumlu Yazar: okay.aksoy@deu.edu.tr

3.1.3 Özet, Abstract ve Anahtar Kelimeler

Özet ve Abstract bölümünün toplamı 400 kelimeyi geçmemelidir. Özet, araştırmanın amacını ve başlıca sonuçları belirtmelidir. Özette kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Ayrıca, standart olmayan ya da seyrek kısaltmalardan kaçınılmalıdır. Kısaltma kullanılması zorunlu ise özeti içinde tanımlanması gerekir.

Türkçe hazırlanmış yazılarda "Özet"ten sonra "Abstract (İngilizce Özet)" yer almalıdır. Abstract italik olmalıdır. İngilizce makalelerde Abstract önce, italik yazılmış Türkçe Özet sonra yer almalıdır.

Anahtar kelimeler/Key words, özeti ve abstract'ın ayrı ayrı hemen altında yer almalıdır. En az iki en fazla altı kelime kullanılmalıdır. Özet için Türkçe, Abstract için İngilizce olarak verilmelidir. Yalnızca alanıyla direkt ilgisi olan anahtar kelimeler uygun olabilir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla, küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik not ve tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

3.2 Makalenin Ana Gövdesi

A4 kağıdı boyutlarına (21,0 x 29,7 cm) ayarlanmış MS Word sayfası üzerindeki yazı alanı, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak düzenlenmelidir. Yalnızca yazının başlığının ve yazar isimlerinin bulunduğu ilk sayfada üstten 5,0 cm, sağ, sol ve alt kenarlardan yine 2,5 cm boşluk bırakılmalıdır. Bu şekilde ayarlanan ilk sayfaya başlık, yazar isimleri, çalışılan kurum, iletişim bilgileri, özet, abstract (özet ve abstract toplam 400 kelimeyi geçmemelidir) ve anahtar kelimeler sığmış olmalıdır. Yazarlara kolaylık olması açısından bu ilk sayfa ana yazıdan ayrıca hazırlanarak gönderilebilir.

Makale yazımında, Times New Roman yazı karakteri kullanılmalıdır. Karakterler 12 punto büyüklüğünde, satır aralıkları 1,5 nk olmalıdır. Sayfa yapısı tek kolon, yazı sayfanın her iki tarafına yaslanmış şekilde kaydedilmelidir. Ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

3.2.1 Başlıklar ve Bölüm Numaralandırmaları

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar aşağıdaki şartlarda ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Tüm başlıklar yalnızca ilk harfleri büyük ve koyu (bold) olarak yazılmalıdır,

Makale, açıkça tanımlanmış ve numaralandırılmış bölüm ve alt bölümlere ayrılmalıdır. Alt bölümler 1.1 (1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, vb. şekilde numaralandırılmalıdır. Özet, numaralandırılmış bölümlere dahil edilmemelidir. Herhangi bir alt bölüme kısa bir başlık verilebilir. Her başlık kendi başına ayrı bir satır üzerinde görünmelidir.

3.2.2 Giriş

Giriş bölümü, araştırmanın amacı ve konu ile ilgili geçmiş çalışmaların sunulduğu, yazıyı okumaya hazırlayan ve yazının genelini anlaşılmasını kolaylaştıran bilgilerden oluşmalıdır.

3.2.3 Gereç ve Yöntemler

Çalışmanın tekrarlanabilmesi için yeterli ayrıntıyı sağlayan bölümdür. Önceden yayınlanmış yöntemler referans olarak belirtilmelidir.

3.2.4 Tartışma ve Sonuçlar

Bu bölümde çalışmanın sonuçları ve önemi tartışılarak açıklanmalıdır.

3.2.5 Ekler

Birden fazla ek varsa, bunlar A, B, vb. şekilde belirtilmelidir. Formül ve denklemler için ayrı bir numaralandırma yapılmalıdır: Eş. 1, Eş. 2 vb. Aynı işlem tablo ve resimler içinde yapılmalıdır: Tablo 1; Şekil 1, vb.

3.2.6 Katkı Belirtme ve Teşekkür

Katkı belirtme ve teşekkür bölümü, makalelerin ilk gönderiminde belirtilmemeli, çalışma yayına kabul edildikten sonra son düzenlemeler yapılırken eklenmelidir. Teşekkür, referanslardan önce, makalenin sonunda ayrı bir bölüm olarak toparlanmalıdır. Teşekkür, araştırma sırasında yardım sağlayan (makaleyi okuma, yazma, dil yardımı vb.) bireylere ve/veya kuruluşlara, olabildiğince kısa ve öz bir şekilde belirtilmelidir.

3.3 Kaynaklar ve Atıflar

3.3.1 Metin İçinde Atıf

Metin olarak gösterilen her referans, aynı zamanda referans listesinde de bulunmalıdır (veya tam tersi). 'Baskıda' gibi bir referans, atfın yayına kabul edildiği anlamına gelmektedir.

3.3.2 Referans Şekli

Metin içinde atıfta bulunulan tüm yayınlar, metni takip eden referans listesinde sunulmalıdır.

3.3.3 Metin

Metin içinde her referansta bakılmalıdır:

1. Tek Yazar: yazarın soyadı ve yayın yılı;
2. İki yazarlı: iki yazarın soyadları ve yayın yılı;
3. Üç ya da daha çok yazarlı yayınlarda ilk yazarın soyadından sonra "ve ark." ve yayın yılı.

Atıflar doğrudan (ya da parantez) içinde yapılabilir. Kaynak grupları ilk olarak alfabetik sırayla, sonra kronolojik olarak listelenmiş olmalıdır.

Örnekler olarak; (Aksoy, 1999; 2004a; 2008b; Aksoy ve Köse, 1995; Geniş ve ark., 2010; Kramer ve ark., 2000).

3.3.4 Kaynakların Listelenmesi

Kaynaklar alfabetik olarak, gerekirse daha sonra kronolojik sıraya göre dizilmelidir. Aynı yıl aynı yazar (lar) 'dan birden fazla referans yayınlandığında, yayınlandığı yıldan sonra konulan "a", "b", "c", vb. harfleri ile gösterilmelidir. Kaynakça için bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Basılmış Dergiye Referanslar

Aksoy, C.O., 2008b. Chemical injection application at tunnel service shaft to prevent ground settlement induced by ground water drainage: a case study. International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences. 45(3), 376-383.

Kitaba Referanslar

Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hardrock. Rotterdam, Balkema.

Düzenlenmiş Bir Kitaptaki Bölüme Referans

ISRM The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Ulusay R, Hudson JA, editors. Ankara: Kozan Ofset; 2007.

Raporlar ve Tezler

Demirok, Y, 1978. Muğla-Yatağan Linyit Sahaları Jeoloji ve Rezerv Ön Raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayınlanmamış).

Tuna, K., 2011. Stratejik ve Kritik Madenlere İlişkin Küresel Politikalar Çerçevesinde Türkiye'deki Stratejik ve Kritik Madenlerin Ulusal Güvenliğe Etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Çanakkale, Yüksek Lisans Tezi, 240 s (yayınlanmamış).

Kişisel Görüşme

Aksoy, O., 2005. Kişisel görüşme. Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

İnternet Kaynakları

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/ (Erişim Tarihi: 01.01.2012)

4. Dikkat Edilmesi Gereken Diğer Konular

4.1 Kısaltmalar

Alanında standart olmayan kısaltmalar, makalenin ilk sayfasında yerleştirilmek üzere bir dipnot olarak tanımlanmalıdır. Kısaltmalarda metin içinde tutarlı olunması gerekmektedir.

4.2 Birimler

Uluslararası kabul görmüş kuralları ve gelenekleri izlenmelidir. Uluslararası birimler sistemi (SI) kullanılmalıdır. Diğer birimler belirtilmişse, lütfen SI birim sistemine eşitliğini veriniz.

4.3 Matematik Formüller

Mevcut basit formüllerde, normal metin içinde küçük kesirli koşullar için yatay bir çizgi yerine "solidus" (/) kullanılmalıdır. Örneğin, (X / Y). Prensiplerde, değişkenler italik olarak sunulur. e'nin kuvvetleri (exp) kullanılarak belirtilmelidir. Herhangi ardışık şekilde numaralandırılıp atıf yapılmış denklemler metinden ayrı bir şekilde belirtilir. Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; CO₂, x²).

4.4 Dipnotlar

Dipnotlar gerekmedikçe kullanılmamalıdır. Makale boyunca sırayla üstsimge numaraları kullanarak sıralayınız.

4.5 Tablo Dipnotları

Bir tabloda her bir dipnotu üst simge küçük harf ile belirtiniz.

4.6 Şekil, Çizim ve Fotoğraflar

Tek tip yazı ve boyutlandırma kullanılmalıdır. Metin çalışmanın içine grafik olarak kaydedilmelidir. Sadece resimlerde belirtilen yazı tipini kullanılmalıdır; Arial, Courier, Times New Roman, Sembol. Çizimlerin metin içinde sıralandırılması gerekir. Çalışma dosyaları mantıksal bir adlandırma kuralı içinde adlandırılmalıdır. Çizimler için ayrı ayrı başlık verilmelidir. Her şekli ayrı bir dosya olarak gönderilmelidir.

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır.

Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15,8 cm (genişlik) x 22,5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması önerilir. Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Şekillerde açık, gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır.

Fotoğraflar mümkün olduğunca net ve aydınlık olmalıdır. Fotoğraflar ilk başvuruda normal çözünürlükte ve yazı içerisinde ilgili yerlerine yerleştirilerek gönderilmelidir. Makale yayına kabul edildikten sonra tüm fotoğraflar en az 300 dpi kalite ile makaleden ayrı bir şekilde gönderilmelidir.

4.7 Şekil Başlıkları

Her şekil ve resimde bir başlık olmalıdır. Başlıklar, şekillerin kaynağından ayrı olmalıdır. Bir başlık, kısa bir başlık ve şeklin bir açıklamasını içermelidir. Kullanılan tüm semboller ve kısaltmaları açıklanmalıdır.

4.8 Tablolar

Tablolar, ardışık şekilde numaralandırılmalıdır. Dipnotlar, tabloya gömülmeli ve üst simge küçük harfler ile belirtilmelidir. Dikey yazımdan kaçınılmalıdır.

5. Makalelerin Dergiye Gönderilmesi

Yazılar ikinci bir duyuruya kadar aşağıdaki editörlere elektronik posta yoluyla gönderilecektir.

Baş Editör: C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü)
o.aksoy@mtbilimsel.com

Madencilik Türkiye Dergisi Temsilcisi: Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)
onur@mtbilimsel.com

6. Yayına Kabul Edilen Makaleler Hakkında

Makalelerin yayına kabul edilmesi halinde editörlük tarafından yazarla iletişime geçilecektir. Çalışmanın yayına kabulünün yazara bildirilmesinin ardından yazarlar, editörlük tarafından belirtilen süre içerisinde, makalelerinin bu yazım kılavuzuna göre düzenlendiği ve editörya tarafından istenen diğer düzenlemelerin yapıldığı son kopyasını YİM'e göndermelidir.

Article Writing Norms

1. About Journal

MT Scientific is published by Turkey's first and only mining and earth sciences journal Mining Turkey's publisher company MAYEB, Mining and Earth Sciences Publication Release Distribution Co. Ltd.

Articles which are prepared to be published in MT Scientific should be unpublished, research articles, edited articles, technical notes and discussion articles. Sending a paper to MT Scientific means the recognition that the paper has never been published or reviewed before in any other magazine.

Papers about any underground resources like mine, petrol, gas, geothermal or about their subfields; articles including theoretical and practical studies firstly mentioned by the author are called **Original Research Article**, articles editing earlier studies with a critical approach and giving new insights about the subject are called **Review Articles**, pre-notes of an ongoing study, extensions of earlier studies, whole presentation of a limited study, articles as an introduction of a specific application or an applied scientific operation are called **Technical Notes** and articles including critics or contributions made by readers on a paper published in a magazine and responses given by the author about those critics are called **discussion articles**.

2. Copyrights of Articles

Copyrights of the papers published in MT Scientific are owned by MAYEB. After the acceptance of the paper for publication, Publication Management Center (PMC) sends a "copyright transfer contract" to responsible author in electronically environment. With this contract, articles published in magazine are put under protection on behalf of the author and cannot be published in an another media organ. With signing this document, indicating the transfer of the copyright and sending it to PMC, the article is prepared for publication. Even if the article is accepted for publication, if the contract is not got through to PMC, the article cannot be published.

3. Preparation of the Articles

MT Scientific accepts papers written in Turkish and English. If the authors are not native Turkish speakers, headline of the article, summary, presentations of the tables and shapes are translated in Turkish by the editorship.

Articles should be written in MS Word format and within the scope of the orders given below.

3.1 Article Outline

- Summary
- Abstract
- Introduction
- Main Topic
- Subtitles
- Conclusion and Discussion

Contributions and Thanks References

3.1.2 Headline

Main headline should be as short as possible and should identify the content transparently. Headline should also be able to be translated into English. Turkish headline should be written in 14 font size, bold, single-spaced and only the word's first letters capitalized; English headline should be written in 11 font size, italics, single-spaced and only the word's first letters capitalized. In English articles, vice versa should be done.

3.1.2 Authors

Author's name and surname should be clearly written and first letters should be capitalized, firms worked in should be stated after author's surname with a number in low line with italics. If there are multiple authors, "Responsible Author" should be indicated by adding " * " symbol after his/her surname.

Responsible Author: In articles with multiple authors, he is the one who communicates with PMC. If not indicated specifically, the author with whom correspondences are made during the publication acceptance phase is considered responsible author. Responsible author's phone and fax number, e-mail address and postal address should be informed to PMC. Contact information of the responsible author should be kept up-to-date.

All characters in this section should be in 11 font size, single-spaced. Only the indicators should be written exponentially. Sample writer name and orthography should be as below:

C. Okay Aksoy^{1*}, Bülent Kaypak²

¹*Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, İzmir*

²*Ankara University,, Engineering Faculty, Department of Geophysical, Ankara*

* *Responsible Author: okay.aksoy@deu.edu.tr*

3.1.3 Summary, Abstract and Key Words

Summary and abstract part shouldn't consist of more than 400 words as a whole. Summary should indicate the author's aims and primary results. In summary, references shouldn't be addressed to. Non-standard and scarce abbreviations should also be avoided. If an abbreviation is compulsory, it should be identified.

In Turkish articles, after the "Summary", there should be an "Abstract". Abstract should be written in italics. In English articles, Abstract should be placed before Turkish Summary and be written in italics.

Key words should be placed just below the summary and abstract separately. There should be at least two and at most six keywords. Keywords should be in Turkish for summary and English for abstract. Only the subject related keywords can be appropriate. Keywords should be written in alphabetic order with lower case (first word's first letter is in upper case) and there should be a comma between them. In technical notes and discussion articles there is no need for keywords.

3.2 Outline of the Article

Writing field on MS Word page which is adjusted as an A4 paper (21,0 × 29,7 cm) should be organized with 2,5 cm margins from all sides. Only the first page on which the headline and the author names are written has 5,0 cm margin from the top and 2,5 cm margins from the other sides. Headline, authors' names, firms worked in, contact information, summary, abstract (summary and abstract should not exceed 400 words as a whole) and keywords should be fitted into this organized page. For convenience, the author can send this first page early on, separately from the main article.

Times New Roman font should be used for articles. Characters should be 12 font sized and line spacing should be 1,5 pt. Page setup should be single columned, and should be saved justified to both sides. Each page should be given a number as well.

3.2.1 Headings and Numbering the Sections

Diverse headings in an article should be given as below order and left justified. All headings should be written bold with only their first letters in upper case,

Article should be cut into transparently identified and numbered sections and sub-sections. Sub sections should be numbered as 1.1 (1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. Summary should not be attached to these numbered sections. Any sub-section can be given a short heading. Each heading should stand on it's own line separately.

3.2.2 Introduction

Introduction part should include information about the aim of the author and earlier studies on same subject and moreover should prepare the reader for the article by giving some general clues about the subject.

3.2.3 Instruments and Methods

This part supplies adequate detail to make the study quotable. Earlier published methods should be stated as reference.

3.2.4 Discussion and Conclusions

In this section conclusions and importance of the study should be mentioned argumentatively.

3.2.5 Appendixes

If there are multiple appendixes, those should be indicated as A, B, etc. Formulas and equations should be numbered separately: Eq. 1, Eq. 2 etc. Same should be done for tables and images too: Table 1; Image 1, etc.

3.2.6 Contributions and Thanks

Contributions and thanks section should not be attached to article at first post but after the acceptance of the article, it should be attached to article by making post normalizations.

Thanks should be stated separately at the last of the article before references. Thanks should be sent to aide (reading, writing and language help etc.) people or firms as short as possible.

3.3 Resources and References

3.3.1 Internal references in article

All internal references should be indicated in reference list as well (or vice versa). A reference as 'In-print' means the article is accepted for press.

3.3.2 Form of Reference

All internal references should also be indicated in reference list as well.

3.3.3 Text

These points should be taken into account at every internal reference:

1. One Author: author's surname and print year;
2. Two authors: two author's surnames and print year;
3. If there are three or more authors in an article, after the first author's surname "et al." and print year.

References can be done directly (or in brackets). Resource groups should firstly be listed alphabetically, then chronologically.

As a sample; (Aksoy, 1999; 2004a; 2008b; Aksoy ve Köse, 1995; Geniş et al., 2010; Kramer et al., 2000).

3.3.4 Listing of Resources

Resources need to be listed firstly alphabetically, then chronologically. If there are multiple author's quoted articles in same year, those should be indicated with "a", "b", "c", etc. letters after print year. Some samples for resources are listed below.

References Printed To Magazine

Aksoy, C.O., 2008b. Chemical injection application at tunnel service shaft to prevent ground settlement induced by ground water drainage: a case study. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences*. 45(3), 376-383.

References Printed To Book

Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hardrock*. Rotterdam, Balkema.

References To An Edited Part Of A Book

ISRM The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Ulusay R, Hudson JA, editors. Ankara: Kozan Ofset; 2007.

Reports and Theses

Demirok, Y, 1978. Muğla-Yatağan Lignite Fields Geology and Reserve Pre-Report. MTA Compilation No:6234, 17 p (unpublished).

Tuna, K., 2011. Turkey's Strategic and Critical Ore's Effects on National Security within the Frame of Politics Related to Strategic and Critical Ores. Çanakkale Onsekiz Mart University, Institute of Social Sciences, Department of Internal, Çanakkale, Postgraduate Thesis, 240 p (unpublished).

Personal Dialogue

Aksoy, O., 2005. Personal Dialogue. Dokuz Eylül University, Department of Mining Engineering, İzmir, Turkey

Internet Resources

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/ (Erişim Tarihi: 01.01.2012)

4. Other Points to Take into Account

4.1 Abbreviations

Non-standard abbreviations should be placed at first page, defined as footnotes. Abbreviations should be coherent with the text.

4.2 Scales

Internationally accepted rules and customs should be followed. The International System of Units (SI) should be used. If there are different scales, please mention their SI equivalents.

4.3 Mathematical Formulas

In present basic formulas, for fractional expressions in text, “solidus” (/) should be used rather than a horizontal line. For example, (X/Y). In principles, variables are presented in italics. e's powers should be given with the use of (exp). Any referred, sequentially numbered equations are indicated separately from the text. Subscripts and superscripts used in equalities should be indicated explicitly and in lower character fonts (for example; CO₂, x²).

4.4 Footnotes

Footnotes shouldn't be used if unnecessary. List the footnotes in the course of article with superscript numbers.

4.5 Table Footnotes

In a table indicate each footnote with a superscript letter.

4.6 Image, Drawing and Photos

Writing font and size should be monotype. Text should be saved into article as a graph. Only the typefont mentioned in the image should be used; Arial, Courier, Times New Roman, Symbol. Drawings should be numbered in text. Working files should be named within a logical naming rule. Drawings should be headlined separately. Each graph should be sent as different files.

Images such as drawings, tables and photos, printed in high quality should be given under the title of “Image” and should be given according to their cited numbers in text. Image numbers should be written at the right top of the page, in addition images should be given shrinkable and extendable.

Maximum size for images with heading should be in 15,8 cm (width) x 22,5 cm (length). It is suggested that all images are prepared to be scaled-to-fit to a single column of the magazine. Especially the maps and drawings and photos of the lands should be given with linear scale suitable with metric system rather than numerical scale (1:25000 etc.). Northern direction should be indicated in all maps. In regional maps, if possible, national grid or latitude/longitude units should be given. Map explanations should be given above the image separately from image heading. Photos, drawings or images composed of each can be given as groups like (a), (b) etc. Toning the images with tinting and shading should be avoided, especially for the images generated from computers; this should be taken into account. All images should be numbered as cited in the text as Image 1 or Image 1 and 2 (if more than one image is mentioned).

Photos should be as explicit and bright as possible. Photos should be sent in normal quality and placed in it's related section at the first application. After the acceptance of the article for publishing, all photos should be sent separately from the article with at least in 300 dpi quality.

4.7. Image Headings

Each image and picture should have a heading. Headings should be different from the image's resources. A heading should include a short heading and an explanation of the image. All symbols and abbreviations used should be identified.

4.8 Tables

Tables should be named sequentially. Footnotes should be embedded into tables and should be mentioned with superscript lower case letters. Vertical writing should be avoided.

5. Posting the Article to Magazine

Articles should be sent to editors below with e-mail till further notice.

Editor in Chief: C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül University Department of Mining Engineering)
o.aksoy@mtbilimsel.com

Madencilik Türkiye Magazine Agent: Onur Aydın (Madencilik Türkiye Magazine)
onur@mtbilimsel.com

6. About the Articles Accepted for Printing

Editorship communicates with the author if the article is accepted for printing. After the acceptance of the article for the publication, the author should prepare the article according to this spell check, in time given by the editorship and send the last copy to PMC after doing other editings according to the other requirements of the editorship.