

# MT Bilimsel

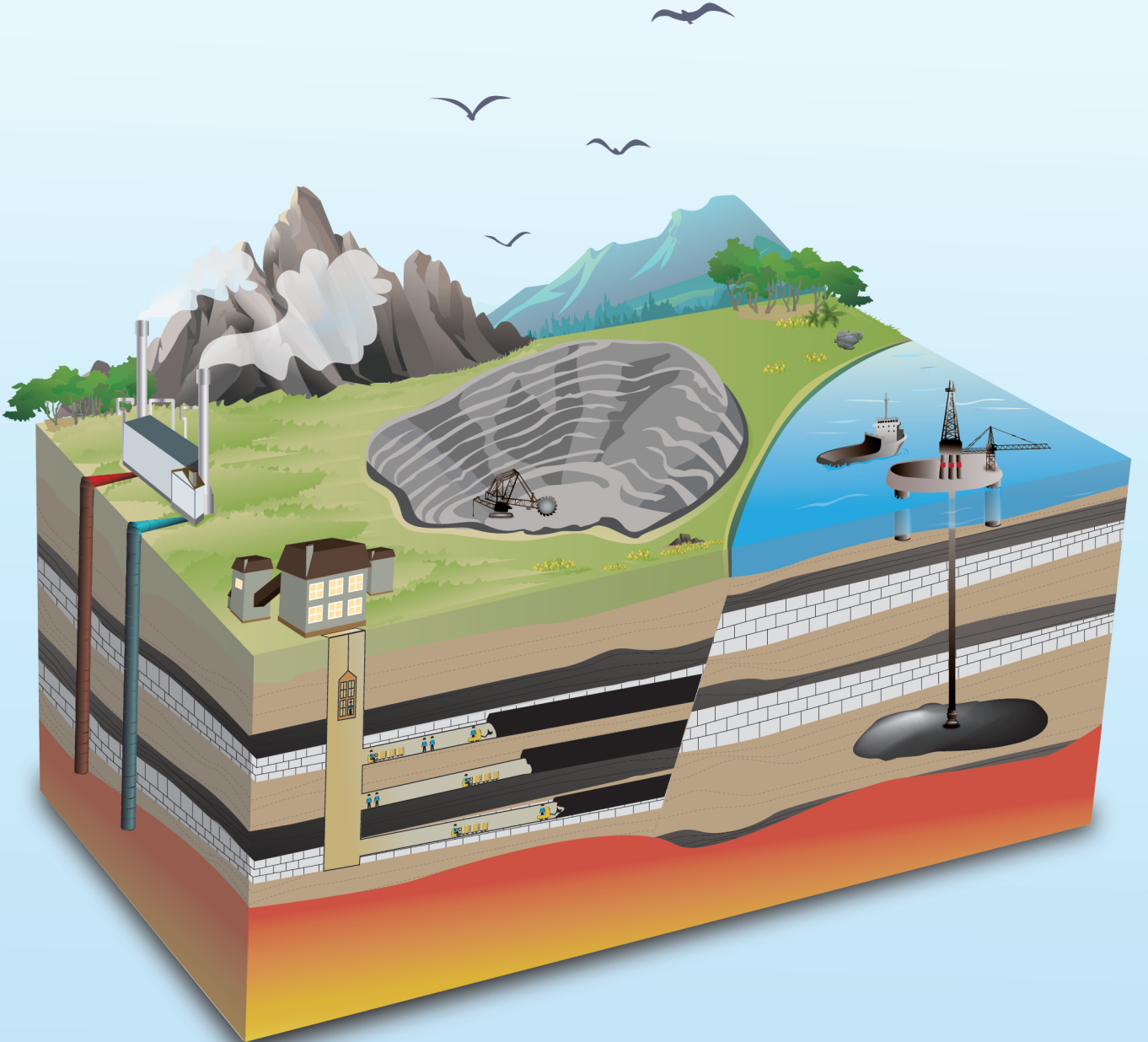
www.mtbilimsel.com

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Yıl:1 Sayı:2 Temmuz 2012

ISSN: 2146-9431

Year:1 Number:2 July 2012



# MT Bilimsel

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

**Derginin Adı**  
MT Bilimsel

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

**Genel Koordinatör**  
Onur Aydın  
onur@mtbilimsel.com

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

**İdari İşler**  
Volkan Okyay  
volkan@madencilik-turkiye.com

**Grafik Tasarım - Uygulama**  
M. Anıl Tuğ  
anil@madencilik-turkiye.com  
Merve Mallı  
merve@ideakup.com

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

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

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

[www.mtbilimsel.com](http://www.mtbilimsel.com)

Yerel Süreli Yayıncıdır

ISSN 2146-9431

Ulusal Hakemli Dergidir



## Yayın Kurulu

### Baş Editör:

C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üni. Maden Müh. Bölümü)  
[o.aksoy@mtbilimsel.com](mailto:o.aksoy@mtbilimsel.com)

### Yardımcı Editörler:

Mahmut Yavuz  
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](mailto:onur@mtbilimsel.com)

### Editörler (Alfabetik):

- Ali Sarıışık (Afyon Kocatepe Üni. Maden Müh. Bölümü)
- Bahtiyar Ünver (Hacettepe Üni. Maden Müh. Bölümü)
- Cem Kincal (Dokuz Eylül Üni. Jeoloji 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 And 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, Depart. Of Mining Engin.)
- Kerim Küçük (Dokuz Eylül Üni. Maden Müh. Bölümü)
- Melih Geniş (Zonguldak Karaelmas Üni. Maden Müh. Bölümü)
- Melih İphar (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 Uni. of Arizona, Dep. of Min. & Geo. Engin.)
- 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 Uni. of Science & Tech., Dep. of Min. Eng.)
- Şevket Durucan (Imperial College, Mining And Environmental Eng.)
- Tim Joseph (Uni. of Alberta, School of Mining & Petroleum Eng.)
- Turgay Ertekin (The Pennsylvania State Uni. Petroleum & Nat. Gas Eng.)

Yıl:1 Sayı:2 Temmuz 2012

ISSN: 2146-9431

Year:1 Number:2 July 2012

## İçindekiler

Elif Apaydın Poşluk, Evren Poşluk

### **Simav Depreminin Yüksek Hızlı Tren Tünellerine Etkisi**

*The Effect of Simav Earthquake to the High Speed Railway Tunnels* .....1

V. Taylan Engin, E. İlknur Cöcen

### **Leonardit ve Humik Maddeler**

*Leonardite and Humik Matters* .....13

Mahmut Yavuz

### **Applications of The TOPSİS Method to Solve Some Decision Making Problems in Mining Operations**

*Madencilik Faaliyetlerinde Bazı Karar Verme Problemlerinin Çözümünde TOPSİS  
Yönteminin Uygulanması*.....21

Özge Gök, Erkan Güler, Abdullah Seyrankaya

### **Kalkopiritin Asitli Çözeltilerdeki Elektrokimyasal Davranışı**

*Electrochemical Behavior of Chalcopyrite In Acidic Solutions*.....35

**MT Bilimsel**

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



## Simav Depreminin Yüksek Hızlı Tren Tünellerine Etkisi

*The Effect of Simav Earthquake to the High Speed Railway Tunnels*

Elif Apaydın Poşluk<sup>1</sup>, Evren Poşluk<sup>2\*</sup>

*1 İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

*2 2.Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük/Bilecik*

*\*Sorumlu Yazar: evrenposluk@gmail.com*

### Özet

Bu çalışmada, “Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi” kapsamında imalatı devam eden 7 adet tünele (10991,8 m.) 19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde meydana gelen  $M_w=5,8$  büyüklüğündeki depremin etkileri incelenmiştir. Bilecik ili Bozüyük ilçesi civarında bulunan tünellerden deprem episentr noktasına en yakın tünel (36 nolu tünel) 110 km, en uzak tünel ise (30 nolu tünel) 117 km mesafede bulunmaktadır. NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) ile imalatı devam eden ve nihai kaplaması tamamlanmış tüneller içerisinde şerit ekstansometre, optik tarama ve opto-trigonometrik yöntemler ile ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler neticesinde tünel içerisinde oluşan yer değiştirmeler (deplasmanlar) tespit edilmiştir. Ayrıca tünellerin açıldığı yerel kaya koşullarının jeoteknik özellikleri ve tünellerin kaplama durumları da değerlendirilerek deprem yükleri altında tünellerin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında tünel imalatı sırasında ve sonrasında ne tür tedbirler alınması gerektiği tartışılmaya çalışılmıştır.

*Anahtar kelimeler: Simav depremi, deformasyon, tünel, demiryolu.*

### Abstract

*In this study, within the scope of Ankara-Istanbul High Speed Railway Project, the effects of the earthquake in Simav in the town of Kütahya with a magnitude of  $M_w=5.8$  on 19 May 2011 have been investigated along 7 tunnels (10991,8 m.) ongoing. The nearest tunnel (tunnel number 36) is 110 km and the most distant tunnel (tunnel number 30) is 117 km to the earthquake epicenter point in Bilecik near Bozüyük. Convergence measurements have been taken with the tape extensometer, optical scanning and opto-trigonometric methods from the tunnels, ongoing the construction with NATM (New Austrian Tunneling Method) and completed the final coating. As a result of these measurements, the displacements occurring in the tunnel have been identified. Also The tunnel behaviours under the seismic loads have been determined with the obtained data by evaluating the geotechnical properties of the local rock conditions excavated the tunnels and coating states of the tunnels. It has been confirmed that in the primary support system manufacturing, the displacements after the earthquake have especially increased in weak rock conditions nonfinished the ring, there has been sudden settlements from place to place and also, there has been warps in the bolt plates being from the support system elements. Any displacements have not been observed in the tunnels completed the concrete lining manufacturing. In light of the data obtained during and after manufacture of the tunnel tried to discuss what measures should be taken.*

*Key Words: Simav earthquake, deformation, tunnels, railway.*

## 1. Giriş

Yer altı yapıları ile yer üstü yapıları arasında deprem davranışları arasında önemli farklar bulunmaktadır (Yousef ve ark., 2001). Tamamı veya büyük bir kısmı yer altında gömülü, özellikle küçük hacimli yapılarda depremden kaynaklanan önemli zorlanmalar oluşmaktadır (Aykaç, 2005). Yapılan çalışmalar sonucunda deprem yüklerinin özellikle sığ yer altı yapılarına etkisinin daha büyük olduğu belirlenmiştir (Dowding ve Rozen, 1978; Zahrah ve John, 2001). Metro veya diğer ulaşım tünelleri gibi uzun yer altı yapıları zemin ile birlikte deforme olduklarından, zeminin kendi içindeki farklı deformasyonlar doğrudan yer altı yapısına deformasyon olarak iletilmekte ve bu da yer altı yapısında önemli kuvvetler oluşturabilmektedir (Aykaç, 2005.). Tünel/galeri eksenine paralel doğrultudaki dalga yayılımları tünelde aksel şekil değiştirmelere neden olmakta, tünel eksenini kıvrımlanmaya zorlamaktadır. Negatif kıvrımlanmaya maruz kalan bölgede tünelin üst kısmı çekme gerilmesine, alt kısmı ise basınç gerilmesine maruz kalır. Özellikle çekme gerilmesine maruz kalan bölümlerde kırılmalar, yenilmeler gözlenir. Basınç gerilmesine maruz kalan bölümlerde ise aşırı ölçüde basınç gerilmesi yoğunluğu söz konusudur. Ayrıca tünel eksenine dik doğrultudaki dalga yayılımı sonucunda tünel kesit geometrisinde şekil değişikliği meydana gelmektedir (Hashash, 2000).

Bu çalışmada “Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi” kapsamında bulunan toplam uzunluğu 10991,8 m. olan 7 adet tünelin (30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no'lu tüneller) 19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan  $M_w=5.8$  büyüklüğündeki deprem öncesi ve sonrası durumları incelenmiştir. Tünelde yaşanan deplasmanlar ölçülmüş, değerler tünellerin kaplama durumu ve yerel kaya koşulları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

## 2. Güzergâhın Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri

Çalışma alanı, Bozüyük - Bilecik arasında, Bozüyük'ün 3 km kuzey doğusu ile 5 km kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Tünel güzergâhları farklı rölyeflere sahiptir. Tünel üzerindeki örtü kalınlıkları 5 ile 210 m arasında değişmektedir.



Şekil 1. Yer bulduru haritası.



## 2.1. Genel Jeoloji

30-31-32-33 ve 34 no'lu tünel güzergahları boyunca, Koçyiğit ve ark., (1991) tarafından adlandırılan Pazarcık karmaşığı gözlenmektedir (Şekil 2). Birim, Bilecik ile Bozüyük arasında yüzeylemekte ve bindirmeli yapı sunan çok değişik kaya türleri ile temsil edilmektedir. Çalışma alanında tabanı görülmeyen birim, üstte Triyas yaşlı Karakaya Grubu ile aşımimli ve yer yer



Şekil 2. Tünelere ait genel jeoloji haritaları (Yüksel Proje, 2004 ve Şimşek, 2009'dan değiştirilerek)

faylı, Bayırköy Formasyonu ile aşınımlı dokanak ilişkisi sunmaktadır. Birim genelde, yeşilist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş ve yapısal olarak üst üste gelmiş değişik kalınlık-taki kayalardan oluşmaktadır.

35 no'lu Tünel güzergahının giriş portalında (KB), grimsi koyu yeşil-gri-alacalı rengi ile çok karakteristik Bözüyük Granitoyidi yüzeylenmektedir. Çıkış portalı-GD' ya doğru granitoyidi açısal uyumsuzlukla örten Miyosen yaşlı Porsuk formasyonu ve bunun da üzerine çıkış portalı tarafında Akpınar formasyonu gelmektedir.

36 no'lu tünelde karşılaşılan birimlerin tabanında Porsuk Formasyonu (Miyosen) vardır. Birim Gözler ve ark., (1997) tarafından tanımlanmıştır. Bu birim çakıl-kum-kil ve bazen bu oluşuk-ların kısmen diyajenez-çimento ile gevrek-son derece zayıf dayanımlı kaya özelliği kazandığı ardalımalı bir istiflenmedir (Şekil 2).

Porsuk formasyonu üzerine uyumlu olarak Akpınar Formasyonu gelmektedir. Bu birim çalışma bölgesinde ve genelde yükselteleri oluşturan tepelerde bej-kirli beyaz renkli, orta-kalın tabakalı olarak yaygındır.

## 2.2. Birimlerin Kaya Mekaniki Özellikleri

Kaya kütlelerinin sınıflandırılması kaya kütlelerinin davranışlarını ve karakterini belirlemek açısından önemlidir. Bu amaçla ilk ciddi çalışma 1946 yılında terzagi tarafından yapılmıştır. Günümüze kadar geçen süreçte farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflama sistemleri önerilmiştir. Kaya kütlelerinin sınıflandırılması kaya kütlelerinin davranışlarını ve karakterini belirlemek açısından önemlidir. Bu amaçla ilk ciddi çalışma 1946 yılında terzagi tarafından yapılmıştır. Günümüze kadar geçen süreçte farklı araştırmacılar tarafından farklı sınıflama sistemleri önerilmiştir. Her sistemin kendi avantaj ve dezavantajları vardır (Aksoy, 2008). Günümüzde, RMR (Bineawski, 1989), Q (Barton, 2002), GSI (Hoek, 2002; Marinos ve Hoek, 2000) ve RMI (Palmström, 1996), en yaygın kullanılan sistemlerdir (Aksoy, 2010).

Çalışma alanında karşılaşılan birimlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacı ile RMR (Bineawski, 1989), Q (Barton, 2002), GSI (Hoek, 2002; Marinos ve Hoek, 2000), kullanılmıştır (Çizelge 1).

FORMASYON	TÜNEL	RMR	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	ESR	Q	GSI
Grafit Şist	30, 31, 32, 33, 34	20	20	9	1	8	1	10	1	0,03	25
Akpınar	35, 36	40	55	9	1,5	3	1	5	1	0,61	35
Porsuk	35,36	17	10	9	1	6	1	10	1	0,02	17
B.Granitoyidi	35	32	42	9	1,5	4	1	5	1	0,35	26

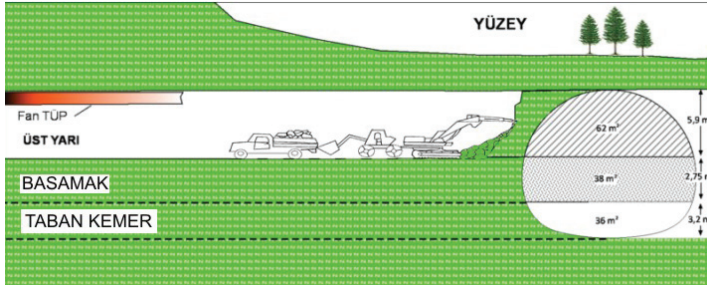
Çizelge 1. Güzergah boyunca karşılaşılan birimlerin jeomekanik özellikleri.

## 3. Tünel Kazı Yöntemi

Tünellerde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) kullanılmaktadır. Kazılar 3 ana parçadan oluşmakta olup, bu parçalar, üst yarı, basamak ve taban kemer şeklindedir (Şekil 3). Üst yarı 5,9 metre yüksekliğinde olup, kazı alanı 62 m<sup>2</sup> dir. basamak 2,75 metre yüksekliğinde ve 38 m<sup>2</sup> alana sahiptir. Taban kemeri ise 3,20 metre yüksekliğinde, 36 m<sup>2</sup> alanındadır. Söz konusu tünelin toplam yüksekliği 11,85 metre, genişliği ise 13,75 metredir. Toplam kazı alanı ise 136



m<sup>2</sup> dir (Şekil 3). İmalat sırasında üst yarı ile basamak arası mesafe 25 metre, basamak ile taban kemer arası mesafe ise 15 metre olarak önerilmektedir.



Şekil 3. Tünel kazı aşamaları ve tünel kazı bilgileri

İmalatı devam eden tünellerde iki farklı birincil destek sistemi kullanılmaktadır. Grafit şistler içerisinde açılan 30 no'lu tünel ile grafit şistlere göre daha zayıf olan örgülü akarsu çökeli (Porsuk Formasyonu) koşullarında geçilen 35 ve 36 no'lu tünellerde kullanılan destek sistemi detayları ve özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. da verilmiştir.

Destekleme Elemanları	30 Nolu Tünel Destek Elemanı Özellikleri	35, 36 Nolu Tünel Destek Elemanı Özellikler
İksa	I 160 Profil	I 200 Profil
Püskürtme Beton	30 cm (C20)	30 cm (C20)
Bulon	SN Tip $\Phi 28$ (l=6 m)	IBO Tip $\Phi 32$ (l=8 m)
Süren	1,5'' enjeksiyonsuz boru süren (eksende 30-40 cm arayla)	1,5'' enjeksiyonsuz boru süren (eksende 30-40 cm arayla)
Raund Boyu	1,25 m.	1 m.

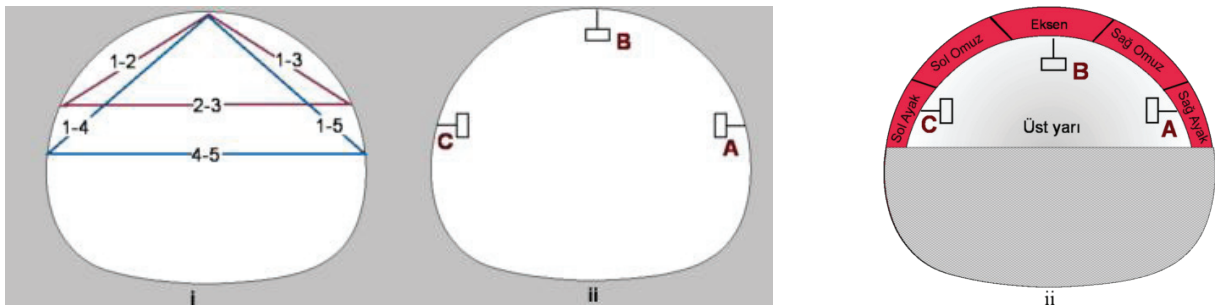
Çizelge 2. Tünellerde uygulanan destek sistemi detayları (Şimşek, 2009)

#### 4. Depremin Tünellere Etkisi

##### 4.1. Tünellerde Hareketliliğin Belirlenmesi

Tünel imalatları sırasında, tünellerde hareketliliği belirlemek amacıyla belirli aralıklarla destekleme elemanları ile bağdaşık konverjans noktaları belirlenmektedir. Bunun en önemli nedeni tünellerde konverjans ölçümlerinin tünel destekleme elemanlarının denge durumuna ulaşım ulaşmadığını anlamaktır. Bu ölçümler, destekleme elemanları üzerine yerleştirilen noktaların hareketlerinin takibi esasına göre yapılmaktadır (Kovari, 1993).

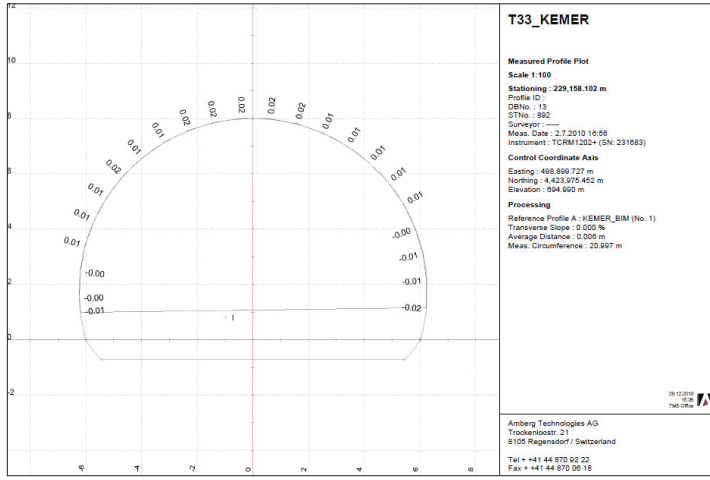
Birincil destek sistemi imalatı yapılan tünellerde üst yarıda oluşan deplasmanların belirlenmesi



Şekil 4. i) Şerit ekstansometre ölçüm noktaları, ii) Opto-trigonometrik ölçüm noktaları

amacı ile 10 metrelik periyotlarda, aynı ring üzerinde 5 noktada 0,01 mm hassasiyete sahip şerit ekstansometre vasıtası ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 4). Ayrıca hareketlerin yönünün belirlenmesi ve tünel birincil destek sisteminin davranışının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla, üst yarıda 3 noktada 2 mm+2 ppm hassasiyette opto-trigonometrik ölçümler alınmıştır. Tünel üst yarı bölümleri ve ölçüm noktalarının yerleri Şekil 4’de gösterilmiştir.

Nihai kaplama beton imalatı yapılmadan önce tüneldeki deformasyonların sönümlenmesi beklenir. Dolayısıyla nihai kaplama beton imalatı yapılmadan önce tüneldeki deplasmanlar son bulmuş olmalıdır. Tünel kaplama beton imalatı tamamlanan noktalarda hareket olup olmadığının anlaşılması için total station aleti için geliştirilmiş tünel için tarama yazılımı kullanılarak tünelde bir yay boyunca 16 farklı noktada ölçümler alınmakta bu noktaların olması gereken konumunda olup olmadığına bakılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Optik tarama değeri

#### 4.2. Tünel İçi Ölçümler

Tünellerden günlük olarak opto-trigonometrik ve şerit ekstansometre ile ölçümleri alınmaktadır. Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan depreminin öncesinde ve sonrasında deformasyon ölçümleri alınmıştır (Çizelge 3). Ayrıca kaplama beton imalatı yapılmış tünellerde tünel içi tarama ölçümleri alınarak veriler değerlendirilmiştir. Alınan veriler tünellerin hareketini göstermekle birlikte beklenen değerlerin üzerinde ani hareketler olduğunda alınması gereken tedbirler konusunda da fikir vermektedir.

Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+912,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	6,84
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+912,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	9,74
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,80	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	5,11
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,80	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	10,1
BT-30 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	226+890,90	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	9

Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-30	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok
BT-31	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-32	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-33	Kaplama beton imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	Yok	Yok
BT-34	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Optik tarama	2-3	Yok
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+357,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	23,01
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+357,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	42,19
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	25,36
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	41,87
BT-35 Giriş	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+372,90	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	33,27
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	37,25
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	71,25
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+991,00	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	32,57
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	234+991,00	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	60,14
BT-35 Çıkış	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	235+005,40	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	52
BT-35	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+153,50	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	78,24
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+153,50	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	101,21
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+166,40	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	47,16
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+166,40	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	71,39
BT-36 Giriş	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	241+154,00	Opto-trigo.	Üst yarı omuz bölgesi	54



Tünel No	Kaplama Durumu	Ölçüm yeri KM:	Ölçüm Yöntemi	Deformasyon Yeri	Deformasyon Değeri (mm)*
BT-36 Çıkış	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	243+342,00	Şerit eks.	Üst yarı omuz bölgesi	57,26
BT-36 Çıkış	Birincil Destek sistemi imalatı devam ediyor	243+342,00	Şerit eks.	Üst yarı ayak bölgesi	99,32
BT-36	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Tüm tünel	Opto-trigo.+Şerit eks.	Yok	Yok

Çizelge 3. Tünel deformasyon durumu. (\* 19-20 Mayıs tarihleri arası gerçekleşen deformasyon değerleri)

Depremi ardından tünellerde yapılan ölçümler neticesinde tünellerdeki hareketlilik ile tünel destekleme durumu (Birincil/Nihai), imalat aşaması (Alt yarı-basanak-taban kemer) ve yerel kaya koşulu özelliklerinin doğrudan orantılı olduğunu sonucuna varılmıştır. Çizelge 4’de tüneller ve bu tünellere ait destekleme durumu, imalat aşaması ve yerel kaya koşulları özellikleri verilmektedir.

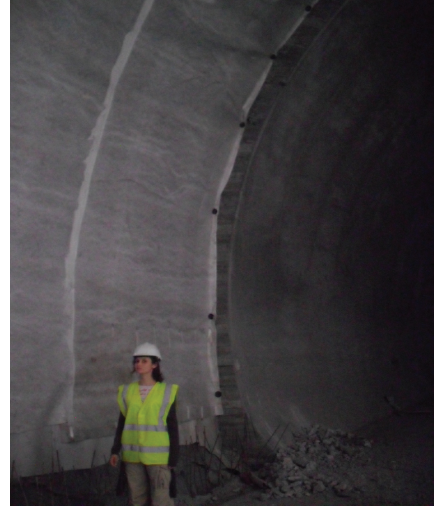
Tünel Adı	Uzunluk (metre)	Yerel Kaya Koşulları	Kaplama Durumu	Deformasyon Yeri	Deformasyon Durumu
BT-30	598	Grafit Şist	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	10,1 mm
BT-31	300,6	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-32	261,2	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-33	258	Grafit Şist	Kemer beton imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-34	2218	Grafit Şist	Birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış	Deformasyon Yok	Deformasyon Yok
BT-35	3256	Porsuk Formasyonu	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	71,25 mm
BT-36	4100	Porsuk Formasyonu	Birincil destek sistemi imalatı devam ediyor	Üst yarı ayak bölgesi	101,21 mm

Çizelge 4. Tünel destekleme durumu, imalat aşaması ve yerel kaya koşulları özellikleri

Toplanan verilerden yola çıkılarak tüneller öncelikle kaplama durumuna göre değerlendirilmiştir. Nihai beton imalatı tamamlanan (31, 32 ve 33 no’lu tüneller) tünellerde herhangi bir deplasman ile karşılaşılmaştır. Nihai beton imalatı tamamlanmamış tüneller ise kendi içlerinde öncelikle yerel kaya koşullarına göre ayrılmıştır. Bu kapsamda grafit şistlerde ve örgülü akarsu çökeli (Porsuk formasyonu) birimlerinde açılan tünelleri olarak değerlendirilmiştir. Grafit Şist içerisinde açılan tünellerde (30, 34 no’lu tüneller) özellikle ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir sorun gözlenmemiştir (Şekil 6-b,c,d,e). Ancak sadece üst yarı imalatı yapılan noktalarda deplasmanların 10 mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6-a). Porsuk formasyonu içerisinde açılan tünellerde (35 ve 36 no’lu tüneller) ise ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir harekete rastlanılmamıştır (Şekil 6-c,f). Ancak ringi tamamlanmamış noktalarda özellikle üst yarı - ayak bölgesinde 80-100 mm arasında değişen deplasmanlar ölçülmüştür. Ani oturmaların etkisiyle bu noktalardaki birincil destek sistemi elamanlarında burulmalar gözlenmiştir (Şekil 6-g).



a) 30 nolu Tünelden deformasyon ölçümü alınan nokta Km: 226+890,80



b) 33-34 nolu tünellerin kesişme noktası (33 nolu tünelde kaplama beton imalatı bitmiştir)



c) 35 nolu tünel de invert imalatı ve invert-üstüarı arasındaki deformasyon



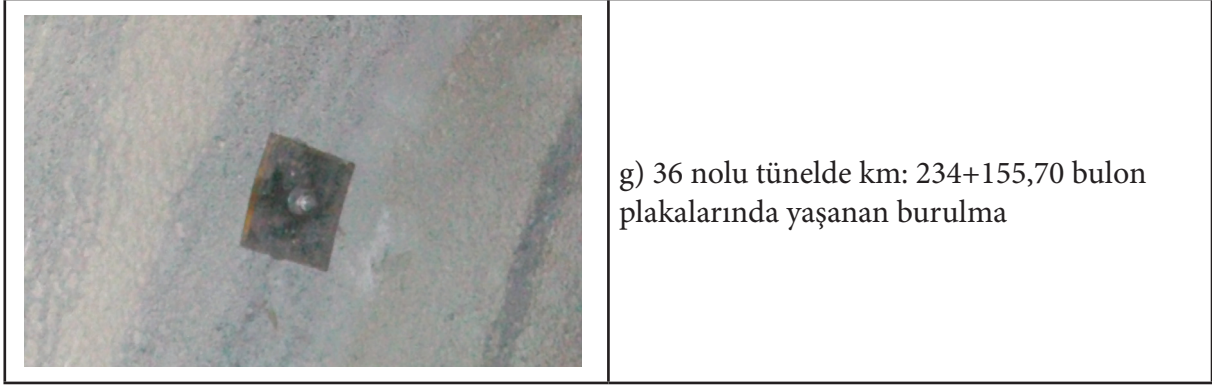
d) Kaplama beton imalatı tamamlanan 31 nolu tünel



e) Kaplama beton imalatı tamamlanan 32 nolu tünelin giriş kısmından görünüşü.



f) 36 nolu tünelde birincil destek sistemi imalatı tamamlanmış kısım



Şekil 6. Tünel fotoğrafları

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde yaşanan  $M_w=5,8$  büyüklüğündeki depremin Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesinde bulunan 7 adet (30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no'lu tüneller) tünele etkisi incelenmiştir. İncelemenin yapıldığı tünellerin toplam uzunluğu 10.991,8 metredir. Bu tünellerin deprem episentr noktasına en yakını 110 km (36 no'lu tünel) en uzağı ise (30 no'lu tünel) 117 km mesafede bulunmaktadır.

Tünellerde depremden sonra yaşanan deformasyonlar opto-trigonometrik, optik tarama ve şerit ekstansometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler tünel kaplama durumuna göre değerlendirilmiştir. Nihai kaplama beton imalatı tamamlanan (31, 32, 33) tünellerde herhangi bir deplasmanla karşılaşılması. Kaplama betonu imalatı tamamlanmayan tüneller ise yerel kaya koşullarına göre değerlendirilmiştir. Grafit şist içerisinde açılan tünellerde (30, 34 no'lu tüneller) özellikle ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir sorun gözlenmemiştir. Bunun yanında sadece üst yarı imalatı yapılan noktalarda deplasmanların 10 mm civarında olduğu tespit edilmiştir. Porsuk formasyonu içerisinde açılan tünellerde (35 ve 36 no'lu tünellerde) ise ringi tamamlanmış noktalarda herhangi bir harekete rastlanmamıştır. Ancak ringi tamamlanmamış noktalarda özellikle üst yarı ayak bölgesinde 80-100 mm arasında değişen deplasmanlar ölçülmüştür.

Deprem odak mesafesinin 100 km. den daha fazla uzaklıkta olmasına rağmen oluşan sarsıntıının tünellerde deformasyonlara neden olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen deformasyon verileri değerlendirildiğinde, yerel kaya koşullarına ve tüneldeki kaplama durumlarına bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Kaplaması bitmiş ve ringi tamamlanmış (üst yarı, basamak ve taban kemer) tünellerde hareketin olmadığı buna karşın ringi tamamlanmayan tünellerde yer yer ani hareketlerin olduğu saptanmıştır. Özellikle üst yarı imalatı devam eden tünellerde birincil destek sisteminin oluşan sarsıntı ile gelişen plastik zonun yüküne karşı koyamayarak burkulduğu gözlenmiştir. Oluşan bu yükün ise kaya kütlelerinin anizotropik yapısına ve kaya kütlelerinin karakteristiği ile ilgili olduğu farklı kaya koşullarındaki değerlendirmeler ile anlaşılmıştır.

Deprem sonrası, zayıf-çok zayıf kaya koşullarında imalatı devam eden 36 no'lu tünelde üst yarı ayak bölgesinde oluşan hareketlerin durdurulması amacı ile birincil destek sistemi 12 metre uzunluğunda, kendinden delen bulonlarla desteklenmiştir. Buna ek olarak imalat adımları bir an önce tamamlanarak tünel geometrisi önerildiği şekliyle tamamlanmaya çalışılmıştır. Böylelikle tünel imalatı için önerilen deformasyon toleransları içerisinde kalınarak tünel imalatına devam edilmiştir.



## Kaynaklar

- Aksoy C.O., 2008. Review of rock mass rating classification: historical developments, applications and restrictions. *J Min Sci* 44(1), 51–63.
- Aykaç, S., 2005. Depremin zemin içi yapılarına etkisi [www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/deprem.pdf](http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/deprem.pdf)
- Borton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *Int J Rock Mech Min Sci.* 39, 185–216.
- Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.
- Dowding C. H., Rozen A., 1978. Damage to rock tunnels from earthquake shaking. *American Society of Civil Engineers, Journal of the Geotechnical Engineering Division.* 104(2): 175–191.
- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H.J., 1997. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Raporu, 9973.
- Hashash, Y.M.A., 2000. “Seismic behavior of underground structures and site response” Proceedings of the China-U.S. Millennium Symposium of Earthquake Engineering: Earthquake Engineering Frontiers in the New Millennium, Edited by B.F. Spencer, Jr. and Y.X. Hu,
- Hoek E, Marinos P, Benissi M., 2002. Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of Athens schist formation. *Bull Eng Geol Environ.* 57:151–60.
- Koçyiğit, A., Kaymakçı, N., Rojay, B., Özcan, E., Dirik, K., Özçelik, Y., 1991. İnegöl-Bilecik-Bozüyük arasında kalan alanın jeoloji etüdü, TPAO Raporu, 3049, 139 s.
- Kovari K, Amstad C., 1993. Decision making in tunnelling based on field measurements. In: Hudson J, editor. *Comprehensive rock engineering.* Oxford: Pergamon. 571–605.
- Marinos P, Hoek E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: *Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering,* Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, pp 1422–1446.
- Şimşek O, Aygar E.B, Eritin A, İnönü-Köseköy hızlı tren projesi 35 ve 36 No'lu tünel projeleri. SİAL Yer Bilimleri Ltd. Şti., Ankara, 2009.
- Youssef M.A. Hashash, Jeffrey J. Hook, Birger Schmidt, John I-Chiang Yao, 2001, “Seismic design and analysis of underground structures”, *ITA/AITES Accredited Material, Tunnelling and Underground Space Technology,* 16, pp 247-293.
- Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi (Köseköy-İnönü), 2004.
- Zahrah, T.F. and John, C.M.S., 1987. A seismic design of underground Structures, *Tunnelling and Underground Space Technology,* 2, 165-197.



## Leonardit ve Humik Maddeler

*Leonardite and Humic Matters*

V. Taylan Engin<sup>1\*</sup>, E. İlknur Cöcen<sup>1</sup>

*1 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

*\* Sorumlu Yazar: taylan.engin@deu.edu.tr*

### Özet

Topraktaki hayvan ve bitki kalıntılarının organik kısımlarının bozunup parçalanması humifikasyon olarak tanımlanır. Kömürleşme sürecini tamamlamamış oksidasyon şartlarına maruz kalmış linyit olan leonarditi tanımlamak için kullanılan en belirgin özellik humik asit oranıdır. Leonarditten elde edilen humik maddeler; humin, humik asit, fulvik asit ve ulmik (hymatome-lanik asit) asittir. Leonardit ve humik maddeler, kozmetik sektörü, ilaç sanayi, sondaj sektörü, hayvan yemleri ve filtre sistemleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada leonardit ve humik maddeler tanımlanarak kullanım alanları belirlenmiştir. Çalışmanın temel amacı leonarditin kullanım alanlarına göre Türkiye'deki durumunu irdelemektir. Bu amaç doğrultusunda, Niğde, Uşak, Meriç, Çanakkale, Soma, Muğla, Denizli ve Adıyaman bölgesi hammaddelerinin humik asit içerikleri belirlenmiştir. Bu bölge numunelerinin humik asit içeriklerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

*Anahtar kelimeler: Leonardit, humik maddeler, humidifikasyon, humik asit*

### Abstract

*Humification is defined as decomposition and microbial degregation of the animal and plant residues into the soil. Leonardite is an oxidized lignite which hasn't completed process of coalification. The most characteristic thing for defining leonardite is the humic acid content. Humic substances derived from leonardite are humin, humic acid, fulvic acid and ulmic acid. Leonardite and humic substances derived from leonardite used in many sectors such as cosmetics, pharmaceutical industry, drilling sectors, animal feed industry and filter systems.*

*In this study, leonardite, humic substances and their usage areas were defined. The main objective of this study is examination of leonardite in Turkey according to the using areas. For this purpose, humic acid content of Niğde, Uşak, Meriç, Çanakkale, Soma, Muğla, Denizli and Adıyaman region samples were determined. According to humic acid contents of these samples, their using areas was discussed.*

*Key words: Leonardite, humic matters, humidification, humic acid*

## 1.Giriş

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasal ilaçlar doğanın dengesini bozmakta ve toplum sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Azotlu ve fosforlu ticaret gübrelere kullanımını aza indirmek amacıyla organik gübre kullanımına ağırlık verilmesinin gerektiği ortaya çıkan bir gerçektir. Bu noktadan hareketle popülasyona zarar vermeyen, toprakların sürdürülebilir kullanımına olanak sağlayan, çevre kirliliğinin azalmasına katkı koyan ve tamamen doğal gübrelere kullanıldığı, organik tarıma olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu bakımdan ülkemizde bulunan organik kaynaklar yeterli miktarlardadır. Bu kaynaklardan birisi de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek nitelikte olan leonardit hammaddesidir. Tamamen doğal gübrelere kullanıldığı organik tarım için önemli bir yeri olan leonardit hammaddesinin Türkiye'deki karakterizasyonu ve zenginleştirilebilirliği Türk tarımı ve ekonomisi için önem arz etmektedir. Leonardit hammaddesinin ve bu hammaddeden elde edilen humik asit, fulvik asit ve ulmik asitin, tarımdaki bu önemli kullanımının dışında, kozmetikten ilaç sanayine, sondaj sektöründen hayvan yemi ve filtre sistemlerine kadar pek çok kullanım alanı mevcuttur.

Leonardit linyit yatakları civarında bulunan linyitin hava atmosferinde değişmesiyle oluşmuş bir organik maddedir. Leonardit henüz kömür durumuna gelmemiş ve yumuşak kahverengi kömürden sahip olduğu yüksek oksidasyonla, kömür oluşum işleminin sonucunda yüksek humik asit içeriğiyle ayrılan organik bir maddedir. Leonarditi linyitten ayıran en önemli fark oksijen yüzdesinin fazla olması ve yakıt olarak kullanma olanağının bulunmamasıdır.

Humik asitlerin en önemli kaynağı genellikle leonarditte bulunan yumuşak kahverengi kömürlerin çökelmiş tabakalarıdır. Humik asit gübre değildir. Fakat gübrenin çok önemli bir tamamlayıcısıdır. Humik asit besinlerin topraktan bitkiye geçmesine yardımcı olmaktadır.

Bitkisel ve hayvansal kalıntılar toprağa karıştırıldığında belirli bir süre sonunda organik madde biyolojik ve fizikokimyasal olayların etkisiyle bozunma daha sonra da parçalanma meydana gelir. Bu dokuların organik kısımlarının bozunup parçalanması humifikasyon, inorganik kısımlarının bozunup parçalanması mineralizasyon olarak tanımlanmaktadır. Organik maddelerin humifikasyona girmesi topraktaki mikroorganizmalar tarafından sağlanmaktadır. Mikroorganizmaların en büyük besin kaynağı C (Karbon) gruplarıdır. Humifikasyonun devamı sonucunda ortaya çıkan ürün, humik asittir. Humik asitler uzun ömürlü organik maddeler olup, katyon değişim kapasitelerinin bütün organik gübrelere göre yüksek olması sebebiyle besin maddelerini en yüksek düzeyde absorbe ederek, bitkiler ile toprağa, doğal ve organik bir yolla yaşamsal besin maddelerini, makro, mikro (izelementler) ve vitaminleri, aminoasitleri sağlamanın en mükemmel bir yoludur. Humik asitler toprakta, hayvan gübresinde, torf yataklarında, denizlerde, linyitte, leonarditte bulunmaktadır. En önemli kaynak leonardittir

## 2. Leonardit ve Türevleri

### 2.1. Leonarditin Tarihçesi

Tarımin kara altını olarak isimlendirebileceğimiz leonardit milyonlarca yıl önce tropik ve yarı-tropik bitkilerin, karasal canlı organizmaların tatlı su göllerinde çökmesi, basınç ve sıcaklık altında jeolojik aktivitelerle yataklanması sonucu oluşmuş, bitki beslenmesi için gerekli makro ve mikro besin elementlerince zengin bir çeşit düşük ranklı kömürdür.

Leonardit, organik madde kaynağı olarak çok ilginç bir tarihe sahiptir. 1940 ve 1950'lerde bilim adamları toprak ve bitkilerden doğal olarak meydana gelen katı humik asitin yararlarını araştırırken, bazı bilim adamları da kömür madenciliği endüstrisinde yüksek oksidasyonlu linyitin



hümik asitçe zengin olduğunu ortaya çıkartmışlardır.

Devam eden araştırmalar sonucunda, yerbilimci Dr. A.G. Leonard, Kuzey Dakota'da partikül formasyonda yüksek oksidasyondaki linyit kömürünü leonardit olarak adlandırmıştır. Ancak leonardit yakıt olarak kullanılmamakla beraber, kömür madenciliğinin artık ürünü olarak kabul edilmiştir. 'Bureau of Mines' ile beraber araştırmacılar leonarditi tarımsal topraklarda yani tarımda kullanmaya başladıklarında ise, ekinlerin dönümünde %20 kazanç sağlanmıştır.

Bunun üzerine çeşitli üniversitelerde ve araştırma kuruluşlarında leonarditin temel toprak ıslahı ve gübre olarak kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Güney Karolayna Araştırma Merkezi öncelikle Meksika'daki ürünleri kullanarak deneyler yapmış ve ürün gelişiminde artış olduğunu ispatlamışlardır. 1960'lardaki deneylerden beri üniversitelerdeki araştırmacılar dünyanın hümik asit üzerine çalışacağı kanaatine varmışlardır (M. A Olivella ve ark., 2002).

## 2.2. Leonarditin Tanımı ve Temel Özellikleri

Aslında leonardit çamurumsu yapıda, rengi gri, gri-kahverengiden siyahımsıya kadar değişen, besin maddesi, oksijen ve sulara yaşayan organizmalarca zengin, çeşitli miktarlarda organik madde içeren, alg kapsayan tabakalarda bitkilerin fazla ayrışmaları sonucu oluşmuş bir çeşit topraktır. Bu nedenle toprak sınıflandırma sistemlerinde, organik topraklar ordosunda ele alınmaktadır.

Toprakla arasındaki en önemli fark bitki besin elementleridir. Çünkü leonardit fosfor ( $P_2O_5$ ) yönünden yüksek, potasyum (K) bakımından fakir, kalsiyum karbonat içerikleri çok yüksek, toprak reaksiyonları (pH) nötr bir maddedir. Ayrıca bitki tarafından alınabilecek mikro besin elementlerince (Fe, Mn, Cu, Zn) zengindir.

Leonarditin bitki besin elementleri içermesi, toksik element içeriğinin düşük olması ve humik asit içeriğinin yüksek olması nedeniyle, ülkemizde bugüne kadar yapılan araştırmaların büyük bir kısmı, gübre olarak kullanımı, bitki verimine etkisi, gübre değeri, organik madde içeriği ve humik madde içeriğinin değerlendirilmesi gibi konuları kapsamaktadır. Konvansiyonel tarımda ve organik tarımda kullanımı sonucunda, hem toprak iyileştirici ve kök geliştirici, hem de bitki besin elementleri takviyesi yönünden oldukça yararlı sonuçlar elde edilmiştir.

Doğada çok nadir olarak bulunan ve çok ince damarlar şeklinde oluşan, bazen de linyit damarlarının üst tabakalarında rastlanan ince leonardit damarları konvansiyonel madencilik yöntemleriyle üretilmektedir. Ocaktan üretildiğinde % 30–40 nem içeren leonardit, tesiste doğal ortamda oda sıcaklığında havada kurutulmaya bırakılmaktadır. 60 °C üzerinde sıcaklıkta yapılan mekanik kurutma, hümik asitlerin zincir ve halka yapılarını bozacağından tercih edilmemektedir. Leonardit havada kurutma, eleme ve kırma işleminden sonra oksidasyon, gravite ayırma, aşındırıcı öğütme ve homojenizasyon işlemlerinden geçirilerek torbalanmaktadır.

Siyah-kahverengi görünümlü, elle kolaylıkla ufalanabilecek sertlikte olan leonarditin metamorfizma ve hümifikasyon şiddetine bağlı olarak hümik asit içeriği % 50–80 arasında değişmektedir. Yoğunluğu 0,75–0,85 gr/cm<sup>3</sup> ve pH değeri 3–5'dir., % 1 lik KOH ve NaOH solüsyonunda çözünürlüğü yüksek, suda çözünürlüğü ise düşüktür. Çözeltisi siyah parlak renkte, köpüksü, kolloidal ve yağsı görünümündedir. Ph değeri 8–9 olan toprakla hazırlanan satürasyon çamurunda kolay çözünmektedir.

Leonardit ile ilgili bilimsel çalışmalar çok yeni olması dolayısıyla teknik olarak çok net bir

sınıflandırma bulunmamaktadır. Çizelge 1’de leonardit kalite sınıflandırması verilmiştir ([http://www.phelpstek.com/clients/humic\\_acid.html](http://www.phelpstek.com/clients/humic_acid.html) 16.04.2007). Yüksek kalite sınıfındaki bir leonardit numunesinin başlıca özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Kompozisyon	Düşük Kalite	Orta Kalite	Yüksek Kalite
Hüyük asit içeriği %	35–50	50–65	65–85
Organik madde miktarı %	Minimum 35	Minimum 50	Minimum 65
pH değeri	6,5±1	5,5±1	4±1
C/N	21±1	19±1	17±1
Özgöl ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	1,4±0,1	1,2±0,1	0,8±0,1
Bazık solüsyonda çözünürlük	Düşük	Orta	Yüksek

Çizelge 1. Leonardit Kalite Sınıflandırması

Karbon (C)	% 30,7	Hüyük asitler	% 65-85
Hidrojen (H)	% 2,4	Nem	% 15-20
Azot ( N )	% 1,7	Toplam Organik Madde	% 86
Kükürt ( S )	% 1,5	Kalsiyum ( Ca )	% 1,2
Oksijen ( O )	% 34	Magnezyum ( Mg )	% 0,12
C/N	18,3	Fosfat ( P )	% 0,05
Demir ( Fe )	% 1,85	Potasyum ( K )	% 0,76

Çizelge.2 Yüksek Kalite Bir Leonarditin Örnek Kimyasal Analiz Değerleri (<http://www.izotar.com/teknik10.htm>, 07.04.2007)



Şekil 1. Uşak Bölgesi Leonarditleri

### 2.3. Leonarditin Kullanım Alanları

Leonardit, humik asit konsantresi (humat) üretiminde ana hammaddedir. Ayrıca organik tarımda toprak kondisyonlayıcısı olarak kullanılmaktadır. Leonarditin ve humik asit konsantresinin diğer kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Derin sondajlarda, sondaj çamuru katkı maddesi olarak (viskozite kontrolünde yayıcı-itici),
- Sanayi artıklarının kirlettiği toprağın ve bunların oluşturduğu bataklıkların tümüyle temizlenmesi ve islah edilmesinde ve buralardaki kötü kokuların giderilmesinde,
- Zengin organik kolloidal mineraller içermesi nedeniyle, hayvan yemi katkı maddesi olarak,
- Hava ve su filtre sistemlerinde,
- Denizlerdeki petrol kirlenmeleri ile sulardaki radyoaktif kirlenmelerin temizlenmesinde,
- İnsanlar için üretilen vitamin hapları ile ilaçlarda,
- Kozmetik sektöründe,

Bunların dışında, leonarditin ve kullanılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir.

### 2.4. Leonarditin Tarımda Kullanımı

Önemli bir humik ve fulvik asit kaynağı olan leonardit, alternatif tarımın ürettiği toprak düzenleyicilerde kullanılan diğer organik madde kaynağıdır. Tarımda kullanılan leonarditin organik madde düzeyi % 50 üzerinde olup, % 40 düzeyinde humik asit içermesi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca uygun pH (% 6.5) düzeyi ve tuzsuz olması leonarditin tarımsal açıdan kullanımında büyük yararlar sağlamaktadır (<http://www.alternatiftarim.com/leonardit.htm>, 10.04.2007)

Tamamen organik kökenli olan ve oluşumu yüzbinlerce yıl alan leonardit toprağa organik madde dışında humik ve fulvik asit sağlayarak toprağın kimyasal ve fiziksel kalitesini olumlu yönde geliştirmektedir. Leonardit özellikle Türkiye gibi toprakları kireççe zengin ortamlarda sağladığı organik asitlerle, bitki besin maddelerinin alımını arttırmaktadır. Başka bir ifadeyle, topraklarımızda yıllardır yanlış gübreleme sonucu birikmiş olan fosfor, potasyum gibi besin elementlerini çözerek bu besin elementlerinin alımını sağlamaktadır. Leonardit yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle, sulama suyunun topraktan hemen uzaklaşmasını engelleyerek düşük su tüketimini sağlamaktadır.

Leonarditler genç kömürler olduklarından ve bu nedenle de bünyelerinde karbonil, karboksil ve eter grupları halinde fazla miktarda oksijen bulduklarından için, bu tür kömürlerden bitümlü kömürlere kıyasla organik gübre üretimi daha kolay olmaktadır.

Linyit kömürü yatakları üzerinde yanmayan, kömürleşmesini tamamlayamamış gri-siyah renkteki toprak katmanının ihtiva ettiği karbon ve hüminler topraktaki mikroorganizmalar tarafından humusa dönüştürülerek doğal bir şelatlama maddesi haline gelirler. Leonarditle toprak yapısında fiziki iyileşmenin yanı sıra kimyasal ve biyolojik iyileşme de sağlanmaktadır.

Günümüzde leonarditlerden elde edilen sıvı, toz, granül formlardaki humik asitler, leonarditin özü olup, hem bitki gelişim düzenleyicisi hem de toprak ıslah maddesi olarak ticari boyutta pazarlanmaktadır. Hümic asitler; toprağın çabuk ısınmasını, su tutma kapasitesinin, içerdiği mikroorganizma sayısının artmasını ve topraktaki bitkinin alamayacağı formdaki bitki besin maddelerinin bitki tarafından alınmasını sağlarlar. Ayrıca bitki bünyesinde de yararları vardır.

Leonarditin tarımda kullanımı, katı (granül ya da pelet) veya leonarditin ekstraksiyonu ile elde

edilen humatları (sıvı veya toz) şeklinde olmaktadır (<http://www.orfeteknik.com.tr/leonardit.htm> 10.04.2007).

Leonardit, kırılması, öğütülmesi, elenmesi, içerisindeki yabancı maddelerin temizlenmesi ve kurutulup suyunun alınması için, çeşitli işlemlerden geçirilir. Homojenizasyon işleminden de geçirildikten sonra torbalanıp tarlaya iletilen leonardit (toprağın, bitkinin ve leonarditin türü ve özelliklerine göre değişen oranlarda) toprakla karıştırılmaktadır.

Leonardit, potasyum hidroksit ile reaktör adı verilen makinelerde kimyasal işleme tabi tutulmakta ve ham sıvı hümik asit elde edilmektedir. Homojenizasyon ve filtrasyon işlemlerinden geçirilen sıvı hümik asit ya şişelenip satılmakta ya da konsantre işlemine tabi tutularak kurutulup toz haline getirilerek paketlenip satışa sunulmaktadır.

Sıvı ya da toz hümik asitler (toz humatlar suda tamamen eriyebilme özelliğine sahiptir) sulama suyuna karıştırılarak kullanılabilmesi gibi, yapraktan da uygulanabilir. Katı leonardit veya humatları, tarımda tek başına kullanılabilmesi gibi doğal veya kimyevi gübreler ile karıştırılarak da kullanılabilir.

## 2.5. Humik Maddeler

Leonarditten elde edilen humik maddeler; humin, humik asit, fulvik asit ve ulmik (hematome-lanik asit) asittir.

Toprak organik maddesi; canlı, cansız ya da çürümüş (dekompoze) olan tüm organik maddeleri içeren bir terimdir. Tamamen çürümüş olan organik yapılar humus olarak adlandırılmaktadır. En iyi humus kaynağı dekompoze olmuş bitki ya da kompost materyallerdir. Yüksek humik asit içeriğine sahip humatlar da uzun süreli ve iyi bir humus kaynağıdır. Şekil 2’de humik maddeler ve kimyasal özellikleri verilmiştir (Stevenson, 1982).

Humik Maddeler					
Fulvik Asit		Hemotomelanik Asit (Ulmik Asit)	Hümik asit		Humin
Açık Sarı	Sarı-Kahverengi	Sarı-Yeşil	Koyu Kahverengi	Gri-Siyah	Siyah
Renk yoğunluğu artar					
Polimerizasyon derecesi artar					
Moleküler ağırlığı artar					
Karbon içeriği artar					
Oksijen içeriği azalır					

Şekil 2. Humik Maddelerin Kimyasal Özellikleri

### 2.5.1. Humin

Hümin, hümik maddelerin asit ya da alkali herhangi bir Ph değerinde suda çözünemeyen bir bölümüdür. Moleküler yapıları çok büyüktür. Hümik maddeler içinde parçalanmaya en dayanıklı olanıdır.

### 2.5.2. Humik Asit

Humik asitler; topraktan elde edilen ana bileşiklerdir. Koyu kahve-siyah renklidirler. Doğal



olarak oluşan hümik asit moleküllerine bağlı 60'ı aşan farklı iz element çeşitli canlı organizmaların kullanımına hazır olarak bulunmaktadır. Doğal bir hümik maddesinin biyolojik merkezi ve ana (damıtık) maddesi, hümik asit ve fulvik asit içeren hümik asitlerdir. Hümik asitler bitkilere ve toprağa gerekli olan yüksek dozlarda doğal ve organik besinli gıda ve vitamin vermenin mükemmel bir yoludur. Doğal olarak toprakta, taze sulara ve turbada bulunan karmaşık moleküllerdir. Hümik asitlerin en iyi kaynağı genellikle leonarditte bulunan yumuşak kahverengi kömürün çökelmiş tabakalarıdır. Bu tabakalarda hümik asitler yoğun olarak bulunmaktadır. Humik asit, seyreltik alkali çözeltide çözünür fakat alkalın ekstatin asitleştirilmesi ile çökmektedir. (<http://www.orfeteknik.com.tr/orta-kutuphane2.htm> 07.01.2012)

Hümik asitler koloidal yapıdadır. Partikül büyüklüğü 20-70 nanometredir. Hidrofilik özellik göstermesi nedeniyle iyi bir su tutucudur. Ayrıca köpürme özelliğine sahiptir. Yüzey gerilimi de yüksektir. Hammadde kaynağına ve elde etme yöntemine bağlı olarak molekül ağırlığı 300-90000 arasında değişmektedir. Tarımda küçük molekül ağırlıklı olanlar tercih edilmektedir (F. J. Stevenson, 1982).

Kimyasal formülü  $CHO(OCH)COOH(OH)C=NR$ COOH olarak verilmektedir. Sodyum potasyum gibi alkali elementlerle yaptığı bileşik suda çözünür. Kalsiyum, baryum gibi toprak alkali bileşikler ise çözünmezler. Geçiş elementleriyle ise kelat oluştururlar. Bu özellikleri nedeniyle tarımda yaygın kullanım alanı bulmuştur (Stevenson, 1982).

### 2.5.3. Fulvik Asit

Fulvik asitler; tüm Ph koşulları altında suda çözünür formda olan hümik maddelerin bir bölümüdür. Fulvik asitlerin renkleri açık sarı-sarı kahverengidir. Fulvik asitler, düşük moleküler ağırlıkları ve yüksek asitlikleri sayesinde humik asitten daha fazla çözünebilirler. Humik asit gibi alkali çözeltide çözünmekte ancak alkalın ekstraktın asitleştirilmesi sonunda çözeltide kalmaktadır (çökmemektedir). Yani hem seyreltik alkali hem de asit çözeltilerinde çözünebilir haldedir. Ayrıca herbisit taşınmasında da önemli bir rol üstlenirler. Öncelikle toprak ve sudaki bazı pestisitlerin taşınmasında ajan rolü oynarlar. İkinci olarak fulvik asitler, reaksiyon yetenekleri en fazla olan yüksek fonksiyonel grup içerikleri nedeniyle herbisitlerin kimyasal bozunmalarında katalizör görevi görürler (Stevenson, 1982).

### 2.5.4. Ulmik Asit

Humik asitin alkolde çözünebilir fakat suda çözünmeyen bölümü ulmik asit olarak adlandırılmaktadır. Rengi kırmızı sarıya (sarımsı yeşil) griye doğru değişmektedir (Stevenson, 1982).

## 3. Türkiye'de Leonardit

Ülkemiz çok önemli linyit yataklarına sahiptir. Leonardit de linyitin üst tabakalarında bulunan okside olmuş hali olduğundan, ülkemizdeki tüm linyit yatakları aynı zamanda potansiyel bir leonardit kaynağıdır. Niğde, Uşak, Meriç, Soma, Muğla, Denizli, Çanakkale ve Adıyaman bölgelerinden tarafımızdan alınmış numunelerle yapılan humik asit analizlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'teki değerlere göre Uşak, Soma ve Niğde bölgelerine ait hammaddeler daha düşük humik asit içeriğine sahiptirler. Ancak bu numunelerin zenginleştirme çalışmaları yapıldığında humik asit oranları da yükselmektedir. Ayrıca, Tarım Bakanlığı'nın leonarditlerin toprak destekleyici olarak kullanılabilirliği ile ilgili belirlemiş olduğu humik asit değerleri katı leonarditte toplam (hümik + fulvik) asit en az % 40, sıvı (hümik + fulvik) asit en az % 12'dir. Bu oranlar

Bölge Adı	Toplam Humik Asit (THA, %)
Uşak/İlyaslı	26.72
Soma	24.16
Denizli/Kale	38.42
Muğla/Milas	31.94
Niğde/Ulukışla	20.65
Meriç	48.39
Çanakkale/Çan	34.36
Adıyaman	59.55

Çizelge 3. Türkiye'nin Çeşitli bölgelerinden alınmış numunelerin humik asit analiz sonuçları

gözönüne alındığında Uşak, Soma ve Niğde Bölgesi numuneleri zenginleştirme işlemlerinden sonra, hem katı leonardit olarak kullanılabilirler, hem de sıvı humik asit eldesinde besleme malı olarak kullanıldıklarında ekstraksiyon verimi oldukça artacaktır. Uşak, Soma ve Niğde Bölgeleri haricindeki bölgelerin humik asit içerikleri daha yüksek olduğundan, bu numunelerden diğerlerine göre hem daha yüksek humik asit içerikli konsantreler elde edilebilecek hem de ekstraksiyonları daha kolay ve verimli olacaktır.

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Ülkemiz topraklarının sürdürülebilir kullanımını devam ettirmek, çevre kirliliğini azaltmak, azotlu ve fosforlu gübre kullanımından kaçınmak ve GDO'lu ürünlerin de önüne geçmek gibi sebeplerle organik toprak destekleyiciler tercih edilmelidir. Türkiye'nin tarım ülkesi olması nedeniyle, leonardit ve türevlerinin tarımda kullanılması ülkemiz tarımının nicelik ve nitelik yönünden gelişmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu amaçla karakterizasyon çalışmalarına bağlı olarak yapmaktadığımız çalışmalarda düşük humik asitli leonarditlerin zenginleştirme ve humik asit ekstraksiyonu çalışmaları devam etmektedir.

Leonardit hammadresi ile ilgili bilimsel çalışmalar ivedilikle genişletilmeli ve ülkemizin ayrıntılı leonardit potansiyel envanteri çıkarılmalıdır. Bu envantere göre leonardit yatakları işletilmesi için stratejiler tartışılıp, geliştirilmelidir. Ayrıca tarım sektörü dışında özellikle leonardit türevlerinin (humik asit, fulvik asit ve ulmik asit) ilaç sektöründen kozmetiğe kadar birçok kullanım alanı bulunduğu leonarditten elde edilecek uç ürünlerin üretiminin yapılması ülkemiz madenciliğine, teknolojisine, bilimine ve ekonomisine önemli faydalar sağlayacaktır. Bu açıdan, ülkemizde yapılmakta olan ve yapılacak olan bu konudaki bilimsel çalışmalar, leonarditten uç ürünler elde edilmesine ve bu ürünler için yeni kullanım alanları geliştirilmesine yönelmelidir.

#### Kaynaklar

- Stevenson F.J., 1982. Humus Chemistry Genesis, Composition, Reactions. A Wiley – Interscience Publication John Wiley&Sons.  
[www.alternatiftarim.com/leonardit.htm](http://www.alternatiftarim.com/leonardit.htm) (10.04.2007)  
[www.bahce.biz/organik/toprak\\_ iyilestirme.htm](http://www.bahce.biz/organik/toprak_ iyilestirme.htm) (10.04.2007)  
[www.izotar.com/teknik10.htm](http://www.izotar.com/teknik10.htm) (07.04.2007)  
[www.orfeteknik.com.tr/orta-kutuphane2.htm](http://www.orfeteknik.com.tr/orta-kutuphane2.htm) (07.01.2012)  
[www.orfeteknik.com.tr/leonardit.htm](http://www.orfeteknik.com.tr/leonardit.htm) (10.04.2007)  
[www.phelpstek.com/clients/humic\\_acid.html](http://www.phelpstek.com/clients/humic_acid.html) (16.04.2007)  
Olivella M.A, C del Rio. J., Palacios, M.A. 2002 Vairavamurthy, de las Heras, Characterization of Humic Acid From Leonardite Coal: An Integrated Study of PY – GC – MS – XPS and XANES Techniques, Journal of Analytical and Applied Prolyses, 63, 59 – 68

## Applications of The TOPSIS Method to Solve Some Decision Making Problems in Mining Operations

*Madencilik Faaliyetlerinde Bazı Karar Verme Problemlerinin Çözümünde TOPSIS Yönteminin Uygulanması*

Mahmut Yavuz<sup>1\*</sup>

*1 Eskisehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskisehir, TURKEY  
myavuz@ogu.edu.tr*

### Abstract

Decision-Making (DM) is the first and one of the most important stages in the design or project procedure of mining engineering operations like other engineering professions. Every mining engineer might make precise decisions in all mining operations such as the selection of mining method, equipment, facility location, support type, mine planning and design, etc. There are a number of techniques available for solving different type of decision problems in the literature. In this paper, the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), which is the one of the Multiple Attribute Decision Making (MADM) techniques, was used to solve two independent mining based decision problems related to selection of equipment and facility location. As the decisions in the both facility location and equipment selection have radically influenced the economic life of any mining scenario, they are considered as complex MADM problem. After introducing the Multiple Criteria Decision Making (MCDM) together with its subgroups MADM and Multiple Objective Decision Making (MODM) methods, the TOPSIS method and its algorithm were explained in this paper shortly. The TOPSIS has not been extensively used to model decisions pertaining to the mining applications although most often it has been used for DM on corporate level. So, it was aimed to apply this method for two different mining operations. The TOPSIS method was used for a loader selection by considering the data obtained from Turkish Coal Enterprises (TKİ) and a facility location selection for Marble Factory according to the data obtained from ELMAS Company in Turkey.

*Keywords: Equipment selection, facility location, multi attribute decision making, TOPSIS.*

### Özet

*Karar Verme (KV) diğer mühendislik dallarında olduğu gibi maden mühendisliği işlemlerinde tasarım ve proje süreçlerinin en önemli aşamalarından bir tanesi ve ilkidir. Her maden mühendisi madencilik yöntemi, ekipman, tesis yeri, tahkimat tipi, ocak planı ve tasarımı gibi bütün madencilik işlemlerinde önemli kararlar verir. Literatürde karar problemlerinin farklı tiplerinin çözümü için çok fazla teknik bulunmaktadır. Bu çalışmada, Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) tekniklerinden bir tanesi olan TOPSIS (the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ekipman ve tesis yeri seçimi gibi birbirinden bağımsız iki madencilik tabanlı karar probleminin çözümünde kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi, Türkiye Kömür İşletmelerinden (TKİ) elde edilen veriler yardımıyla yükleyici seçimi, ELMAS firmasından elde edilen verilere göre ise Mermer Fabrikası için kuruluş yeri seçiminde kullanılmıştır.*

*Anahtar kelimeler: Ekipman seçimi, kuruluş yeri, çok nitelikli karar verme, TOPSIS.*



## 1. Introduction

Decision-Making (DM) can be defined as a selection process of the best one among the alternatives sets in order to obtain goal, and mostly has an uncertain situation (Karadogan et al., 2001). Every mining engineer is subjected to a number of mining DM problems in daily mining operations. In reality, all stages of mining have its own DM problems. Most of time, engineers do not use scientific methods for DM problems. These problems can mostly be solved by the engineers according to their past experiences and practical studies. Mining engineers often use their intuition in DM process. Experience and intuition have been central to DM because of the frequent lack of quantitative data including geology, grade distribution and ground condition as well as environmental, social and economic factors (Kazakidis, et al., 2004). In decision process, as it mentioned before, linguistic variables become in question and decision makers may not know how these variables are computed (Kesimal and Bascetin, 2002). So, the DM process may be qualitative, quantitative or combination of the two. The problem structuring and analysis process is conceptualized in Figure 1(Kazakidis, et al., 2004). The qualitative analysis is based primarily on the judgment, knowledge and experience of an expert (or team of experts). In a quantitative analysis, the focus is on facts and the data associated with a problem and a mathematical formulation that encompasses the objectives, variables and constraints of the particular problem. The quantitative analysis has traditionally been the subject of operation research and management science (Kazakidis, et al., 2004).

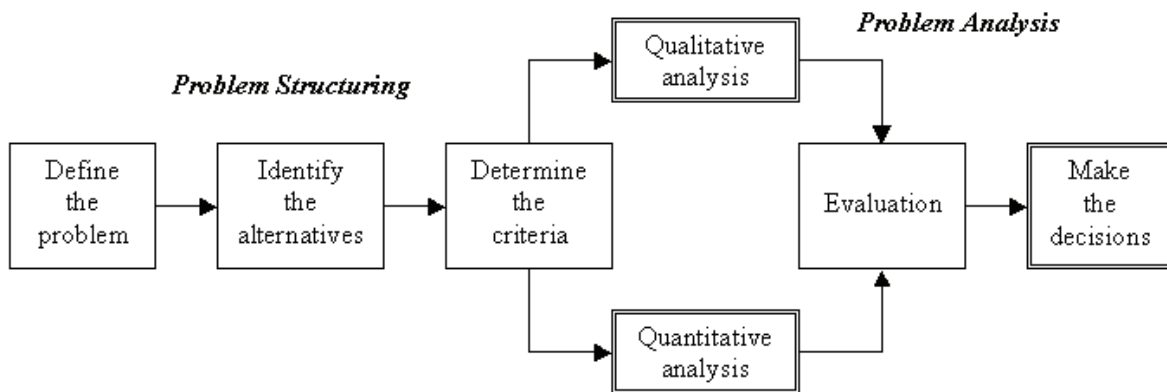


Figure 1. The problem structuring and analysis process in DM (Kazakidis et al., 2004).

A review of the literature reveals that DM techniques have been used for a variety of specific applications in DM in mining operations. Karadogan et al. (2001) solved an underground mining method selection problem by using Fuzzy Attribute Decision Making (FADM) and they used Satty's Analytic Hierarchy Process (AHP) method for criterion pair-wise comparison. Bitarafan and Ataei (2004) solved the similar problem by using FADM with Satty's AHP method and they also used Fuzzy Dominance Method (FDM) in their analysis. Kesimal and Bascetin (2002) used FADM method for solving equipment selection problem in open pit mine. Eleveli et al. (2002) selected a new vertical shaft or ramp system by comparing the weighted alternative criteria for a small-scale underground mine on the basis of total investment cost, ore transport unit cost and Net Present Value (NPV) of overall project for various depths. Eleveli and Demirci (2004) selected most suitable underground ore transport system for a Chromate mine by using the one of the MADM method namely Preference Ranking Organisation MeTHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE). Kazakidis et al. (2004) used AHP and analyzed five different mining scenarios such as drilling technology investment analysis, ground support design, tunneling systems design, shaft location selection and mine planning risk assessment. The selection of a loading-hauling system was evaluated using an AHP-based model for coal production

in an open pit coal mine by Bascetin (2004). Ataei (2005) used AHP method for the problem of selection of a new alumina cement plant location in East-Azerbaijan province of Iran.

This paper focuses on the TOPSIS which is one of the MADM methods, as mentioned before. The TOPSIS approach enables the qualitative analysis using a combination of subjective and objective information or data. The TOPSIS has not been extensively used to model decisions pertaining to the mining applications although most often it has been used for DM on corporate level. Only, the TOPSIS method was used to solve underground mining method selection problem and hydraulic excavator selection problems by Yavuz and Alpay (2008) and Yavuz (2008) in the literature, respectively. This paper explains the TOPSIS approach and gives two different applications on a loader selection for mining operations in TKI Soma district and a factory location selection for Marble Industries.

## **2. Multiple Criteria Decision Making (MCDM)**

MCDM is one of the most well-known branches of DM (Triantaphyllou, 2000). MCDM refers to making decisions in the presence of multiple, usually conflicting, criteria. The problems for MCDM are common occurrences in everyday life and broadly classified into two categories in this respect: MADM and MODM (Hwang and Yoon, 1981). However, very often the terms MADM and MCDM are used to mean the same class of models (Triantaphyllou, 2000). In actual practice, this classification is well fitted to the two facets of problem solving. Usually, MADM is used for selection (evaluation) and MODM is used for design (Hwang and Yoon, 1981). MODM solves the decision problems in which the decision space is continuous. This is a widely accepted classification and shown in Table I (Hwang and Yoon, 1981). The contrast of the features between these two classes is also shown in this table.

	<b>MADM</b>	<b>MODM</b>
Criteria	Attributes	Objectives
Objective	Implicit	Explicit
Attribute	Explicit	Implicit
Constraint	Inactive	Active
Alternative	Finite number, discrete	Infinite number, continuous
Interaction with DM	Not much	Mostly
Usage	Selection / Evaluation	Design

*Table I. MADM versus MODM (Hwang and Yoon, 1981).*

MODM is not associated with the problem where the alternatives are predetermined. The thrust of these models is to design the “best” alternative by considering the various interactions within the design constraints which best satisfy the DM by the way of attaining some acceptable levels of some quantifiable objectives.

The distinguishing feature of the MADM is that there are usually a limited (and countable small) number of predetermined alternatives. The alternatives have associated with them a level of the attributes based on which final decision is to be made. The final selection of the alternative is made with the help of inter and intra-attribute comparisons. The comparisons may involve explicit or implicit tradeoff.

In MADM methods, if the alternatives have an information and cardinal effect on DM process,

the decision makers can use the TOPSIS method.

### 3. The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

The TOPSIS was first developed by Hwang and Yoon (1981), based on the concept that the chosen alternative should have the shortest distance from the Positive Ideal Solution (PIS) and the farthest from the Negative-Ideal Solution (NIS) for solving a multiple criteria DM problem. Thus, the best alternative should not only have the shortest distance from the positive ideal solution, but also should have the largest distance from the negative ideal solution. In short, the ideal solution is composed of all best values attainable of criteria, whereas the negative ideal solution is made up of all worst values attainable of criteria (Chen and Tzeng, 2004).

Assume that each attribute takes the monotonically increasing (or decreasing) utility; then it is easy to locate the “ideal” solution which is composed of all best attribute values attainable, and the “negative-ideal” solution composed of all worst attribute values attainable. One approach is to take an alternative, which has the (weighted) minimum Euclidean distance to the ideal solution in geometrical sense (Srinivasan and Shocker, 1973; Zeleny, 1974). It is argued that this alternative should be farthest from the negative-ideal solution at the same time. Sometimes chosen alternative, which has the minimum Euclidean distance form the ideal solution, has the shorter distance (to the negative-ideal) than the other alternative(s). For example, in Figure 2 (Hwang and Yoon, 1981) an alternative  $A_1$  has shorter distances (both to ideal solution  $A^*$  and to the negative ideal solution) than alternative  $A_2$ . In Figure 2, the horizontal axes shows attribute  $X_1$  (increasing preference) and the perpendicular axes shows attribute  $X_2$  (increasing preference). The TOPSIS consider the distances to both the ideal and the negative-ideal solutions simultaneously by taking the relative closeness to the ideal solution (Hwang and Yoon, 1981).

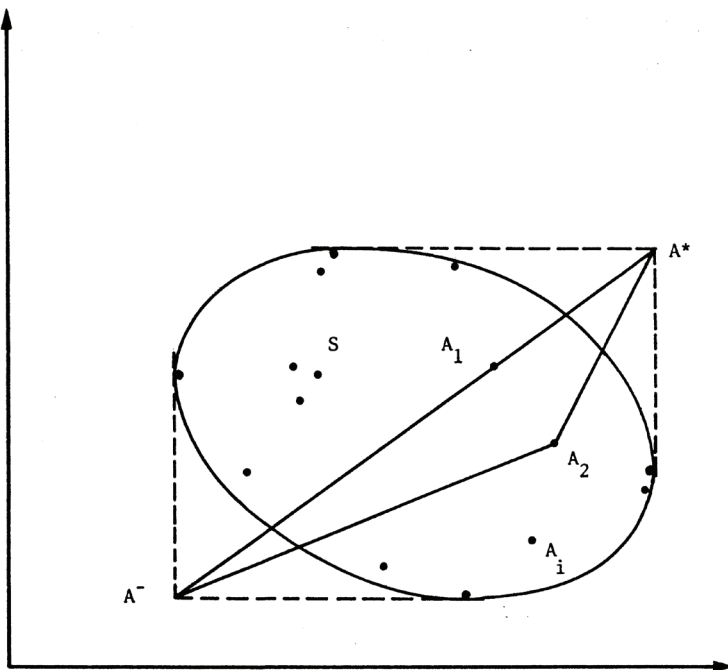


Figure 2. Euclidean distance to the ideal and negative-ideal solutions in two dimensional space (Hwang and Yoon, 1981).

#### 3.1. The Algorithm of the TOPSIS

The TOPSIS method evaluates the following decision matrix, which contains  $m$  alternatives associated with  $n$  attributes or criteria (Hwang and Yoon, 1981);

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_i \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [1]$$

where,  $A_i$  is the  $i^{th}$  alternative considered and  $x_{ij}$  is the numerical outcome of the  $i^{th}$  alternative with respect to the  $j^{th}$  criterion.

The TOPSIS assumes that each attribute in the decision matrix takes either monotonically increasing or monotonically decreasing utility. Further, any outcome that is expressed in a non-numerical way should be quantified through the appropriate scaling technique (Hwang and Yoon, 1981).

Since all criteria cannot be assumed to be of equal importance, the method receives a set of weight from the decision maker. The calculation processes of this method are as follows and contain a series of successive steps (Hwang and Yoon, 1981).

### 3.1.1. Step 1: Construction of the Normalized Decision Matrix

This process tries to transform the various attribute dimensions into non-dimensional attributes, which allows comparison across the attributes. One way is to take the outcome of each criterion divided by the norm of the total outcome vector of the criterion at hand. An element  $r_{ij}$  of the normalized decision matrix  $R$  can be calculated as (Hwang and Yoon, 1981);

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad [2]$$

Therefore, the normalized decision matrix  $R$  is;

$$R = \begin{matrix} & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_i \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [3]$$

R is the normalized decision matrix where m is the number of alternatives, n is the number of criteria and  $r_{ij}$  is the normalized preference measure of the  $i$ th alternative in terms of the  $j$ th criterion. In this form, all attributes have the same unit length of vector (Hwang and Yoon, 1981).

**3.1.2. Step 2: Construction of the Weighted Normalized Decision Matrix**

A set of weights  $w=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_j, \dots, w_n)$ ,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ , from the decision maker is ac-

commodated to the decision matrix in this stage. This matrix can be calculated by multiplying each column of the matrix R with its associated weight  $w_j$ . Therefore, the weighted normalized decision matrix V is equal to (Hwang and Yoon, 1981);

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = RW = \begin{bmatrix} w_1 \cdot r_{11} & w_2 \cdot r_{12} & \dots & \dots & w_n \cdot r_{1n} \\ w_1 \cdot r_{21} & w_2 \cdot r_{22} & \dots & \dots & w_n \cdot r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 \cdot r_{m1} & w_2 \cdot r_{m2} & \dots & \dots & w_n \cdot r_{mn} \end{bmatrix} \tag{4}$$

where W is;

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & w_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & w_n \end{bmatrix}, \text{ and } \sum_{j=1}^n w_j = 1. \tag{5}$$

**3.1.3. Step 3: Determination of Ideal and Negative Ideal Solutions**

The ideal solution  $A^*$  and the negative-ideal solution, denotes as  $A^-$  are (Hwang and Yoon, 1981);

$$A^* = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, 3, \dots, m \right\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \tag{6}$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J' \right), i = 1, 2, 3, \dots, m \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \tag{7}$$

Where  $J = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ and } j \text{ is associated with benefit criteria}\}$ ,

$J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ and } j \text{ is associated with cost criteria}\}$ .

Therefore it is obvious that the previously created alternatives  $A^*$  and  $A^-$  represent the most preferable alternative, i.e. the ideal solution, and the least preferable alternative or negative-ideal solution, respectively (Hwang and Yoon, 1981).

### 3.1.4. Step 4: Calculation of the Separation Measure

The separation distances of each alternative from the ideal solution and the negative-ideal solution are reached by the n-dimensional Euclidean distance method. That means  $S_i^*$  is the distance (in an Euclidean sense) of each alternative from the ideal solution and is defined as (Hwang and Yoon, 1981):

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad [8]$$

and the distance from the negative-ideal solution defines as follows (Hwang and Yoon, 1981):

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad [9]$$

### 3.1.5. Step 5: Calculation of the Relative Closeness to the Ideal Solution

The relative closeness of an alternative  $A_i$  with respect to the ideal solution  $A^*$  is represented by (Hwang and Yoon, 1981);

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad [10]$$

where  $0 < C_i^* < 1$  and  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ .

Apparently an alternative  $A_i$  is closer to the ideal solution as  $C_i^*$  approaches to 1. Thus,  $C_i^*$  equals to 1 if  $A_i = A^*$ , and  $C_i^-$  equals to 0 if  $A_i = A^-$ .

### 3.1.6. Step 6: Ranking of the Preference Order

A preference order can be ranked according to the order of  $C_i^*$ . Therefore, the best alternative is the one with the shortest distance to the ideal solution and with the (Euclidean distance method is guaranteed that this alternative has also the) longest distance to the negative-ideal solution (Hwang and Yoon, 1981).

## 4. CASE STUDIES

### 4.1. The Application of the TOPSIS for a Loader Selection

The TOPSIS technique was used for a wheel loader selection in order to be able to make a decision by considering the proposals according to the attributes which was put forward by Turkish Coal Enterprise (TKI). As it is known, some criteria which affect the DM process should be considered in the TOPSIS technique. The criteria used in this work to select the best alternative for a wheel loader are the expected technical features as follows:

- Operating weight should be between 80 and 90 tones,
- Diesel engine having the net power of minimum 650 HP and suitable for heavy working conditions,
- Rated bucket capacity of 12 yd<sup>3</sup> or greater,
- 45° discharge height of minimum 4 m or higher,
- Breakout force of minimum 60000 kg or greater,
- Lifting capacity of 17500 kg or greater,
- Static tipping load of 45000 kg or greater,
- Articulating angle of 30° or greater,

- Tire protection chain should be available,
- Rops type operator cabin and suitable for all kind of climate conditions,
- L-5 class tubeless type tires and resistant to wearing,
- Machine should be equipped with torque converter, full power shift and 4×4 wheel drive.

Besides supplying the mentioned technical features, the wheel loader can be operated in local conditions such as 1000 m of altitude, -25 to +40 °C of air temperature and 1.1 to 1.8 ton/m<sup>3</sup> of soil density.

The loader specifications offered from 5 different sellers according to 10 criteria put forward by TKI are given in Table II.

Attributes	Alternatives				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Operating weight (tone)	89.8	88.2	89.5	90.3	85.6
Net gross (HP)	825	690	725	650	780
Rated bucket capacity (yd3)	13.5	14	12	12	14
45° Discharge height (m)	4.6	4.8	4.5	4.6	4.2
Breakout force (kg)	60800	76200	65500	60500	63000
Lifting capacity (kg)	21750	20500	19300	19800	20100
Static tipping load (kg)	61550	51250	45500	48600	47200
Articulating angle (°)	40°	35°	40°	38°	42°
Machine price (\$)	801710	788670	810250	825350	792300
Tire protection chain price (\$)	50580	130200	85300	115700	72400
Rops type operator cabin	Available	Available	Available	Available	Available
L-5 class tubeless type tires and resistant to wearing	Available	Available	Available	Available	Available
Torque converter, full power shift and 4×4 wheel drive	Available	Available	Available	Available	Available

Along the offers of sellers, decision matrix has been formed as the way given in Equation 1. In this decision matrix, each row denotes alternatives and each column denotes criteria. The last three attributes has not been included in the decision matrix because these attributes are of the same value.

$$D = \begin{bmatrix} 89.8 & 825 & 13.5 & 4.6 & 60800 & 21750 & 61550 & 40 & 801710 & 50580 \\ 88.2 & 690 & 14 & 4.8 & 76200 & 20500 & 51250 & 35 & 788670 & 130200 \\ 89.5 & 725 & 12 & 4.5 & 65500 & 19300 & 45500 & 40 & 810250 & 85300 \\ 90.3 & 650 & 12 & 4.6 & 60500 & 19800 & 48600 & 38 & 825350 & 115700 \\ 85.6 & 780 & 14 & 4.2 & 63000 & 20100 & 47200 & 42 & 792300 & 72400 \end{bmatrix}$$

In this matrix, 10 different criteria for 5 alternatives have been evaluated. An illustrative example of the TOPSIS technique for a wheel loader selection is explained by following the steps mentioned in the previous section.

Step 1: By using Equation 2, the first element of the normalized decision matrix (r11) is calcu-



lated as  $0.4528$  ( $r_{11} = 89.8 / \sqrt{(89.8^2 + 88.2^2 + 89.5^2 + 90.3^2 + 85.6^2)}$ ). Calculating the other elements of matrix in the same way, the normalized decision matrix R is constructed as;

$$R = \begin{bmatrix} 0.4528 & 0.5009 & 0.4597 & 0.4527 & 0.4154 & 0.4790 & 0.5383 & 0.4578 & 0.4461 & 0.2373 \\ 0.4447 & 0.4189 & 0.4768 & 0.4724 & 0.5206 & 0.4515 & 0.4482 & 0.4006 & 0.4388 & 0.6110 \\ 0.4513 & 0.4401 & 0.4087 & 0.4429 & 0.4475 & 0.4250 & 0.3979 & 0.4578 & 0.4508 & 0.4003 \\ 0.4553 & 0.3946 & 0.4087 & 0.4527 & 0.4134 & 0.4361 & 0.4250 & 0.4349 & 0.4592 & 0.5429 \\ 0.4316 & 0.4735 & 0.4768 & 0.4133 & 0.4304 & 0.4427 & 0.4128 & 0.4807 & 0.4408 & 0.3397 \end{bmatrix}$$

Step 2: The weights for each criteria assessed by an expert team consisting of two mining engineer and two mechanical engineer, who have 10 years of experience in TKI, were determined as;

$$w = (0.1, 0.15, 0.1, 0.05, 0.075, 0.075, 0.1, 0.05, 0.2, 0.1), \sum_{j=1}^{10} w_j = 1.$$

By using Equation 4, the first element of the weighted normalized decision matrix ( $v_{11}$ ) is determined by multiplying the assigned weight to the first attribute and the first element of normalized matrix ( $v_{11} = w_1 \cdot r_{11} = 0.1 \cdot 0.4528 = 0.0453$ ). Calculating the other elements of matrix in the same way, the weighted normalized decision matrix V is constructed as below:

$$V = \begin{bmatrix} 0.0453 & 0.0751^* & 0.0460 & 0.0226 & 0.0312 & 0.0359^* & 0.0538^* & 0.0229 & 0.0892 & 0.0237^* \\ 0.0445 & 0.0628 & 0.0477^* & 0.0236^* & 0.0390^* & 0.0339 & 0.0448 & 0.0200^- & 0.0878^* & 0.0611^- \\ 0.0451 & 0.0660 & 0.0409 & 0.0221 & 0.0336 & 0.0319^- & 0.0398^- & 0.0229 & 0.0902 & 0.0400 \\ 0.0455^* & 0.0592^- & 0.0409^- & 0.0226 & 0.0310^- & 0.0327 & 0.0425 & 0.0217 & 0.0918^- & 0.0543 \\ 0.0432^- & 0.0710 & 0.0477^* & 0.0207^- & 0.0323 & 0.0332 & 0.0413 & 0.0240^* & 0.0882 & 0.0340 \end{bmatrix}$$

Step 3: In the each column of the weighted normalized decision matrix, the minimum and maximum values are marked according to Equation 6 and 7. The maximum values in the column 1 to 8 are the elements of ideal solution matrix because these attributes should be maximized. On the other hand, the minimum values of the last two columns are selected because the machine price and tire protection costs are minimized. In this situation, the ideal solution A\* is determined as:

$$A^* = [0.0455 \ 0.0751 \ 0.0477 \ 0.0236 \ 0.0390 \ 0.0359 \ 0.0538 \ 0.0240 \ 0.0878 \ 0.0237]$$

and the set of negative-ideal solution is determined as:

$$A^- = [0.0432 \ 0.0592 \ 0.0409 \ 0.0207 \ 0.0310 \ 0.0319 \ 0.0398 \ 0.0200 \ 0.0918 \ 0.0611]$$

Step 4: By using Equation 8, the first element of the distance from ideal solution matrix (S1\*) is calculated as  $0.0083$  ( $((0.0453-0.0455)^2 + (0.0751-0.0751)^2 + (0.0460-0.0477)^2 + (0.0226-0.0236)^2 + (0.0312-0.0390)^2 + (0.0359-0.0359)^2 + (0.0538-0.0538)^2 + (0.0229-0.0240)^2 + (0.0892-0.0878)^2 + (0.0237-0.0237)^2)^{1/2}$ . Following the same calculation procedure, the separation measure values are calculated as:

$$S_i^* = [0.0083 \ 0.0406 \ 0.0254 \ 0.0382 \ 0.0186]$$

Similarly; by using Equation 9, the first element of the distance from negative ideal solution matrix ( $S_i^-$ ) is calculated as  $0.0437$  ( $((0.0453-0.0432)^2 + (0.0751-0.0592)^2 + (0.0460-0.0409)^2 + (0.0226-0.0207)^2 + (0.0312-0.0310)^2 + (0.0359-0.0319)^2 + (0.0538-0.0398)^2 + (0.0229-0.0200)^2 + (0.0892-0.0918)^2 + (0.0237-0.0611)^2)^{1/2}$ . Following the same calculation procedure,

the separation measure values are calculated as:

$$S_i^- = [0.0437 \quad 0.0134 \quad 0.0227 \quad 0.0082 \quad 0.0309]$$

Step 5: By using Equation 10, the first element of the relative closeness to the ideal solution matrix ( $C_i^*$ ) is calculated as 0.8404 ( $0.0437/(0.0083+0.0437)$ ). In the same way, the relative closeness to the ideal solution is calculated as:

$$C_i^* = [0.8404 \quad 0.2481 \quad 0.4719 \quad 0.1767 \quad 0.6242]$$

Step 6: In this study, the preference order of five alternatives have been ranked according to the  $C_i^*$  values. So, the alternatives are ordered as: Alternative 1, Alternative 5, Alternative 3, Alternative 2 and Alternative 4. As a result of this evaluation, the best choice is Alternative 1 (Model 1) because it has the shortest distance to the ideal solution.

This example shows that the TOPSIS method can easily be used for the best convenient loader selection according to the desired technical features. Also, it can be realized that this method can be used for any equipment selection problem in mining industry. So, this method is very useful tool for either experienced or inexperienced engineers to decide on selecting the proper equipment.

#### **4.2. The Application of the Topsis for a Factory Location Selection for Marble Industries**

Besides equipment selection problem, another application of the TOPSIS method is illustrated in this section. This method was applied to determine the optimum facility location for a Marble Factory in Turkey. The determination of a facility location is well-known problem in operation research and DM area. Many researchers have studied on the selection of optimum location of mining facility (Ataei, 2005; Bhattacharya et al., 2001; Hajdasinski, 1995; Kumral, 2004; Magda, 1985; Zambo, 1968).

The natural stone production rate of Turkey was increased by 35% between 2000 and 2004. In 2004, 9% of the world's natural stone production comes from Turkey. Turkey's income from natural stone exports reached to a total of \$626 million in 2004. It is constituted around 53% of the Turkey's total mining export income in that year (Ayhan, 2005). In 2011, natural stone exports increased to \$1.675 billion and 43% of the country's total mining exports. In the future, it is expected that the Turkish marble industry's production rate will increase and new marble factories will be constructed in different region of Turkey. The most suitable facility location should be selected for marble factories to achieve planned production target considering the several criteria.

ELMAS Company is one of the milestone of Turkey's travertine and marble industries. It has their own travertine and marble quarries and two marble factories. The first ELMAS marble factory was founded in 1986 and they have been supplying the raw material their own travertine quarry in Denizli for 20 years, so far. In 1997, the company established the second factory in Eskisehir which is located in the western and northwestern part of Turkey. In Eskisehir factory, marble strips and rough draft slabs are sequentially subjected to calibrating, wax filling, dimensioning, polishing, chamfering, quality controlling and packing operations. The final products are transported to Izmir harbour for export. In 2006, the firm management decide to established a new factory. The four facility location alternatives are determined by the management as Es-

kisehir, Bozuyuk, Afyon-Iscehisar and Denizli district. In Figure 3 (Ozer, 2005); the location of travertine quarry, two present factories and four facility alternatives can be seen in the map.



Figure 3. The location of quarry, present factories and alternatives for a facility (Ozer, 2005).

The four facility location alternatives are compared according to 12 criteria (determined by the decision makers) as usual in the first stage of the application of the TOPSIS method. Both the qualitative and the quantitative values of all attributes for each alternative are given in Table III.

Attributes	Alternatives			
	(A) Eskisehir	(B) Bozuyuk	(C) Afyon	(D) Denizli
Land cost (\$/m <sup>2</sup> )	10	5	7	8
Installation cost (\$)	1000000	900000	750000	1200000
Transportation distance (km)	357	364	226	25
Tax reduction (%)	-	20	10	-
Raw material supply	Medium	Medium	Good	Very good
Manpower supply	Very good	Medium	Very bad	Bad
Climate	Bad	Bad	Bad	Good
Water supply	Very good	Very good	Good	Good
Market	Good	Good	Very good	Medium
Disposal of waste water	Very bad	Medium	Good	Very bad
Removal of waste marble	Very good	Bad	Bad	Very good
Local regulations	Bad	Good	Good	Medium

Table III. Alternatives and attributes for facility location selection.

Each linguistic variable is assigned a numerical value by using the scale explained in Table IV.

Utility based model	Relative Intensity	Cost based model
Very bad	1	Very good
Bad	3	Good
Medium	5	Medium
Good	7	Bad
Very good	9	Very bad

Table IV. Alternatives and attributes for facility location selection (Islier, 1997).

Decision matrix, whose each row denotes the alternatives and each column denotes the criteria, has been formed as the way given in Equation 1.

$$D = \begin{bmatrix} 10 & 1000000 & 357 & 0 & 5 & 9 & 5 & 9 & 7 & 1 & 9 & 3 \\ 5 & 900000 & 364 & 20 & 5 & 5 & 3 & 9 & 7 & 5 & 3 & 7 \\ 7 & 750000 & 226 & 10 & 7 & 1 & 3 & 7 & 9 & 7 & 3 & 7 \\ 8 & 1200000 & 25 & 0 & 9 & 3 & 7 & 7 & 5 & 7 & 9 & 5 \end{bmatrix}$$

In this matrix, 12 different criteria for 4 alternatives were evaluated. Following the mentioned procedure in the previous section, a factory location selection problem was solved by incorporating the TOPSIS technique. The weights for each criteria assessed by an expert team consisting of one geology engineer who is the manager of the firm and 20 years of experience in marble industry, two mining engineer who have 10 years of experience in marble industry and one firm owner, who have 40 years of experience were determined as;

$$w = (0.15, 0.05, 0.075, 0.075, 0.1, 0.125, 0.1, 0.025, 0.025, 0.075, 0.075, 0.0125),$$

$$\sum_{j=1}^{10} w_j = 1.$$

After following the same procedure (Step 2 to Step 6) explained before, the ideal solution is calculated as:

$$C_i^* = [0.4649 \quad 0.5382 \quad 0.4000 \quad 0.4336]$$

In this decision making problem, the preference orders of four alternatives have been ranked according to the values. So, the alternatives are ordered as: Alternative B, Alternative A, Alternative D, and Alternative C. As a result of this evaluation, Alternative B (Bozuyuk district) is the best choice because it has the shortest distance to the ideal solution. This application of the TOPSIS method reveals that the engineers (decision makers) can decide on the selection of the optimum facility location in more scientific way instead of relying on intuition or engineering judgment.

## 5. Conclusions

DM problems can always be encountered by mining engineer in deciding on the best alternative for the mining operations. However, the mining operations are often related with multifunctional and interrelated activities. The unexpected consequences can be encountered if the wrong decisions are made in mining industry without using the scientific methods by considering multifunctional and interrelated activities. DM based on the scientific methods will cause an increase in the productivity of mining sector and also will cause mining engineers to be more active in the process. Among the different MADM methods, the TOPSIS is easier method to be understood and applied than the others. When it is considered that human mind can cope with seven plus or minus two criteria considering the relationships under normal conditions (Saaty and Ozdemir, 2003), using a suitable MADM method especially in the solution of complex problems will provide mining engineers to achieve more accurate results.

The TOPSIS method was successfully applied to the real decision making problems in mining

industry such as a loader selection for an open pit and a facility location selection for a travertine factory. In the process of decision making on a loader, the attributes of the machine and tire protection prices were minimized while the others were maximized in order to be able to select the convenient loader for the open pit of TKI. Similarly, in the process of selection of the facility location, the attributes of the land cost, installation cost and transportation distance were minimized while the others were maximized to determine the best location of travertine factory.

The TOPSIS will be very helpful to mining engineers in a wide range of decision making problem. It enabled the capture of the experience and opinions of specialists to the structure of a DM model and validates the results.

## **6. Acknowledgement**

The author wishes to thank Mining Engineer Soner OGRET MEN and Turkish Coal Enterprises (TKI) management for their assistance in the loader selection process and Manager of ELMAS Marble Factories Geological Engineer Ilhan EROZLU and his colleagues for their assistance in the selection procedure of facility location.

## **References**

- Ataei, M., 2005. Multicriteria selection for alumina-cement plant location in East-Azerbaijan province of Iran. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 105 (7), 507–514.
- Ayhan, M., 2005. Cost model and sensitivity analysis of cutting and processing stage at a marble plant. *Industrial Diamond Review*. 3, 49–54.
- Bascetin, A., 2004. An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*. 113, A192–A199.
- Bhattacharya, J., Kumar, M. and Sanjay, S., 2001. Assessment of Algorithms for Location Selection of Facility in Mines. *Mineral Resources Engineering*. 10, 333–345.
- Bitarafan, M.R. and Ataei, M., 2004. Mining method selection by multiple criteria decision making tools. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 104 (9), 493–498.
- Chen, M.F. and Tzeng G.H., 2004. Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting and Expatriate Host Country. *Mathematical and Computer Modelling*. 40, 1473–1490.
- Elevli, B., Demirci A. and Dayi, O., 2002. Underground haulage selection: Shaft or ramp for a small-scale underground mine. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 102 (5), 255–260.
- Elevli, B. and Demirci A., 2004. Case Study: Multicriteria choice of ore transport system for an underground mine: Application of PROMETHEE methods. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 104 (5), 251–256.
- Hajdasinski, M.M., 1995. Time Value of Money and Optimal Location of Mining Facilities. 25th APCOM Conference Proceedings, 231–239.
- Hwang, C. L. and Yoon, K., 1981. *Multi Attribute Decision Making Methods and Applications*, Springer-Verlag.
- Islir, A., 1997. *Facility Planning*, Eskisehir Osmangazi University Press, (In Turkish).
- Karadogan, A., Bascetin, A., Kahriman, A. and Gorgun, S., 2001. A New Approach in Selection of Underground Mining Method. *International Conference-Modern Management of Mine Producing, Geology and Environment Protection*, 171–183
- Kazakidis, V.N., Mayer, Z. and Scoble, M.J., 2004. Decision making using the analytic hie-



- rarchy process in mining engineering. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*. 113, A30–A42.
- Kesimal, A. and Bascetin A., 2002. Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Mining Operations. *Mineral Resources Engineering*. 11 (1), 59–72.
- Kumral, M., 2004. Optimal location of a mine facility by genetic algorithms. *Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A)*. 113, A83–A88.
- Magda, R., 1985. Aspects of Optimum Mine Site Selection. *Mining Science and Technology*. 2 (3), 217–228.
- Ozer, S., 2005. Determination of optimum plant location for marble factories, Master of Science thesis, Eskisehir Osmangazi University, Graduate School, 98 p. (Unpublished, in Turkish).
- Saaty, T.L. and Ozdemir, M.S., 2003. Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two. *Mathematical and Computer Modelling*. 38, 233–244.
- Srinivasan, V. and Shocker A.D., 1973. Estimating the Weights for Multiple Attributes in a Composite Criterion Using Pairwise Judgment. *Psychometrika*. 38 (4), 473–493.
- Triantaphyllou, E., 2000. *Multi Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Kluwer Academic Publishers.
- Yavuz, M., 2008. An Application of the TOPSIS Method to Solve Hydraulic Excavator Selection Problem in Mining. *SME Annual Meeting, Salt Lake City, UT, SME Preprint 08-042*.
- Yavuz, M. and Alpay, S., 2008. Underground Mining Technique Selection By Multicriterion Optimization Methods. *Journal of Mining Science*. 44 (4), 391–401.
- Zambo, J., 1968. *Optimum Location of Mining Facilities*, Budapest.
- Zeleny, M., 1974. *Linear Multiobjective Programming*, Springer-Verlag.

## Kalkopiritin Asitli Çözeltilerdeki Elektrokimyasal Davranışı

*Electrochemical Behavior of Chalcopyrite In Acidic Solutions*

Özge Gök<sup>1</sup>, Erkan Güler<sup>1</sup>, Abdullah Seyrankaya<sup>1\*</sup>

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

*\* Sorumlu Yazar: a.seyrankaya@deu.edu.tr*

### Özet

Bakır üretimi, genellikle sülfürlü cevherlerinden elde edilen flotasyon konsantrelerinin izabe edilmesiyle yapılmaktadır. Son yıllarda artan çevresel kısıtlamalar ve cevher oluşumundaki empüriteler nedeniyle pirometalurjik yöntemler, yerlerini hidrometalurjik işlemlere bırakmaktadır. Bakır hidrometalurjisi 1970'li yıllardan beri araştırılmaktadır. Ancak teknik başarısına karşın ekonomik olarak uygun olmaması nedeniyle uzun süre uygulama alanı bulamamıştır. Solvent ekstraksiyon ve elektroliz proseslerinin entegre edilmesi, bu alana olan ilginin 1990'lı yıllarda yeniden artmasına neden olmuştur. Bu nedenle kompleks mineral olarak nitelendirilen kalkopiritin, atmosferik basınç altında asitli çözeltilerdeki reaksiyon mekanizması, mineral yüzeyinde oluşan bileşikler ve bunların çözünme hızına etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu çalışmada farklı gözlemlerin ve sonuçların ortaya atıldığı bu çalışmaların bir derlemesi sunulmaktadır. Kalkopirit liçinde sıklıkla gözlemlenen ve belirtilen mekanizmalara göre, çözelti potansiyeli, sıcaklık ve  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  derişimine bağlı olarak mineral yüzeyinde metal-eksikli sülfürler oluşmaktadır. Bu bileşiklerin oluşumu iyon difüzyonunu engelleyerek çözünme işlemini yavaşlatmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için uygulanan çeşitli yöntemlerden de bahsedilmektedir.

*Anahtar Kelimeler: Atmosferik liç, kalkopirit, metal-eksikli sülfürler, yüzey pasivasyonu*

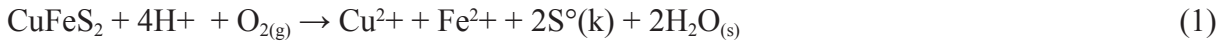
### Abstract

*The copper production usually involves subjecting the sulfidic flotation concentrates to smelting. Recently due to increase in environmental limitations and impurities in ore formation, hydrometallurgical routes are preferred as an alternative to pyrometallurgical processes. The copper hydrometallurgical investigations have been made since 1970's. Despite reasonable technical success, the process was not proved economically. Since then the integration of solvent extraction and electrowinning technology has led to renewed interest in this area in 1990's. Thus, the detail investigations have been conducted on the complex chalcopyrite ore under atmospheric pressure to elucidate the reaction mechanism, formation of intermediate sulfides and their effects on leach kinetics. In this study, the compilation of the studies including various observations and outcomes, are presented. The general conclusion is that the electrode potential, temperature and concentration ratio of  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  are responsible for the formation of metal-deficient sulfides on mineral surface. These species hinder the dissolution rate by preventing the ion diffusion through the mineral surface. The methods applied to overcome this drawback are also discussed in the present study.*

*Keywords: Atmospheric leach, chalcopyrite, metal-deficient sulfides, surface pasivation*

## 1. Giriş

Asidik liç çözeltilerinde kalkopiritin çözünmesinin aşağıdaki gibi gerçekleştiği bilinmektedir (Yu ve ark., 1973; Klauber ve ark., 2001).



Otuz yılı aşkın süredir yapılan çalışmalarda, asidik ortamdaki kalkopirit liçinde meydana gelen reaksiyon kinetiğinin oldukça yavaş olduğunu vurgulanmış ve etkin reaksiyon mekanizmaları araştırılmıştır (Dutrizac, 1978; Munoz ve ark., 1979; Majima ve ark., 1985; Hackl ve ark., 1995; Lu ve ark., 2000; Antonijevic' ve ark., 2004; Yoo ve ark., 2010). Bakırın asidik sülfat ve/veya klorür çözeltilerinde çözünme hızını etkileyen faktörler i) pasivize eden yüzey tabakaları, ii) çözelti potansiyeli, iii) çözeltideki türler şeklinde sıralanmaktadır (Li ve ark., 2010).

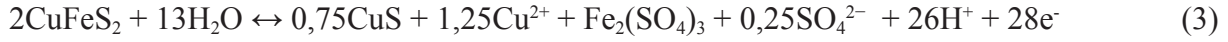
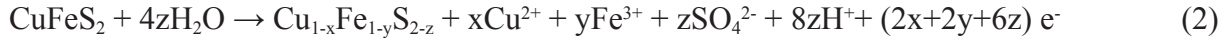
## 2. Yüzey Pasivasyonu

Kalkopiritten bakır liç hızının zamanla yavaşlamasının ve reaktif difüzyonunun azalmasının nedeni olarak mineral yüzeyinde oluşan katmanlar gösterilmektedir (Linge, 1976; Munoz ve ark., 1979; Hackl ve ark., 1995; Kaluber ve ark., 2001). Araştırmalar sonunda diğer bakır minerallerine göre daha sıklıkla kalkopiritte gözlenen bu davranış ile ilgili 3 teori öne sürülmüştür: 1) Kalkopiritin çözünmesi esnasında oluşan metalce eksikli sülfür veya polisülfür bileşiklerinin, mineralle çözelti arasında "katı-elektrolit arafazı" gibi davranıp yüzeyi bloke etmesi (Linge, 1976; Parker ve ark., 1981; McMillan ve ark., 1982; Hackl ve ark., 1995), 2) Mineral yüzeyinde zamanla oluşan kükürt tabakasının yüzeyden (veya yüzeye) olan iyon difüzyonunu pasivize etmesi (Munoz, 1979), 3) Demir bileşiklerinin yüzeyi kaplayarak bir tabaka oluşturması ve reaktif geçişine engel olması (Dutrizac, 1978; Stott ve ark., 2000).

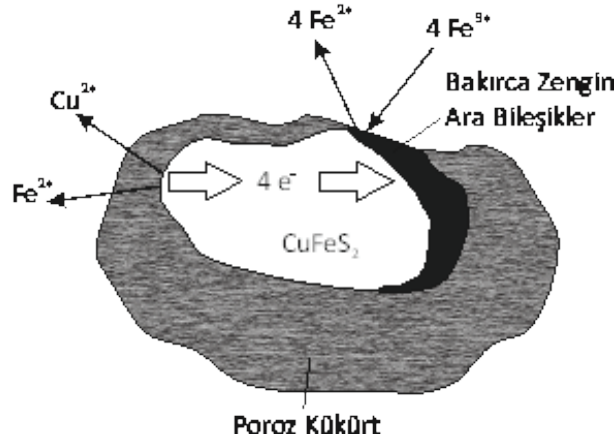
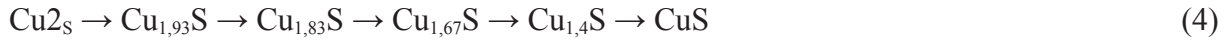
### 2.1. Metal Sülfür/Polisülfür Oluşumu

Metal eksikli sülfürler ve polisülfürler mineral yüzeyinin pasivasyonuna neden olan türler olarak bildirilmektedir (Burkin, 1969; Parker ve ark., 1981; Warren ve ark., 1982; Hackl ve ark., 1995; Lu ve ark., 2000; Lazaro ve Nicol, 2006). Bu tip yarı kararlı bileşiklerin oluşumu, bakır ve demirin stokiometrik olarak çözünmemesinden yola çıkılarak açıklanmaktadır. Liç sırasında zamanla çözeltideki demir derişimi artarken, yüzeyde bakırca zengin sülfürler oluşmaktadır. Hackl ve ark. (1995), 110 °C ve 1,38 MPa oksijen basıncında, 3 saat süreyle kalkopirit liçi yaparak mineral yüzeyindeki değişimleri Auger Elektron Spektroskopisi (AES) ile incelemişlerdir. Çalışmada, önce demirin çözündüğü kalkopirit liçi, üç basamaklı reaksiyon mekanizması ile gösterilmiştir. En hızlı gerçekleşen ilk aşamada bakırca zengin, demir eksikli  $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_{1-y}\text{S}^2$  ( $y \gg x$ ,  $x+y \approx 1$ ) ara ürünü oluşmakta, ikinci aşamada ise daha yavaş bir hızda bakır polisülfür ( $\text{Cu}_n\text{S}_n$ ,  $n > 2$ ) oluşmaktadır. Oluşan bu ürün, yüzeyi pasivize etmektedir. En düşük hızda meydana gelen son basamakta  $\text{Cu}^{2+}$  iyonları oluşurken elementel kükürdün açığa çıktığı belirtilmiştir. Sıcaklık arttıkça  $\text{CuS}_2$  bozunmasının arttığı, 200 °C'den yüksek sıcaklıklarda da yüzey pasivasyonunun meydana gelmediği eklenmiştir. Lazaro ve Nicol (2003) ve Lazaro ve ark. (1995) yüzey pasivasyonunun elementel kükürten değil, düşük potansiyellerde (400 mV, SHE), reaksiyonun başlarında demirin öncelikli olarak çözünerek, bakırca zengin bornit, djurleit, dijenit gibi bileşiklerin oluşmasından kaynaklandığını savunmuşlardır. Karbon/kalkopirit elektroduyla yapılan bir başka çalışmada, polisülfür tabakasının aşağıdaki reaksiyonla oluşmaya başlaması sebebiyle, çözünmenin düşük anodik potansiyellerde ( $374 \leq E^\circ < 774$  mV, SCE) başladığı belirtilmiştir (Nava ve ark., 2008). Yüksek elektrot potansiyellerinde ise ( $774 \leq E^\circ < 844$  mV, SCE) yarı kararlı sülfür tabakasının çözünerek bakırın çözeltiye geçtiği  $844 \leq E^\circ < 924$  mV (SCE) aralığında, kalkopirit yapısındaki demirin tamamen çözünerek elektrot yüzeyinde kovellin ( $\text{CuS}$ ) tabakası oluşmasını sağladığı iddia edilmiştir. Oluşan  $\text{CuS}$  tabakası ise 924 mV

üzerindeki potansiyellerde tamamen çözülmüştür (Jones ve Peters ,1976; Page, 1988).



Kalkozinin kovelline hangi şekilde yükselttiğini, kuprik iyonları varlığında inceleyen Sequeira ve ark. (2008), kovellinin kısa liç sürelerinde (<60 saniye), dijenitin ( $\text{Cu}_{1,83}\text{S}$ ) ise daha uzun sürelerde (>150 saat) oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kalkozinin kovelline yükseltgenme basamaklarının araştırıldığı elektrokimyasal incelemelerde, rest potansiyeli en düşük olduğu zamandan en yüksek olduğu zamana kadar etkin olan bakır sülfür bileşikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Koch ve McIntyre, 1976).



Şekil 1. Bakırca zengin sülfürlerin oluşumunun liçe etkisi

## 2.2. Elementel Kükürt Oluşumu

Kalkopiritin asidik ferrrik sülfat liçinde elementel kükürdün sistematik bir ürün olduğu ve farklı morfolojilerde oluşabileceği belirtilmiştir (Dutrizac, 1989). SEM ile yapılan incelemelerde özellikle düşük sıcaklıklarda (95 °C) kükürdün kalkopirit yüzeyinde ince bir tabaka oluşturarak (<40µm) yüzeyi tamamen kapladığı görülmüştür. Parker ve ark. (1981), yüzeyde elementel kükürt oluşumunu görmelerine karşın yüzeyin bu nedenden dolayı pasivize olmadığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada CS<sub>2</sub> kullanılarak kükürt tabakası uzaklaştırılmış olmasına rağmen kalkopirit çözünme hızlarında bir artış gözlenmemiştir. Ancak bu araştırmacılar, bazı elementel polisülfürlerin (örn. S<sub>n</sub>) bu çözücüde çözünmediğini göz ardı etmişlerdir (Klauber, 2008). Havlik ve Kammel (1995), ferrik klorür liçi sonucunda oluşan kükürt tabakasını, karbon tetraklorür (kükürt çözücüsü) ortamında uzaklaştırdıklarında bakır veriminin 40 °C’de %4,4’ten %9,4’e, 80 °C’de % 16,2’den % 23,2’e yükseldiğini göstermişlerdir. Bu durumda, farklı şartlarda farklı sülfür allotropları meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Klauber, 2008). Harmer ve ark. (2006) 3 basamaklı liç mekanizmasını, Cu<sup>2+</sup> ve Fe<sup>2+</sup> iyonları çözeltilere geçerken, monosülfürlerin (S<sup>2-</sup>) polisülfüre (S<sub>n</sub><sup>2-</sup>) polimerizasyonu ve kısa zincirli polisülfürlerin oksitlenerek kristalin elementel kükürt (S<sup>0</sup>) oluşturması şeklinde açıklamışlardır. Elementel kükürdün etkisini azaltarak bakır çözünme hızını arttırmak amacıyla i) mikroorganizmalar yardımıyla pasif yüzeyi oksitleme (Gomez ve ark., 1996; Peterson ve Dixon, 2002), ii) sıcaklığı arttırarak yüzeyi bozundurma (Tshilombo ve ark., 2002), iii) kalkopiritin elektrokimyasal davranışının değişmesini sağlayan Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup> gibi iyonlar ekleme (Gomez ve ark., 1999), iv) iki mineral arasındaki gal-

vanik etkinin oluşmasını sağlayan mineral (örn. pirit) ekleme (Dixon ve ark., 2008) uygulanan yöntemler arasındadır.

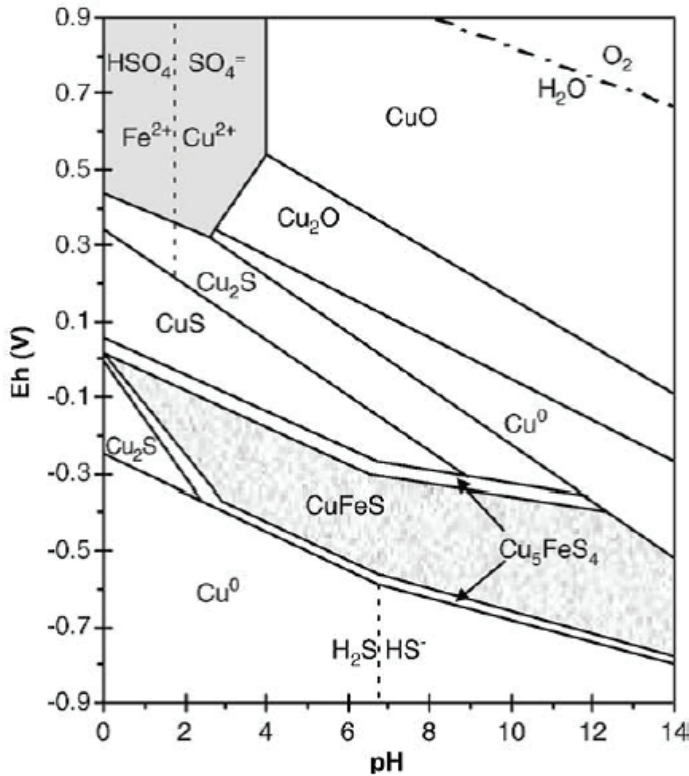
### 2.3. Demir Bileşiklerinin Oluşumu

Kalkopirit yüzey pasivasyonunun bir başka nedeni olarak demirin yüzeyde jarosit formunda çökmesi gösterilmektedir (Pinches ve ark., 1976). XPS ile yapılan incelemelerde, ferrik sülfatlı bileşiğin ( $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$ ) kalkopirit yüzeyinde oluşarak zamanla jarosite dönüşüğü ifade edilmektedir (Biggam ve ark., 1996). Yüzeyde jarosit oluşumu sıcaklıkla artmakta, pH 2'de maksimuma ulaşmaktadır. Ancak uygun pH aralığında ve sıcaklıkta bu bileşiklerin tek başına reaksiyon hızına bu kadar etki edebileceği düşünülmemektedir (Hackl ve ark., 1995).

### 3. Çözelti Potansiyeli

Kalkopirit,  $10\text{-}3\Omega\cdot\text{m}$  ( $25^\circ\text{C}$ ) dirence ve yüksek iletkenliğe sahip bir mineraldir (Biegler ve Swift, 1979). Oksitleyici bir ortamda anot gibi davranan iletken sülfürlü mineralin çözündürülmesi bir korozyon prosesi olduğundan, çoğunlukla bakırın çözünme hızı ve mekanizması elektrokimyasal olarak incelenmiştir (Hiroyoshi ve ark., 2008). Bakırın liç hızı üzerine yapılan çalışmalar, redoks potansiyelinin çözünme hızı için önemli bir faktör olduğunu göstermektedir (Hiroyoshi ve ark., 2007; Kametani ve Aoki, 1985; Okamoto ve ark., 2005; Peterson ve Dixon, 2006).

Pourbaix diyagramından da görüleceği üzere (Şekil 2) kalkopirit, asidik çözeltide ( $\text{pH}<4$ ) çözünmesi esnasında, bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), kovellin ( $\text{CuS}$ ), kalkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) gibi bakırca zengin sülfürlü ara ürünlere dönüşmektedir. Diyagrama göre bakır, redoks potansiyelinin 400 mV (SHE) üzerinde, pH'ın 4'ten küçük olması durumunda çözünmektedir (Garrels ve Christ, 1965). Ancak kalkopirit cevheri/konsantresi/minerali gerçekte bu şekilde çözünmemektedir.



Şekil 2.  $\text{CuFeS}_2\text{-H}_2\text{O}$  sistemi için Eh-pH diyagramı ( $25^\circ\text{C}$ )



Kontrollü çözeltiler potansiyelinin kalkopirit liçindeki önemini vurgulayan ilk araştırmacılar olan Kametani ve Aoki (1985), incelemelerini 90 °C 1,0 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.KMnO<sub>4</sub> çözeltisinde, Fe<sup>3+</sup> iyonlarının rejenerasyonu ile 300-650 mV (SCE) arasında yürütmüşlerdir. Kalkopirit liç hızı 400-430 mV arasında en yüksek seviyeye ulaşmış, ardından 450 mV üzerinde düşüşe geçmiştir. Bu çalışmada bulunan bu değerler birçok araştırmacıya esin kaynağı olmuştur.

Diğer bir çalışmada kalkopirit liçi, başlangıç potansiyeli 255-555 mV arasına ayarlanarak yapılmış, en iyi bakır liç verimi 455 mV (35 °C) ve 355 mV (68 °C) (SCE) potansiyellerinde elde edilmiştir. Kritik pasivasyon potansiyelinin sıcaklığa bağlı olduğu ve yüksek Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> oranının bu davranışı tetiklediği görülmüştür (Ballester ve Cordoba, 2005). Daha sonra yapılan çalışmada, mineral yüzeyinde blokajın düşük sıcaklıklarda (<50 °C) 440 mV, yüksek sıcaklıklarda (>50 °C) ise 515 mV (SCE) potansiyelde meydana geldiği ifade edilmiştir (Viramontes-Gamboa ve ark., 2007).

Hiroyoshi ve ark. (2007), oda sıcaklığında ve 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> derişimiyle gerçekleştirdikleri kalkopirit liçinde, potansiyeli ayarlamadan değişimleri gözlemleyerek, pasivasyonun 330 mV gibi düşük değerlerde başladığını, Bi<sup>3+</sup> ve Ag<sup>+</sup> iyonlarının çözeltiliye eklenmesiyle pasivasyon potansiyelinin daha yüksek değerlere çekildiğini ifade etmişlerdir. Ancak Pd<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, and Mn<sup>2+</sup> gibi diğer iyonların bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Kalkopirit liçinde optimum potansiyelin (SHE) aşağıdaki denklemle hesaplanabileceği belirtilmiştir (Hiroyoshi ve ark., 2008). Denklem, 374-440 mV (SCE) arasında  $C_{Fe^{2+}} = 0,1$  M,  $C_{H_2SO_4} = 0,1$  M ve  $C_{Cu^{2+}} = 0,01-1,0$  M iken geçerli olmaktadır.

$$E_{\text{optimum}} = 0,691 + 0,030\log C_{Cu^{2+}} + 0,013\log C_{Fe^{2+}} \quad (5)$$

Benzer bir çalışmada, kalkopiritten kalkozinin oluştuğu kritik potansiyelden düşük değerlerde,  $E_{ox} < E < E_c$ , liçin daha hızlı olduğu (30 °C, pH~1,5) varsayılarak aşağıdaki denklemler verilmiştir (Hiroyoshi ve ark., 2000).  $E_{ox}$ , Cu<sub>2</sub>S yükseltgenme potansiyelini,  $E_c$ , kalkozin oluşumu için gerekli kritik potansiyeli (SHE) ifade etmektedir.

$$E_c = 0,681 + 0,059\log[(a_{Cu^{2+}})^{0,75} + (a_{Fe^{2+}})^{0,25}] \quad (6)$$

$$E_{ox} = 0,561 + 0,059\log[(a_{Cu^{2+}})^{0,5}] \quad (7)$$

Çoęu çalışmada, optimum redoks potansiyeli değerine kadar potansiyel arttıkça hızın arttığı, bu değere ulaşıldığında ise azalmaya başladığı, ancak çok yüksek potansiyelerde çözünme hızını etkilemediği belirtilmiştir (Cordoba ve ark., 2009).

#### 4. Oksidan ve Katalitik Türler

Bakır çözünme hızını arttırabilmek için çoğu araştırmacı kalkopiritten bakır çözünme hızını arttıran Fe<sup>3+</sup> (ferrik), Fe<sup>2+</sup> (ferroz), Cu<sup>2+</sup> (kuprik), Ag<sup>+</sup> gibi iyonlar veya pirit minerallerden yararlanmıştır (Hiroyoshi ve ark., 1997; Ballester ve ark., 2007; Lundström ve ark., 2005; Cordoba ve ark., 2008).

##### 4.1. Fe<sup>3+</sup> ve Fe<sup>2+</sup> İyonlarının Etkisi

Sullivan (1933), Dutrizac ve ark. (1969), Linge (1976), Munoz ve ark. (1979) ve Kametani ve Aoki (1985), 0,01 M'a kadar ferrik derişimlerinin çözünme üzerinde kinetik etkisinin olduğunu

savunmuşlardır. Yürütülen pek çok çalışma, klorür ve/veya sülfatlı ortamda gerçekleştirilmiş ve çözünme kinetiği incelenmiştir. Kalkopiritin ferrik klorür liçi ilk olarak Traill ve McClelland (1926) tarafından 70 g.L<sup>-1</sup> derişimde, 95 °C’de yapılmış ve 5 saat sonunda % 90 Cu, % 60–70 Fe verimi elde edilmiştir. Ichikuni (1960) ferrik sülfatla yaptığı incelemelerde, reaksiyon başlangıcında klorürlü ortama göre demirin daha önce çözüldüğünü belirlemiştir. Dutrizac ve ark. (1969), sinterlenmiş kalkopirit disklerinin çözeltilmesini yaptıkları çalışmada, hız belirleme basamağının, ferrik sülfatın kükürt tabakasından taşınımı olduğunu belirtmiştir. Daha sonraki çalışmada, 95 °C’de yapılan liç sonunda mineral yapısındaki sülfürün hemen hepsinin elementel kükürde oksitlendiğini ifade etmişlerdir (% 94). Yüksek sıcaklık ve oksijen basıncında (0,69 MPa) yapılan çalışmalarda, sıcaklık 110 °C’den 200 °C’ye çıktığında sülfürün sülfata dönüşme oranı % 72 oranında artmıştır (Dutrizac, 1978).

Kalkopiritin iki aşamalı ferrik sülfat liçi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Hiroyoshi ve ark., 2008). Oluşan ara ürünün (kovellin), ferrik iyon etkisiyle kalkopiritten daha hızlı çözüldüğü belirtilmektedir.



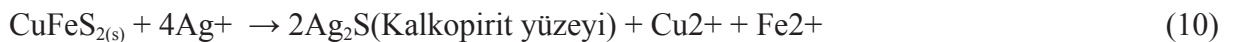
Kalkopirit yüzeyindeki anodik reaksiyonun çok yavaş olması nedeniyle, çok yüksek derişimlerde bile ferroz iyonlarının bakır liç hızına bir etkisi olmadığı ifade edilmektedir (Dutrizac, 1978; Jones ve Peters, 1976; Majima ve ark., 1985; Hirato ve ark., 1986). Kuprik iyonlarının klorür iyonlarıyla kompleks yapması nedeniyle ferrik klorür liçinde katalitik etki yarattığı belirtilmektedir (Jones ve Peters, 1976; Bonan ve ark., 1981).

#### 4.2. Cu<sup>2+</sup> İyonunun Etkisi

Kalkopiritin sülfat liçinde, kuprik (Cu<sup>2+</sup>) iyonlarının tek başına liç hızını etkilemediği (Dutrizac, 1981; Munoz ve ark., 1979), ancak klorür liçinde ferrik iyonları varlığında bakırın çözünme hızını arttırdığı belirtilmektedir (Jones ve Peters, 1976). Kuprik iyonlarının yanı sıra bulunan ferrik iyonları, ortamdaki kuproz (Cu<sup>+</sup>) iyonlarının derişimini azaltıp, Cu<sup>2+</sup>/Cu<sup>+</sup> redoks çiftine ait potansiyeli ve Cu<sup>2+</sup> iyonunun aktifliğini artırarak bakırın kalkopirit yüzeyindeki dönüşümünü sağlamaktadır (Parker ve ark., 1981). Hiroyoshi ve ark. (2001), Fe<sup>2+</sup> ve Cu<sup>2+</sup> sülfatlı çözeltilerle yaptıkları kalkopirit liçinde, ortamda ferrik iyonu bulunmadığı durumlarda, bu iyonların bakır liç veriminin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Ferrik iyonları varlığında ise Fe<sup>2+</sup> iyonlarıyla, Cu<sup>2+</sup> iyonlarına göre daha yüksek liç verimi elde edilmiştir.

#### 4.3. Ag<sup>+</sup> İyonunun Etkisi

Demir ve bakır dışında gümüş iyonlarının da bakır liçinde sülfürlü yüzeye adsorbe olarak katalitik etki yarattığı ön görülmüştür. Pawlek (1976), gümüş iyonları varlığında, 110 °C ve 100 kPa basınç altında yaptığı kalkopirit liçinde, 30 dakika sonunda bakırın tamamının çözeltilmeye geçtiğini belirtmiştir. Bunun sebebi olarak liç esnasında oluşan kükürt tabakasının gözenekli olması ve Ag<sub>2</sub>S kristalleri üzerinde birikmeye devam etmeleri gösterilmektedir (Miller ve Portillo, 1979; Burkin, 1982). Bunun yanı sıra gümüş sülfür tabakasının, elektronların mineral yüzeyine taşınmasına izin veren yüksek elektrik iletkenliği sağladığı ifade edilmiştir (Price ve Warren, 1986).





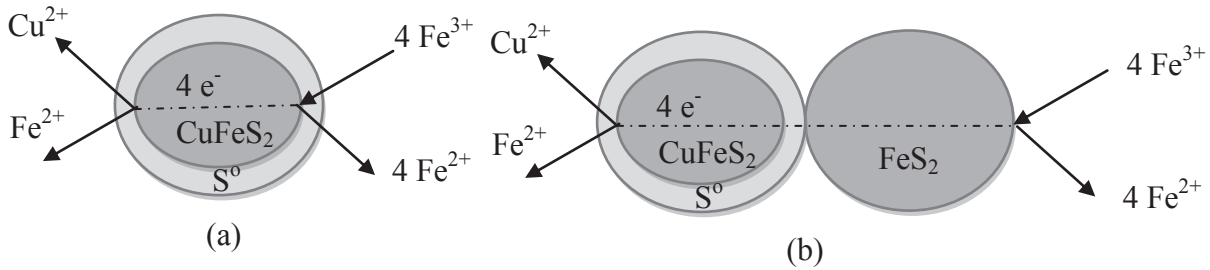
Ancak gümüş iyonlarının aşırısının, mineral yüzeyinde gümüş sülfat veya jarosit olarak çökelebileceği de iddia edilmektedir (Carranza ve ark., 1997; Bolorunduro ve ark., 2003).



Cordoba ve ark. (2008), demir sülfat tuzlarıyla redoks potansiyelini ayarladıkları, pH 1,8 ve 35-68 °C'de 1 g Ag/kg Cu ile yürüttükleri çalışmalarında, kalkopirit çözünme hızının redoks potansiyeli ile arttığını belirtmişlerdir. Aşırı gümüş eklendiğinde kalkopirit yüzeyi kovellin (CuS) ve geerite (Cu<sub>8</sub>S<sub>5</sub>) dönüşerek galvanik etkinin (CuFeS<sub>2</sub>/Ag<sub>2</sub>S) oluşumunu engellemiştir. Kalkopirit liçi, gümüş iyonları sayesinde 5 kat daha az aktivasyon enerjisine (29,25 kJ/mol) ihtiyaç duymaktadır. Gümüşle katalizlenmiş liçin elektrokimyasal, kimyasal ve difüzyon kontrollü olduğu gösterilmiştir.

#### 4.4. Pirit Kullanımı

Mineral yüzeyiyle temasta olmayan pirit gibi fazların, genellikle kalkopiritten daha hızlı çözüldüğü, ancak yüzeyleri galvanik etkileşimde oldukları durumda piritin kalkopirit çözünmesini hızlandırdığı düşünülmektedir (Berry ve ark., 1978; Dixon ve ark., 2008) (Şekil 3).



Şekil 3. Kalkopiritin ferrik iyonlarıyla liçi (a) pirit yokluğunda, (b) pirit varlığında

Mehta ve Murr (1983) bakteri liç şartlarında yaptıkları çalışmalarda, piritin bakır çözünmesini hızlandırdığını, liç başında parabolik olan çözünme eğrisinin işlem sonuna doğru lineer davranış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Pirit, ferrik iyonunun indirgenmesi için alternatif bir katodik yüzey oluşturarak çözeltilerdeki Fe<sup>3+</sup> miktarını ayarlamaktadır. Bu sayede kalkopiritin anodik çözünme hızı artmaktadır (Tshilombo, 2004). Bu etki karışım potansiyeli ve alan oranlarıyla açıklanmaktadır;

$$\frac{A_a}{A_c} = \frac{\theta_{cp}}{(1-\theta_{cp})+\beta} \quad (13)$$

A<sub>a</sub> ve A<sub>c</sub> sırasıyla, anodik ve katodik yüzey alanını; θ<sub>cp</sub>, kalkopirit yüzeyindeki anodik alanı, β, pirit yüzey alanının kalkopirit yüzey alanına oranını ifade etmektedir. Karışım potansiyelinde, anodik akım katodik akımlarla dengededir. Katodik alanın artması karışım potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4'ten görüldüğü gibi potansiyel ve akım arasındaki ilişki lineerdir ve pirit eklenmesiyle artan katodik alan sayesinde karışım potansiyeli artarak liç hızını arttırmaktadır (Kelly ve ark., 2003). Pirit eklenerek yapılan çalışmalarda, çözelti potansiyeli Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> sülfat tuzlarıyla ayarlanmaktadır (Koleini ve ark., 2011; Nazari ve ark., 2011). Atmosferik basınçta, 85 °C'de gerçekleştirilen incelemelerde 24 satten kısa sürelerde % 80 üzerinde Cu verimi elde etmişlerdir (Koleini ve ark., 2011). Farklı çözelti potansiyellerinin (390-460 mV, SCE) etkisinin araştırıldığı çalışmada en yüksek Cu verimi 410 mV'da elde edilmiştir.



British Columbia Üniversitesinde kalkopiritten bakır liçi için geliştirilen ve atmosferik şartlarda uygulanan Galvanox yönteminde piritin galvanik etkisinden ve gümüşün katalitik özelliğinden yararlanarak kısa sürede (<12 saat) bakırın tamamına yakını (% 96) çözülebilmektedir (Dixon ve ark., 2008). Yöntemde % 22 Cu tenörlü kalkopirit konsantrasyonunun % 90'ı Galvanox sistemine, % 10'u da basınçlı sisteme beslenmektedir. Basınçlı sistem, asit ve ferrik iyonu ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Oksijen (hava), pirit ve gümüş verilerek düşük elektrot potansiyellerinde ve 80 °C'de yapılan liç sonrasında elde edilen çözeltiden bakır, solvent ekstraksiyonu ve elektroliz ile kazanılmaktadır (Şekil 5). Sisteme eklenen piritin %96-98 kadarı geri kazanılarak tekrar liç ünitesine beslenmektedir. Gümüş sülfür halinde çökelen gümüş ise  $CuCl_2$  ile  $AgCl$  formuna dönüştürülerek  $Na_2S_2O_3$  ile liç edilmektedir.

## **5. Sonuçlar ve Tartışma**

Primer sülfürlü bakır cevheri olan kalkopiritin atmosferik ortamda klorür ve sülfat çözeltileriyle yapılan çözündürme işlemi, günümüzde hali hazırda tesis boyutunda uygulanmakta olan örneklerinden de görüleceği üzere uzun zaman almaktadır. Otuz yılı aşkın süredir yapılan çalışmalar, bu davranışın mineral yüzeyindeki pasivasyondan kaynaklandığını ortaya çıkarmıştır. Günümüze kadar yapılan pekçok araştırmada pasivasyona neden olarak elementel kükürt, metal-eksikli- veya poli-sülfürler, demir oksitlerin oluşumu belirtilmesine rağmen halen kesin bir yargıya varılamamıştır. Bunun nedeni yüzeyde oluşan bu bileşiklerin birkaç mikron boyutunda olması ve geliştirilen elektrokimyasal ya da spektrofotometrik yöntemlerle incelenmesinin güç olmasıdır. Elementel kükürdün iyon difüzyonuna engel olup olmadığı hala tartışma konusu olsa da mineral yüzeyinde klorürlü liç ortamında poroz yapıda, sülfatlı çözeltide ise yoğun yapıda olduğu ortak kanıdır. Yüksek sıcaklıklarda (>120 °C) yürütülen proseslerde bu oluşumu engellemek için çeşitli yüzey aktif maddeler ve aktif kömür kullanılmaktadır. Metal-eksikli sülfürlerin işlem başlangıcında yüzeyde oluşarak çözünmeyi yavaşlattığını savunan araştırmacılar ise bu oluşumların çözelti potansiyelinden kaynaklandığını belirtmektedir. Son zamanda geliştirilen liç yöntemlerinde de  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  derişimi, çözelti potansiyelinin yüzeyin pasivize olmaya başladığı kritik potansiyele ulaşmamasını sağlamak amacıyla takip edilmektedir. Sıcaklığa ve toplam demir derişimine göre değişiklik gösteren potansiyelin 450-500 mV (SCE) arasında tutulmasının kalkopirit liçinde çok önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan araştırmalardan görülmektedir ki, yüzeyde elementel kükürt ve metal-eksikli sülfürlerin oluşması kaçınılmaz olmasına karşın, bu türlerin etkilerini azaltmak mümkün olabilmektedir. Örneğin pirit ve/veya gümüşle katalizlenmiş pilot çaplı uygulanmakta olan yöntemler sayesinde günlerce sürebilen bakırın atmosferik liçi, yüzeydeki sülfürün poroz hale getirilmesi ve potansiyelin belli seviyelerde tutulmasıyla kısa sürelerde tamamlanabilmektedir.

## **Kaynaklar**

- Antonijevic, M.M., Bogdanovic, G.D., 2004. Investigation of the leaching of chalcopirite ore in acidic solutions. *Hydrometallurgy*. 73, 245–256.
- Ballester, A., Córdoba, E., 2005. Hidrometalurgia de la calcopirita. In: Menacho, J., Casas de Prada, J. (Ed.), *Hydrocopper 2005*. Universidad de Chile, Santiago, 19–41.
- Berry, V.K., Murr, L.E., Hiskey, J.B., 1978. Galvanic interaction between chalcopirite and pyrite during bacterial leaching of lowgrade waste. *Hydrometallurgy*. 3, 309–326.
- Biegler, T., Swift, D.A., 1979. Anodic electrochemistry of chalcopirite. *Journal of Applied Electrochemistry*. 9, 545–554.
- Bigham, J.M., Schwertmann, U., Traina, S.J., Winland, R.L., Wolf, M., 1996. Schwertmannite and the chemical modeling of iron in acid sulfate waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60, 2111–2121.
- Bolorunduro, S.A., Dreisinger, D.B., Van Weert, G., 2003. Fundamental study of silver deport-



- ment during the pressure oxidation of sulphide ores and concentrates. *Minerals Engineering*. 16, 695–708.
- Bonan, M., Demarthe, J.M., Renon, H., Baratin, F., 1981. Chalcopyrite leaching by  $\text{CuCl}_2$ . *Metallurgical Transaction B*. 12B, 269–274.
- Burkin, A.R., 1969. Solid-state transformations during leaching. *Minerals Science and Engineering*. 1, 4–14.
- Burkin, A.R., 1982. Composition and phase changes during oxidative acid leaching reactions. In: Bautista, R.G. (Ed.), *Hydrometallurgical Process Fundamentals*. Plenum Press, NY, 113–123.
- Carranza, F., Palencia, I., Romero, R., 1997. Silver catalyzed IBES process: application to a Spanish copper–zinc sulphide concentrate Part 1. *Hydrometallurgy*. 44, 29–42.
- Córdoba, E.M., Muñoz, J.A., Blázquez, M.L., González, F., Ballester, A., 2008. Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part II: effect of redox potential. *Hydrometallurgy*. 93, 88–96.
- Córdoba, E.M., Muñoz, J.A., Blázquez, M.L., González, F., Ballester, A., 2009. Passivation of chalcopyrite during its chemical leaching with ferric ion at 68 °C. *Minerals Engineering*. 22, 229–235.
- Dixon, D.G., Mayne, D.D., Baxter, K.G., 2008. Galvanox™ – a novel galvanically assisted atmospheric leaching technology for copper concentrate. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 47, 327–336.
- Dutrizac, J.E., MacDonald, R.J.C., Ingraham, T.R., 1969. The kinetics of dissolution of synthetic chalcopyrite in aqueous acidic ferric sulphate solutions. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*. 245, 955–959.
- Dutrizac, J.E., 1978. The kinetics of dissolution of chalcopyrite in ferric ion media. *Metallurgical Transactions B—Process Metallurgy*. 9, 431–439.
- Dutrizac, J.E., 1981. The dissolution of chalcopyrite in ferric sulphate and ferric chloride media. *Metallurgical Transactions B*. 12, 371–378.
- Dutrizac, J.E., 1989. Elemental sulfur formation during the ferric sulfate leaching of chalcopyrite. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 28, 337–344.
- Garrels, R.M., Christ, C.L., 1965. *Solution, Minerals, and Equilibria*. Harper & Row, New York, 213–233.
- Gómez, C., Figueroa, M., Muñoz, J.A., Blázquez, M.L., Ballester, A., 1996. Electrochemistry of chalcopyrite. *Hydrometallurgy*. 43, 331–344.
- Gomez, E., Ballester, A., Blazquez, M.L., Gonzaez, F., 1999. Silver-catalysed bioleaching of a chalcopyrite concentrate with mixed cultures of moderately thermophilic microorganisms. *Hydrometallurgy*. 51 (1), 37–46.
- Hackl, R.P., Dreisinger, D.B., Peters, E., King, J.A., 1995. Passivation of chalcopyrite during oxidative leaching in sulfate media. *Hydrometallurgy*. 39, 25–48.
- Harmer, S.L., Thomas, J.E., Fornasiero, D., Gerson, A.R., 2006. The evolution of surface layers formed during chalcopyrite leaching. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 70, 4392–4402.
- Havlik, T., Kammel, R., 1995. Leaching of chalcopyrite with acidified ferric chloride and carbon-tetrachloride addition. *Minerals Engineering*. 8 (10), 1125–1134.
- Hirato, T., Kinoshita, M., Awakura, Y., Majima, H., 1986. The leaching of chalcopyrite with ferric chloride. *Metallurgical Transactions B, Process Metallurgy*. 17, 19–28.
- Hiro Yoshi, N., Hirota, M., Hirajima, T., Tsunekawa, M., 1997. A case of ferrous sulfate addition enhancing chalcopyrite leaching. *Hydrometallurgy*. 47, 37–45.
- Hiro Yoshi, N., Miki, H., Hirajima, T., Tsunekawa, M., 2000. A model for ferrous promoted chalcopyrite leaching. *Hydrometallurgy*. 57, 31–38.

- Hiroyoshi, N., Miki, H., Hirajima, T., Tsunekawa, M., 2001. Enhancement of chalcopyrite leaching by ferrous ions in acidic ferric sulfate solutions. *Hydrometallurgy*. 60, 185–197.
- Hiroyoshi, N., Kuroiwa, S., Miki, H., Tsunekawa, M., Hirajima, T., 2007. Effects of coexisting metal ions on the redox potential dependence of chalcopyrite leaching in sulfuric acid solutions. *Hydrometallurgy*. 87 (1–2), 1–10.
- Hiroyoshi, N., Kitagawa, H., Tsunekawa, M., 2008. Effect of solution composition on the optimum redox potential for chalcopyrite leaching in sulfuric acid solutions. *Hydrometallurgy*. 91, 144–149.
- Ichikuni, M., 1960. The dissolution of sulphide minerals in various media. III. Factors intervening in the dissolution of chalcopyrite. *Bulletin of Chemical Society of Japan*. 33, 1159–1162.
- Jones, D.L., Peters, E., 1976. Leaching of chalcopyrite with ferric sulfate and ferric chloride. *Extractive Metallurgy of Copper, International Symposium*, 2, 633–653.
- Klauber, C., Parker, A., van Bronswijk, W., Watling, H., 2001. Sulphur speciation of leached chalcopyrite surfaces as determined by X-ray photoelectron spectroscopy. *International Journal of Mineral Processing*. 62, 65–94.
- Klauber, C., 2008. A critical review of the surface chemistry of acidic ferric sulphate dissolution of chalcopyrite with regards to hindered dissolution. *International Journal of Mineral Processing*. 86, 1–17.
- Kametani, H., Aoki, A., 1985. Effect of suspension potential on the oxidation rate of copper concentrate in sulphuric acid solution. *Metallurgical Transactions B*. 16B, 695–705.
- Kelly, G.R., Scully, J.R., Shoesmith, W.D., Buchheit, R.G., 2003. *Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering*. Marcel Dekker, NY.
- Koch, D.F.A., McIntyre, R.J., 1976. The application of reflectance spectroscopy to a study of the anodic oxidation of cuprous sulfide. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 71, 285–296.
- Koleini, S.M.J., Aghazadeh, V., Sandström, A., 2011. Acidic sulphate leaching of chalcopyrite concentrates in presence of pyrite. *Minerals Engineering*. 24, 381–386.
- Lázaro, I., Martínez-Medina, N., Rodríguez, I., Arce, E., González, I., 1995. The use of carbon paste electrodes with non-conducting binder for the study of minerals: chalcopyrite. *Hydrometallurgy*. 38, 277.
- Lazaro, I., Nicol, M.J., 2003. The mechanism of the dissolution and passivation of chalcopyrite: an electrochemical study. In: Young, C. (Ed.), *Hydrometallurgy 2003, Proceedings of the International Symposium honoring Professor Ian M. Ritchie, 5th, Vancouver, BC, Canada, Aug. 24–27, Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale PA*. 1, 405–417.
- Lazaro, I., Nicol, M.J., 2006. A rotating ring-disk study of the initial stages of the anodic dissolution of chalcopyrite in acidic solutions. *Journal of Applied Electrochemistry*. 36, 425–431.
- Li, J., Kawashima, N., Kaplun, K., Absolon, V.J., Gerson, A.R., 2010. Chalcopyrite leaching: the rate controlling factors. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 74, 2881–2893.
- Linge, H.G., 1976. A study of chalcopyrite dissolution in acidic ferric nitrate by potentiometric titration. *Hydrometallurgy*. 2, 51–64.
- Lu, Z.Y., Jeffrey, M.I., Lawson, F., 2000. An electrochemical study of the effect of chloride ion on the dissolution of chalcopyrite in acid solutions. *Hydrometallurgy*. 56, 145–155.
- Lundström, M., Aromaa, J., Forsen, O., Hyvarinen, O., Barker, M.H., 2005. Leaching chalcopyrite in cupric chloride solution. *Hydrometallurgy*. 77, 89–95.
- Majima, H., Awakura, Y., Hirato, T., Tanaka, T., 1985. The leaching of chalcopyrite in ferric chloride and ferric sulfate solutions. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 24 (4), 283–291.
- McMillan, R.S., MacKinnon, D.J., Dutrizac, J.E., 1982. Anodic dissolution of n-type and p-type

- chalcopyrite. *Journal of Applied Electrochemistry*. 12, 743–757.
- Mehta, A.P., Murr, L.E., 1983. Fundamental studies of the contribution of galvanic interaction to acid-bacterial leaching of mixed metal sulfides. *Hydrometallurgy*. 9, 235–256.
- Miller, J.D., Portillo, H.Q., 1979. Silver catalysis in ferric sulphate leaching of chalcopyrite. In: Lawkosky, A.J. (Ed.), 13th International Mineral Processing Congress. Part A. Elsevier, Amsterdam, 851–901.
- Munoz, P.B., Miller, J.D., Wadsworth, M.E., 1979. Reaction mechanism for the acid ferric sulfate leaching of chalcopyrite. *Metallurgical Transactions B: Process Metallurgy*. 10B, 149–158.
- Nava, D., González, I., Leinen, D., Ramos-Barrado, J.R., 2008. Surface characterization by X-ray photoelectron spectroscopy and cyclic voltammetry of products formed during the potentiostatic reduction of chalcopyrite. *Electrochimica Acta*. 53, 4889–4899.
- Nazari, G., Dixon, D.G., Dreisinger, D.B., 2011. Enhancing the kinetics of chalcopyrite leaching in the Galvanox™ process. *Hydrometallurgy*. 105, 251–258.
- Okamoto, H., Nakayama, R., Kuroiwa, S., Hiroyoshi, N., Tsunekawa, M., 2005. Normalized redox potential used to assess chalcopyrite column leaching. *Journal of MMIJ*. 121, 246–254.
- Page, P.W., 1988. Electrochemical behaviour of pyrite, pyrrhotite, pentlandite and chalcopyrite. Doktora tezi, University of London, London.
- Parker, A.J., Paul, R.L., Power, G.P., 1981. Electrochemistry of the oxidative leaching of copper from chalcopyrite. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*. 118, 305–316.
- Pawlek, F.E., 1976. The influence of grain size and mineralogical composition on the leachability of copper concentrates. *Extractive metallurgy of copper, AIME, NY*. 2, 690–705.
- Pinches, A., Al-Jaid, F.O., Williams, D.J.A., 1976. Leaching of chalcopyrite concentrates with thiobacillus ferrooxidans in batch culture. *Hydrometallurgy*. 2, 87–103.
- Price, D.W., Warren, G.W., 1986. The influence of silver ion on the electrochemical response of chalcopyrite and other mineral sulfide electrodes in sulfuric acid. *Hydrometallurgy*. 15, 303–324.
- Sequeira, C.A.C., Santos, D.M.F., Chen, Y., Anastassakis, G., 2008. Chemical metathesis of chalcopyrite in acidic solutions. *Hydrometallurgy*. 92, 135–140.
- Stott, M.B., Watling, H.R., Franzmann, P.D., Sutton, D., 2000. The role of iron-hydroxy precipitates in the passivation of chalcopyrite during bioleaching. *Minerals Engineering*. 13, 1117.
- Sullivan, J.D., 1933. Chemical and physical features of copper leaching. *Transactions of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*. 106, 515–546.
- Traill, R.J., McClelland, W.R., 1926. Investigations in Ore Dressing and Metallurgy, Department of Mines, Mines Branch, Rep., Ottawa. 688, 101–109.
- Tshilombo, A.E., Peteson, J., Dixon, D.G., 2002. The influence of applied potentials and temperature on the electrochemical response of chalcopyrite during bacterial leaching. *Minerals Engineering*. 15 (11), 809–813.
- Tshilombo, A.F., 2004. Mechanism and kinetics of chalcopyrite passivation and depassivation during ferric and microbial leaching solutions. Doktora Tezi, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
- Viramontes-Gamboa, G., Rivera-Vásquez, B.F., Dixon, D.G., 2007. The active-to-passive transition of chalcopyrite. *Journal of Electrochemical Society*. 154, C299–C311.
- Warren, G.W., Wadsworth, M.E., El-Raghy, S.M., 1982. Passive and transpassive anodic behaviour of chalcopyrite in acid solutions. *Metallurgical Transactions B, Process Metallurgy*. 13B, 571–579.

- Yoo, K., Kim, S.-K., Lee, J.-C., Ito, M., Tsunekawa, M., Hiroyoshi, N., 2010. Effect of chloride ions on leaching rate of chalcopyrite. *Minerals Engineering*. 23, 471–477.
- Yu, P.H., Hansen, C.K. ve Wadsworth, M.E., 1973, A kinetic study of the leaching of chalcopyrite at elevated temperatures, *Metallurgical and Materials Transactions B*. 4 (9), 2137-2144.





## Makale Yazım Kuralları

### 1.Dergi Hakkında

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

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

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

### 2.Yazıların Telif Hakları

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

### 3.Yazıların Hazırlanması

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

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

#### 3.1 Makale Bölüm Sıralaması

Makaleler aşağıdaki başlık sıralamasına uygun bir biçimde hazırlanmalıdır.

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

Sonuçlar ve Tartışma  
Katkı Belirtme ve Teşekkür  
Referanslar

### 3.1.2 Başlık

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

### 3.1.2 Yazarlar

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

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

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

C. Okay Aksoy<sup>1\*</sup>, Bülent Kaypak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Ankara

\* Sorumlu Yazar: [okay.aksoy@deu.edu.tr](mailto:okay.aksoy@deu.edu.tr)

### 3.1.3 Özet, Abstract ve Anahtar Kelimeler

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

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

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

### **3.2 Makalenin Ana Gövdesi**

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

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

#### **3.2.1 Başlıklar ve Bölüm Numaralandırmaları**

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

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

#### **3.2.2 Giriş**

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

#### **3.2.3 Gereç ve Yöntemler**

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

#### **3.2.4 Tartışma ve Sonuçlar**

Bu bölümde çalışmanın sonuçları ve önemi tartışılarak açıklanmalıdır.

#### **3.2.5 Ekler**

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

#### **3.2.6 Katkı Belirtme ve Teşekkür**

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

### **3.3 Kaynaklar ve Atıflar**

#### **3.3.1 Metin İçinde Atıf**

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

### 3.3.2 Referans Şekli

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

### 3.3.3 Metin

Metin içinde her referansta bakılmalıdır:

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

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

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

### 3.3.4 Kaynakların Listelenmesi

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

#### **Basılmış Dergiye Referanslar**

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

#### **Kitaba Referanslar**

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

#### **Düzenlenmiş Bir Kitaptaki Bölüme Referans**

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

#### **Raporlar ve Tezler**

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

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

#### **Kişisel Görüşme**

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

#### **İnternet Kaynakları**

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

[www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/](http://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<sub>2</sub>, x<sup>2</sup>).

### 4.4 Dipnotlar

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

### 4.5 Tablo Dipnotları

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

### 4.6 Şekil, Çizim ve Fotoğraflar

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

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

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



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

#### **4.7 Şekil Başlıkları**

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

#### **4.8 Tablolar**

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

### **5. Makalelerin Dergiye Gönderilmesi**

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

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

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

### **6. Yayına Kabul Edilen Makaleler Hakkında**

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

## Article Writing Norms

### 1. About Journal

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

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

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

### 2. Copyrights of Articles

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

### 3. Preparation of the Articles

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

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

#### 3.1 Article Outline

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

## Contributions and Thanks References

### 3.1.2 Headline

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

### 3.1.2 Authors

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

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

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

C. Okay Aksoy<sup>1\*</sup>, Bülent Kaypak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, İzmir*

<sup>2</sup>*Ankara University,, Engineering Faculty, Department of Geophysical, Ankara*

\* *Responsible Author: [okay.aksoy@deu.edu.tr](mailto:okay.aksoy@deu.edu.tr)*

### 3.1.3 Summary, Abstract and Key Words

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

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

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

## **3.2 Outline of the Article**

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

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

### **3.2.1 Headings and Numbering the Sections**

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

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

### **3.2.2 Introduction**

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

### **3.2.3 Instruments and Methods**

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

### **3.2.4 Discussion and Conclusions**

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

### **3.2.5 Appendixes**

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

### **3.2.6 Contributions and Thanks**

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

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

### **3.3 Resources and References**

#### **3.3.1 Internal references in article**

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

#### **3.3.2 Form of Reference**

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

#### **3.3.3 Text**

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

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

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

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

#### **3.3.4 Listing of Resources**

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

##### **References Printed To Magazine**

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

##### **References Printed To Book**

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

##### **References To An Edited Part Of A Book**

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

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

#### **Personal Dialogue**

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

#### **Internet Resources**

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

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

### **4. Other Points to Take into Account**

#### **4.1 Abbreviations**

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

#### **4.2 Scales**

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

#### **4.3 Mathematical Formulas**

In present basic formulas, for fractional expressions in text, “solidus” (/) should be used rather than a horizontal line. For example, (X/Y). In principles, variables are presented in italics. e's powers should be given with the use of (exp). Any referred, sequentially numbered equations are indicated separately from the text. Subscripts and superscripts used in equalities should be indicated explicitly and in lower character fonts (for example; CO<sub>2</sub>, x<sup>2</sup>).

#### **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](mailto:o.aksoy@mtbilimsel.com)

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

#### **6. About the Articles Accepted for Printing**

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