MT Bilimsel™

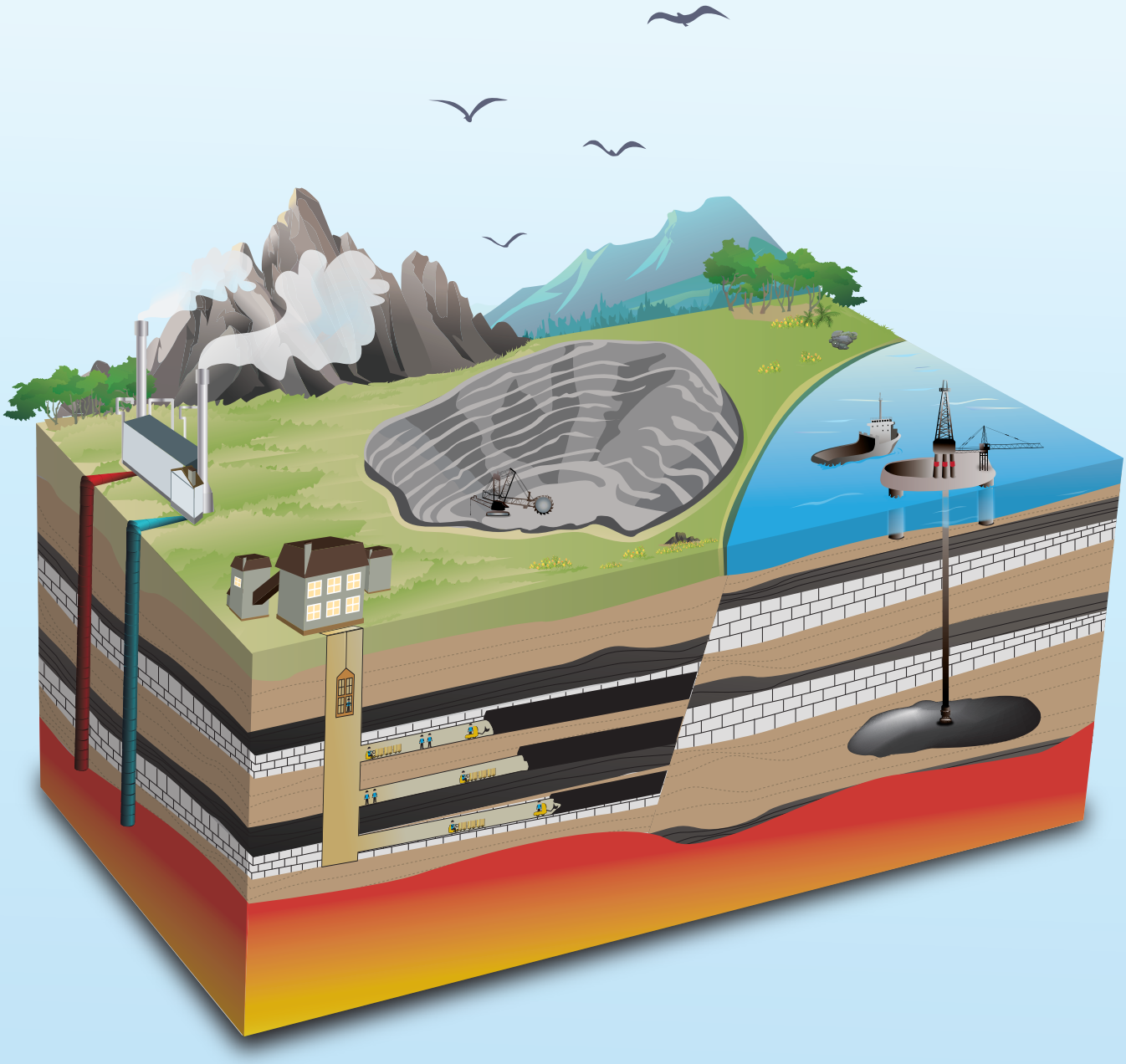
www.mtbilimsel.com

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Yıl:4 | Sayı:7 | Ocak 2015

Year:4 | Number:7 | January 2015

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.
Adına Onur Aydın

Genel Koordinatör
Onur Aydın
onur@mtbilimsel.com

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

İdari İşler
Volkan Okyay
volkan@madencilik-turkiye.com

Grafik Tasarım - Uygulama
Savaş Özyer
savas@madencilik-turkiye.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 Yayındır

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)

MT Bilimsel™

www.mtbilimsel.com

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Yıl:4 | Sayı:7 | Ocak 2015 ISSN: 2146-9431

Year:4 | Number:7 | January 2015

İçindekiler

C. Atilla Öztürk, İ. Emre Önsel, Murat Özkan, Abdullah Fişne, Selamet G. Erçelebi
Asfaltitin Yeraltı Madencilik Yöntemleri ile Üretimi
Production of Asphaltite by Underground Mining Methods.....1

Olgay Yaralı, Haşim Duru, Utku Sakız, Hamit Aydın
Kayaçlar İçin Spesifik Enerji İle Delme Oranı İndeksi (DRI), Mekanik Özellikleri, Cerchar Aşınma İndeksi Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi
Investigation of Specific Energy the Relationships among Drilling Rate Index (DRI), Mechanical Properties, Cerchar Abrasivity Index for Rocks.....15

Ataç Başçetin, Orhan Özdemir, Serkan Tüylü, Deniz Adıgüzel, Ufuk Gökhan Akkaya
Maden Proses Atıklarının Macun Teknolojisi Kullanılarak Yerüstünde Depolanması
Storage of Mining Processing Tailings at Surface Using Paste Technology.....31

Samet Can Özer, Ömer Afşin Ergenekon, Olgun Esen, Abdullah Fişne
Zonguldak Taşkömürü Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi
Determining the Gas Content of Coals at Zonguldak Hardcoal Basin.....47

MT Bilimsel™
Yıl:4 | Sayı:7 | Ocak 2015
Year:4 | Number:7 | January 2015
Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources* **www.mtbilimsel.com**

Araştırma Makalesi

Asfaltitin Yeraltı Madencilik Yöntemleri ile Üretimi
Production of Asphaltite by Underground Mining Methods

C. Atilla Öztürk[1]* İ. Emre Önsel[1], Murat Özkan[1], Abdullah Fişne[1], Selamet G. Erçelebi[1]

[1]*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*
[*]*Sorumlu Yazar: ozturkc1@itu.edu.tr*

Özet
Bu çalışmada Şırnak ili Silopi İlçesinde bulunan Üçkardeşler asfaltit filonundaki üretimin yeraltı üretim faaliyetleri ile gerçekleştirilebilmesi için yapılan projenin sonuçları paylaşılmıştır. Asfaltit filonunun katı modeli ve rezervi verildikten sonra, asfaltitin teknolojik özellikleri için gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar asfaltitin ne derece önemli bir enerji hammaddesi olduğunu desteklemektedir. Daha sonra, yeraltı üretim yönteminin seçimi yapılmıştır. Asfaltit filonunun geometrisine bağlı olarak üretim yöntemi ara katlı dolgulu üretim yöntemi olarak tayin edilmiştir. Yeraltı üretim yöntemine bağlı olarak hazırlık ve üretim işlerinin gerçekleştirileceği yeraltı yapıları tasarlanmıştır. Asfaltitin kazısı ile ilgili alternatifler sunulduktan sonra, yeraltı madenin havalandırma projesine ait sonuçlar yine bu yazı da verilmiştir. Havalandırma hesaplarına temel teşkil etmesi amacıyla arazi çalışmalarından elde edilen gaz içeriği ve kendiliğinden yanma eğilimlerine ait çalışmaların sonuçları da verilmiştir. Çalışmanın devamında yeraltı açıklıklarının tahkimatı, nakliyatı ve dolgu faaliyetleri ile ilgili temel prensipler verilmiştir. Çalışma, asfaltitin yeraltı üretim yöntemleri ile üretimine yönelik yapılmış ilk çalışmalardan olma özelliğine sahiptir.

Anahtar kelimeler: Kalsit, kaplama, mikronize öğütme.

Abstract
The results of the project for the production of asphaltite from underground mining methods for Uckardesler Asphaltite Vein located in the city of Sirnak and Silopi region are shared in this study. Solid model of the asphaltite as well as reserve calculations are given before giving the results of experimental studies carried out to obtain technological properties of asphaltite. The results promoted the idea of being an important energy raw material of asphaltite. After that Sublevel cut and fill stoping mining method for underground mining was selected considering vein geometry. Underground infrastructures were designed for development and exploitation structures. Options for the excavation of asphaltite were presented, and the outputs of underground mine ventilation project were then given as well. Gas content and spontaneous combustion were determined from in-situ studies to set up a structure for ventilation calculations. Main principles for underground openings support designs, haulage, and filling were then given. This is the preliminary study for the production of asphaltite from underground mining methods.

Key words: *Calcite, Coating, micronized grinding.*

1.Giriş

Asfaltit yüksek kalorisi ve üretilebilirliği ile enerji hammaddesi olarak dikkat çekmektedir. Yüksek kaloriye sahip olması, termik santrallerde linyite nazaran çok daha düşük miktarlarda yüksek enerji üretimini sağlaması açısından son derece önemlidir. Asfaltit maden yatakları özellikle Türkiye'nin Güneydoğusunda bulunmakta olup, bu bölgedeki asfaltit yatakları ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Asfaltit, gerek Türkiye'de gerekse Dünya'da açık maden işletmeciliği ile üretilmektedir. Petrolün bir türevi olarak da tanımlanan asfaltit, genellikle kaya kütle yapıları arasında tabakalar ve filon şeklinde bir yataklanma göstermekte ve bulundukları yerlerde yüzeyde mostra vermektedir. Bu sebepten dolayı, asfaltit filonlarında oluşturulan açık ocak işletmelerinde genellikle düşük veya kabul edilebilir dekapaj oranları ile açık işletmecilik faaliyetleri ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir. Üretilen asfaltit, madenin yakınlarında tesis edilen termik santrallerde yakılmak suretiyle enerji üretimi sağlanmaktadır.

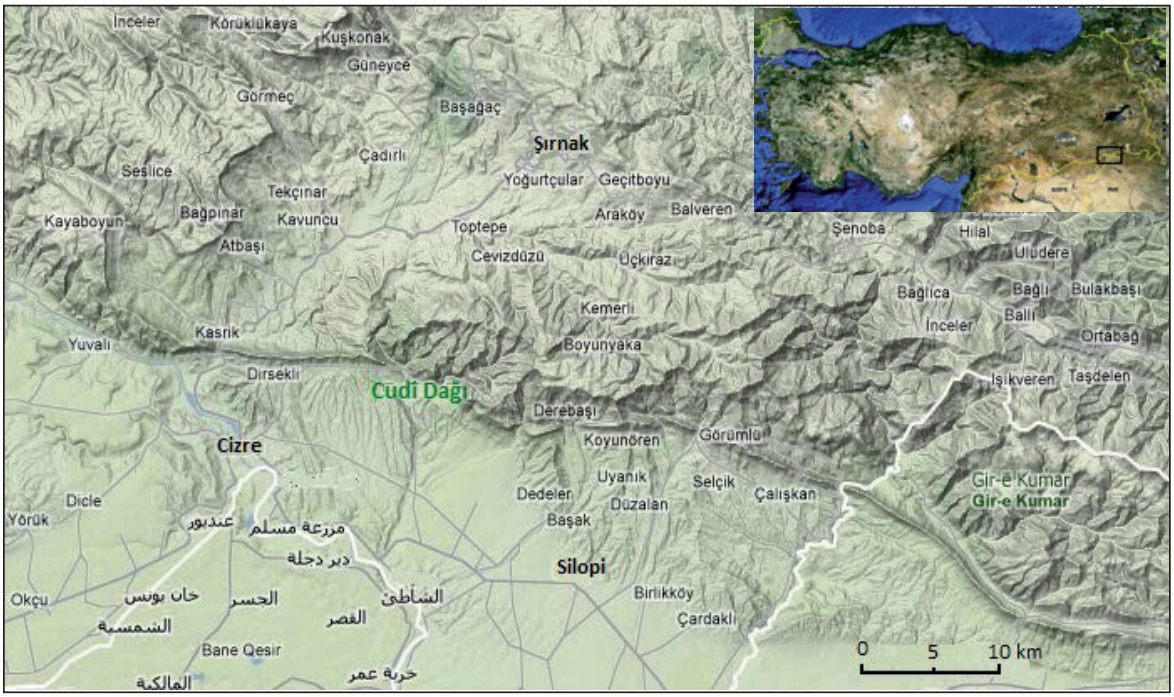
Ancak bu durum, özellikle Türkiye'nin Güneydoğusundaki dağlık bölgeler düşünüldüğünde, belli seviyelerden sonra ekonomik işletme sınırlarının aşılacağı ve açık ocak işletmeciliği ile üretimin gerçekleştirilmesinin mümkün olamayacağına işaret etmektedir. Asfaltit filonlarının oldukça derin seviyelere kadar devam ettiği de göze alınacak olduğunda, asfaltitin yeraltı üretim teknikleri ile üretiminin yakın gelecekte adından sıkça söz edilmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada, Şırnak'da bulunan Üçkardeşler asfaltit filonu üzerinde gerçekleştirilen yeraltı işletme projesi çalışmalarından elde edilen ve asfaltitin yeraltı üretim yöntemleri ile üretilebilirliğine ilişkin elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Çalışmada, asfaltit ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra maden yatağının geometrisine bağlı olarak seçilen yeraltı üretim yöntemi tanıtılmıştır. Bu üretim yönteminde asfaltitin kazısı ve açıklıkların tahkimatı ile ilgili bilgiler ve havalandırma prensipleri verildikten sonra ise sonuç ve öneriler ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Çalışma Sahası ve Asfaltitin Modeli

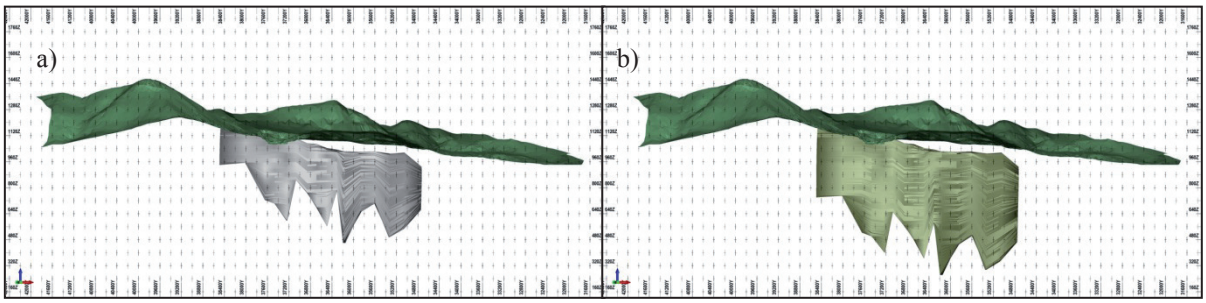
Çalışma sahası, Silopi (Şırnak) ilçesine bağlı Çalışkan, Görgülü ve Koyunören köylerinin kuzeyinde yer alır. Çalışma alanının içinde bulunduğu Silopi ilçesi, güneybatısında Suriye (20 Km), güneydoğusunda Irak (51 Km) Devletleri ile batısında Cizre İlçesi (11 Km), kuzeyinde Şırnak İli (33 Km) ve kuzeydoğusunda Uludere İlçesi (11 Km) ile komşudur. E-24 Karayolu Silopi İlçesinden geçmekte ve Habur Sınır Kapısına ulaşmaktadır. Silopi'de Habur gümrük kapısı arasındaki yol, çalışma alanındaki Çalışkan Köyü'ne ulaşır. Çalışmanın ana konusu olan Üçkardeşler Filonu Çalışkan Köyü'ne 2,5 km uzaklıktadır.

Silopi İlçesinin kuzeyi, kuzeybatısı ve kuzey doğusu dağlık bir yapı oluşturmaktadır. Dağlık kesim kuzeyden güneye doğru inildikçe düz bir yapıya dönüşür ve güneyde geniş Silopi Ovası uzanır. Silopi Ovası Türkiye Irak sınırına yaklaştıkça alçalır ve Dicle nehri ile Habur Çayı'nın birleştiği noktada en düşük seviyeye erişir (Şekil 1). Cudi Dağı, Silopi'nın kuzeyini tümü ile kaplamaktadır. Cudi Dağı'nın en yüksek noktası 2114 metre olup, Silopi Ovası'na egemen bir konumdadır. Bölgedeki Üçkardeşler Tepesi ise 1477 m yüksekliktedir. Çakır ve ark. (2013), Şengüler (2007) çalışmalarında bölgedeki asfaltitin potansiyeli ile ilgili yapmış oldukları sonuçları paylaşmışlardır



Şekil 1. Yerbulduru haritası (İTÜ-MPG Teknik Rapor, 2012).

Asfaltit filonun 3 boyutlu katı modeli entegre madencilik yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Maden Tetkik Arama (MTA) ve Şırnak Enerji A.Ş. tarafından gerçekleştirilen sondajların verilerinin kullanılması ile elde edilen katı asfaltit modelin kuzeyden görünümü Şekil 2'de Görünür ve Görünür+Muhtemel Rezerv için verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen görünür ve muhtemel rezerv değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Filonun kuzeyden görünümü (a) Görünür b) Görünür+Muhtemel Rezerv).

Sr#	Rezerv Sınıfı	Rezerv (m^3)	Rezerv (Ton)
1	Görünür Rezerv	15.925.088	22.454.374
2	Muhtemel Rezerv	12.204.159	17.207.864
3	Toplam Rezerv	28.129.247	39.662.238

Çizelge 1. Üçkardeşler asfaltit filonu rezervi (İTÜ-MPG Teknik Rapor, 2012)

3. Asfaltitin Teknolojik Özellikleri

İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümünde deneysel çalışmalar ile belirlenen asfaltitin teknolojik özellikleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Farklı derinliklerden alınan numuneler üzerinde tekrarlı olarak gerçekleştirilen deneylerden, asfaltitin teknolojik özelliklerinin derinliğe bağlı olarak değişim göstermediği tespit edilmiştir. Çizelge 2'deki veriler 400 m derinden alınan asfaltit örneklerine aittir.

Analizler	Orijinal (Baz)	Kuru (Baz)	Havada Kuru (Baz)
Nem, %	3,29	-	0,49
Kül,%	36,50	37.74	37,56
Uçucu Madde, %	46,11	47.68	47,45
Sabit Karbon, %	14,10	14,58	14,51
Toplam Kükürt, %	7,47	7,72	7,68
Yanabilir Kükürt, %	7,22	7,47	7,43
Alt Isıl Değer, Kcal/Kg	5175	5369	5341
Üst Isıl Değer, Kcal/Kg	5445	5630	5602

Çizelge 2. Asfaltit analiz sonuçları (İTÜ-MPG Teknik Rapor, 2012).

4. Asfaltitin Gaz İçeriği ve Kendiliğinden Yanma Eğilimi

Asfaltit filonundaki gaz içeriğinin tespiti, yeraltı maden işletmesinde havalandırma projesinin gerçekleştirilmesi ve asfaltitin yeraltı üretim teknikleri ile üretilebilirliğinin ortaya konulması açısından önemlidir. Asfaltit filonunun gaz içeriğinin tespitine yönelik olarak arazide filonu kesen sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Açılan sondaj asfaltiti yüzeyden yaklaşık 80. m kesmiş ve 97, 143, 180 ve 340 metrelerden karot numuneleri sızdırmaz kaplara alınmak suretiyle gaz içerikleri tespit edilmiştir.

Üçkardeşler asfaltit filonunun alınan numunelerin gaz içeriğinin belirlenmesi için "Değiştirilmiş USBM Tekniği" kullanılmıştır. Sondaj sırasında yukarıda belirtilen derinliklerden alınan numuneler sızdırmaz kap içerisine konulmuştur. Kayıp gaz zamanının belirlenmesi için, matkabın numuneyi kesmesinden itibaren numunenin sızdırmaz kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen zaman ölçülmüştür. Numuneden yayılan gaz miktarı (desorbe gaz) geliştirilen düzenek kullanılarak aralıklarla gaz geliri sona erinceye kadar ölçülmüştür. Zamanın kareköküne bağlı olarak yayılan gaz eğrisi çizilerek kayıp gaz miktarı tespit edilmiştir. Artık gaz miktarı ise numunelerin laboratuvarda öğütülmesi sonrası tespit edilmiştir.

Kayıp gaz, kömür numunesinin damardan kesilip sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır ve toplam gaz içeriğinin bir parçasıdır. Numunenin damardan kesilme anından (desorpsiyonun başladığı an veya sıfır zamanı) sızdır-

maz kaba konuluncaya kadar gecen süre kayıp gaz zamanı olarak tanımlanmaktadır. Kayıp gaz miktarı doğrudan ölçülememektedir, ancak desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmektedir. Asfaltit numunelerinin yayılan gaz eğrileri ve kayıp gaz miktarlarının tespiti garfikler vasıtası ile gerçekleştirilebilmektedir.

Üçkardeşler asfaltit filonunda asfaltitin gaz içeriğinin belirlenmesi amacı yapılan gaz içeriği tespit çalışmalarının sonuçları Çizelge 3'de özetlenmiştir. Değişik derinliklerden alınan numunelerin gaz içerikleri 1,34 m^3/ton ile 2,33 m^3/ton arasında değişmektedir.

Numune	Derinlik (m)	Gaz İçeriği Bileşenleri (m^3/ton)			Toplam Gaz İçeriği (m^3/ton)
		Desorbe	Kayıp	Artık	
1	97	0,84	0,36	0,14	1,34
2	143	1,06	0,56	0,20	1,82
3	180	1,33	0,63	0,16	2,12
4	340	1,41	0,65	0,27	2,33

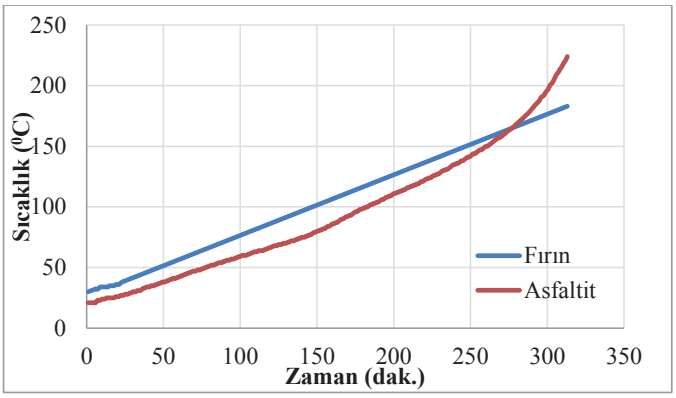
Çizelge 3. Üçkardeşler asfaltitlerinden alınan numunelerin gaz içerikleri (İTÜ-MPG, 2012).

Üçkardeşler asfaltit filonunda yine değişik derinliklerden alınan numunelerde direk yöntemle yapılan gaz içeriği deney sonuçları değerlendirildiğinde, gaz içeriğinin derinliğe bağlı bir artış eğilimi gösterdiği gözlenmektedir. Bunun nedeni derinlik arttıkça artan statik basınç ve atmosfere kaçak olasılığının azalmasıdır. Dikkat çekici bir diğer önemli husus ise, elde edilen gaz içeriği değerleri kömür damarlarına kıyasla oldukça düşüktür.

Üçkardeşler asfaltit filonunun "Kendiliğinden Yanma Risk İndeksinin" belirlenmesinde kesişim noktası yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, sıcaklığı doğrusal bir hızla arttırılan bir fırın içerisine yerleştirilmiş olan bir reaktör içindeki asfaltit yatağından hava geçirilmekte ve böylece asfaltitin oksidasyonu sağlanmaktadır. Deney sırasında hem fırın hem de örnek sıcaklıkları (bir termoçift yardımıyla) düzenli aralıklarla kayıt edilmektedir. Gerçekleştirilen kendiliğinden yanma deneylerine ait koşullar aşağıda verilmiştir.

Örnek Miktarı : 35 ± 0,1 g
Hava Debisi : 100 ± 0,5 ml/dak
Fırın Sıcaklık Artışı : 0,5 °C/dak
Veri Alma Sıklığı : 1 dakika

Üçkardeşler asfaltit örneği sıcaklığı saatte 30°C (0/5°C/dak) artırılan ısıtma yatağı içerisinde 313 dakika süresince tutuşma sıcaklığı ve ötesine kadar ısıtılmıştır. Sıcaklık artışı ile birlikte asfaltitin oksijenle olan reaksiyonu hızlanmış ve Üçkardeşler numunesi 277 dakika sonra 165°C sıcaklıkta ısıtma yatağının sıcaklığını aşmıştır. Kendiliğinden yanma testi sonucunda elde edilen sıcaklık-zaman grafiği Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Kendiliğinden yanma testi sonucunda elde sıcaklık-zaman grafiği.

Kömür için risk sınıflaması Feng ve ark. (1973) tarafından geliştirilen Yanma Risk İndeksi (FCC indeksi) belirlenerek gerçekleştirilebilir ve sınıflama Çizelge 4'de verildiği şekliyle gerçekleştirilebilir.

$$FCC\left(dak^{-1}\right)=\frac{Ortalama\ Sıcaklık\ Artışı\left(^{O}C/dak\right)}{Tutuşma\ Noktası\ Sıcaklığı\exp\left(^{O}C\right)}\ x\,1000$$

FCC Değeri (dak-1)	Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık
0 - 5	Düşük
5 - 10	Orta
> 10	Yüksek

Çizelge 4. FCC indeksine göre kendiliğinden yanmaya yatkınlık (Feng ve ark., 1973).

Kendiliğinden yanma deneyinden elde edilen verilere göre bulunan kesişme noktası ve tutuşma noktası sıcaklıkları ile hesaplanan ortalama sıcaklık artışı ve FCC indeksi değeri, Çizelge 5'de verilmiştir.

Asfaltit	Kesişme Noktası Sıcaklığı (°C)	Tutuşma Noktası Sıcaklığı (°C)	Ortalama Sıcaklık Artışı (°C/dak)	FCC indeksi (dak^{-1})	Riski
Üç kardeşler	164,9	165,9	0,98	5,96	Orta

Çizelge 5. Üçkardeşler asfaltitinin kendiliğinden yanma risk sınıflaması (İTÜ-MPG, 2012).

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Üçkardeşler asfaltit filonun kendiliğinde yanma eğilimi orta derece riskli olarak tayin edilmiştir. Benzer çalışmalar ve sonuçlar, Karpuz ve ark. (1985) ve Karpuz ve ark. (2000) tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda da bulunmaktadır.

5. Yeraltı Maden Tasarımı ve Planlaması

Üçkardeşler asfaltit filonunda üretimin belirli bir derinliğe kadar açık işletme faaliyetleri ile gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Dekapaj oranınından dolayı ekonomiklilik sınırı aşıldığında ise üretim faaliyetleri yeraltı madencilik teknikleri ile gerçekleştirilmesi tasarımlandırılmıştır.

Bu bölümde, asfaltitin yeraltından üretilebilmesi için gerçekleştirilen yeraltı maden tasarım projesinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

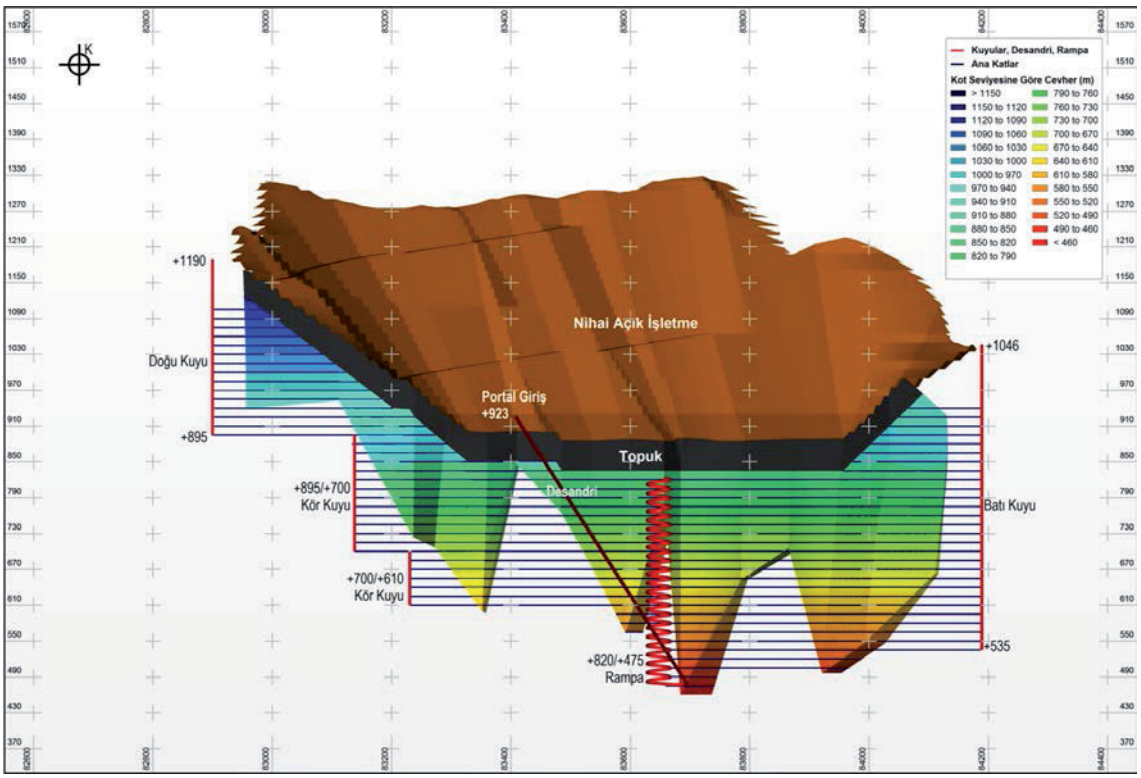
5.1. Yeraltı Üretim Yönteminin Seçimi

Asfaltit filonunun geometrisi, bölgenin topoğrafyası ve hedeflenen yıllık üretim miktarları dikkate alındığında, ara katlı üretim yöntemi seçiminin, yeraltı üretim yöntemi için en uygun işletme yöntemi olacağına karar verilmiştir. Ara katlı yöntemin yanında, yeraltındaki faaliyetlerinin yeryüzüne etkisi olan tasman hareketinin en aza indirilmesi için üretimin yapıldığı boşlukların dolgu malzemesi ile doldurulması planlanmaktadır. Bu durum yeraltı madeninin üstünde bulunacak açık işletmenin korunması açısından da önemlidir. Bu durumda, yeraltı üretim yöntemi olarak ara katlı dolgulu üretim yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin seçilmesinin başlıca unsurları aşağıda verilmiştir.

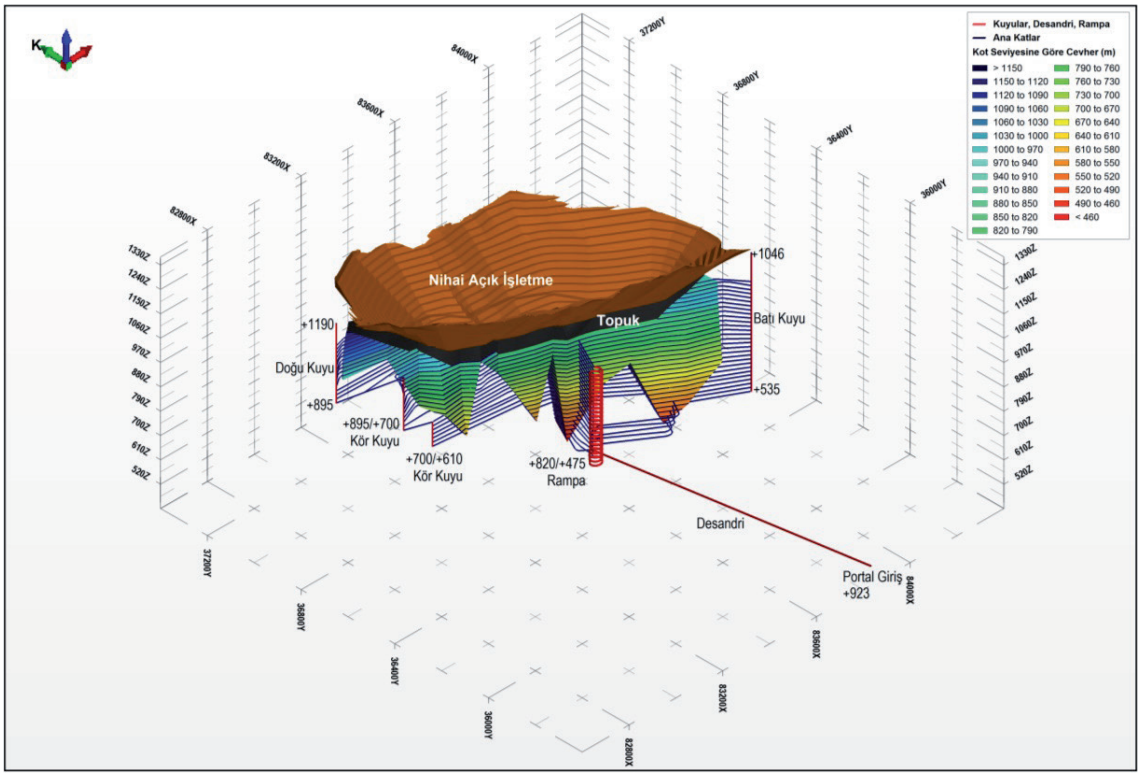
- Açılan boşlukların dolgu malzemesi ile kapatılmasından dolayı yeryüzünde tasman hareketinin önlenmesi ve bu sayede açık işletme faaliyetlerinin yeraltı işletme faaliyetlerinden etkilenmemesi,
- Çalışılan tavanın göçertilmemesinden dolayı üretim kayıplarının önüne geçilmesi ve mevcut rezervin teorik olarak tamamen üretiminin sağlanması,
- Asfaltit filonunun gaz içeriği ve kendiliğinden yanma eğilimi dikkate alındığında, göçertmeli sistemlerin maden havalandırma ve emniyet hususlarında ciddi tehlikeler içerdiği, dolgulu sistemlerde ise açık yüzey kalmaması ve asfaltitin teorik olarak tamamen üretilmesinden dolayı filonda kendiliğinde yanma riskinin en aza indirilmesi,
- Doğu-batı ekseninde filonun genişliği 100 m'ye kadar ulaşmakla beraber bazı yerlerde bu mesafe 1m'ye kadar düşmektedir. Ortaya çıkan geometri ve dolgulu üretim yapılacak olması uzunayak madenciliğine müsade etmemektedir,
- Ana ve ara katlarda, mekanize kazı sistemleri ile hızlı ve istenilen üretim miktarlarına ulaşılabilmesi,
- Dolgulu çalışmanın bir gereği olarak üretim faaliyetlerinin aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilmesi ve buna bağlı olarak dolgulu yüzey üzerinde emniyetli bir çalışma ortamının oluşturulması,
- Açık işletme ve yeraltı işletme faaliyetleri sırasında çıkan malzemenin yeraltında depolanmasının sağlanması.

5.2. Yeraltı Üretim İşletmesi - Hazırlık Çalışmaları

Yeraltı madeninde hazırlık çalışmaları, ocağa girişin sağlandığı desandrinin açılması, katlara ulaşımın sağlandığı rampanın sürülmesi ve havalandırma amaçlı olarak kuyuların açılması işlemlerinden oluşmaktadır. Yeraltı maden tasarımı ile birlikte hazırlıklarda kullanılacak yeraltı yapılarının tasarımları Şekil 4'de kesit, Şekil 5'de ise 3-B olarak gösterilmektedir. Şekil 4'den açık işletme nihai sınırı, açık ve yeraltı işletmeleri arasında bırakılması önerilen topuk yapılarıda görülebilir.



Şekil 4. Yeraltı maden işletme projesi kesit görünüm (İTÜ-MPG, 2012).



Şekil 5. Yeraltı maden işletme projesi 3-B görünüm (İTÜ-MPG, 2012).

5.3. Yeraltı Maden İşletmesi Üretim Planı

Hazırlıkları tamamlanan yeraltı maden işletmesinde, üretime geçilmesi amacıyla üretim katlarının oluşturulması, ana kat galerilerinin sürülmesi ve üretim galerilerinde asfaltit kazısının

gerçekleştirilerek üretimin yapılması mümkün olacaktır. Bu çalışmada kazı işleri, delme - patlatma veya mekanize sürekli kazıcılar olacak şekilde alternatifli olarak planlanmıştır. Seçilen kazı metoduna bağlı olarak, üretim katlarının geometrisi, ara kat sayısı, rekup galerinin uzunlukları, vardiyada veya günde çalışılan ayna sayısı, bağlı olarak maden planlaması ve üretim organizasyonunda büyük farklılıklar meydana gelmektedir.

5.3.1. Üretim Katları ve Kat Rezervleri

Yıllık üretim miktarı ve kazı yöntemi alternatiflerinden bağımsız olarak ana katlar arası mesafe 15 m olarak seçilmiştir. 15 m'lik ana kat mesafesinin seçimi yapılırken şu hususlara dikkat edilmiş ve optimum çözüm üretilmesi amaçlanmıştır.

- Artan ara kat mesafeleri, ana kat galerileri ile rampayı bağlayan rekup galerilerinin uzamasına yol açmaktadır. Buda gerek maliyeti gerekse iş emniyetini zorlayan sonuçlar doğurmaktadır.
- Azalan ana kat mesafesi ise rampa boyunun uzamasına sebebiyet verecektir.

Ara kat yükseklikleri ise kazı alternatiflerine göre farklılık arz etmektedir. Ara kat galerileri, sürekli kazıcılar ile üretim yapıldığında 2,5 m, delme – patlatma ile üretim yapıldığında ise 5 m olarak tasarlanmıştır. Bu durumda, sürekli kazıcılar ile üretim yapılması durumunda 6, delme – patlatma ile üretim yapılması durumunda 3 ara kat oluşmaktadır. Bu durum, kazı makinelerine uygun galeri boyutlarını elde etmenin bir sonucudur.

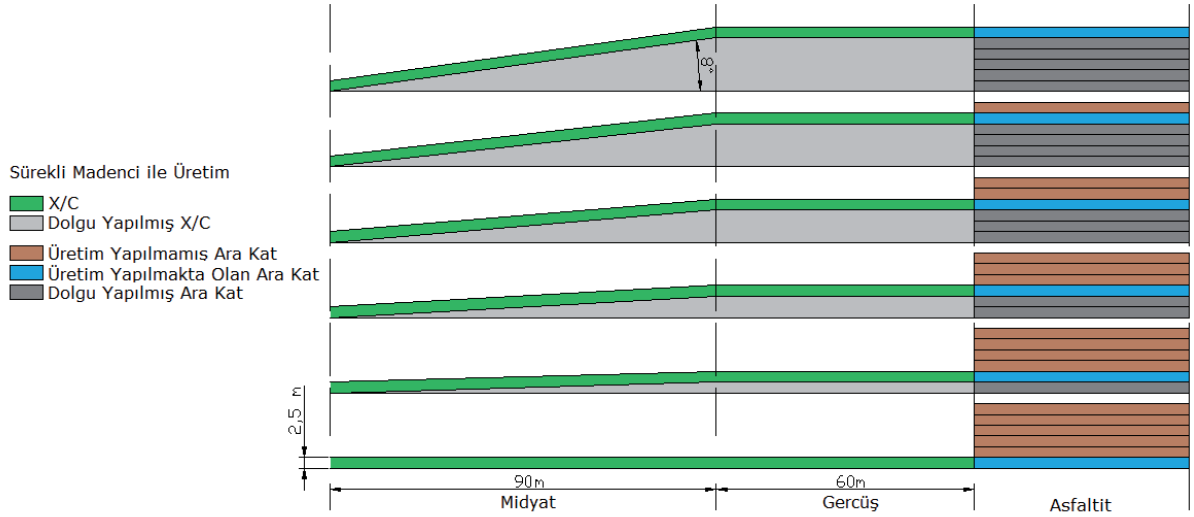
5.3.2. Kazı Yöntem Alternatifleri

Yeraltı maden işletmesinde asfaltit kazısı için iki farklı alternatif üzerinde çalışılmıştır ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

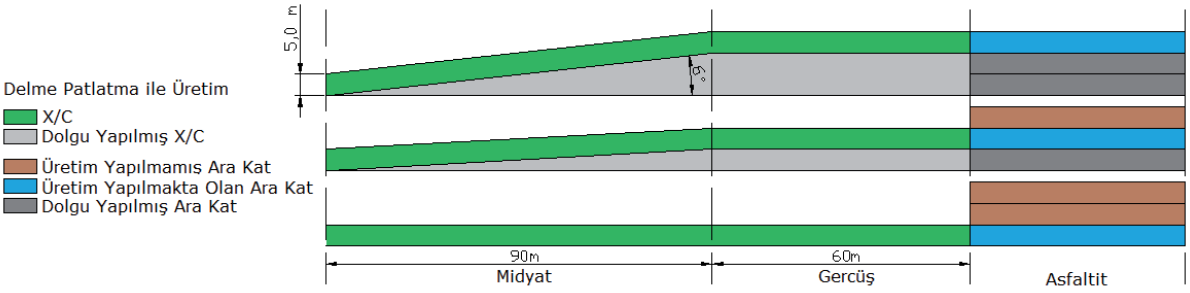
- Sürekli Kazıcılar: Sürekli kazıcılar, teorik olarak 7 ton/dk üretim kapasitesi ile kazı işlemini gerçekleştirebilen yeraltı mekanize kazı makinelerindendir. Sürekli kazıcılar ile kazı işlemi gerçekleştirilirken, bu kazı makineleri için geliştirilmiş yükleyiciler ile kazılan cevherin nakliyesi gerçekleştirilir. Asfaltitin kömür benzeri bir cevher olması, asfaltit içindeki yeraltı açıklıklarının tahkimatsız durma kapasitelerine sahip olması, asfaltitin tek eksenli basınç dayanımının 15 MPa civarında olması ve dolgu üzerinde güvenle çalışabilecek ağırlıkta olması bu makinenin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

- Delme – Patlatma: Klasik kazı yöntemi olarak da isimlendirilebilecek bu yöntemde, cevherin kazısı delik delme makineleri ile deliklerin delinmesi, patlayıcı maddelerin yerleştirilmesi ve patlatılması ile gerçekleştirilmektedir. Kazısı yapılan cevher, yükleyici ve kamyonlar vasıtası ile nakledilebilir. Özellikle yeraltı metal madenlerinde başarı ile uygulanan bir yöntemdir. Yöntemin uygulanması için geniş açıklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bir atımda üretilebilecek cevher miktarı, kullanılacak makinenin teknik özelliklerine ve kazısı yapılan cevherin mekanik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 6 ve Şekil 7'de sürekli kazıcılar ve delme-patlatma ile üretimin yapıldığı durumlara ilişkin ara ve ana katların tasarımları verilmiştir. Midyat ve Gercüş formasyonları, bölgede asfaltiti çevreleyen kaya yapılarıdır. Ana rampadan üretim katlarına doğru sürülen ara ve ana katlara ulaşmayı sağlayan rekup galerisini gösteren bu şekillerden de görüleceği üzere, rekup galeri 150 m uzunlukta olup sürekli kazıcılarda eğimleri 8º'ye kadar çıkmakta iken delme-patlama ile üretimin gerçekleştirildiği durumlarda yolun eğimi 6º ile sınırlandırılmaktadır.



Şekil 6. Sürekli kazıcılar ile üretim, ara ve ana kat tasarımları.

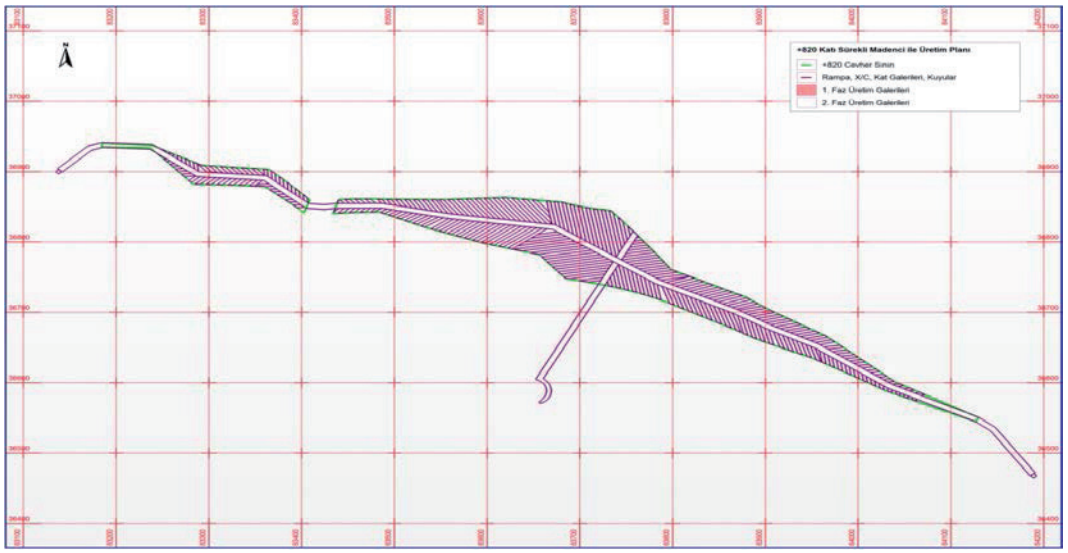


Şekil 7. Delme – Patlatma ile üretim, ara ve ana kat tasarımları.

Yapılan tasarımlar sonucunda, üretim amaçlı olarak tasarımı gerçekleştirilen yeraltı yapıları, inşa edileceği birimler, geometrik özellikleri ve toplam metrajları projeden üretilerek aşağıdaki çizelgede kazı yöntemine göre karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Bir kata ait sürekli kazıcılar ile üretimin gerçekleştirilmesi durumunda oluşturulacak kat üretim planı ise Şekil 7'de verilmiştir.

Sr#	Kazı Yöntemi	Yeraltı Açıklığı	Kesit Geometri	Açıldığı Formasyon	Kesit Alanı (m^2)	Toplam Uzunluk (m)
1	Sürekli Kazıcı	Rekup Galeri	Dikdörtgen	Midyat	12	24.720
				Gercüş	12	34.791
2		Ana/Ara Kat Galerisi		Asfaltit	17,5	103.056
3	Delme-Patlama			Midyat	20	12.360
		Rekup Galeri		Gercüş	20	20.482
4		Ana/Ara Kat Galerisi		Asfaltit	20	51.528

Çizelge 6. Kat hazırlık galerileri.



Şekil 8. +820 katına ait sürekli kazıcı ile üretim alternatifine göre hazırlanan kat planı.

6. Havalandırma

Asfaltitin yeraltı madencilik faaliyetleri ile üretimine dair dünyada herhangi bir uygulamanın olmaması, özellikle yeraltı açıklıklarının havalandırılması ve iş ve işçi sağlığı konularında soru işaretlerini de beraberinde getirmektedir. Bu amaca yönelik olarak, Üçkardeşler asfaltit filonunun gaz içeriği, kendiliğinde yanma eğilimlerinin tayini gerçekleştirilmiştir. Farklı günlük üretim miktarlarına ve farklı parametrelere ve kazı yöntemlerine göre, ocağın temiz hava ihtiyacı havalandırma yazılımı kullanılarak modellenmiş ve ocağın temiz hava ihtiyacı m3/s olarak tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7'de paylaşılmıştır.

Tanımlama	Birim	Günlük Üretim (Ton)	Miktar (Br)		Temiz Hava İhtiyacı ($m^{3/s}$)	
			Sürekli Kazıcı	Delme Patlatma	Sürekli Kazıcı	Delme Patlatma
İşçi Sayısı	Adet (Yeraltındaki Kişi Sayısı)	1250	20	30	2,00	3,00
		2500	35	55	3,50	5,50
Yayılan Gaz Miktarı	m^3/gün (Üretime Bağlı Yayılan Gaz)	1250	3125	3125	7,23	7,23
		2500	6250	6250	14,47	14,47
Patlayıcı Madde Miktarı	Kg (1 Atımdaki PM Miktarı)	1250	-	90	-	25,00
		2500	-	90	-	25,00
Üretim Miktarı	Ton (Günlük Üretim Miktarı)	1250	1250	1250	20,83	20,83
		2500	2500	2500	41,67	41,67

Çizelge 7. Farklı kriterlere göre ocak için gerekli temiz hava miktarı (İTÜ-MPG, 2012

Çizelge 7'den de görüleceği gibi en fazla hava ihtiyacı gerek sürekli kazıcı, gerekse de delme – patlatma için günlük üretim miktarına göre olandır. Söz konusu kriter ile işletmenin toplam hava ihtiyacı yaklaşık 42 m^3/sn olarak hesaplanmıştır. Ocak içerisinde meydana gelebilecek hava kaçaklarının, gaz yayılımı konusundaki belirsizliklerin, havalandırılması gereken garaj depo gibi boşlukların hava ihtiyacının hesaba katılabilmesi için, bulunan hava miktarının bir "Emniyet Faktörü" ile düzeltilmesi gerekmektedir. Söz konusu ocak için emniyet faktörü 2 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda Üçkardeşler asfaltit filonu yeraltı işletmesinin temiz

hava ihtiyacı 84 m^3/sn olarak belirlenmiştir. Bu miktardaki temiz hava diğer kriterler için gereken hava ihtiyaçlarını da karşılamaktadır. Bir sonraki aşama ise vantilatör seçimidir. Üretim miktarına ve kazı yöntemine göre seçilecek vantilatörün özellikleri Çizelge 8'de verilmiştir.

Şebeke	Direnç ($N.sn^2/m^8$)	Hava Miktarı (m^3/sn)	Basınç Düşüşü (Pa)	Havalandırma Gücü (kW)
Sürekli Kazıcılar	0,07879	84,0	555,9	62,3
Delme-patlatma 1250	0,07680	84,0	541,9	60,7
Delme-patlatma 2500	0,08276	84,0	584,0	65,4

Çizelge 8. Vantilatörün özellikleri.

Çizelge 8'den de görüleceği gibi söz konusu ocağın 84 m^3/s temiz hava ihtiyacı için 584 Pa basınç farkını yenecek, yaklaşık 65 kW havalandırma gücünde bir vantilatör yeterli olacaktır. Mekanik güç veya vantilatör rotoru için gerekli motor gücü vantilatör üreten firmalar tarafından deneylerle belirlenmektedir. Ancak, havalandırma hesaplamalarında birim (m^3/s) hava için 2-3 kW olacak şekilde mekanik gücün tahmin edilmesi önerilmektedir. Söz konusu ocağa 84 m^3/s temiz hava gönderecek vantilatörün mekanik gücü ise 1 m^3/s hava için 2,5 kW olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu durumda 84 m^3/s hava için gerekli olan vantilatörün mekanik gücü 2,5 x 84 = 210 kW olarak bulunmuştur.

6. Tahkimat, Nakliyat ve Dolgu

Yeraltında üretimin sürekliliğinin sağlanması için, açıklıkların tahkimatı, nakliyat ve dolgu malzemesinin özelliklerinin tayin edilmesi ve benzeri hususlarında çözüme ulaştırılması gerekmektedir.

Yeraltı açıklıklarının tahkimatı için asfaltit ve çevreleyen jeolojik birimler olan Midyat ve Gercüş formasyonlarının jeoteknik özellikleri tayin edilmiş ve açıklığın geometrisine, derinliğe ve jeoteknik özelliklere bağlı olarak açıklıkların tahkimat sistemleri tasarımlandırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar Öztürk (2013) tarafından yayımlanmıştır. Bu çalışmadan desandri, kuyu, rekup galerileri, kat galerileri ve üretim galerinin tahkimatları kaya kütle sınıflama sistemlerine göre gerçekleştirildikten sonra, tasarlanan tahkimat sistemlerinin yeterliliği nümerik yöntemler ile simüle edilerek test edilmiştir. Yapılan çalışmalar ayrıca yeraltı açıklıklarının tahkimatı ile ilgili öne sürülen bir prosedür ile sonuçlandırılmıştır. Bu çalışma, asfaltit içerisindeki galerilerin tahkimatına yönelik gerçekleştirilmiş yegâne çalışma olma özelliği ile önem arz etmektedir.

Üretilen asfaltitin ve kazısı gerçekleştirilen pasanın nakliyatı için gerekli sistemler yine çalışma kapsamında tasarımlandırılmıştır. Kazı yöntemine bağlı olarak üretim galerilerinde sürekli kazıcılar ile kazısı gerçekleştirilen asfaltit, kat galerilerinde konveyörlü taşıyıcılar ile rekuplara taşınır ve burada yeraltı kamyonlarına yüklerini devredeler. Yeraltı kamyonları rampa boyunca asfaltiti taşıdıktan sonra desandrinin sonundaki bant konveyöre aktarma yapar. Kazısı gerçekleştirilen kömür desandride kurulan bant konveyör ile yeryüzüne ve oradan termik santrale kadar nakledilir. Delme – patlatma ile kazı işleminin gerçekleştirilmesi durumunda ise üretim katlarında asfaltit yeraltı kamyonları ile rekuplara taşındıktan sonra

yükleyiciler yardımı ile diğer yeraltı kamyonlarına aktarılır ve bu kamyonlar ile yine rampadan bant konveyöre kadar taşınırlar.

Yeraltı maden üretim yöntemi arakatlı dolgulu üretim yöntemi olarak belirlendiğinden dolayı kazı faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan yeraltı açıklıklarının dolgu malzemeleri ile kapatılması gerekmektedir. Dolgulu çalışmanın bir gereği olarak yeraltı üretimi aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilecek ve üst ara ve ana katlarda üretimler dolgu üzerinde çalışılarak yapılacaktır. Dolgu malzemesi olarak genelde kaya dolgusu, çimentolu agrega dolgusu, macun dolgusu ve benzeri malzemeler kullanılmaktadır. Yeraltı ocağında, mekanize kazı ile üretim gerçekleştirileceğinden ve dolgu üzerinde çalışmalar yapılacağı için, dolgu malzemesinin belli bir mukavemete sahip olması gerekmektedir. Sürekli kazıcılar, dayanımı en az 0,26 MPa olan zeminler üzerinde çalışabilmektedirler. Bu durumda, yeter ve gerek dayanımı sağlaması açısından çimentolu agrega dolgusu ile çalışılması, bu çalışmanın bir sonucu olarak önerilmektedir. Bunun yanında, termik santralde yakılan kömürün atığı olan külün dolgu malzemesine karıştırılması ile ihtiyaç duyulan çimento miktarında %40 oranında bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum dolgu maliyetinin yaklaşık %40'ını oluşturan çimento giderlerinin yarıya indirilmesi anlamına gelir ki, dolgu maliyetlerinde çok ciddi azalmalar sağlanacaktır.

7. Sonuç ve Öneriler

Önemli bir enerji hammaddesi olan asfaltitin, yeraltı madenciliği ile üretilebilirliğine yönelik gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

Asfaltit filonunun yapısı ve yatağın geometrisinden dolayı ara katlı dolgulu üretim yöntemi yeraltı üretim yöntemi olarak seçilmiştir. Üçkardeşler asfaltit filonunda yapılan arazi çalışmaları ile asfaltitin gaz içeriği, kendiliğinden yanma eğilimi ve gazların bileşimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yeraltı galerinin havalandırılması ve havalandırma sonucunda yeter ve gerek temiz havanın çalışma yerlerine ulaştırılabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Asfaltitin kazısı için sürekli yüzey kazıcıları veya delme – patlatma ile kazı faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Özellikle sürekli kazıcılar ile kazı işleminin yapılması durumunda üretim faaliyetlerinin daha hızlı ve sürdürülebilir olduğu sonuçlarına ulaşılmaktadır. Tahkimat elemanları olarak ankraj, püskürme beton, çelik hasır ve yer yer çelik iksaların kullanılması gerekeceği yapılan tahkimat tasarımlarından elde edilmiştir.

Yapılan çalışmaların doğruluğunun test edilmesi için, asfaltit içerisinde açılacak test amaçlı üretim galerinde denemeler gerçekleştirilerek asfaltitin makine ile kazılabilirliği, havalandırmanın başarısı ve püskürtme beton ile asfaltit arasındaki ilişkilere yönelik ileri araştırmaların yapılması önerilmektedir. Tüm bu çalışmalar, böylesi önemli bir enerji hammaddesinin üretilebilirliği için son derece önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma, Şırnak Enerji A.Ş. ile İstanbul Teknik Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Müdürlüğü arasında imzalanan protokol gereği gerçekleştirilen "Üçkardeşler Asfaltit Filonu İşletme Ön projesi ve Ön Fizibilitesi Projesi" kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçları içermektedir. Proje faaliyetleri sırasında gösterdikleri yardım ve destekten dolayı yazarlar, Şırnak Enerji A.Ş.'ye tüm içtenlikleri ile teşekkür etmektedirler.

Kaynaklar

Çakır, B., Kılıç, A.M., Kahraman, E., 2013. Silopi (Harbul - Üçkardeşler) Asfaltit Filonunun Micromine Madencilik Tasarım Programı Kullanılarak Açık İşletme Dizaynının Yapılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 99-111.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N., Cochrane, T.S., 1973. Spontaneous combustion – a coal mining hazard. CIM Bulletin, 66(138), 75-82.

İTÜ Maden Proje Grubu Teknik Raporu (İTÜ-MPG), 2012. Şırnak Enerji A.Ş. Üçkardeşler Asfaltit Filonu İşletme Ön Projesi ve Ön Fizibilitesi. İ.T.Ü. Döner Sermaye İşletmeleri Projesi. 241 s.

Karpuz, C., Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A., Gürhan, A., 1986. GAL Silopi asfaltitlerinin gaz içeriği, kendiliğinden yanma riski ve kesilebilirliğinin araştırılması. Türkiye 5. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabzı, 379-391.

Karpuz, C., Güyagüler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Başarır, H., Keskin S., 2000. Linyitlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin tespiti: Bölüm 1 - Risk sınıflaması derlemesi. Madencilik Dergisi, 39(3-4), 3-13.

Öztürk, C.A., 2013. Support design of underground openings in an asphaltite mine. Tunnelling and Underground Space Technology. 38, 288-305.

Şengüler, İ. 2007. Asfaltit ve bitümlü şeylin Türkiye'deki potansiyeli ve enerji değeri. TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu - Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği, 186-195.

Araştırma Makalesi

Kayaçlar İçin Spesifik Enerji İle Delme Oranı İndeksi (DRI), Mekanik Özellikleri, Cerchar Aşınma İndeksi Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi
Investigation of Specific Energy the Relationships among Drilling Rate Index (DRI), Mechanical Properties, Cerchar Abrasivity Index for Rocks

Olgay Yaralı[1]*, Haşim Duru[1], Utku Sakız[1], Hamit Aydın[1]

[1]*Bülent Ecevit Universitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye*
** Sorumlu yazar: oyarali67@gmail.com,*

Özet
Bu çalışmada, 32 farklı kayaç (sedimanter, magmatic ve metamorfik) türü üzerinde basit regrasyon analizi kullanarak delme oranı indeks değerleri (DRI) ile mekanik özellikler (tek eksenli basınç dayanım, dolaylı çekme dayanımı), Cerhar aşınma indeks değerleri (CAI) ve spesifik enerji (SEcal) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kayaçların mekanik özellikleri laboratuarda kayaçlar üzerinde yapılan deneylerden belirlenmiştir. Sievers minyatür delme deneyi ve kırılganlık deneyleri yapılmış ve delme oranı indeksi bulunmuştur. Ayrıca, her bir kayacın spesifik enerji değeri görgül bir eşitlikten hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda da Delme Katsayısı (CD) olarak yeni bir jeoteknik delme indeksi tanımlanmıştır. İncelenen büyüklükler (UCS, BTS, CAI, SEcal, CD) birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Spesifik enerji, Cerchar aşınma indeksi, delme oranı indeksi

Abstract
In this study, the relationships among drilling rate index (DRI) values, mechanical properties (uniaxial compressive strength, UCS and tensile strength, BTS), Cerchar abrasivity index (CAI) and specific energy (SEcal) were investigated by using simple regression analyses for 32 different rock types (sedimentary, magmatic and metamorphic). Mechanical properties of rocks were determined on rock samples in laboratory. Sievers' J–miniature drill test and the brittleness test were carried out and DRI values were found. In addition, specific energy was calculated by using an empirical equation for each rock. In the end of this study, a new geotechnical drill index is defined as Coefficient of Drilling (CD). The magnitudes (UCS, BTS, CAI, SEcal, CD) were then compared with each other.

Keywords: *Specific energy, Cerchar abrasivity indeks, drilling rate index*

1. Giriş

EHem inşaat mühendisliği hem de maden mühendisliğindeki kayak ve zemin kazılarında jumbo delicilerinin, üsten darbeli delicilerin, döner delicilerin kollu galeri açma makinalar ile tam cephe galeri/tünel açma makinalarının kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu sebeple, laboratuar ve arazi uygulamalarından alınan temel veriler makine seçimi, tasarımı ve performans tahmini için hayati öneme sahiptir.

Kayacın delinebilirliği bir delme matkabının kayaç içinde ilerleme yapabilme hızı olarak tanımlanmaktadır (Tamrock, 1987). Başka bir tanım ise, delinebilirlik delme teknikleri ile kayaç içinde yapılan ilerleme sırasında kayacın gösterdiği dirençtir (Adebayo ve ark., 2010). Dönmeli ve darbeli delik delme ekipmanları kayaç kazılarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Delinebilirlik kavramı, özellikle mekanik kazı makinaların yeraltı yapılarında yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla giderek önem kazanmıştır. Tam cephe ve kollu galeri açma makinelerinin kullanılmaya başlanmasıyla kayaç kazı projelerinin planlaması ve maliyetlerinin tahmin edilmesinde önceden performans tahminine ilişkin bilgilere sahip olunması çok önemlidir (Kahraman, 2002).

Kayaların kazılabilirliği çeşitli şekillerde tanımlamak mümkündür. Örneğin belli koşullar altında kayacın en büyük verimle en az güç kullanarak, en hızlı şekilde yerinden koparılması kazılabilirlik olarak tanımlanmaktadır (Balcı, 2004).

Makine seçimini ve performansını etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak incelediğimizde üç ana grupta toplamak mümkün olmaktadır. Bunlar; makine ile ilgili faktörler, formasyonun jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile işletme faktörleridir (Balcı ve ark., 2007). İlk iki faktöre ait özellikler Çizelge 1'de gösterilmiştir. İşletme faktörü ise; ekipman temin hızı, teknik personel kalitesi, iş yeri organizasyonu gibi etkenlerden oluşmaktadır.

Makine Özelliklerine Bağlı Parametreler	**Jeolojik Parametreler**
Makine Özellikleri ● Makine Tipi ● Makinenin ağırlığı ve boyutları ● Pasa toplama ve taşıma kapasitesi ● Makinenin kurulu toplam gücü	**Kaya Kütlesi Özellikleri** ● Kaya kalite değeri (RQD) ● Kaya kütlesi puanı (RMR) ● Jeolojik süreksizlikler ● Hidrojeolojik durum
Kesici Kafa Özellikleri ● Kesici kafanın tipi ve boyutu ● Kesici kafanın gücü ● Keskilerin dizilimi ve sayısı ● Keski tipi ve özellikleri	**Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri** ● Kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) ● Dayanım özellikleri (basınç ve çekme dayanımı, kohezyon elastisite değeri) ● Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikro çatlaklar ve tane boyu) ● Aşındırıcılık (Cerchar değeri) ● Sismik özellikler (P ve S değeri) ● Diğer özellikler (yoğunluk, nem oranı vb.)

Çizelge 1. Kazı makinelerinin performansını etkileyen faktörler (Balcı ve ark., 2007).

Kazı işlemine başlamadan önce bu işlemin nasıl bir keski ve ne tip bir makine tarafından yapılabileceği ve makine performansının ne olacağı belirlenmelidir. Bunun için laboratuarda indeks deneyleri yapılarak kayacın kazılabilirliği ve delinebilirliği hakkında bilgi edinilmelidir. Birçok

araştırmacı kayacın delinebilirliğini ve kazılabilirliğini belirlenmede tek eksenli basınç dayanımının daha etkin olduğunu ileri sürmüşler, ancak tek eksenli çekme dayanımı, porozite ve petrografik özelliklerinin de önemli rol oynadığı da belirtmişlerdir (Fowell ve McFeat–Smith, 1976; Poole ve Farmer, 1976; Aleman, 1981; Howarth ve ark., 1986; Karpuz ve ark., 1990; Akçin ve ark., 1994; Bilgin ve ark., 1996; Thuro, 1996; Huang ve Wang, 1997; Kahraman, 1999, Kahraman ve ark., 2003a,b; Tanaino, 2005; Akun ve Karpuz, 2005; Peila ve Pelizza, 2009; Adebayo ve ark., 2010).

Yukarıda bahsedilen deneylerin haricinde arazide ve laboratuarda yapılan; Schmidt çekici sertlik deneyi, nokta yükü dayanımı indeks deneyi, Shore sertlik deneyi, delme oranı indeksi (DRI), koni batırma deneyi, kayaç dayanım katsayısı deneyi gibi deneylerinde delme ve kazı performansını belirlemede birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (McFeat–Smith ve Fowell 1997; Howarth ve ark., 1986; Kovscek ve ark., 1988; Nilsen ve Özdemir 1993; Kahraman ve ark., 2003a,b; Adebayo ve ark., 2010; Yaralı ve Soyer, 2013).

Kazı makinelerinin performans tahminleri için araştırmacılar bir çok model ve yöntem geliştirmiş olmasına rağmen literatürde ve uygulamada en çok kabul gören iki model öne çıkmıştır. Bunlar; Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU) ve Colarodo Madencilik Okulu (CSM) tarafından geliştirilmiştir (Çizelge 2).

CSM Modeli	**NTNU Modeli**
● Tek eksenli basınç dayanımı (deformasyon deneyi ile) ● Dolaylı çekme dayanımı ● Yoğunluk ● Punch deneyi ● Cerchar deneyi ● Petrografik analizler 1. Sert minerallerin tipi ve içeriği 2. Tanelerin konumu ve yönelimi 3. Taneler arasındaki bağ 4. Mikroçatlaklar ve boşluklar 5. Diğer mikroskobik özellikler	● Sievers minyatür delme deneyi (SJ) ● Kırılganlık deneyi (S20) ● Norveç aşınma deneyi (AV) ● Petrografik analizler 1. Sert minerallerin tipi ve içeriği 2. Tanelerin konumu ve yönelimi 3. Taneler arasındaki bağ 4. Mikroçatlaklar ve boşluklar 5. Diğer mikroskobik özellikler

Çizelge 2. Modellerde kullanılan deneyler (Özdemir ve Nilsen, 1999).

Aşındırıcılık, delme hızını özellikle delici ucun aşınmasını en çok etkileyen önemli parametrelerden biridir. Madencilik ve tünelcilik uygulamalarında delici uçların aşınması jeoteknik mühendislik ölçümlerini ve sert kayaç kazısı maliyetlerinde genellikle baskın bir faktördür (Plinninger, 2008). Cerchar aşınma indeksi (CAI) kayaçların aşındırıcılıklarının tanımlanmasında kullanılan en yaygın deney yöntemidir. CAI değeri delme matkabı veya keski ömrüyle doğrudan ilgilidir. Delici matkapla, kalem ucu keskiler ve TBM'lerde kullanılan disk keskilerdeki aşınma oranlarına bağlı olarak kayaçların aşındırıcılık sınıflamalarını (Çizelge 3) tanımlanabilmektedir (Plinninger ve Restner, 2008).

Bu çalışmada laboratuarda 32 farklı kayaç üzerinde yapılan delme oranı indeks deneyi, tek eksenli basınç dayanımı, tek eksenli dolaylı çekme (Brazilian), Cerchar aşınma indeks deneyleri yapılmıştır. Her bir kayak örneğinin spesifik enerjileri Bilgin ve ark., (1996) tarafından

önerilen görgül bağıntı kullanılarak belirlenmiştir. Basit regrasyon analizi yapılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Laboratuar deneyleri için Türkiye'deki faklı tünel ve madencilik sahalarından ayrıca, Norveç'den 2 farklı kayaç türü (sedimanter, magmatic ve metamorfik) örneği üzerinde deneyler yapılmıştır. Araziden alınan kayaç örneklerinin sağlam, çatlaksız ve süreksizlik içermemesine dikkat edilmiştir. Çizelge 4'de örnek alım yerleri ile alınan örneklerin isimleri verilmiştir.

Aşındırıcılık	**Delici matkaplar (45 mmØ)**	**Kalem ucu keskiler**	**Disk keskiler (17″Ø)**
	Keski ömrü [m/matkap]	**Keski tüketimi [keski/m3]**	**Disk keski ömrü [km/disk]**
Çok az	> 2000	< 0.01	> 2000
Az	1500 – 2000	0.01 – 0.05	1500 – 2000
Orta	1000 – 1500	0.05 – 0.15	1000 – 1500
Yüksek	500 – 1000	0.15 – 0.30	500 – 1000
Çok yüksek	200 – 500	0.3 – 0.5	200 – 500
Oldukça yüksek	< 200	> 0.5	< 200

Çizelge 3. Kayaçların aşındırıcılığı ve delici matkap, kalem ucu keskiler ve disk keskiler için keski ömrü (Thuro ve Plinninger, 2007).

No	Örnek Adı	Yer
1	Kuvarsit	Norveç–Trondheim
2	Kireçtaşı	Norveç–Trondheim
3	Diyabaz (açık gri)	Dorukan Tüneli
4	Diyabaz (koyu gri)	Dorukan Tüneli
5	Granodiorit	Dorukan Tüneli
6	Litik Arenit Kumtaşı	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
7	Silttaşı	TTK Kozlu Müessesesi döküm sahası
8	Kireçtaşı (Mikritik)	ZKÜ yeni kapı girişi inşaat alanı
9	Siyenit (Porfirik)	Devrek–Yenice
10	Dolomit	Devrek
11	Porfirik bazaltik andezit	Zonguldak – Kdz. Ereğli 34. km
12	Porfirik bazaltik andezit	Zonguldak – Kdz. Ereğli 35. km
13	Bazaltik andezit (Açık Renk)	Zonguldak – Kdz. Ereğli 42. km
14	Dolerit	Devrek–Yenice
15	Alkali granit	Devrek–Yenice
16	Bazalt	Hasan Dağı etekleri
17	Andezitik bazalt	Zong.–Kdz. Ereğli 26. km
18	Porfirik andezit	Zong.–Kdz. Ereğli 37.km (Sütunlu bazaltlar)
19	Traki andezit	Kdz. Ereğli– Alaplı arası Taşocağı
20	Bazaltik andezit	Kdz. Ereğli– Devrek 11.km Yazıcılar Köyü
21	Dolomitik kireçtaşı	Kdz. Ereğli– Devrek 11.km Yazıcılar Köyü
22	Bazaltik andezit	Amasra
23	Kireçtaşı	Hema Madencilik yeni kuyu yeri
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	Türkali–Göbü arası
25	Silttaşı (Kaba taneli)	Zong.–Devrek 18.km, Beycuma yol kavşağı
26	Porfirik bazaltik andezit	Zong.–Devrek 18.km, Beycuma yol kavşağı
27	Granit	Yenice– Kayabaşı mevkii
28	Dolomitik kireçtaşı	Zong. Filyos arası
29	Dolomit	Zong. Filyos arası
30	Bazaltik andezit	Zong. – Yenice arası 50. km
31	Marn	Zong. – Devrek Karaman Mevkii
32	Kumtaşı (İnce taneli)	TTK Armutçuk Müessesesi döküm sahası

Çizelge 4. Örnek alım yerleri.

2.1 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi (UCS)

Bu deney boy–çap oranı 2.0–2.5 olan sağlam kayak örnekleri üzerinde 1.0 MPa/s yükleme hızında yapılmıştır. Deneyler, ISRM (1979)'in önerdiği şekilde her bir kayaç örneği için 5 kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması kullanılmıştır.

2.2 Brazilian Tensile Strength (BTS)

Brazilian çekme dayanımı deneyleri kalınlık/çap oranı 0.5 olan karot örnekleriyle ve 200 N/s yükleme hızında uygulanmıştır. Deneyler, ISRM (1978)'in önerdiği şekilde her bir kayaç örneği için 10 kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması kullanılmıştır.

2.3 Delme Oranı İndeks Deneyi (DRI)

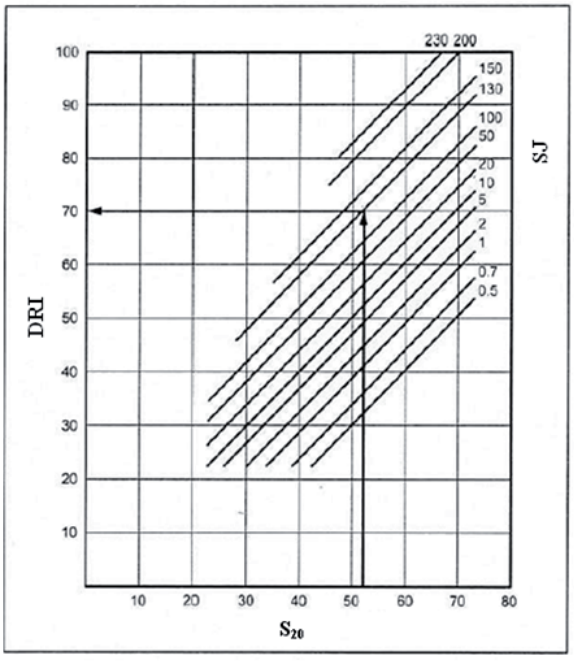
Delme oranı indeksi (DRI) 1943 yılında İsviçre'de N. von Matern ve A. Hjelmer tarafından geliştirilmiştir. Bu deney yöntemi birkaç değişiklikten sonra standart hale gelmiş ve 1950'li yılların sonundan itibaren kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu deney yöntemindeki deney aletlerinin orjinali Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır. Bu deney yöntemi özellikle sert kayaç kazısında kullanılan tam cephe galeri açma makinalarının (hard rock TBM) ve kayaçların darbeli delme yöntemlerinin performans tahmin modellerinde kullanılmaktadır (NTNU, 1998; Nilsen 2003).

DRI iki temel laboratuvar deneyine bağlı olarak bulunmaktadır. Birincisi; kırılganlık deneyi (brittleness test) $S_{(20)}$, ve diğeri ise Sievers minyatür delme değeri deneyi (Sievers miniature drill–test value), SJ'dir. Delme oranı indeksi kayaç yüzey sertliği için düzeltilmiş kırılganlık değeri olarak da tanımlanabilir (Dahl, 2003). Çizelge 5'de DRI'ya ait sınıflama verilmiştir. Delme oranı indeksi Şekil 1'de verilen diyagram kullanılarak bulunur.

Sınıf	**DRI**
Oldukça düşük	≤25
Çok düşük	26–32
Düşük	33–42
Orta	43–57
Yüksek	58–69
Çok yüksek	70–82
Oldukça yüksek	≥83

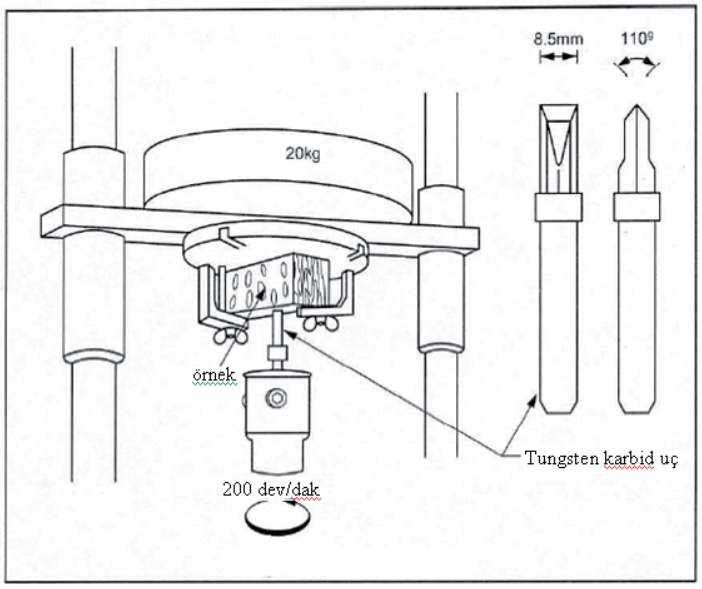
Çizelge 5. DRI'nın sınıflaması (Dahl, 2003).



Şekil 1. DRI belirleme diyagramı (Dahl, 2003).

2.3.1 Sievers Minyatür Delme Deneyi

Bu deney kayacın yüzey sertliğinin veya delmeye karşı direncin bir ölçüsünü verir. Bu deney yöntemi 1950'li yıllarda H. Sievers tarafından geliştirilmiştir. Şekil 2'de bu deney yönteminin genel hatları gösterilmektedir. Şekil 3'de Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Maden Mekanizasyonu Araştırma Laboratuarında bulunan kırılganlık deney aletinin resmi verilmiştir.



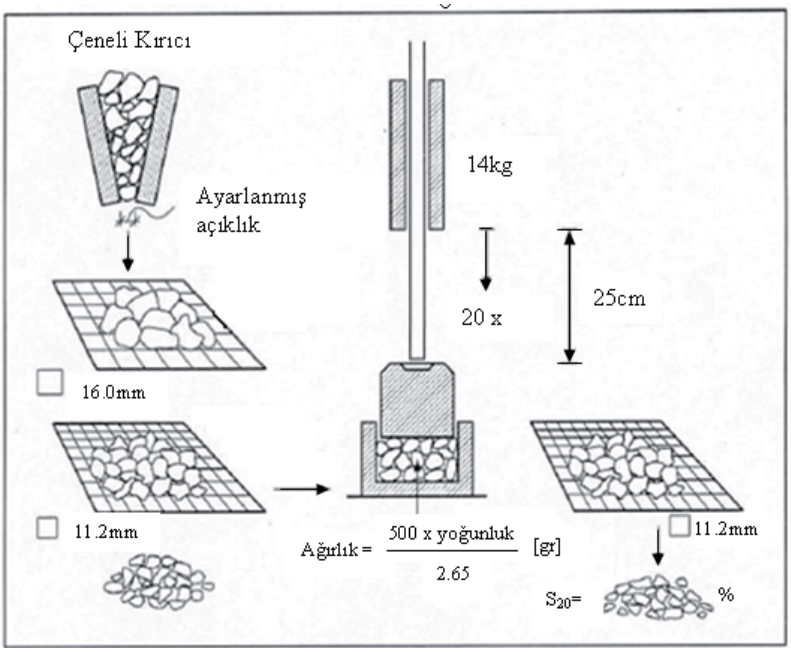
Şekil 2. Sievers minyatür delme deneyi düzeneği (Dahl, 2003).

Şekil 3. Sievers minyatür delme deney aleti.

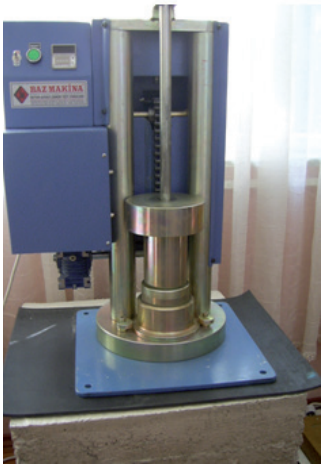
Bu çalışmada Sievers minyatür delme deneyi (SJ) için 54 mm çaplı 30 mm kalınlığındaki kayaç örnekleri kullanılmıştır. Her bir kayaç örneği yüzeyinde delme işi 5 ile 7 kez tekrarlanmıştır. Delik boyları bir elektronik kumpas ile ölçülerek elde edilen değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Deneyler Dahl (2003)'e göre yapılmıştır.

2.3.2 Kırılganlık Deneyi (S20)

Bu deneyde, kayaç örneklerinin kırılmaya karşı dirençleri belirlenmektedir. Şekil 4'de bu deney yönteminin genel hatları gösterilmektedir. Şekil 5'de Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Maden Mekanizasyonu Araştırma Laboratuarında bulunan kırılganlık deney aletinin resmi verilmiştir.



Şekil 4. Kırılganlık deney düzeneği (Dahl, 2003).



Şekil 5. Kırılganlık deney aleti.

Her bir kayacın kırılganlık değeri için Dahl (2003)'e göre aynı koşularda 3–5 kez tekrar edilmiş ve elde edilen değerlerin ortalaması kullanılmıştır.

2.4 Cerchar Aşınma İndeksi (CAI)

Cerchar Aşınma İndeksi deneyi ilk olarak Fransa'da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)'nde 1971 yılında bulunmuş ve sonuçlar Valantin (1973) tarafından yayınlanmıştır. Bu deney yöntemi keski aşınması ve sarfiyatının tespiti için kullanılmaktadır.

Deneylerde, Rockwell sertliği 54, çekme dayanımı 2000 MPa, konik açısı 90°olan konik uçlar kullanılmıştır. Kayaç örnekleri üzerindeki çizme işlemi, her defasında yeni bir uçla aynı yönlerde 5 kez tekrarlanarak yapılmıştır. Konik uçların uç kısımlarında oluşan aşınma yüzeyinin çapı ışık yansımalı 35X büyütmeli mikrometre ölçekli bioküler mikroskop altında ölçülmüştür. 1/10 mm'lik aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilmiştir. Böylece, kayaçlara ait Cerchar aşınma indeks değeri 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Deneyler Alber ve ark., (2014)'e göre yapılmıştır. Deneylerde West deney aparatı kullanılmıştır (Şekil 6). Cerchar aşınma indeksine göre aşındırıcılık sınıflaması Çizelge 6'da verilmiştir.

Ort. CAI	**Sınıflaması**
0.1 – 0.4	Oldukça az
0.5 – 0.9	Çok az
1.0 – 1.9	Az
2.0 – 2.9	Orta
3.0 – 3.9	Yüksek
4.0–4.9	Çok yüksek
≥ 5	Oldukça yüksek

Çizelge 6. Cerchar aşınma indeksi sınıflaması (Alber ve ark., 2015).

Şekil 6. West deney aparatı.

2.5 Spesifik Enerji (SE)

Spesifik enerji kesme veya delme sistemlerinin verimliliğini belirlemedeki en önemli faktörlerden biridir ve kayacın birim hacminin kazı veya delme işi olarak tanımlanır. Spesifik enerji birim metre maliyetiyle doğrudan ilgilidir (Thuro ve Spaun, 1996). Bu çalışmada, her bir kayacın spesifik enerji değeri Bilgin ve ark., (1996) tarafından önerilen görgül bağıntı kullanılarak bulunmuştur (Eşitlik 1).

$$SE_{cal} = 0.0826 . UCS + 1.424$$

Burada;

SE_{cal} : *Hesaplanmış spesikik enerji* (kWh/m^3)

UCS : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

3. Sonuçların Değerlendirilmesi

32 farklı kayaç türü (sedimanter, magmatik ve metamorfik) türü üzerinde laboratuarda yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.

No	Kayaç Adı	UCS (MPa)	BTS (MPa)	CAI	SEcal (kWh/m^3)	SJ	S20	DRI
1	Kuvarsit	164.77±12.29	17.07 ± 2.35	4.90	15.03	2.42 ± 0.16	52.45±0.49	45
2	Kireçtaşı	78.24 ± 10.52	10.34 ± 2.46	1.75	7.89	60.80 ± 4.75	47.37±0.23	58
3	Diyabaz (açık gri)	117.89 ± 8.55	8.15 ± 2.26	3.05	11.16	50.43 ± 6.85	37.35±2.06	48
4	Diyabaz (koyu gri)	98.39 ± 7.92	7.89 ± 2.82	1.40	9.55	87.72 ± 1.61	49.94±0.24	61
5	Granodiorit	64.55 ± 10.43	6.14 ± 1.99	5.90	6.76	13.20 ± 1.50	65.63±2.74	66
6	Litik Arenit Kumtaşı	75.63 ± 22.53	6.69 ± 1.18	2.50	7.67	96.90 ± 1.29	54.71±3.48	69
7	Silttaşı	67.64 ± 9.15	6.19 ± 2.84	1.55	7.01	133.39 ± 7.27	46.57±1.52	65
8	Kireçtaşı (Mikritik)	82.51 ± 13.84	6.78 ± 1.63	2.30	8.24	67.84 ± 1.05	57.70±1.56	68
9	Siyenit (Porfirik)	182.10 ± 8.47	8.34 ± 1.17	3.80	16.47	56.91 ± 1.39	42.27±2.29	51
10	Dolomit	91.38 ± 6.49	7.70 ± 2.85	1.95	8.97	89.73 ± 1.30	69.47±2.91	76
11	Porfirik bazaltik andezit	110.86 ± 4.32	8.30 ± 2.16	3.1 0	10.58	102.57 ± 0.57	40.79±2.43	55
12	Porfirik bazaltik andezit	76.45 ± 4.15	7.62 ± 1.66	2.50	7.74	103.68 ± 0.42	50.87±3.54	65
13	Bazaltik andezit	132.48 ± 6.54	8.76 ± 2.65	3.10	12.37	80.46 ± 0.36	42.53±1.88	52
14	Dolerit	175.5 ± 10.85	16.50 ± 3.56	4.15	15.92	55.72 ± 2.12	26.58±2.44	35
15	Alkali granit	141.56 ± 8.48	11.75 ± 2.85	4.15	13.12	3.10 ± 0.26	44.20±1.38	39
16	Bazalt	120.73 ± 3.45	10.78 ± 3.45	2.20	11.40	36.98 ± 4.70	41.33±2.06	46
17	Andezitik bazalt	77.80 ± 18.05	9.42 ± 3.49	2.60	7.85	119.71 ± 1.88	48.00±2.45	64
18	Porfirik andezit	82.93 ± 10.73	5.17 ± 0.85	1.55	8.27	91.53 ± 1.47	55.26±1.33	69
19	Traki andezit	104.53±23.54	5.75 ±0.86	4.60	10.06	39.07 ± 2.94	60.49±1.74	60
20	Bazaltik andezit	92.53 ± 12.82	11.20 ± 2.11	3.80	9.07	91.73 ± 3.31	53.39±2.69	63
21	Dolomitik kireçtaşı	51.37 ± 11.40	5.66 ± 0.87	1.15	5.67	32.18 ± 0.46	57.24±0.70	63
22	Bazaltik andezit	28.61 ± 5.76	2.57 ± 0.61	2.55	3.79	103.68 ± 0.25	74.43±1.00	86
23	Kireçtaşı	78.99 ± 17.91	9.08 ± 1.94	1.15	7.95	75.03 ± 0.86	57.11±1.44	68
24	Silttaşı (Çok ince taneli)	75.75 ± 22.53	11.18 ± 0.99	0.45	7.68	76.51 ± 0.29	63.65±0.32	74
25	Silttaşı (Kaba taneli)	81.03 ± 16.19	7.54 ± 1.48	0.25	8.12	94.30 ± 0.45	63.90±2.17	74
26	Porfirik bazaltik andezit	65.72 ± 11.53	5.85 ± 1.87	3.20	6.85	28.84 ± 1.51	66.52±1.26	71
27	Granit	101.16±16.99	8.32 ± 1.90	5.10	9.78	4.63 ± 0.27	55.51±1.48	56
28	Dolomitik kireçtaşı	31.57 ± 10.21	4.36 ± 0.99	1.45	4.03	91.68 ± 0.77	62.12±1.85	73
29	Dolomit	31.70 ± 4.38	7.45 ± 1.13	1.95	4.04	84.10 ± 1.48	63.59±1.89	75
30	Bazaltik andezit	143.14±16.32	12.38 ± 2.58	4.00	13.25	41.96 ± 2.71	43.61±2.33	50
31	Marn	89.60 ± 14.46	7.03 ± 1.68	1.4	8.82	85.28 ± 1.46	63.83±1.49	72
32	Kumtaşı (İnce taneli)	69.02 ± 12.39	4.08 ± 0.82	2.15	7.13	122.93 ± 0.88	63.50±0.89	80

Çizelge 7. Deney sonuçları.

SJ : Sievers minyatür delme deneyi, S20 :Kırılganlık deneyi, DRI : Delme oranı indeksi, UCS: Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

BTS : Brazilian çekme dayanımı, CAI: Cerchar aşınma indeksi, SE_{cal}: Hesaplanmış spesifik enerji. Çizelge 7 incelendiğinde, kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarının 31 – 165 MPa, Brazilian çekme dayanımlarının 2.57 – 17.07 MPa, Cerchar aşınma indekslerinin 0.25 – 5.90, Spesifik

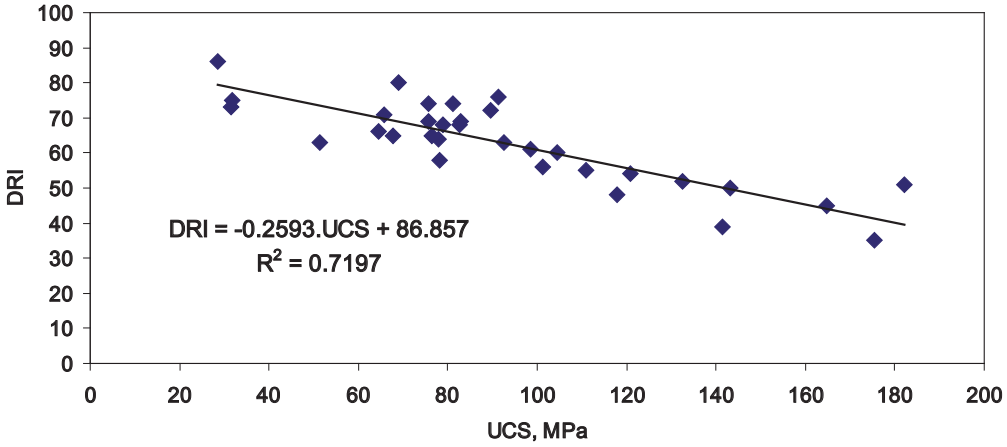
enerjilerinin ise 5.67 – 16.47 kWh/m3 değiştiği bulunmuştur. DRI değerleri ise, sedimanter kayaçlar için yüksek – çok yüksek, magmatik kayaçlar için orta – yüksek, metamorfik kayaçlar için ise çok yüksek– orta delinebilirlik sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Delme oranı indeksi (DRI) ile tek eksenli basınç dayanımı arasında azalan doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Şekil 7). Yani kayacın dayanımı arttıkça kayacı delmek zorlaştığı görülmektedir. Benzer durum Brazilian çekme dayanımıyla DRI arasında da söz konusudur (Şekil 8)

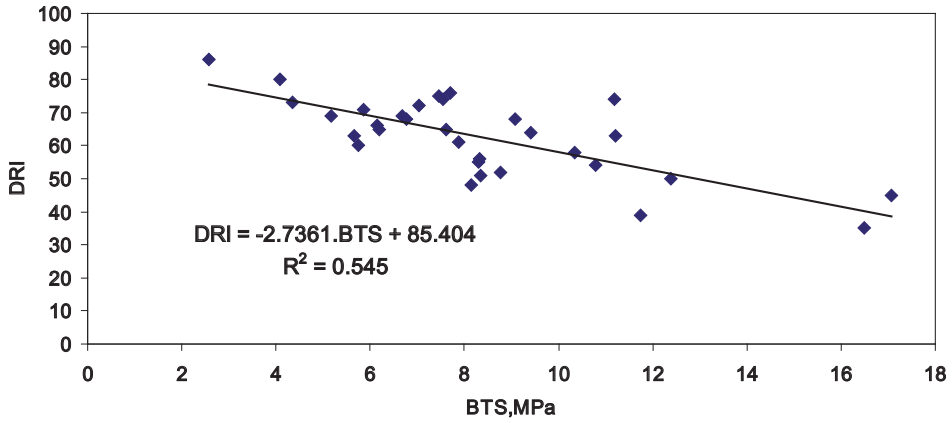
.

Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile delme oranı indeksi arasında zayıf bir ilişki varken (R^2= 0.31, Şekil 9), kayaç aşındırıcılığının kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile çarpılması durumundaki büyüklük ile DRI arasında daha anlamlı olan azalan doğrusal bir ilişki saptanmıştır (R2= 0.68, Şekil 10). Bu durum, kayaç aşındırıcılığın ve dayanımının birlikte delinebilirlik üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

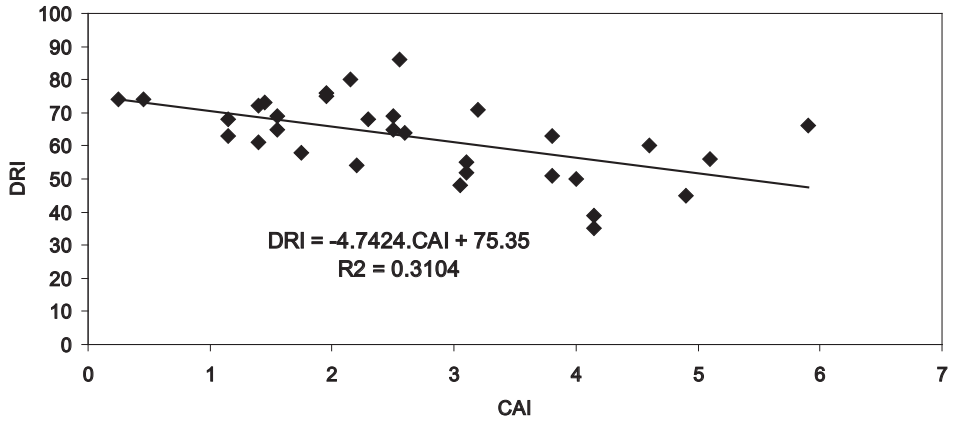
Delme oranı indeksi ile hesaplanmış spesifik enerji (SE_{cal}) değerleri karşılaştırılmıştır. Buna göre, bu iki büyüklük arasında korelasyon katsayısı 0.72 olan mükemmel logaritmik bir ilişki bulunmuştur (Şekil 11).



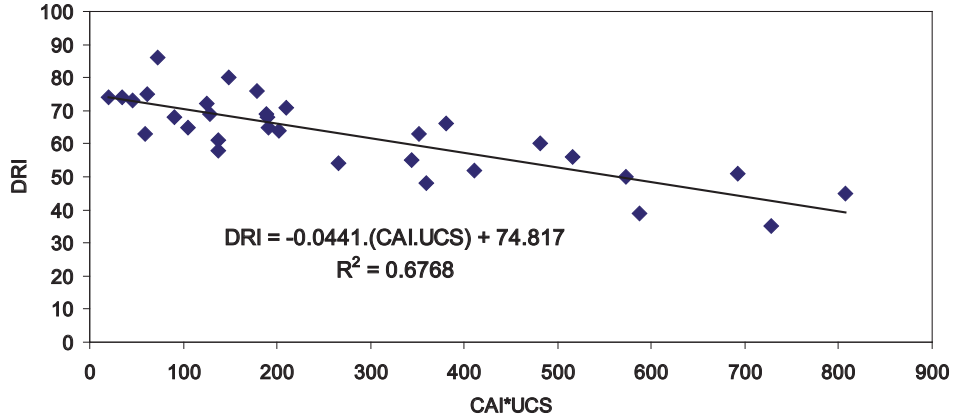
Şekil 7. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ile DRI arasındaki ilişki.



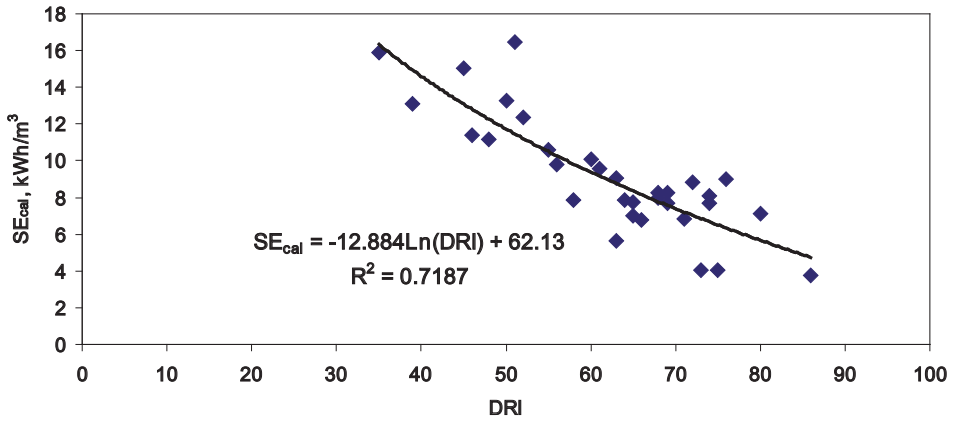
Şekil 8. Brazlian çekme dayanımı (BTS) ile DRI arasındaki ilişki.



Şekil 9. Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile DRI arasındaki ilişki.



Şekil 10. Cerchar aşınma indeksi (CAI) ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) çarpımı ile DRI arasındaki ilişki.

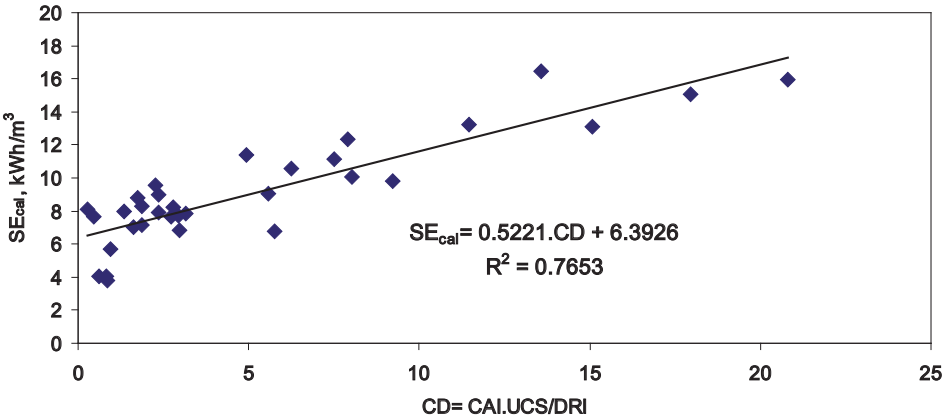


Şekil 11. Delme oranı indeksi (DRI) ile hesaplanmış spesifik enerji (SE_{cal}) arasındaki ilişki.

Bu çalışmada, kayaçların delinebilirliği için yapılan tahmin modellerinde kullanmak üzere Delme Katsayısı (CD) olarak tanımlanmış yeni bir jeoteknik delme indeksi tanımlanmıştır (Eşitlik 2).

$$CD = \frac{UCS * CAI}{DRI} \quad (2)$$

Kayaçlar için geliştirilen bu parametre, kayacın tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile doğru orantılı, delme oranı indeksi (DRI) ile ters orantılıdır. Delme Katsayısı ile hesaplanmış spesifik enerji arasında Şekil 12'de gösterildiği gibi artan doğrusal bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 12. Delme Katsayısı (CD) ile hesaplanmış spesifik enerji (SE_{cal}) arasındaki ilişki.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada 32 farklı kökendeki kayaçlar üzerinde dayanım, aşınma ve delinebilirlik deneyleri yapılmıştır. Her bir kayaç için Bilgin et al. (1996) tarafından önerilen görgül bağıntı kullanılarak spesifik enerjileri hesaplanmıştır. Deneylerden bulunan sonuçlar EXCEL programı kullanılarak basit regrasyon analizleriyle birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları, literatürde benzer araştırma yapan araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında uyumluluk göstermektedir (Tamrock, 1988; NTNU, 1988; Bruland ve ark., 1995; Thuro, 1996; Plinninger ve ark., 2002; Bilgin ve Kahraman, 2003; Altındag, 2004; Plinninger, 2008; Yenice ve ark., 2009; Adebayo ve ark., 2010; Dahl ve ark., 2010; Dahl ve ark., 2012; Yaralı ve Soyer, 2013).

Kayacın dayanımı, kayaçların delinebilirliğine ve kazılabilirliğine etkileyen başlıca parametre olmasına rağmen, tek başına yeterli değildir. Kayacın dayanımının sağlam olup olmaması da birim kazı miktarını kazmak için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanan spesifik enerjiyi de doğrudan etkilemektedir. Kayaçların aşındırıcılıkları Cerchar aşınma indeks deneyi ile bulunmuştur. Kayaç aşındırıcılığı kazılabilirliği ve delinebilirliği doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma sonucunda, Hem tek eksenli basınç dayanımı hem de Cerchar aşınma indeks değerlerinin çarpımı kayacın delinebilirlik durumunu gösteren delme oranı indeksi ile doğrudan ilişkisi olduğu bulunmuştur.

Bu çalışma sonucunda tek eksenli basınç dayanımına, Cerchar aşınma indeksine ve delme oranı indeksine bağlı olarak Delme Katsayısı (CD) olarak tanımlanan yeni bir jeoteknik delme indeksi tanımlanmıştır. Bu büyüklük ile spesifik enerji ile karşılaştırıldığında artan doğrusal bir saptanmıştır. Bu durum, makine seçimi ve performans analizi yapacak mühendise ve araştırmacılara yeni bir bakış açısı kazandıracak ve daha gerçekçi tahmin modellerinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür
Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen TÜBİTAK'a (Proje No: 110M437 ve 110M579), Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörlüğüne, Prof Dr. Bjorn NİLSEN'e (NTNU), Filip DAHL'a (SINTEF, Lab. Müdürü, Norveç), Prof Dr. Nuh BİLGİN'e (İTÜ), Prof Dr. Nuri Ali AKÇIN'a (ZKÜ) sonsuz teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

Adebayo, B., Opafunso, Z. O., Akande, J.M., 2010. Drillability and strength characteristics of selected rocks in Nigeria. AU Journal. 14(1), 56–60
.

Akçın, N.A., Muftuoglu, Y.V., Bas, N., 1994. Prediction of drilling performance for electro–hydraulic percussive drills. In: Proceedings of the Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Balkema, Istanbul, Turkey, 483–488.

Akun, M.E., Karpuz, C., 2005. Drillability studies of surface–set diamond drilling in Zonguldak Region sandstones from Turkey. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 42, 473–479.

Aleman, V.P., 1981. A strata strength index for boom type roadheaders. Tunnel and Tunnelling. 13, 52–55.

Alber. M., Yaralı, O., Dahl, F., Bruland, A., Kasling, H., Michalakopoulos, T.N., Cardu, M., Hagan, P., Aydın, H., Özaraslan, A., 2014. ISRM Suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test. Rock Mechanics and Rock Engineering. 47, 261–266.

Altindağ, R., 2004. Evaluation of drill cuttings in prediction of penetration rate by using coarseness index and mean particle size in percussive drilling. Geotechnical and Geological Engineering. 22, 417–425.

Balcı, C., 2004. Mekanize Kazı Makinalarının Seçiminde Küçük Boyutlu Kazı İle Tam Boyutlu Kazı Deneylerinin Karşılaştırılması, Doktora Tezi (yayınlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Balcı, C., Bilgin, N., Çopur, H., Tumaç, D., Akgül, M., 2007. Tünel açma makinelerinin tam boyutlu kesme deneyi ile performans tahmini. 1. Maden Makinaları Sempozyumu, TMMOB, MMO, Kütahya, 61–70.

Bilgin, N., Yazici, S., Eskikaya, S., 1996. A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages, In: Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, Torino, 2, 715–720.

Bilgin N., Kahraman S., 2003. Drillability prediction in rotary blast hole drilling. In: International Mining Congress and Exhibition of Turkey–IMCET 2003, 395–496.

Bruland A., Dahlo, T.S., Nilsen, B., 1995. Tunnelling performance estimation based on drillability testing. In: Proceedings 8Th International Congress on Rock Mechanics. Sep. 25–30, Tokyo, Japan, 123–126.

Dahl, F., 2003. DRI, BWI, CLI Standards. NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, Norway.
Dahl, F., Bruland, A., Grov, E., Nilsen, B., 2010. Trademarking the NTNU/SINTEF drillability test indices. Tunnels & Tunnelling International. June, 44–46.

Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B., Grov, E., 2012. Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method, Tunnelling and Underground Space Technology. 28, 150–158.

Fowell, R.J., McFeat–Smith I., 1976. Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine, Tunnelling'76. In: Institution of Mining and Metallurgy, London, 3–11.

Howarth, D.F., Adamson, W.R., Berndt, J.R., 1986. Correlation of model tunnel boring and drilling machine performances with rock properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 23, 171–175.

Huang, S.L., Wang, Z.W., 1997. The mechanics of diamond core drilling of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 34, 6–12.

ISRM, 1978. Suggested method for determining tensile strength of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 15, 99–103.

ISRM, 1979. Suggested method for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 16, 135–140.

Kahraman, S., 1999. Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 36, 981–989.

Kahraman, S., 2002. Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness. Engineering Geology. 65, 269–283.

Kahraman, S., Bilgin, N., Feridunoglu, C., 2003a. Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 40 (5), 711–723.

Kahraman, S., Gunaydin, O., Fener, M., Bilgin, N., 2003b. Correlation between Los Angeles abrasion loss and uniaxial compressive strength. In: Proceedings of International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, Istanbul, Turkey, 577–581.

Karpuz, C., Pasamehmetoglu, A.G., Dincer, T., Muftuoglu, Y., 1990. Drillability studies on the rotary blasthole drilling of lignite overburden series, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 4, 89–93.

Kovscek, P.D., Taylor, C.D., Thimons, E.D., 1988. Evaluation of Water–Jet Assisted Drilling with Handheld Drills. U.S. Dept. of the Interior, USBM RI–9174, USA.

McFeat–Smith, I., Fowel, R.J., 1997. Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. In: Proceedings of a Conference on Rock Engineering, The University of Newcastle upon Tyne, 581–602.

Nilsen, B., Ozdemir, L., 1993. Hard rock tunnel boring prediction and field performance. In: Proceedings of The Rapid Excavation and Tunnelling Conference, Boston, MA, 833–852.

Nilsen, B., 2003. Investigation and testing for Norwegian hard rock TBM performance prediction. In: Bilgin N (ed) Türkiye Yeraltı Kaynaklarının Bugünü ve Geleceği, ITU Miming Faculty 50th Year Symp., Istanbul, Turkey, 89–96.

NTNU–Anleggsdrift, 1988. Hard Rock Tunnel Boring. Norwegian University of Science and Technology, Dept. of Civil and Transport Engineering, Report 1B–98.

Özdemir, L., Nilsen, B., 1999. Recommended laboratory rock testing for TBM projects. AUA News, 14(2): 21–35.

Peila, D., Pelizza, S., 2009. Ground probing and treatments in rock TBM tunnel to overcome limiting contitions. Journal of Mining Science. 45(6), 602–619.

Plinninger, R.J., Spaun, G., Thuro, K., 2002. Predicting tool wear in drill and blast. Tunnels & Tunnelling International 4/2002, 38–41.

Plinninger, R. J., 2008. Abrasiveness assessment for hard rock drilling. Geomechanik und Tunnelbau. 1, 39–46.

Plinninger, R.J., Restner, U., 2008. Abrasiveness testing, quo vadis? – A commented overview of abrasivity testing methods. Geomechanik und Tunnelbau. 1, 61–70.

Sievers, H., 1950. Die bestimmung des Bohrwiderstandes von Geesteinen, Glückauf. 37/38, 776–784.

Tamrock, 1988. Surface Drilling and Blasting. Finland.

Tanaino, A.S., 2005. Rock classification by drillability Part I: analysis of the available classifications. Journal of Mining Science. 41, 541–549.

Thuro, K., 1996. Drillability prediction in hard rock tunneling. In: Conference on Prediction in Geology, Vrije Universiteit, Amsterdam, 22–24 February,103–108.

Thuro, K., Spaun, G., 1996. Introducing the destruction work as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunneling. In: Eurock'96 Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, Torino, 2, 707–720.

Thuro, K., Plinninger, R.J. 2007. Geologisch–geotechnische Grundlagen der Gebirgslösung im Fels., In: Eichler, K. et. al. (Hrsg.): Fels– und Tunnelbau II, Kontakt und Studium, Band 684, Renningen–Malmsheim (Expert), 112–160.

Valantin, A., 1973. An Examination of the Varous Conventional Procedures to Determine the Resistance of Rock to Mechanized Winning. Development and Exploratory Techniques in Coal Mines, Commission of the Europan Commercial Shearing Co. Youngstown, 15–84.

Yaralı, O., Soyer, E., 2013. Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks, Tunnelling and Underground Space Technology. 33, 46–53.

Yenice, H., Ozfırat, M.K., Kahraman, B., Ozdogan, M.V., 2009. Examination of drilling rate index (DRI) of rocks. In: Proceedings of 3rd Balkan Mining Congress, 1–3 October, Izmir, Turkey, 321–328.

Araştırma Makalesi

Maden Proses Atıklarının Macun Teknolojisi Kullanılarak Yerüstünde Depolanması
Storage of Mining Processing Tailings at Surface Using Paste Technology

Ataç Başçetin[1]*, Orhan Özdemir[1], Serkan Tüylü[1], Deniz Adıgüzel[1], Ufuk Gökhan Akkaya[1]

[1]*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul*
** Sorumlu Yazar : bascetin@istanbul.edu.tr,*

Özet
Son yıllarda hızla gelişmekte olan madencilik sektörü, aynı zamanda yanında çevresel sorunları da birlikte getirmektedir. Bu sorunların başında her yıl madenlerden yüksek miktarlarda üretilen maden proses atıkları gelmektedir. Özellikle metal madenciliğinde konsantre üretimi sonucu arta kalan ekonomik yönden değersiz ve sülfür içeren atıklar, su ve oksijen varlığında asitli sızıntı suyu üretimine neden olarak çevreye önemli derecelerde kalıcı zararlar verebilmektedirler. Bu atıkların yerüstünde geleneksel yöntemler (atık barajı vs.) kullanılarak bertarafı sırasında sebep olduğu çevresel zararların yeni teknolojiler ve yöntemlerle beraber önemli ölçüde azaltılabileceği çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur. Bu yöntemlerden biriside, atıkların çevresel açıdan güvenilir olarak bertarafına imkân veren macun teknolojisi yöntemidir. Atıkların bir kısmı macun dolgu şeklinde yeraltına dolgu amaçlı olarak kullanılırken diğer bir kısmı da yerüstünde macun depolama şeklinde değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, ülkemizde macun teknolojinin geleneksel yerüstü bertaraf yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak incelenmesi önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Maden Proses Atıkları, Çevresel Problemler, Macun Teknolojisi, Yerüstü Atık Bertarafı.

Abstract
Mining sector developing rapidly in recent years also brings it together environmental issues. Main problem of this situation comes from high amounts of mining process tailings produced in mines every year. Particularly, economically invaluable and sulfur containing tailings from production of concentrates in metal mining cause acidic water leaking in the presence of water and oxygen, hence significantly permanent damage to environment. Several studies demonstrated that it is possible to considerably reduce environmentally damage caused by disposal of these tailings using conventional methods (tailings dam etc.) along with new technologies and methods. One of these methods is paste technology which allows the tailings to be disposed safely. While some of these tailings are used at underground as paste materials, another part of the tailings are evaluated at aboveground as paste disposal materials. In this context, it is important to examine paste technology as an alternative method to conventional aboveground methods in our country.

Keywords: *Mining Process Tailings, Environmental Problems, Paste Technology, Aboveground Tailings Disposal.*

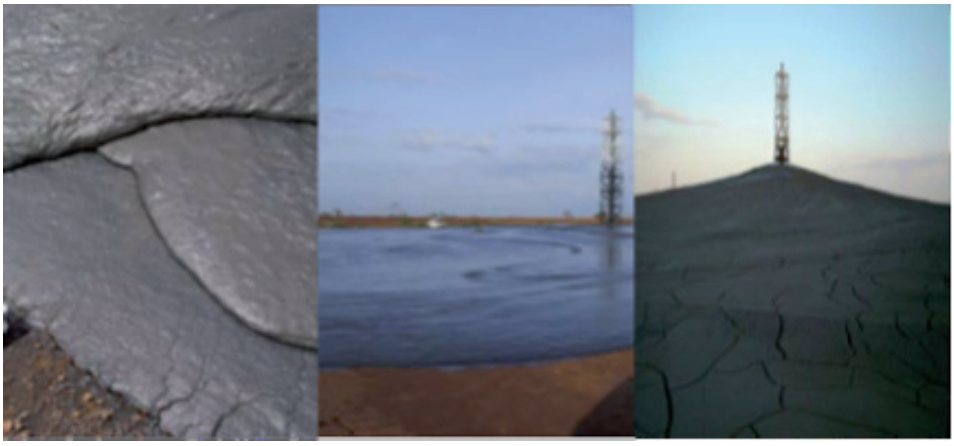
1. Giriş

Cevherlerin üretimi ve zenginleştirilmesi işlemleri sonucunda, özellikle metalik cevherler de önemli miktarda çözünebilen sülfür içeriği yüksek atıklar açığa çıkmaktadır. Zenginleştirme amaçlı kullanılan kimyasal maddeleri de içeren bu atıkların çevreye olan olumsuz etkileri çok yönlü olup, bu atıkların depolanacağı yerin izolasyonu, tesisten nakli, stabilitesi, emniyeti, su ve toprak kalitesi gibi parametrelere bağlı olarak atık sahalarının düzenlenme şekli ve kontrolü de başlıca dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Ayrıca konvansiyonel atık barajları ve kuru depolama gibi yöntemlerin maliyetleri açısından bakıldığında da bir dezavantaja sahip olduğu görülmektedir.

Günümüzde genellikle yerüstü atık barajlarına, denizlere, nehirlere, çaylara vb. boşaltılan metal maden atıkları, son yıllarda önemi giderek artan bertaraf yöntemlerinden biri olan Macun Teknolojisi kullanılarak güvenli bir şekilde atıkların depolanabilirliği araştırılmaktadır (Şekil 1). Dünyada Macun Teknolojisi ilk olarak 1980 yılında Almanya'nın Grund madeninde yeraltında tahkimat amacıyla dolgu şeklinde kullanılmaya başlanmıştır (Kesimal vd., 2002).

Bu yöntem şu anda başta Kanada olmak üzere birçok gelişmiş ülkenin madencilik faaliyetlerinde uygulanmaya devam etmektedir. Ülkemizde ise bu teknoloji ilk kez 1999 yılında bakır madeni proses atıklarının macun formunda yeraltında depolanması olarak uygulanmaya başlamıştır. Bu tarihten itibaren proses atıklarından oluşan macun malzemesinin yeraltı ve yerüstünde depolanması ya da bertarafı ile ilgili özellikle bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalar yerüstü macun depolama işleminin geleneksel atık barajlarında en büyük problemlerden biri olan serbest su miktarının minimize edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca daha az parçacık ayrışması yani diğer bir ifade ile daha homojen bir malzemenin oluşması, malzemenin daha stabil olmasına neden olan hidrojeoteknik özelliklerinin gelişmesi ve yerüstü macun malzemesine gerekli olduğu durumlarda hidrolik bağlayıcının ilave edilmesi ile de oluşturulan macunun dayanımı, duraylılığı ve asit nötralizasyon potansiyeli arttırılmış olduğu görülmüştür. Bu uygulama beraberinde özellikle atık depolama sahası bulunması zor işletmelerde bir yer kazanımı sağlamaktadır. Diğer önemli bir husus ise yapılan araştırmalarda maliyet yönünden diğer yöntemlere göre çok daha avantajlı bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Bu kapsamda ülkemizde macun teknolojinin geleneksel yerüstü bertaraf yöntemlerine alternatif bir yöntem olabilmesi için macun atık malzemesinin fiziksel, jeokimyasal ve jeoteknik özellikleri bakımından detaylı olarak incelenmesi önem arz etmektedir.



Şekil 1. Macun teknolojisi yerüstü uygulaması (Theriault vd., 2003)

2. Maden Atıklarının Depolanması / Bertaraf Yöntemleri

Madencilikte kullanılan atık bertaraf yöntemleri genelde atığın türü, uygulanan yöntemin amacı, yeri, yerleşimi, yapım biçimi ve su deşarjı durumuna göre yerüstü, yeraltı ve su altı (deniz ve göllere) olmak üzere 3 ana başlıkta sınıflandırılmaktadır (MMSD, 2002).

Yerüstü Bertaraf Yöntemleri: Setlendirilmiş baraj ve havuzlar, doğaya geri kazandırılan kuru atık depoları, işlenmiş liç yığınları, açık ocak çukurları, özel olarak kazılan çukurlar başlıca yerüstü atık bertaraf yöntemleridir.

Yeraltı Ocaklarında Atık Bertarafı: Kazı-dolgu ve oda-topuk maden işletme yöntemlerinde gerekli olan dolgu malzemesi atıklardan sağlanabilir. Genellikle suyunu kolay bırakan iri veya kumsu atık kullanılırken son zamanlarda gelişen teknolojiye paralel olarak macun dolgu adı verilen basınçlı filtre ile suyu iyice alınmış çimento katkılı kuru çamurlar da hem tahkimat hem de atık bertarafını aynı anda sağladığı için başarıyla kullanılmaktadır.

Derin Deniz, Nehir ve Göl Deşarjı Atık Bertarafı: Cevher zenginleştirme atıkları için kullanılan bir yöntemdir. Bu bertaraf yönteminde atıklar deniz veya okyanuslarda kıyıdan uzaktaki derin zonlara bırakılır. Denizin yakın ve derin, yağışın çok, buharlaşmanın az, yerüstü atık bertaraf yöntemlerinin riskli olduğu bölgelerde uygulanır. Diğer ifade ile vahşi bertaraf yöntemi olarak isimlendirilen bu metod, günümüzde birçok ülkede çevresel duyarlılığın artmasıyla terkedilen bir bertaraf yöntemidir.

Şekil 2. Maden atıklarını depolama/bertaraf yöntemleri (Tüylü, 2015)

Bu yöntemlerden atık miktarına bağlı olarak en fazla kullanılan yöntem yerüstü olup o da kendi içinde geleneksel atık barajı, açık ocak içerisinde depolama ve kuru depolama olarak ayrılmaktadır.

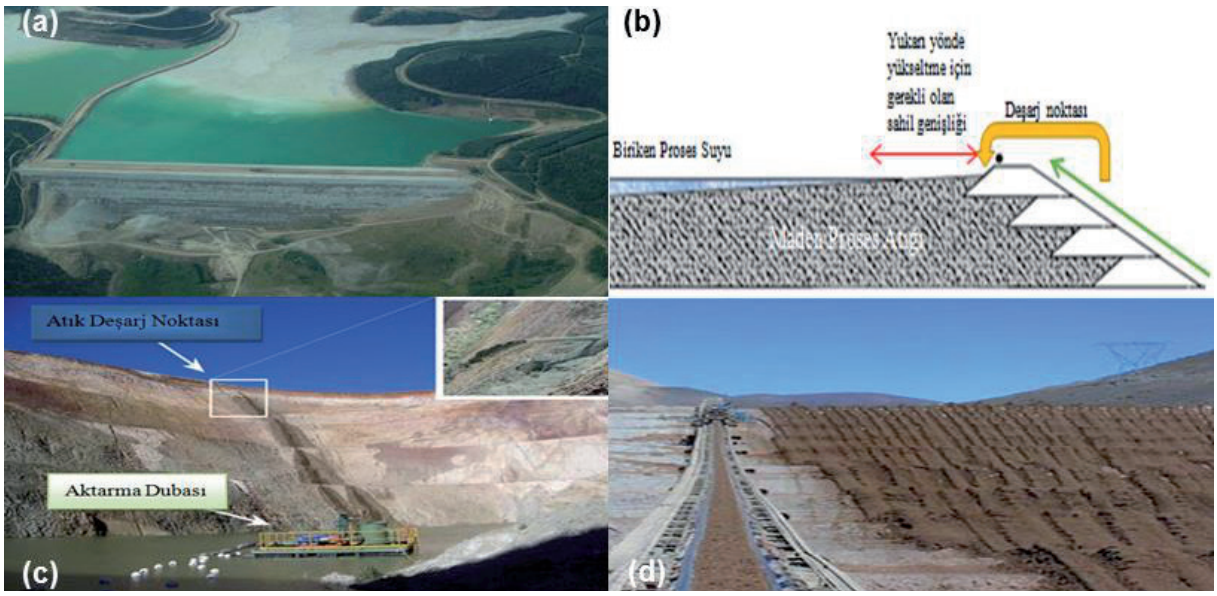
Geleneksel Atık Barajları, bir baraj inşa edilmesiyle hem suyun hem de atıkların birlikte depolanmasında kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Klasik baraj ve set tipi olmak üzere iki ana türü bulunmaktadır. Baraj tipi depolamada, hem maden atıkları hem de atıklarının içerdiği

yüksek su ile birlikte depolanmaktadır (Şekil 3a). Bundan dolayı bu yöntem çoğunlukla yüksek hacimlerdeki suyun depolanması planlanan operasyonlarda kullanılmaktadır.

Diğer atık barajı yöntemi olan Set Tipi Barajlar ise klasik baraj tipine benzemekle beraber aralarında bazı temel farklılıkları bulunmaktadır (Şekil 3b). Mesela, Set tipi genellikle düz topografyalarda uygulanmaktadır. Bu yöntemde atıkların depolanacağı bölgenin etrafı birkaç metrelik bir dolgu seti ile çevrilir, Kapasitenin dolması ile de dolgu set üzerine tekrar dolgu yapılarak kademeli kapasite artışı sağlanır. Ancak kapasite artışı için her yükseltme yapıldığında kullanılması gereken dolgu malzemesi hacmi artmakta ve maliyetler katlanarak büyümektedir. Yine de başlangıç maliyetlerinin düşük olması ve gerçek maliyetin madenin operasyon ömrüne yayılmasına olanak tanıması avantaj olarak kabul edilmektedir.

Açık Ocak İçerisinde Depolama nadiren de olsa uygulanan bir yöntemdir. Genel olarak yüksek su içeriğine sahip olan malzemenin ömrünü tamamlamış ve doğal bir havuz görevi görebilecek açık ocak boşluğu içerisinde depolanması olarak izah edilebilir (Şekil 3c). Yöntemin en büyük avantajı herhangi bir baraj yapımı gerektirmemesi rağmen yeraltı suyu kirlenme riski gibi bazı ciddi sakıncaları da bulunmaktadır.

Diğer bir yöntem olarak Kuru Depolama yönteminde ise atıkların su içeriği malzemenin doğal nemine kadar düşürülerek (%85 ve üzeri katı içeriği) depolama yapılır (Şekil 3d). Bu malzeme kuru bir yapıya sahip olduğundan dolayı naklinde konveyörler ve kamyonlar gibi makine ve ekipmanlar kullanılır. Malzemenin depolama alanına yerleştirilmesinde ve doygun olmayan sıkıştırılmış bir yığın formu elde edilmesinde makine ve ekipman kullanımı ile birlikte kendi kendini tutabilen ve harici bir destek ünitesine gerek duymayan stabil bir malzeme oluşur (Davies ve Rice 2001).



Şekil 3. Yerüstü depolama yöntemleri (a) Klasik baraj tipi (b) Set tipi baraj (c) Açık ocak içerisine depolama (d) Şili'de La Coipa Madeni kuru depolama uygulaması (Davies ve Rice 2001)

3. Macun Teknolojisi ve Yerüstünde Depolama Yöntemi

Son yıllarda kullanılan yerüstü bertaraf yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen Macun Teknolojisi, cevher hazırlama tesis atıklarının filtrasyon yada koyulaştırma (tikiner) yardımı ile susuzlaştırıldıktan sonra belli bir oranda su ve gerekli görüldüğü yerlerde ilave bağlayıcı

malzemeyle iyice karıştırılarak pompalanabilir kıvamdaki ince taneli malzeme olarak tanımlanmaktadır. Sulu çamurun pompa le taşınmasındaki durumun aksine, doğal halinde ve taşınması sırasında ayrışmayan özellikte olup oldukça iri parçaların nakline izin verirken tane boyu ancak pompa boru çapı ile sınırlıdır (Brackebush, 1994; Newman vd., 2001; Verburg, 2001). Belirli kıvama getirilmiş bu atık malzeme hem pompalanabilir özelliğe sahiptir hemde depolama alanında akış durduğu anda kısa sürede kuruma özelliğine sahiptir. Kuruyan bu malzeme su içeriği yönünden belirli bir doygunluğa da sahip olduğu için oksijen ve su difüzyonuna da müsade etmez. Bu nedenle de atık içerisindeki metal çözünmeleri ya gerçekleşmez yada minimum düzeyde kalır. Bu özellikleri ile yerüstü macun depolama yöntemi değişik iklim koşullarında fiziksel, jeokimyasal ve jeoteknik özellikleri açısından duraylı bir malzeme olup, konvansiyonel depolama yöntemlerinde karşılaşılan çevresel rikleri taşımaz.

3.1. Macun Malzemesinin Karakterizasyonu

Macunun geleneksel atık depolama yöntemlerine göre en önemli ayırt edici özelliklerinden birisi karışımın tane boyut dağılımıdır. Macun malzemesi yeterli miktarda su tutabilmesini sağlayacak miktarda ince boyutlu tane içermelidir. Çok sayıdaki ampirik verilere ve işletme tecrübelerine göre, tipik bir macunun en az ağırlıkça %15'inin 20 μm altında olması gerekir.

İnce tanelerin kolloidal su tutabilme özelliği sayesinde ayrışmaya uğramayan ve tipik macun akış özelliği gösteren karışımlar sağlanır.Macun uzun süre hareketsiz bırakıldığında çok az süzüntü suyu bırakabilir. Ayrıca uzun süre duraylılık gösterir ve boru hattı tıkanma riski taşımaz. Fazla su miktarı malzemeye bağlı olduğundan, macun belirli bir katı konsantrasyonunda olarak da tanımlanamaz.

Macun, taze beton ile benzer kıvamda olduğundan beton endüstrisinde kullanılan geleneksel Çökme Konisi Beton Testi uygulanarak slamp (kıvam) özelliği belirlenir. Slamp testleri genellikle macun karışımlarının viskozite ölçümleri için kullanılmaktadır. Slamp, bir karışım malzemesinin konik şeklindeki bir kaygan kalıptan serbest bırakıldığında maruz kaldığı boydaki düşmenin bir ölçüsüdür. Slampı belirleyerek bir malzemenin taşınabilirliği ile kıvam karakterize edilir. Yeraltı macun sisteminde optimum slamp değeri 150-200 mm arasındadır. Bu durum, taşımada basınç kayıplarını azaltır ve kazanılan dayanımı artırır. Yeraltı macun dolgu sistemlerinde macun taşınmasında pompa nadiren kullanılırken; çimentonun rutin olarak ilave edilmediği yerüstü bertaraf sisteminde, pompalama macun bertaraf sisteminin en önemli parçasını oluşturur. Dolayısıyla, optimum slamp değeri yüksek olup 200-250 mm arasındadır. Bu slamp değeri sürtünme kayıplarını azaltmakta ve macunun büyük tek bir pompa ile 2-3 km mesafelere taşınmasına imkan sağlamaktadır (Newman vd., 2001).

Belirli bir slamp değerindeki macunun su içeriği ve yoğunluğu ince tane miktarına göre değişmektedir. Tane boyutu inceldikçe ıslanan yüzey alanı artacağından nem içeriği yüksek ve yoğunluğu düşük kalacaktır. Tanelerin özgül ağırlıkları da karışımın yoğunluğunu etkileyen bir diğer faktördür. Tipik bir porfiri bakır flotasyon tesisi atıklarından oluşan %75 katı içerikli bir macunun, uygulanmasında ise macun karışımlarının ağırlıkça katı yüzdesinin %40-90 arasında değiştiği belirtilmektedir (Meggyes ve Debreczeni, 2006).

Katı-sıvı karışımları için sınıflandırma sistemi, katı konsantrasyonu arttıkça karışım sulu çamurdan macun ve kek kıvamına kadar değişiklik göstermektedir. Sulu çamur, susuzlandırma derecesine bağlı olarak, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluklu sulu çamurlar olarak sınıflandırılır. Belli bir kıvamın üzerine koyulaştırılan atıklar non-newtonian davranışı

gösterdiğinden belirli bir akma gerilmesine sahiptir. Sulu çamurdan macuna geçiş noktası yaklaşık 200 Pa akma gerilmesi olarak kabul edilmektedir. Macun genelde Bingham plastik sıvısı olarak sınıflandırılmakla birlikte (yüksek viskozitedeyken, akış hızı arttıkça nispeten sabit bir viskozite göstermesi), macunun boru hattı ile taşınması alanındaki tecrübeler, macun akış teorilerinin tam anlaşılır olmadığını göstermiştir. Viskozite zaman veya akış hızına bağlı olarak ya azalmakta ya da artmaktadır. Brackebush'a (1994) göre birçok macun pseudoplastiktir (kuvvet karşısında direnç kaybeden malzeme yapısı) ve viskozite, yüksek pompalama hızlarında azalır. Bu durum malzemenin pompa ile taşınmasında yararlı bir özellik olup ulu çamur ve macun formundaki atıkların taşınmasında santrifüj ve pozitif yer değiştirme pompalarının kullanılmasına imkan verir. Ayrıca, , çok yüksek yoğunluklu macun taşımasında ise sadece pozitif deplasmanlı (PD) pompalar kullanılabilmektedir (Meggyes ve Debreczeni, 2006). Dolayısıyla herhangi bir macun veya susuzlandırılmış atık bertaraf sistemi tasarımı ve işletme şartlarının tespiti için hem kesme hem de basma ile ilgili malzemenin reolojik özelliklerinin iyi anlaşılmasını gerektirir.

3.2.2. Macun Malzeme Karakterizasyon Testleri

Atıkların macun formunda depolanması diğer yöntemlere göre daha karmaşık testler ve ön çalışmalar gerektirmektedir. Macun teknolojisinde amaç, malzeme olarak kontrol altında tutulması ve yönetilmesi oldukça zor olan yüksek su içeriğine, çok ince bir tane boyut dağılımına ve karmaşık kimyasal yapıya sahip olan atıkların malzeme özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Böylelikle atıkların doğasında yatan tehditleri ortadan kalkmasıyla, uzun vadede ekonomik, güvenli ve çevre dostu bir şekilde depolanmaları mümkün olmaktadır.

Macun nakliyatı ve depolanmasıyla ilgili çeşitli testlerin uygulanması gerekmektedir. Bunlar ; Laboratuar testleri ve Pilot Tesis testleri olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır (Brackebusch, 1994; Zou, 1997; Oulette vd., 1998; Jewell vd., 2002).

Laboratuvar Testleri

- Lazer tane boyut dağılımı analizi,
- Mineralojik analiz,
- Yoğunluk tayini,
- Tane şekli,
- Kompaksiyon eğrileri ve optimum yoğunluk,
- Kıvam limitlerinin belirlenmesi,
- Porozite,
- Permeabilite,
- Slump ve su içeriği,
- Kıvamlandırma testi,
- Filtrasyon testi,
- Siklon testi,
- Macun karışımında görsel gözlemler,
- Akış testleri (Reometre, kanal, kolon),
- Akma gerilmesi tayini,
- Kayma gerilmesi tayini,
- Proses suyu kalite analizleri,
- Viskozite,
- Sıvılaşma,
- Konsolidasyon,

- Su tutma eğrileri,
- Sızıntı suyu değerlerinin ölçümlerini içerirken,

Pilot Tesis Testleri
- Pilot tesiste çöktürmeyle kıvamlandırma,
- Pilot tesiste filtrasyon,
- Slump testleri,
- Tam ölçekli pompa çevrimi testleri şeklinde sıralanmaktadır.

3.3. Macun Teknolojisinin Saha Uygulaması

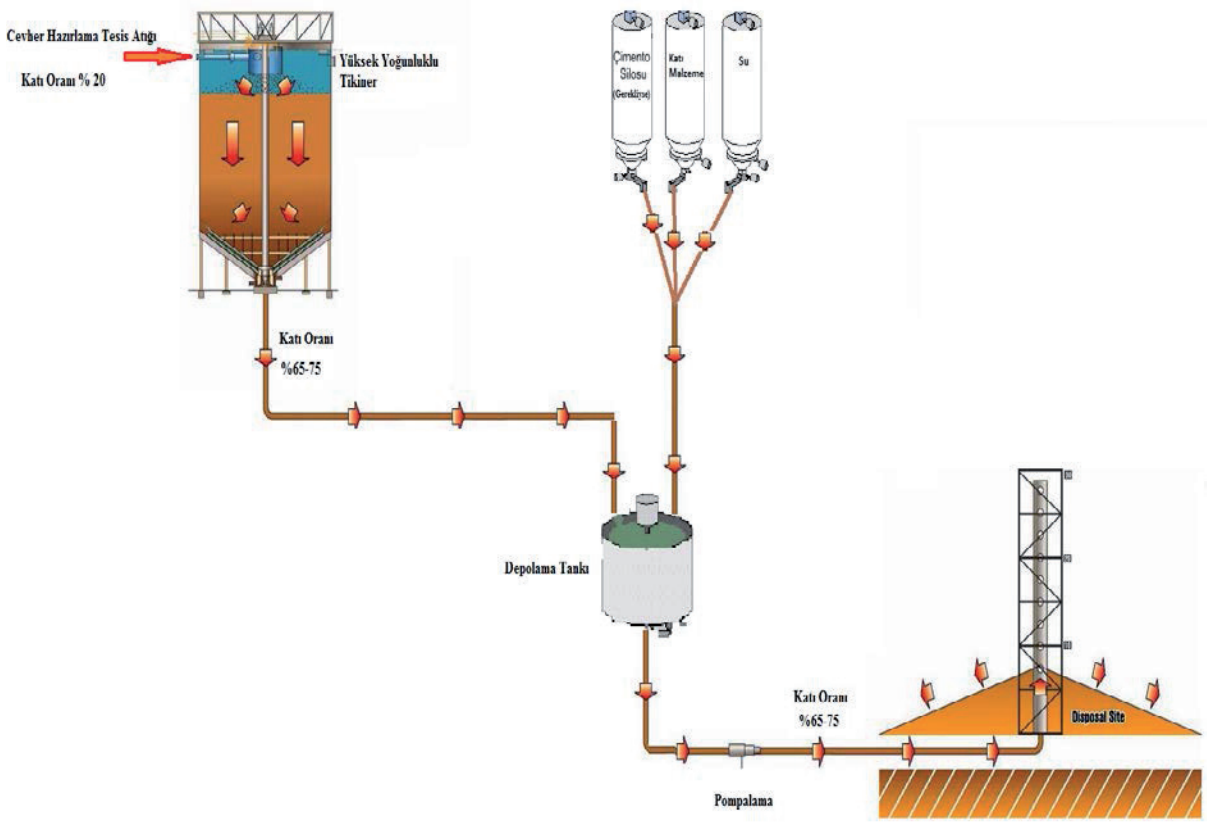
Susuzlandırma teknolojisindeki gelişmeler (Ultra yüksek hızlı ve ultra yüksek yoğunluklu tikinerler), bazı atıklar için yüksek slamplı macunların eldesini kolaylaştırmıştır. Bu da daha ucuz macun üretimi imkanı sağlamıştır. Sonuç olarak daha çevreci macun bertaraf yöntemini bir adım daha yaklaştırmıştır.

Macun teknolojisinin öncülerinden biri olan Robinsky'e (1999) göre, gerçekte bütün cevher hazırlama yöntemleri macun üretimine uygun atıklar oluşturur. Ancak, atıkları macun formunda bertaraf etmeden önce jeoteknik ve jeokimyasal karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. Macunun uzun dönem çevresel duraylılığı bu anlamda özellikle önemlidir. Potansiyel çevresel etki faktörü derecesi, uygun macun ve bertaraf senaryolarının seçimini etkiler.

Atıkların daha yoğun kıvamlara susuzlandırılmaları ile kendi kendini destekleyen atıklar oluşturmak mümkündür. Dolayısıyla cevher zenginleştirme atıklarının macun formunda yeryüzünde depolanması çökelme göleti/atık barajları gereksinimini de ortadan kaldırır. Bunun için tesis çıkışı atıklar, proses suyunun çoğu uzaklaştırılarak duraylı hale getirilir. Tikinerlerde çökelen katı, tikinerin altından alınırken üstten alınan su tesise geri beslenir. Tikinerlerdeki kıvamlaştırma, atıkları ayrışamaya uğratmayan ancak hala pompalanabilir kıvama dönüştürecek yeterlilikte olmalıdır. Bazı durumlarda tikiner alt akımının bir kısmının filtre edilmesi ve daha sonra arta kalan tikiner alt akımı ile istenilen kıvamı yakalamak için birleştirimesi gerekebilir.

Macun formundaki atıklar serbest bırakıldığı zaman, yoğun kıvamları ve dolayısıyla yüksek viskozite nedeniyle, ayrışmaya uğramadan uzun mesafe kat eder, nihayetinde az bir eğimde akış durur. Bu eğimin derecesi susuzlandırma derecesi ile belirlenir. Amaç, ılıman iklimlerde %2-6'lık bir eğime ulaşmaktır. Bu eğim derecesi erozyonu önleyecek yeterliktedir ve bitki örtüsü için yeterli drenajı da sağlar. Kurak iklimlerde, daha dik eğimler tasarlanabilir. Susuzlandırılmış atıkların ayrışmama özelliği, katıyı oluşturan tanelerin birbirlerine bağlanmasını sağlayarak hem erozyon hem de tozlaşma potansiyelini azaltır (Robinsky, 1999; Meggyes ve Debreczeni, 2006).

Macun teknolojisindeki atık bertaraf alanları tesis yakınlarında bir vadi ya da düz bir alan olabilir. Bir vadide eğimli bir atık alanı oluşturmak için susuzlandırılmış atık, vadinin tavanından ya da tepenin bir yamacı boyunca boşaltılır. Atık, vadi boyunca bir eğimle karşılaşıncaya kadar akacaktır veya alternatif olarak küçük bir baraj sayesinde durdurulur. Düz alanlarda, susuzlandırılmış atık yapay rampa veya tepe şeklinde boşaltılarak serilir veya atık konisi oluşturulur (Şekil 4).



Şekil 4. Macun tesisi akım şeması

Macunun yerüstü depolanmasında akış özelliklerinin, boşaltma noktasından sonra malzemenin yeterince dağılımını sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Eğer malzeme yüksek katı içeriğine sahipse, akmaya karşı direnci yüksek olduğundan, yayılım göstermeyecek, boşaltma noktasının altında direkt yığın oluşturacaktır. Diğer taraftan, katı içeriği çok düşük olursa, çok uzaklara kadar akış gösterecek ve istenilen yığını oluşturmayacaktır. Su içeriği arttıkça kuruma da uzun zaman alacaktır.

3.4. Macun Malzemesinin Tasarım Özellikleri

Bir macun tesisi için ilk olarak atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile beraber macun malzemenin nakledileceği atık sahası mesafesi dikkate alınarak oluşturulacak karışım oranlarının belirlenmesidir. Elde edilen veriler ışığında susuzlandırma yöntemi (tikiner, filtrasyon vb.), bağlayıcı ve katkı maddeleri miktarı, pompa tipi ve kapasitesi, bileşenlerin kesikli veya sürekli karıştırılması gibi tasarım prosedürleri hesaplanır.

Macun malzemenin yerüstünde uygulanabilmesi için bazı temel parametrelerin sağlanması gerekmektedir (Benzaazoua vd., 2004; Yılmaz vd., 2014). Bunlar;

- Atık malzemesinin tane boyut dağılımına göre 20 μm altı içeriğinin %15 veya daha yüksek olması,
- Macun malzeme karışımında katı içeriğinin ağırlıkça %65-75 olması,
- Su içeriğinin ağırlıkça %25-35 arasında olması,
- Eğer macun malzeme karışımında kullanılacaksa, bağlayıcı miktarının ağırlıkça katı oranının ≤ %2 olması,
- Slamp değerinin 25 cm (10") olması gerekir.

3.5. Macun Teknolojisinin Geleneksel Yöntemlere Göre Avantajları

Macun bertaraf yöntemi ile aşağıda ifade edilen temel problemler ortadan kaldırılacaktır:

- Yer sarsıntısı; ağır makinelerin yol açacağı titreşim ve hareketin neden olacağı atık barajı kazaları,
- Yükseltilen çökelme göletlerinden olan sızıntıların yol açacağı erozyon ve barajın zarar görmesi,
- Gömülü boşaltma borularının çökme tehlikesi,
- Sıvı göletteki istenmeyen atık sıvının toprağa ve yer altı suyuna sızması.

Yerüstü macun bertarafının avantajları çevresel fayda, güvenlik ve ekonomik fayda olarak sınıflandırılabilir. Bunlar;

- Yatırım maliyetlerinin azalması (büyük barajların inşası gerekmemekte),
- Güvenliğin artması,
- Halkın negatif algısının azalması,
- Su kaynaklarının korunması (su tasarrufu),
- Atık bertaraf alanının küçülmesi,
- Toprak ve yeraltı suyu kirlenmesinin azalması,
- Madencinin yükümlülüklerinin azaltılması,
- Harç ödemelerinde ve sigorta primlerinde azalma (atık barajı kazaları ile ilgili sorumluluklar azaldığından),
- Diğer maden atıkları ile birlikte bertaraf imkanının olması ve bunun sonucu kapatılması ve izlenmesi gereken atık alanı sayısının azalması,
- Diğer atıkları da kabul etme imkanı ile ilave gelir sağlanması,
- Çok az sızıntı suyu oluşumu sayesinde su tutma yapılarının boyutunu küçültmesi,
- Reklamasyon şartlarında iyileşme sağlaması,
- Tanelerin ayrışmasının önlenmesi,
- Eğimli atık yüzeyi sayesinde yağmur suyunun kolay ve hızlı drenajının sağlanması.

Ayrıca, hidrolik bağlayıcıların ilave edilmesi, yerüstü macun dolgunun dayanıklılık, duraylılık ve asit nötralizasyon potansiyelini artıracak, çimento katkısı macun malzeme içindeki kirleticileri duraylı kılacaktır.

3.6. Macun Teknolojisinin Laboratuvar Çapında Uygulanması

İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Maden İşletme Laboratuvarlarında, Balıkesir bölgesinde yer alan bir flotasyon tesisinden alınan Pb-Zn proses atıklarının macun teknolojisi kullanılarak yerüstünde optimum bir şekilde depolanabilirliği 2012 yılından beri Prof. Dr. Ataç Başçetin yönetiminde bu konuda uzman bir araştırma ekibi tarafından detaylı olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda ilk olarak 200×70×50 cm boyutlarında iki cephesi pleksiglas şeffaf plakalardan oluşan dikdörtgenler prizması şeklinde macun haline getirilmiş atığın depolanabileceği kabinler tasarlanmıştır (Şekil 5). Bu kabinin alt tarafına, sızıntı sularının drene olabileceği malzeme kaçağına izin vermeyecek boyutlarda jeotekstil yerleştirilmiştir (Bascetin vd., 2013; Bascetin vd., 2014).

Şekil 5. Atık depolama deney kabini

Macun olarak kullanılacak tesis atıklarının yerüstünde optimum şekilde depolanabilirliğinin incelenebilmesi için, öncelikle atığın fiziksel-kimyasal özellikleri (yoğunluk, tane boyu dağılımı, spesifik yüzey alanı, maksimum kuru birim hacim ağırlığı, optimum su içeriği, permeabilitesi, mineralojik kompozisyonu, elementel içeriği vb.) ve macun malzemenin karışım oranları (25 cm slamp değerine göre katı–su oranı) belirlenmiştir. Daha sonra optimum yerüstü macun depolama tasarımı için 4 farklı set-up'tan oluşan kabin konfigürasyonlarında testler yapılmıştır (Şekil 6).

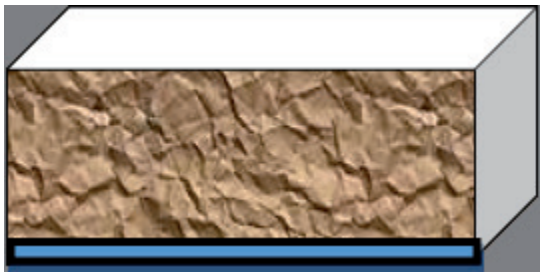
Set-up 1, tamamen bağlayıcısız macun atık malzemesinden oluşacak şekilde tabaka tabaka doldurulmuş olan deney kabinidir. Tabakaların kalınlığı 4 cm olarak belirlenmiş ve her tabaka döküldükten sonra iklim şartlarına bağlı olarak 8 gün kuruma sürecine bırakılmıştır. Bu deney kabini farklı konfigürasyonların denendiği diğer deney kabinleri için bir kontrol örneğidir (Şekil 6a).

Set-up 2'nin sadece 1. tabakası çimentolu macun atık malzemesinden, üstünde yer alan diğer tabakalar ise çimentosuz macun atık malzemeden oluşturulmuştur. Buradaki 1. tabakada atığın toplam kütlece katı içeriğinin %2'si kadar Portland Çimento tipi bağlayıcı kullanılmıştır (Şekil 6b). Her bir set-up'taki macun malzeme karışımı için katı su oranı, slump değeri 10" (250 mm) olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu deney konfigürasyonu ile 1. tabakanın alkali seviyesi yükseltilerek sızan sulardaki ağır metal mobilizasyonunun önüne geçilmesi planlanmıştır. Aynı zamanda bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun taneler arasındaki bağı güçlendirerek macunun stabilitesi arttırılmıştır.

Set-up 3'ün 1. ve 11. tabakaları %2 Portland çimentolu macun malzeme ve arada kalan diğer tabakalar ise çimentosuz macun malzeme olarak dökülmesi planlanmıştır (Şekil 6c). Böylece depolanan sahanın en üst tabakasının stabilitesi daha fazla arttırılarak, maden kapandıktan sonra yapılacak olan rekreasyon ve reklamasyon çalışmalarına yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca serbest yüzey sularının temas edeceği en üst tabakadaki yüksek alkali seviyesi Asit Maden Drenajı (AMD) riskinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

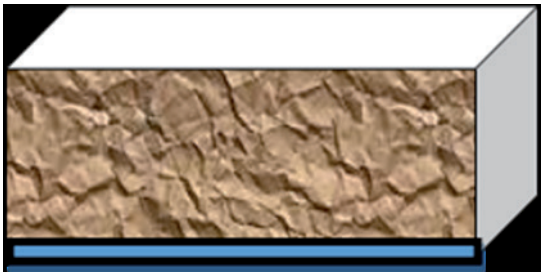
Set-up 4 ise, Set-up 2'ye benzer bir konfigürasyon oluşturulacaktır. Ancak bu set-up'ta çimento oranını minimize etmek için, sadece 1. tabaka %1'lik Portland çimentolu bağlayıcı içeriğinde olacak şekilde dökülecektir (Şekil 6d). Çünkü çimentolu macun atık malzeme oluşturulurken maliyeti arttıran en önemli parametre çimento bağlayıcı oranıdır. Böylece bağlayıcı içerisindeki çimento oranı azaltılmasının depolamaya nasıl bir etkisi olduğu incelenebilecektir.

(a) Bütün tabakaları bağlayıcısız



(b) Yalnızca 1. tabakası 2% Portland Çimento

(c) Yalnızca 1. ve 11. tabakalarda 2% Portland Çimento



(d) Yalnızca 1. tabakası 1% Portland Çimento

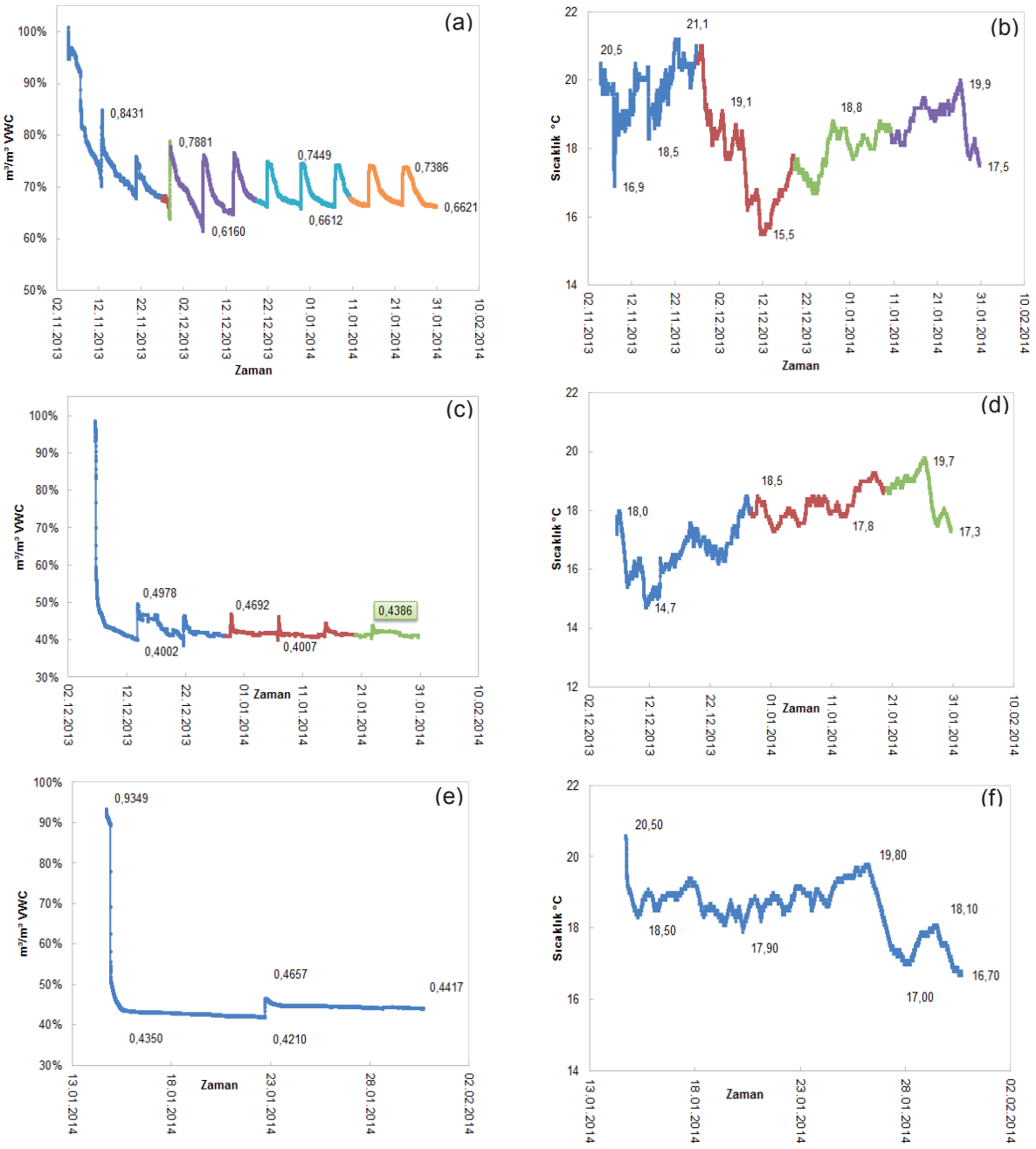
Şekil 6. Farklı konfigürasyonların yer aldığı test kabinleri

Bu çalışma kapsamında farklı konfigürasyonlarda 4 ayrı kabin çalışması yürütülmüştür. Set-up çalışmaları sırasıyla sızıntı suyu ölçümleri, sensör ölçümleri, ıslama-kuruma testi, çatlak yoğunluğu analizi ve kesme kutusu testine tabi tutulmuştur. Laboratuvar ölçekli kabin deneyleri günlük alınan veriler doğrultusunda ortalama $23^{-+}3$ ^{o}C sıcaklığında ve %6010 nem de yapılmıştır. İlk üç set-up'ın dökümü tamamlanmıştır. Örnek olarak bir set-up'ın aşama aşama oluşturulması ve üzerinde yapılan ölçümler sırasıyla Şekil 7'de görülmektedir.

Şekil 7. Yerüstü macun depolama laboratuvar uygulaması

3.7. Örnek Sensör Ölçüm Değerleri

Bu kısımda sadece Set-up 1'in 1., 5. ve 10. tabakalarına yerleştirilen hacimsel su içeriği (VWC)-sıcaklık değerleri Şekil 8'de ve su emme kuvveti sensörlerinden alınan ölçüm değerleri de grafiksel olarak Şekil 9'da verilmektedir (Tüylü, 2015).



Şekil 8. 1., 5. ve 10. tabakaların VWC-Sıcaklık değerleri

(a) 1.tabakanın VWC değeri, (b) 1.tabakanın sıcaklık değeri, (c) 5.tabakanın VWC değeri, (d) 5.tabakanın sıcaklık değeri, (e) 10.tabakanın VWC değeri, (f) 10.tabakanın sıcaklık değeri,

Şekil 8a'da görüldüğü üzere 1. tabaka dökümünde VWC değeri %100 iken 8 gün sonra %70 VWC değerine düşmektedir. 2. tabaka dökümünde ise VWC değeri %85'e çıktıktan sonra 5. tabaka dökümüne kadar kademeli olarak %61 seviyelerine düşmektedir. Daha sonra 5. tabakayı takip eden her bir dökümden sonraki 8 günlük kuruma süresinin bitimlerinde yaklaşık %66 VWC değerine kadar inebildiği görülmektedir. Aynı şekilde 6. tabakadan sonraki her bir tabakanın dökümünde 1. tabakanın VWC değerinin %73-75 aralığında seyrettiği belirlenmiştir. Bu değerlere göre 1. tabakanın tüm tabakaların dökümü sırasında hacimsel olarak %50 den fazlası su olarak gözükmektedir. Aynı sensör VWC değerinin yanında tabakadaki sıcaklık değişimini de ölçmektedir. 11. tabaka dökümü ve sonrasındaki 8

günü kapsayacak tarihlerde, 1. tabakanın ortalama sıcaklığı 18.48 ^{o}C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar 11 tabaka dökümü sırasında en alt tabakanın (1. tabaka) suya doygun olarak kaldığı ortaya çıkarmaktadır.

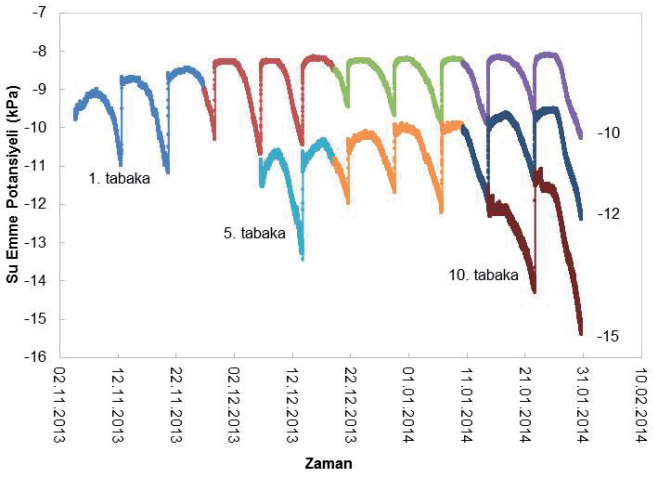
5. tabakada yer alan VWC sensöründen tabaka dökümü ile veri değerleri alınmaya başlanmıştır. 8 gün sonra WVC değerinin %40'a kadar düştüğü ve takip eden dökümlerde de aynı kuruma süresinde %40'ın altına düşmediği Şekil 8c'de görülmektedir. 1. tabakanın 5. tabaka dökümünden sonraki kuruma sürelerinde %65-66 seviyelerinde hacimsel olarak su tuttuğu Şekil 8a'daki grafikten okunmaktadır. 6. tabaka dökümünde ise yaklaşık %50'ye çıkan 5. tabaka VWC değeri 11. tabaka dökümünde %44'e kadar çıkabilmektedir. 1. ve 5. tabakaların sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın seyrettiği Şekil 8b ve 8d'deki grafikteki değerlerden açıkça görülmektedir.

Macun malzemenin 10. tabakadaki ilk VWC değerinin %93,5 olarak diğer tabakalardaki okunan ilk VWC değerlerinden düşük olduğu görülmüştür (Şekil 8e). Bu farkın nedeni olarak alt tabakalara hızlı bir su geçişinin veya emiliminin gerçekleştiği şeklinde ifade edilebilir. Dökümden sonraki 24 saat içerisinde VWC değerinin %43,5'a düşerek 10. tabakanın bir günde %50 hacimsel olarak su kaybetmesi tabakalar arasındaki su geçişini daha iyi açıklamaktadır. Ayrıca 10. ve 11. tabakaların dökümü sonrası hacimsel su içeriği %42-46,5 arasında değiştiği ve 5. tabakanın VWC değerleriyle birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. 10. tabakanın sıcaklık değişimi Şekil 8f'deki grafikte gösterilmiştir. 10. tabakanın ilk sıcaklık değeri 20,50 ^{o}C'den yaklaşık 24 saat içerisinde 18,50 ^{o}C'ye düşmesi ve sonrasında diğer tabakalarda yer alan sensörlerin sıcaklık eğrileri ile benzer bir durumda olması, VWC değerindeki hızlı düşüş gibi malzemenin su geçirgenliğinin yanı sıra sıcaklık iletkenliğinin de yüksek olduğunu göstermektedir.

Tabakalardaki Su Emme Potansiyeli

Su emme kuvveti tabakalar arasındaki su geçişi ve tabakaların su tutabilmesi hakkında bilgi vermektedir. 11. tabakanın dökümü sırasındaki 1. tabakanın ortalama su emme kuvveti -10 kPa olarak ölçülmüştür. Decagon MPS-1 dielectric water potential (suction) sensörüne göre alt sınır olarak kabul edilen bu değer ile 1. tabakanın suya doygun kaldığı anlaşılmaktadır. 5. tabakanın -12 kPa ve 10. tabakanın -15 kPa olması ile üst tabaklara doğru su emme kuvvetinin arttığını göstermektedir (Şekil 9).

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kabin deneylerinden alınan VWC ve su emme potansiyeli sensör sonuçları, macun tabakalarının suya doygun kaldığını göstermektedir. Bunun nedeni olarak atık malzemesinin ince taneli yapısı ve geniş tane yüzey alanlarının suyu tutması olarak ifade edilebilir. Ayrıca atığın tane boyu dağılımına bakıldığında yaklaşık %10'unun kil boyutunda olması ve mineralojik kompozisyonunda da kil minerallerinin bulunması, macun malzemenin suyu bünyesine hapsederek az miktarda sızıntı suyu vermesini sağladığı düşünülebilir.



Şekil 9. 1., 5. ve 10. tabakaların su emme kuvveti

4. Tartışma ve Sonuçlar

Macun teknolojisi fikri ilk ortaya atıldığında, yüksek riskli ve yüksek maliyetli bir uygulama olarak düşünüldüğünden endüstriyel anlamda kullanılması uzun yıllar almıştır. Ancak sistemin başarılı uygulamaları, bu teknolojinin güvenilir dolgu yöntemi olarak kabulünü ve günümüzde binlerce ton macunun her gün sorunsuz olarak depolanmasını sağlamıştır. Günümüzde gelişen teknoloji ve gittikçe artan çevresel duyarlılığa bağlı olarak, gerek maliyet gerekse çevresel avantajları nedeniyle Macun teknolojisi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Macun teknolojisinin bir diğer önemli avantajı ise tesiste kullanılan suyun verimli olarak geri kazanımıdır. Dolayısıyla sürdürülebilir madencilik faaliyetleri açısından macun teknolojisinin geleneksel atık bertarafı yöntemlerine göre tercih edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Ülkemizde son yıllarda hızla gelişmekte olan madencilik endüstrisinde yaygın olarak uygulanan geleneksel atık barajı sisteminde atıkların, içi su dolu bir gölete boşaltılması malzemenin gevşek yapıda olmasına yol açmaktadır. Atığı oluşturan taneler suyun içinde çökelmekte, ağırlıkları suyu kaldırma kuvveti nedeniyle nerdeyse yarı yarıya azalmakta ve göl taban çamuru şeklinde gevşek yapı oluşturmaktadır. Dolayısıyla atık barajlarının çevre açısından riskli olmasının nedeni, barajın kendisi olmayıp, barajın oldukça gevşek, sağlam olmayan kütleyi tutması ve önemli miktarda proses suyu içermesidir. Baraj kazalarında, barajdaki malzeme yıkılan baraj duvarından akarken tamamen sıvılaşmakta ve atıklar meyilin olduğu yöne doğru kilometrelerce akmaktadır.

Çevresel açıdan yüksek risk barındıran geleneksel atık barajlarının yerine, aynı depolama sahasında daha fazla katı içeriğinin, çevresel etkileri minimize edilmiş olarak macun formunda depolanması, alternatif bir atık bertaraf yöntemi olarak Ülkemiz Madencilik sektöründe değerlendirilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: BAP-19062/27102011, IRP-21527/27022012, T-27845/14112012, BAP-40376/22092014). Yazarlar, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Sekreterliğine teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

Bascetin A., Tuylu S., Adiguzel D., Akkaya U., Binen I.S., 2013. Investigation of Suitability Of Pb-Zn Mine Tailings For Surface Paste Disposal. In: 23rd World Mining Congress, Montreal, Canada, Paper301.

Bascetin A., Tuylu S., Adiguzel D., Akkaya, U.G., 2014. The Study Of Surface Paste Disposal Technology For Pb-Zn Mine Tailings. In. SME Annual Meeting, Salt Lake City, UT-USA, Preprint 14–020.

Benzaazoua, M., Perez, P., Belem, T., Fall, M., 2004. A laboratory study of the behaviour of surface paste disposal. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Mining with Backfill, Beijing, China, pp. 180–192.

Brackebusch, F.W., 1994. Basics of Paste Backfill Systems. Mining Engineering, 46(10), 1175–1178.

Davies, M. P., Rice S., 2001. An alternative to conventional tailing management – dry stack filtered tailings. In: AMEC Earth & Environmental, Vancouver, Canada, 10.

Jewell, R.J., Fourie, A.B., Lord, E.R., 2002. Paste and Thickened Tailings-a Guide. The Australian Centre for Geomechanics. The University of Western Australia, Nedlands, Western Australia, 35–47.

Kesimal A., Yılmaz E., Erçıkdı B., Alp İ., Yumlu M., Özdemir B., 2002. Çimentolu Macun Dolgunun Laboratuvar Testi. MADENCİLİK. 41(4), 11–20.

Meggyes, T. and Debreczeni, A., 2006. Paste technology for tailings management. Land Contamination& Reclamation, 14 (4).

MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), 2002. Mining for the Future Appendix A: Large Volume Waste Working Paper. 31, 18–19.

Newman, P., Cadden, A., White, R., 2001. Paste - The Future of Tailings Disposal?" Securing the Future. In: International Conference on Mining and the Environment. Skelleftea, Sweden, 594 – 603.

Ouellet, J., Benzaazoua, M., Servant, S., 1998. Mechanical, Mineralogical and Chemical Characterization of a Paste Backfill. In: Tailings and Mine Waste'98, Colorado, USA, 139–146.

Robinsky, E.I., 1999. Thickened Tailings Disposal in the Mining Industry. E.I. Robinsky Associates Ltd., Toronto, Canada. 210 p.

Theriault, J., Frostiak, J., Welch, D., 2003. Surface disposal of paste tailings at the Bulyanhulu gold mine. In: Proceedings of the 2nd Mining Environment Conference, Sudbury, Ontario, 1–8
.

Tüylü, S., (devam eden araştırma), "Maden Tesis Atıklarının Yerüstünde Depolanmasında En Uygun Tasarım Koşullarının Belirlenmesi", Doktora Tezi, I. Danışman Prof. Dr. Ataç Başçetin ve II. Danışman Prof. Dr. Mostafa Benzaazoua, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Verburg, R. B., 2001. Use of Paste Technology For Tailings Disposal: Potential Environmental Benefits And Requirements For Geochemical Characterization. In: IMWA Symposium.

Yilmaz E., Benzaazoua, M., Bussiere B., Pouliot S., 2014. Influence of disposal configurations on hydrogeological behaviour of sulphidic paste tailings: A field experimental study. International Journal of Mineral Processing. 131, 12–25.

Zou, D.H.S., 1997. An innovative technology for tailings treatment. Tailings and Mine Waste Balkema, Rotterdam, 633–642.

Araştırma Makalesi

Zonguldak Taşkömürü Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi
Determining the Gas Content of Coals at Zonguldak Hardcoal Basin

Samet Can Özer[1]*, Ömer Afşin Ergenekon, Olgun Esen, Abdullah Fişne

*[1]İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul**
** Sorumlu Yazar: canozer@itu.edu.tr*

Özet
Kömür kaynaklı metan oluşumu yeraltı kömür madenleri için her zaman en büyük problemlerden biri olmuş ve madencilik tarihi boyunca birçok patlama, yangın ve boğulma gibi ölümcül kazalara sebep olmuştur. Kömür damarlarının gaz içeriğini belirleme çalışmaları, yeraltı madenlerinde iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak ve buna bağlı maden planlamasının yapılabilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmaların başlıca amacı, gaz ve kömür püskürmesi potansiyelini belirlemek ve doğru havalandırma tasarımının yapılabilmesi için yeraltında madencilik yapılan alanlara ne kadar metan emisyonu olduğunun hesaplanabilmesidir. Ancak günümüzde kömür yataklarının metan gazı içeriğine sadece yeraltı madenciliği için önlem alınması gereken bir tehlike olarak değil aynı zamanda bir alternatif enerji kaynağı ve dolayısıyla da atmosfere yayılan bir sera gazı olarak da bakılmaktadır. Bu noktada günümüzde kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Bu makalede, ülkemizde gazlı ocak sınıfına giren ve aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar anlatılmış ve bazı sonuçlar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kömür Madenciliği, Metan, Gaz İçeriği.

Abstract
Methane occurrence in coal mines has always been caused to fatal occupational accidents like explosions, fires and suffocations throughout the history of mining. Gas content determination plays an important role in mine safety and mine planning. The purpose of gas content determination was to assess gas outburst potentials and to quantify the magnitude of gas emissions into underground working areas so as to make an appropriate ventilation design. However, determining the gas content of coalbeds are not essential only for mine safety, are also essential for the most important parameter of an alternative energy source and a greenhouse gas. At this point determining the gas content of coalbeds has been becoming more of an issue. Some results about determining the gas content of coalbeds by using direct method in TTK (Turkish Hardcoal Enterprise) Mines where problems have been seen constantly regarding excessive methane emissions are given in this paper.

Keywords: *Coal Mining, Methane, Gas Content*

1. Giriş

Kömürleşme olayı, bitkisel organizmaların turba, linyit ve taşkömürü evrelerinden geçerek antrasit ve grafite dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Gürdal, 1998). Kömürleşme işlemi sırasında büyük miktarlarda gaz oluştuğu ve önemli bir kısmının kömür ve yan kayaç içerisinde depolandığı bilinmektedir. Kömür içerisinde karbondioksit, azot ve diğer hidrokarbonlar da bulunmasına karşın, depolanan gazın % 90-95'i metandan oluşmaktadır (Kim, 1973, Didari, 1988).

Kömür madenlerinde metan gazının varlığı, madencilik tarihi boyunca önemli can ve mal kaybına yol açan patlama, yangın ve boğulma gibi iş kazalarına neden olmuştur. Konu ile ilgili yeni yöntemler, ekipmanlar ve standartlar geliştirilmesine, havalandırmanın daha iyi planlanmasına ve ocak havasının daha güvenilir biçimde izlenmesine karşın, yeraltı kömür madenciliğinde, aşırı metan emisyonuna bağlı kazalar hâlâ yaşanabilmektedir. Özellikle yüzeye yakın kömür damarlarının tükenmesi nedeniyle üretimin daha derinlere inmesi ve üretimde mekanizasyonun artması metan gazı ile ilgili riskleri de artırmıştır (Ediz ve Durucan, 1998). Ülkemizde metan gazı kaynaklı sorunlar yeraltı kömür madenciliğindeki iş kazaları arasında önemli yer tutmaktadır.

Kömür damarı içindeki gazın büyük bölümü bir denge basıncında kömür damarları ile çevre tabakaları içinde serbest ve gözeneklerin yüzeyine soğurulmuş durumda tutulur. Üretim çalışmaları ile bozulan basınç dengesinden dolayı kömürün gözenek ve çatlaklarında biriken metan gazı ocak ortamına çeşitli şekillerde yayılarak patlama, yangın ve boğulma gibi birçok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Ayrıca bazı yeraltı madenlerinde, kömür damarı içinde basınç altında depolanan metan gazı aniden arının dayanımını aşarak onu parçalamakta ve büyük hacimlerde metan emisyonlarına sebep olmaktadır (Ökten, 1983). Ani gaz ve kömür püskürmesi olarak tanımlanan bu olaylar yeraltı ocaklarında işletme güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır.

Yeraltı kömür madenlerinde metan denetimi "Havalandırma ve Metan Drenajı" yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmaların etkin bir şekilde planlanıp yürütülmesi için üretim yapılacak olan panoda karşılaşılacak metan emisyonu miktarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilmiş olan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Söz konusu tekniklerin uygulanmasındaki en önemli parametre kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesidir (Kissell ve diğ., 1973, Didari, 1988).

Jeolojik ve tektonik koşulların aşırı derecede karışık bir yapıyı oluşturduğu Zonguldak Kömür Havzası'ndaki maden ocaklarında metan gazının neden olduğu sorunlar eskiden beri süre gelmektedir. Son yıllarda üretimin daha derin kotlara inmesine paralel olarak kömür damarlarının gaz içeriklerinin artması nedeniyle meydana gelen olaylarda bir artış olmuştur. Günümüze kadar havzadaki işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriğini ve gaz yayma karakteristiğini araştıran ve inceleyen sistematik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yapılan az sayıdaki çalışma ise ya görgül analizlere dayanmaktadır ya da eski tarihlerde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Uygulanan Yöntemin Tanıtılması

Kömür damarlarının yerinde gaz içeriğinin belirlenmesi metan drenaj sistemlerinin planlanması ve gaz emisyonunun önceden tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş yöntemler "Doğrudan (direkt) ve Dolaylı (indirekt)" olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş "Ampirik Eşitlikler" yardımıyla da kömürün gaz içeriğini tahmin etmek mümkündür (Kim, 1977).

Kömürün gaz içeriğini belirlemek için geliştirilmiş birçok doğrudan yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğunda kömürün gaz içeriği üç ana bileşene ayrılmaktadır. Bunlar; kayıp gaz (lost gas), desorbe olan gaz (desorbed gas) ve artık gaz (residual gas)'dır. Bu bileşenlerin her biri doğrudan ölçülerek veya tahmin edilerek kömürün toplam gaz içeriği tespit edilmektedir (Diamond ve Levine, 1981, Diamond and Shatzel, 1998). Söz konusu yöntemler temelde aynı prensiplere dayansa da farklı uygulamalara sahiptirler. Bu tür yöntemlerin özünü, kömür damarlarından olası en az gaz kaybı ile örnekler alınması ve bu örneklerden çözülen gaz miktarının belirlemesi oluşturmaktadır.

Kömür damarlarının gaz içeriğinin doğrudan yöntemle ölçümü konusunda Bertard ve arkadaşlarının (1970) Fransız Kömür Araştırma Merkezi CERCHAR'da yaptıkları çalışmalar bu konuda geliştirilen en temel yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Çakır, 1994). Söz konusu çalışmada Bertard ve arkadaşları (1970), desorpsiyon sürecinin erken aşamalarında salınan gaz (kayıp gaz) miktarının zamanın kareköküyle orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.
Söz konusu teknikte numunenin kömür damarından kesilmesi ve sızdırmaz bir kap içerisine alınması süresince kaybolan gaz miktarı (Q_l), örneklerin kontrollü metan emisyon deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Bulunan bu değer numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan (Q_2) ve laboratuvarda sızdırmaz değirmende öğütülerek belirlenen artık gaz (Q_3) miktarına eklenerek kömürün toplam gaz içeriği saptanmaktadır.

2.1. Kayıp Gaz Miktarının (Q_l) Belirlenmesi

Kayıp gaz, kömür numunesinin damardan kesilip sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır ve toplam gaz içeriğinin bir parçasıdır. Numunenin damardan kesilme anından (desorpsiyonun başladığı an veya sıfır zamanı) sızdırmaz kaba konuluncaya kadar gecen süre kayıp gaz zamanı olarak tanımlanmaktadır. Kayıp gaz miktarı doğrudan ölçülememektedir, ancak desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmektedir. Kayıp gaz miktarı Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$(Q_1)_L = Q_a = Q_b \, x \, \frac{t_a^{(1-k_t)}}{t_b^{(1-k_t)} - t_a^{(1-k_t)}} \quad (1)$$

Q_a : Numunenin damardan kesilip sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede yayılan gaz miktarı (cm3)
Q_b : Numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan gaz miktarı (cm3)

t_a : Numune alımıyla numune kabının kapatılması arasında geçen süre (s);

t_b : Numune alımıyla laboratuvardaki Q2 ölçümü arasında geçen süre (s);

k_t : Desorpsiyon katsayısı; 0,65

Desorpsiyon katsayısı kömür numunesinin desorpsiyon hızındaki değişimin bir ölçüsüdür. kt değeri kömürden desorbe olan gaz miktarının zamana bağlı değişiminden elde edilen veriler ile belirlenmektedir. Söz konusu verilerin tam logaritmik kağıt üzerine taşınması ile elde edilen noktalardan geçen doğrunun eğimi "kt değeri" olarak tanımlanmaktadır. Desorpsiyon hızı arttıkça doğrunun eğimi yani kt değeri de artacaktır. Ökten (1983) Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür damarları için desorpsion katsayısının kt = 0,645 ± 0,035 arasında değiştiğini belirlemiştir.

Eşitlik (1) ile belirlenen kayıp gaz değerine sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki kayıp gaz miktarı elde edilmiş olur.

$$(Q_1)_N = (Q_1)_L \, x \, \frac{P_L}{1013{,}25} \, x \, \frac{273}{T_L} \quad (2)$$

P_L : Laboratuvar atmosfer basıncı (hPa)
T_L : Laboratuvar sıcaklığı (K)

2.2. Yayılan Gaz Miktarının (Q_2) Belirlenmesi

Yayılan gaz hacmi Q_2 değeri, yeraltında numune alma işlemi tamamlanıp, numune kabının ağzı kapatıldıktan sonra laboratuvarda ölçüm yapılıncaya kadar geçen sürede yayılan gazı temsil etmektedir. Yayılan gaz (Q_2) miktarı Eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır.

$$(Q_1)_N = \frac{(V_{Fl} - V_k) \, x \, (C_{Fl} - C_V)}{100 - C_{Fl}} \, x \, \frac{T_L \, x \, P_V}{T_V \, x \, P_L} \quad (3)$$

V_{Fl} : Numune kabının hacmi (cm3)
V_K : Kömür numunesinin hacmi (cm3)
C_{FL} : Numune şişesindeki metan konsantrasyonu (%)
C_V : Ocak havasındaki metan konsantrasyonu (%)
P_L : Laboratuvardaki atmosfer basıncı (hPa)
T_L : Laboratuvar havası sıcaklığı (K)
P_V : Ocak atmosfer basıncı (hPa)
T_V : Ocak havası sıcaklığı (K)
Sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki yayılan gaz miktarı elde edilmiş olur.

2.3. Artık Gaz Miktarının (Q_3) Belirlenmesi

Artık gaz olarak değerlendirilen bu bileşen, kömür numunesinin sızdırmaz bir değirmende öğütüldüğü süreyi kapsamakta olup, bu sürede yayılan gaz "artık gaz" olarak tanımlanmaktadır. Artık gaz miktarı Eşitlik (4) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$Q_3 = Q_{4\ (3)}$

Burada;
Q_3: kömürün öğütülmesi sırasında yayılan gaz hacmi (cm^3)'dir.

Ölçülen bu değere gerekli sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki artık gaz miktarı elde edilmiş olur.

3. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi Çalışmaları

Zonguldak Havzası ülkemizde prodüktif taşkömür rezervlerinin bulunduğu bölgedir. Üretim çalışmalarını zorlaştıran çeşitli engellerin (karmaşık jeolojik yapı, üretim derinliği artışı vb.) birarada bulunduğu Havza'da en önemli sorunlardan birisi de kömür damarlarının fazla miktarda metan gazı içermesidir. Üretim ve hazırlık çalışmaları sırasında farklı şekillerde ocak havasına karışan bu gaz, çok sayıda madencinin ölümüne, üretimin aksaması ve/veya durmasına, mekine ve teçhizatın zarar görmesine neden olmaktadır.

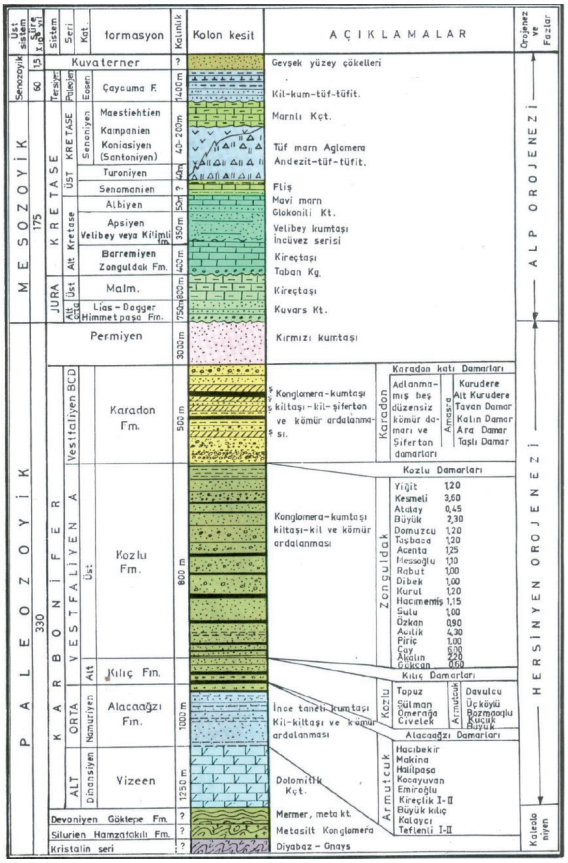
Yukarıda verilen metan gazı kaynaklı sorunlara çözüm getirmek, ortaya çıkabilecek olan kayıpları en alt düzeye indirebilmek (metan denetimi) ancak birbirini tamamlayan iki farklı uygulama ile mümkün olmaktadır. Bunlar, ocakta etkin bir havalandırmanın sağlanması ve kömür damarlarından metan drenajıdır. Heriki uygulamanın da sağlıklı bir şekilde planlanması ve yürütülmesi için ocakta veya panolarda yayılacak metan miktarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı söz konusu hedefe yönelik verilerin elde edilmesi olup, öncelikle havzada üretim faaliyetlerinin büyük bir bölümünü gerçekleştiren Türkiye Taşkömürü Kurumu Amasra, Armutçuk, Karadon, Kozlu ve Üzülmez Müessese'lerine bağlı yeraltı maden ocaklarında üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi hedeflenmiştir.

3.1. Havza ile İlgili Genel Bilgiler

Akdeniz (Antalya) ve Güneydoğu (Diyarbakır) bölgelerindeki çok az miktardaki rezervler hariç tutulursa, Zonguldak Kömür Havzası ülkemizdeki taşkömürü varlığının bulunduğu bölgedir. Havzada üretilen taşkömürü koklaşır ve koklaşamaz olmak üzere iki ayrı kalitededir. Doğrudan metalurjik kok üretimine uygun olan rezervler Kozlu, Üzülmez ve Karadon Müesseselerin çalışma alanlarında bulunmakta olup, Armutçuk işletmesinde üretilen kömür yarı koklaşabilir özelliğe, Amasra kömürleri ise kısmen koklaşabilir özelliğe sahiptir (Öztürk, 2014).

Havzada kömürlü birimler üst karboniferin Namuriyen katına ait Alacaağzı formasyonu ile başlamakta, alt Wesfalien A yaşlı Kılıç formasyonu, üst Westfalien A'ya ait Kozlu formasyonu ve Westfalien B-C-D yaşlı Karadon formasyonu ile tamamlanmaktadır. Şekil 1'de Zonguldak Kömür Havzası'nın stratgrafik kesiti verilmiştir.



Şekil 1. Zonguldak Kömür Havzası stratigrafik kesiti.

Havzada bu formasyonlar içinde 46 adet değişik yapı ve özellikte kömür damarı mevcut olup, halen bunlardan ekonomik işletmeciliğie uygun olan 18 damarda üretim faaliyetleri sürdürülmektedir. Havzada üretim ağırlıklı olarak Kozlu formasyonu içerisindeki verimli damarlarda yapılmaktadır.

Havzanın -1200 m derinliğe kadar hesaplanmış jeolojik rezervi yaklaşık 1,354 milyar ton olup, bunun % 42'si görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Kömür damarlarının eğimleri 0 – 90° arasında ve damar kalınlıkları 0,8 – 3,5 m arasında değişmektedir. Armutçuk Müessesesi Büyük damarda kalınlık 12 m'ye kadar çıkmaktadır. Damar eğimlerinin dik ve dike yakın olması ocakların hızla derinleşmesine neden olmuştur. Ortalama üretim derinliği her yıl yaklaşık 12 m artmaktadır. Karadon ve Kozlu ocaklarında sırasıyla -540 ve -630 m derinlikte üretim ve hazırlık çalışmaları sürdürülmekte olup -1000 m'ye derinleştirilen kuyularla derin kömür madenciliğine hazırlık yapılmaktadır. Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler (rezerv, üretim, işçi sayısı, üretim derinliği vb.) Çizelge 1'de özet olarak verilmiştir.

Müessese	Rezerv (10^6 ton)	Üretim (10^3 ton/yıl)	İşçi Sayısı	Ortalama Üretim Derinliği (m)
Amasra	407	250	774	236
Armutçuk	33	252	1283	550
Karadon	412	806	3590	373
Kozlu	159	647	1990	488
Üzülmez	305	486	1884	200
Total	1316	2441	9521	

Çizelge 1. Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler

Havzada 0 – 45° meyilli damarlarda ilerletimli-göçertmeli uzun ayak, yangına müsait damarlarda (Armutçuk ve Kozlu) geri dönümlü – göçertmeli uzun ayak üretim yöntemi uygulanmaktadır. Eğimi 45°'den büyük damarlarda pnömatik patlatmalı kazı yöntemi uygulanmakta olup, üretim ara katlı göçertme yöntemi ile yapılmaktadır. Ayrıca Kozlu Müessesesi'nde dik damarlarda oda topuk yönteminin değişik bir uygulaması olan tumba baca yöntemi de uygulanmaktadır. Havzada irili ufaklı çok sayıda fay ve sıkmalar mekanize yöntemlerin uygulanmasını engellemektedir. Üretim halen büyük oranda insan gücüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

3.2. Numune Alınması

Zonguldak Taşkömürü Havzasında, kömür üretimi yapılan damarların gaz içeriklerinin bilinmesi metan emisyonuna bağlı sorunların önceden tahmin edilmesi ve önlenmesi açısından çok önemlidir. İleride çalışılacak olan daha derindeki damarlar, şu anda üretim yapılan damarlardan daha fazla metan içerecektir ve metan emisyonu havalandırma yoluyla kontrol altında tutulamayacaktır. Bu nedenle, havzada metan drenajını başlatmak gerekli olacak, üretim yapılacak kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi zorunlu hale gelecektir.

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla numune alma işleri Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yoğunlaştırılmıştır. Söz konusu işletmelerde numue alma ile ilgili bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden da görüleceği gibi 8 farklı damardan toplam 94 numune alınmış ve gaz içeriği değerleri ölçülmüştür.

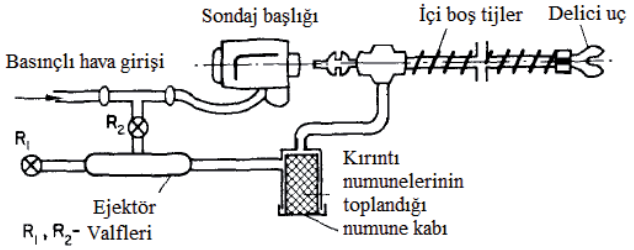
Damar Adı	Numune Sayısı	Alındığı Yer	Alındığı Kot
Acılık	28	Kozlu Gelik Kilimli	360 460 630
Çay	14	Kozlu Kilimli	460 560 630
Sulu	17	Kozlu	560 630
Büyük	11	Armutçuk Kozlu	500 560
Domuzcu	9	Kozlu	425 485 560
Kurul	2	Gelik	360
Hacıemiş	12	Kozlu Kilimli	460 560 630
Unudulmuş	1	Kilimli	460

Çizelge 2. Alınan numunelere ait bilgiler

Bilindiği gibi gaz içeriği belirleme çalışmaları süreklilik arz eden ve birçok jeolojik parametreye veya kömürün fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişebilen çalışmalardır. Aynı panodaki kömür damarının doğusu ile batısı arasında bile çok farklı değerler bulunabilmektedir. Kömür damarlarının homojen yapılar olmaması bu durumun başlıca sebebi olsa da, numune alınan yerin uzun süre önce açılmış olması veya yakınında yapılan madencilik çalışmaları (alt-üst kat üretim çalışmaları, rahatlatma veya keşif sondajları vb.) gibi sebeplerle kömür bünyesindeki gazın bir kısmını kaybetmektedir. Bunun dışında faylara olan yakınlık da gaz içeriğini lokal olarak etkileyebilen bir parametredir.

Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada numunelerin mümkün olduğunca kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından alınmasına dikkat edilmiştir.

Numune alma işlemi için, içi boş sondaj tijlerinin içerisinden vakum yapabilecek ejektöre sahip bir sondaj makinesi kullanılmıştır. Sondaj düzeneği ana hatlarıyla Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu ekipmanın en büyük avantajı, kesin olarak istenilen derinlikten numune alabiliyor olması ve kayıp gaz zamanını oldukça azaltmasıdır.



Şekil 2. Numune alma işleminde kullanılan sondaj düzeneği.

Acılık damarı numuneleri 3 farklı işletmeden alınmıştır, bunlar Kozlu, Kilimli ve Gelik işletmeleridir. Ancak Çay, Sulu, Domuzcu ve Hacımemiş damarları çoğunlukla Kozlu İşletmesinde çalışılabilmiştir. En derin yatay sondajlar Armutçuk İşletmesinde gerçekleştirilmiş olup, bunun en önemli nedeni bu işletmedeki "Büyük" olarak adlandırılan kömür damarının kalınlığıdır. Kozlu İşletmesinde yaşanan en büyük sorun damarların çok dik ve ince olmasıdır. -630 katıyla en derin kotta çalışabildiğimiz işletme Kozlu İşletmesi olmuştur.

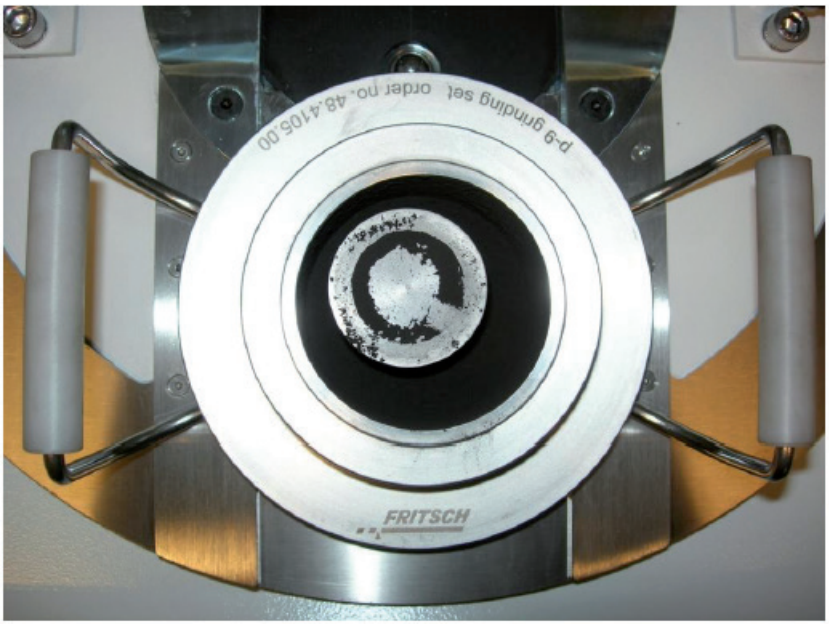
3.3. Yayılan Gaz Miktarının Ölçülmesi

Alınan numuneler 1000 cm^3 hacmindeki sızdırmaz numune kapları ile laboratuvara taşınmış ve kap içinde yayılan gazın hacminin ölçülmesi işlemine geçilmiştir. Numune kabında gerçekleşen yayılım, % 100'lük bir metan ölçerden (Şekil 3) geçirilerek örnek kabının içindeki metan yüzdesi belirlenmiştir.

Şekil 3. Yayılan gaz miktarının ölçülmesi.

3.4. Artık Gaz Miktarının Ölçülmesi

Numune kabından çıkarılan kömür tartılarak ağırlığı belirlenmiş ve öğütme işlemine alınmıştır. Öğütme işlemi Şekil 4'de gösterilen halkalı değirmen ile gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemlerinden sonra değirmende gerçekleşen yayılım dereceli su ölçeğine aktarılmış ve o örneğe ait gaz yayılımının hacmi ölçülmüştür. Ayrıca bu aşamada laboratuvardaki atmosfer basıncı ve ortam sıcaklığı da belirlenmiştir.



Şekil 4. Öğütme işleminin gerçekletirildiği halkalı değirmen.

3.5. Numunelerin Kısa Kimyasal Analizleri

Kömürlerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, kömür damarlarının karakterizasyonu ve oluşumu sırasında kazandığı çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri yasıtması ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Laboratuvarında, ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kül miktarının belirlenmesi amacıyla yaklaşık bir gramlık öğütülmüş numune oda sıcaklığındaki fırına yerleştirilmiş ve sıcaklığı dakikada 8°C artışla 815°C'ye yükseltilmiştir. 1 saat bu sıcaklıkta bekletildikten sonra fırından çıkartılan numuneler deksikatör yerleştirilerek soğuması beklenmiştir. Fırına verilmeden önce hassas terazi ile tartılmış olan numuneler tekrar tartılır ve aradaki farktan kül miktarları belirlenmiş olur. Nem miktarının belirlenmesi için etüv 106°C'ye ısıtılır ve tartılan yaklaşık 1 gramlık numune ağzı açık bir şekilde etüve yerleştirilir. 1saat bekletildikten sonra ağzı kapatılarak çıkarılır ve oda sıcaklığına gelince tartılır. Uçucu maddenin belirlenmesi için daha önce 815°C'ye ısıtılan kül fırını 900°C'ye ısıtılır. Gereken

sıcaklığa ulaşan fırına, önceden tartılmış olan yaklaşık 1 gramlık 2 adet numune yerleştirilir ve 7 dakika bekletilir. 7 dakika sonunda çıkartılıp soğumaya bırakılan numuneler yeniden hassas terazide tartılarak numunelerin uçucu madde içeriği belirlenir. Sabit karbon değerleri ise nem, kül ve uçucu madde miktarları toplamının 100'den çıkarılması ile bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Zonguldak Kömür Havzasında işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi amacıyla TTK'na bağlı Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yeraltından yapılan yatay sondajlardan numuneler alınmıştır. Kozlu, Gelik, Kilimli ve Armutçuk olmak üzere 4 işletmede 54 sondaj yapılmıştır. Sondaj uzunlukları maksimum 24 m'dir. Sondajlardan genellikle her 2 m'de bir numune alınmış ve gaz içeriği belirlenmiştir. Bu çalışmalarda Kozlu Müessesesinde 7 adet farklı damardan 35 adet, Karadon Müessesesi Gelik İşletmesinde 4 farklı damardan 6 adet numune ve Kilimli İşletmesinde 4 farklı damardan 10 adet numune, Armutçuk Müessesesi'nden ise tek damardan 3 adet numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu numune alma çalışmaları kapsamında toplamda 330 adet farklı kömür numunesinin gaz içeriği belirlenmiştir. Ancak numune alma çalışmalarında çok sayıda numune alınmasına karşın, kül içeriği %20'nin altında olan ve yeterli derinlikten alınabilen numuneler geçerli sayılmıştır.

Kömür numunelerinin kimyasal özelliklerinin, kömürleşme derecesinin ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla kısa analizleri gerçekleştirişlmiştir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Laboratuvarında, ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kısa analiz sonucu elde edilen değerlerin değişim aralığı Çizelge 3'de verilmiştir.

Damar Adı	Orjinal Baz (%)				Kuru - Külsüz Baz (%)	
	Nem	Kül	UM	SK	UM	SK
Acılık	0,61 - 1,84	4,90 - 20,81	18,86 - 27,71	51,08 - 71,23	21,42 - 34,42	65,58 - 78,58
Çay	0,87 - 1,21	8,09 - 26,09	21,32 - 25,22	49,55 - 66,34	27,05 - 32,94	67,06 - 72,95
Sulu	0,86 - 1,46	3,83 - 20,74	22,61 - 26,23	52,58 - 68,83	25,25 - 33,02	66,98 - 74,75
Büyük	1,05 - 1,61	3,69 - 19,08	24,80 - 35,59	54,01 - 64,66	31,05 - 38,53	61,47 - 68,95
Domuzcu	0,96 - 1,61	7,73 - 22,84	23,62 - 31,68	48,01 - 67,04	26,05 - 39,75	60,25 - 73,95
Kurul	1,62	5,42 - 6,25	26,56	65,57 - 66,40	28,57 - 28,83	71,17 - 71,43
Hacımemiş	0,91 - 1,43	5,22 - 22,94	21,61 - 28,97	54,25 - 67,50	27,22 - 32,86	67,14 - 72,78
Unudulmuş	1,38	6,59	26,77	65,26	29,09	70,91

Çizelge 3. Kömür damarlarının kısa kimyasal analizleri

Numunelerin orijinal bazdaki nemi, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerlerindeki değişimler sırasıyla % 0,61 – 1,84, % 3,69 – 26,09, % 18,86 – 35,59 ve % 48,01 – 71,23'dür.

Kül değerleri oldukça farklılık göstermesine karşın, nem ve uçucu madde değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Örneğin farklı damar ve işletmelerden alınan kömür numunelerinin orijinal bazda nem değerleri ortalama %1,17 ±0,22 ve uçucu madde miktarları ortalama 25,87 ±3,11 civarında iken kül değerleri aynı sondaj deliği içinde bile oldukça farklı çıkmış ve %3,69 ile %26,09 arasında değişkenlik göstermiştir.

Kömürlerin sınıflandırılmasında ASTM/DIN vb. Standartlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kömür numuneleri ASTM ve DIN standartları kullanılarak, kısa analiz sonuçlarının kuru külsüz bazdaki değerleri yardımıyla sınıflandırılmıştır. ASTM standardına göre kömür numuneleri yüksek uçuculu-B bitümlü kömür ile yüksek uçuculu-A bitümlü kömür aşamasındadırlar. DIN standardına göre ise numuneler "Gazlı-Alevli" ve Gazlı" sınıfına girmektedirler.

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür üretimi kalınlıkları 0,7 – 30 m arasında değişen yaklaşık 20 işletilebilir kömür damarında gerçekleştirilmektedir. Bu damarlar arasında üretim ve hazırlık faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürüldüğü damarlar Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Tavan, Kalın, Milopero, Akdağ, Kurul, Hacımemiş, Nasufoğlu, Unudulmuş ve Domuzcu'dur. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen gaz içeriği ölçüm çalışmaları söz konusu damarlardan Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Domuzcu, Kurul, Hacımemiş ve Unudulmuş damarlarında yoğunlaştırılmıştır. Elde edilen değerlerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4'de özet olarak verilmiştir.

Damar Adı	Gaz İçeriği (m^3/ton)							
	Orijinal Baz				Kuru Külsüz Baz			
	Min.	Max.	Ort.	Std.	Min.	Max.	Max.	Std.
Acılık	5,13	11,54	7,14	1,81	5,97	13,11	13,11	2,08
Çay	3,71	8,76	5,89	1,57	4,96	9,63	9,63	1,62
Sulu	4,58	10,49	8,50	1,42	5,13	11,91	11,91	1,55
Büyük	5,01	10,86	8,17	2,72	5,34	11,75	11,75	2,76
Domuzcu	4,32	7,88	6,73	1,11	4,77	9,07	9,07	1,37
Kurul	8,58	8,62	8,60	-	9,23	9,36	9,36	-
Hacımemiş	6,19	14,66	9,94	2,31	7,80	16,98	16,98	2,59
Unudulmuş	-	-	2,49	-	-	-	2,71	-

Çizelge 4. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriği Sonuçları

Damarların orijinal bazda ortalama gaz içerikleri 2,49 m3/t ile 9,94 m3/t arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Hacımemiş damarları için elde edilmiştir. Acılık, Çay ve Sulu havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardır. Bu damarların orijinal bazda ortalama gaz içeriği değerleri sırasıyla 7,14 m3/t, 5,89 m3/t ve 8,50 m3/t, kuru külsüz bazda ise 8,13 m3/t, 7,03m3/t ve 9,63 m3/t olarak belirlenmiştir.

Büyük damarın orijinal ve kuru külsüz bazda ortalama gaz içeriği 8,17 m3/t ve 8,89 m3/t olarak tespit edilmiştir. Büyük damarı için Kozlu ve Armutçuk Müesseselerinden numune alınmıştır. Kozlu Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği orijinal bazda 5,48 m3/t iken, Armutçuk Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği 9,18 m3/t olarak belirlenmiştir. Büyük damarının bu işletmede çok kalın olması ve en uzun yatay sondajın Armutçuk Müessesesi Büyük damarında gerçekleştirilmesi damarın gaz içeriğinin yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

Kurul ve Unudulmuş damarları için birer adet numune alma işlemi gerçekleştirilebilmiştir. Buna göre Karadon Müessesesinde Kurul damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 8,60 m3/t ve Unudulmuş damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 2,49

m3/t olarak belirlenmiştir. Kurul damarından alınan numuneler taban yolu arınından alındığı için yüksek, Unudulmuş damarından alınan numuneler ise bacadan (ayaktan) alındığı için oldukça düşüktür ve gerçekçi değildir.

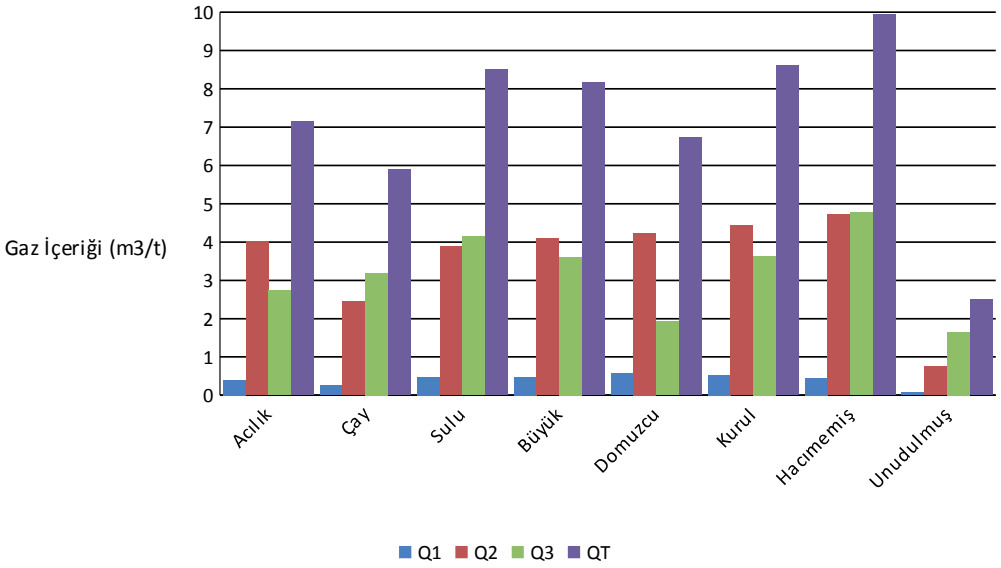
Çay ve Domuzcu damarı için ortalama gaz içeriği değerlerinin düşük çıkmasında numune alınan lokasyonların etkisi vardır. Çay damarı numuneleri çok uzun zaman önce açılmış olan 111063405 no.lu hazırlık galerisinden, Domuzcu numuneleri ise -425/-485 kotları arasında oluşturulan panodan alınmıştır.

Acılık havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardan biri olması nedeniyle farklı işletmelerden ve kotlardan numune alma imkânı bulunabilmiştir. Buna bağlı olarak Acılık damarının orijinal bazda gaz içeriği -360 kotunda ortalama 6,85 m3/ton, -460 kotunda ortalama 6,06 m3/ton (Karadon Müessesesinden alınan numuneler) ve -630 kotunda ise ortalama 9,26 m3/ton (Kozlu Müessesesinden alınan numuneler) olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Sulu damarı içinde elde edilmiştir. Söz konusu damarın orijinal bazda gaz içeriği -560 kotunda ortalama 6,81 m3/ton ve -630 kotunda ortalama 8,87 m3/t olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere derin ve bakir sahalara ilerlendikçe damarların gaz içeriği artmaktadır. Havzada bulunan Acılık haricindeki damarlarda, kotlara göre dağılım yaparak istatistiksel inceleme yapmak mümkün olmamıştır. Her ne kadar diğer damarların da farklı kotlarından numuneler alınsa da istatistiksel analiz yapacak rakamlar oluşmamıştır. Bu damarlar için çoğunlukla Kozlu Müessesesi -630 kotundan numune alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda en düşük değerlerin ayaklardan alınan numunelerden elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi pano oluşturulurken açılan tavan-taban yolları ve ayak sayesinde birçok serbest yüzey alanının ortaya çıkması ve gazın bu serbest yüzeylerden desorbe olmasıdır. En yüksek değerler ise kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de gaz içeriği belirleme çalışması için yapılacak numune alma işleminin yeni açılmış yüzeylere uygulanmasıdır. Açılan yüzey ne kadar eskiyse o kadar düşük değer elde edilecek ve buna bağlı olarak da yanlış yorumlama yapılabilecektir.

Bölüm 2'de anlatıldığı gibi kömür damarının toplam gaz içeriği (Q_T), numunenin kömür damarından kesilmesi ve sızdırmaz bir kap içerisine alınması süresince kaybolan gaz miktarı (Q_1), numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan miktarı (Q_2) ve laboratuvarda sızdırmaz değirmende öğütülerek belirlenen artık gaz miktarı (Q_3) bileşenlerinden oluşmaktadır.

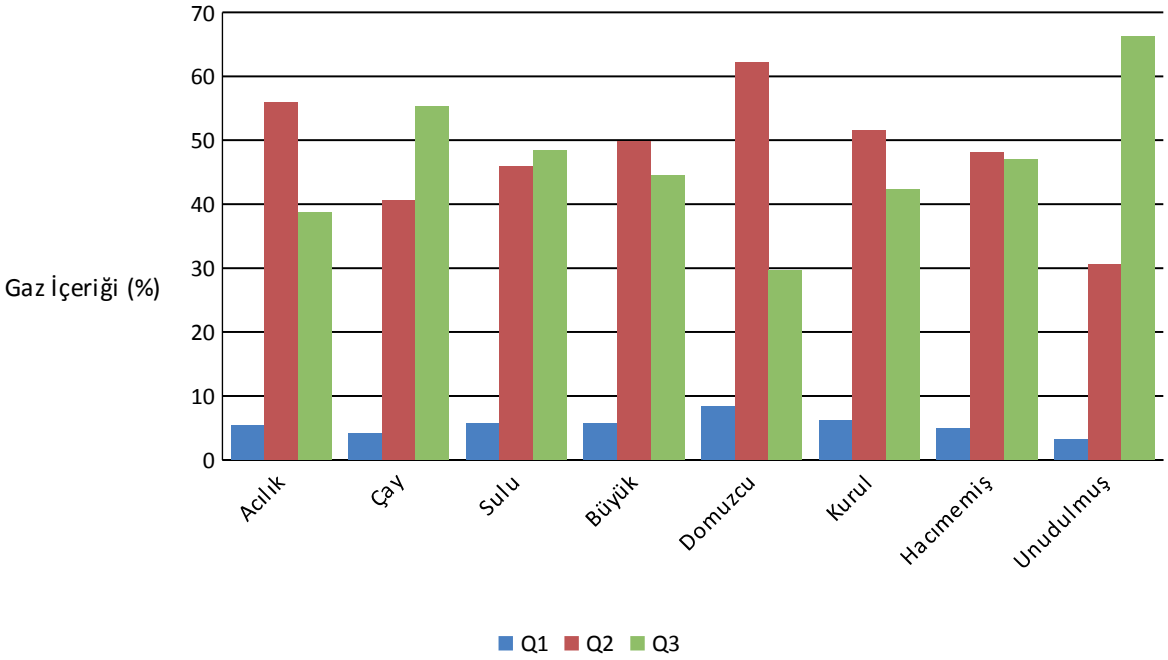
Bu çalışma kapsamında gaz içerikleri belirlenen kömür damarlarının toplam gaz içeriğini oluşturan bileşenlerin (Q_1, Q_2, Q_3 ve Q_T) orijinal bazda ortalama değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Kayıp gaz miktarı olarak tanımlanan Q_1 bileşeni, gaz içeriği belirlenen damarlar için 0,08 m3/t ile 0,57 m3/t arasında değişmektedir. Q_2 ve Q_3 bileşenleri ise söz konusu damarlar için sırasıyla 0,76 m3/t – 4,72 m3/t ve 1,65 m3/t – 4,77 m3/t arasında değişmektedir.



Şekil 5. Kömür damarlarının toplam gaz içeriğini oluşturan bileşenlerin ortalama değeri.

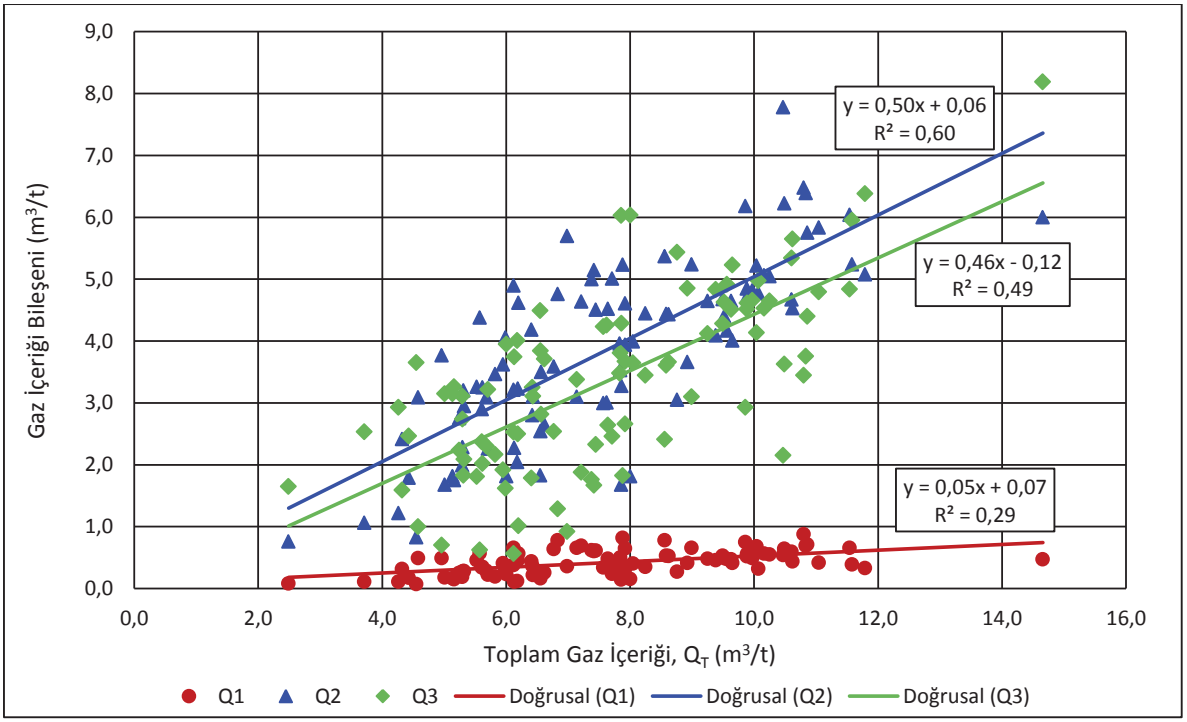
Gaz içeriği bileşenlerinin kömür damarlarının toplam gaz içeriğine oranı Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Q_l/Q_T oranı % 3,2 ile % 8,3 arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Domuzcu damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için Q_l/Q_T oranı yaklaşık olarak % 5 düzeyindedir. Bu değerler kayıp gazın toplam gaz içeriği içindeki oranının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum numune alma çalışmalarında kayıp gaz zamanın oldukça düşük tutulduğunu ve başarılı bir numune alma çalışması yapıldığını göstermektedir. Çünkü kayıp gaz miktarı (Q_l) doğrudan ölçülememektedir, ancak desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmektedir. Bu yüzden kayıp gaz miktarı toplam gaz içeriğinin en az güvenilir bileşenidir. Kayıp gaz miktarını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için en önemli parametrelerden biri kayıp gaz zamanını mümkün olduğunca minimumda tutmaktır. Kayıp gaz zamanının büyük olması, toplam gaz içeriği içinde kayıp gazın oranının artmasına neden olacak ve güvenilir bir tahmin yapmayı güçleştirecektir.

Q_2/Q_T oranı % 30,5 ile % 62,1 arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Domuzcu damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için Q_2/Q_T oranı % 40,6 ile % 55,9 olarak tespit edilmiştir. Q_3/Q_T oranı ise söz konusu damarlar için % 29,7 ile % 66,3 arasında değişmektedir. Bu değerler Q_2/Q_T oranının tersine Domuzcu ve Unudulmuş damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için Q_3/Q_T oranları % 38,7 ile % 55,2 arasında değişmektedir. Söz konusu değerlerden de anlaşılacağı üzere Q_2 ve Q_3 bileşenleri toplam gaz içeriğine hemen hemen eşit düzeyde katkı yapmaktadırlar.



Şekil 6. Gaz içeriği bileşenlerinin toplam gaz içeriği içindeki oranları.

Gaz içeriği bileşenlerinin (Q_1, Q_2, Q_3) ve kömür damarlarının toplam gaz içeri (Q_T) ile ilişkisi araştırılmış elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Gaz içeriği bileşenlerinin (Q_1, Q_2, Q_3), toplam gaz içeri (Q_T) ile ilişkisi.

Kayıp gaz miktarı ile toplam gaz içeriği arasında pozitif bir ilişki olmasına karşın korelasyon oldukça düşüktür. Bu durumun yukarıda açıklandığı gibi kayıp gaz zamanın düşük tutulmasında kaynaklandığı düşünülmektedir. Q_2 ve Q_3 ile toplam gaz içeriği arasında ise pozitif ilişkiler

bulunmaktadır. Bir başka ifade ile artan Q_2 ve Q_3 değerlerine karşın toplam gaz içeriğinin de artış gösterdiği söylenebilir.

Teşekkür
Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. "Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda Kömür Damarlarının Gaz İçerikleri İle Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi" adlı 113M460 No.lu projeye sağladıkları ekonomik destekten ve her konudaki yardımlarından dolayı TÜBİTAK yetkililerine ve mühendislik araştırma grubu sekreterliği elemanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

ASTM D3172-13, 2013. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Bertard, C., Bruyet, B., Gunther, J., 1970. Determination of Desorbable Gas Concentration of Coal (Direct Method). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 7(1), 43–50.

Çakır, A., 1994. TTK Karadon İşletmesi -303/-360 Büyük Damarının Gaz İçeriğin ve Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.

Diamond, W. P., Levine, J. R. 1981. Direct method determination of the gas content of coal: procedures and results. US Bureau of Mines. pp. 36.

Diamond, W. P., Schatzel, S. J., 1998. Measuring the gas content of coal: a review. International Journal of Coal Geology. 35(1), 311–331.

Didari, V., 1988. Metan Denetimi Gereksinimlerinin Ampirik Tekniklerle Belirlenmesi. Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Ediz, I. G., Durucan, Ş., 1998. Kömür ocaklarında metan gazı oluşumu ve birikimi. Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri. Özgün Ofset, İstanbul, 223–242.

Gürdal, G., 1998. Kömürde Gaz Depolanmasını Kontrol eden Parametreler. İstanbul Teknik Ünivesitesi, Doktora tezi, İstanbul.

Kim, A. G., 1973. The composition of coalbed gas: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.
Kim, A. G., 1977. Estimating methane content of bituminous coalbeds from adsorption data: Department of the Interior, Bureau of Mines.

Kissell, F. N., McCulloch, C. M., Elder, C. H., 1973. The direct method of determining methane content of coalbeds for ventilation design: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.

Ökten, G., 1983. Zonguldak Taşkömür Havzasındaki Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının İncelenmesi ve Olaya Eğilimli Zonların Belirlenebilirliğinin Araştırılması. (Doktora), İstanbul Teknik Ünivesitesi, İstanbul.

Öztürk, M., 2014. Taşkömürü Havzası Damar Gaz İçeriklerini Tespit Çalışmaları. TTK İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Yayın No. 71.

MT Bilimsel
Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

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 olmadığının 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 üslü olarak yazılmalıdır. Örnek yazar adı yazımı aşağıdaki şekildedir:

C. Okay Aksoy[1]*, Bülent Kaypak[2]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir
[2]Ankara 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 özetin içinde tanımlanası 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, özetin 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 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 genelinin 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, atıfın 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; CO_2, x^2).

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

Madencil ik Türki ye D er gisi Temsi lcisi : Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)
onur@mtbilimsel.com

6.Yayıma 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.

MT Bilimsel
Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

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 Kaypak[2]

[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 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 argumentativly.

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 Thesises

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

Tuna, K., 2011. Turkey‟s Strategical and Critical Ore‟s Effects on National Security within the Frame of Politics Related to Strategical and Critical Ores. Çanakkale Onsekiz Mart University, Instute 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 seperately from the text. Subscripts and superscripts used in equalities should be indicated explicitly and in lower character fonts (for example; CO_2, x^2).

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

Madencil ik Türki ye Ma gaz ine 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 edittings according to the other requirements of the editorship.