

MADENCİLİK

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI DERGİSİ
THE JOURNAL OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY

MART CİLT SAYI
MARCH VOLUME NUMBER
2016 55 1

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

M. Kemal Özfirat, Mustafa Emre Yetkin, Ferhan Şimşir, Bayram Kahraman	3	UZUNAYAK ÜRETİMİNDEKİ MEVCUT TEHLİKE KAYNAKLARININ İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ <i>ASSESSMENT OF CURRENT HAZARD SOURCES IN LONGWALL PRODUCTION IN TERMS OF WORK SAFETY</i>
Adnan CEYLAN, Gülay BULUT	17	SIİRT-MADENKÖY BAKIR CEVHERİNİN FLOTASYON YÖNTEMİYLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ <i>BENEFICATION OF SIİRT-MADENKÖY COPPER ORE BY FLOTATION METHOD</i>
Hasan Ergin, Ömür Acaroğlu, Melis Toker, Bahadır Ergener, Deyvi Akkriş	27	ROTARİ SONDAJ MATKAPLARININ OPTİMUM SEÇİMİ VE İŞLETİLMESİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM <i>A NEW METHOD TO OPTIMIZE THE ROTARY DRILL BIT SELECTION AND OPERATION</i>
İrfan Celal Engin, Norbert Maerz	35	PATLATMA SONUÇLARININ ANALİZİNDE YERSEL LAZER TARAYICILARIN (LiDAR) KULLANIMI <i>THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING (LiDAR) FOR THE ANALYSIS OF BLASTING RESULTS</i>

MADENCİLİK dergisi yazı dizin ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / INDEXED in
*IMM Abstracts, GeoRef, Aluminium Industry Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts,
PASCAL, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLIT2, ENERGY, Compendex*

Abone Koşulları:

Yıllık abone bedeli 100,00 TL'dir.

Subscription

Annual subscription rate is 100,00 TL. All
subscription inquiries should be made to the
correspondence address.

Banka Hesap No:

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Şubesi:
IBAN: TR43 0006 4000 0014 2130 008120

T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi:
IBAN: TR19 0001 0006 8539 0090 315001

Posta Çeki Hesap No: 86665

By bank transfer to (USD account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR860006400000242130774805

By bank transfer to (EURO account)

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR190006400000242130784644

ISSN: 0024-9416



* 0 0 2 4 - 9 4 1 6 *

UZUNAYAK ÜRETİMİNDEKİ MEVCUT TEHLİKE KAYNAKLARININ İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSMENT OF CURRENT HAZARD SOURCES IN LONGWALL PRODUCTION IN TERMS OF WORK SAFETY

M. Kemal Özfırat*
Mustafa Emre Yetkin**
Ferhan Şimşir***
Bayram Kahraman****

ÖZET

Uzunayak üretim yöntemi, yeraltı kömür madenciliğinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Uzunayak üretim yönteminde ayak içerisinde üretim yapılan bölge ortam koşullarına ve kömür oluşumuna bağlı olarak birçok tehlike faktörü içermektedir. Bu çalışmada, Fine-Kinney risk analizi metodu kullanılarak uzunayakta risk analizi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Fine-Kinney risk analizinden elde edilen sonuçlara göre ayak içinde meydana gelmesi beklenen tehlikelere karşı önlemler listelenmiştir. Uzunayaklarda üretim sırasında uygulanan işlemler sınıflandırılmış ve bu işlemlere ait R risk puanları Fine-Kinney risk analizi yöntemi ile hesaplanmıştır. Özellikle grizulu kömür ocaklarında üretim yapılması sırasında grizunun tehlikeli olabilecek konsantrasyona ulaşmasını önlemeye yönelik kontrollü çalışılması gerekliliği vurgulanmıştır.

ABSTRACT

Longwall mining is one of the most used methods to mine out coal in underground. This method contains some hazard factors in relation to the area of production and coal formation. In this study, risk analysis of longwall production method is made using Fine-Kinney risk analysis method. The potential hazards that may occur in the face are handled, these potential hazards are classified by using Fine-Kinney risk analysis method and according to results obtained, measures are listed to prevent these hazards in the face. The applied operations in longwall production are classified and R risk points of these operations are calculated using Fine-Kinney risk analysis method. It is pointed out that especially in mines where methane explosion may occur, countermeasure and control should be taken in order to prevent methane explosion.

Anahtar Kelimeler: Risk analizi, uzunayak üretim yöntemi, Fine-Kinney

Keywords: Risk analysis, longwall production method, Fine-Kinney

* Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., İZMİR, kemal.ozfirat@deu.edu.tr
** Araş.Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., İZMİR
*** Prof.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., İZMİR
**** Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., İZMİR

GİRİŞ

Hızlı gelişen teknolojiyle birlikte ham madde ihtiyacı artmış, yapılan işlemler karmaşıklaşmış ve bunların neticesinde tehlikeler artmıştır. Tehlikelerin artması sonucunda kazaları önlemek için iş güvenliği tedbirlerinin alınması zorunlu hale gelmiştir. İş yerlerinde işin yapılması sırasında, sağlığa, işe ve iş yerine, zarar verebilecek olan, çeşitli sebeplerden kaynaklanan kayıpları en aza indirmek amacıyla yapılan sistemli ve bilimsel araştırmalara dayalı güvenlik önlemlerine iş güvenliği denmektedir (Centel, 1992).

Uzunayak madenciliği özellikle ülkemizde yeraltı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Uzunayaklarda kömür üretimi sırasında, çalışırken birçok tehlike kaynağı mevcuttur. Yeterli önlemler alınmaz ve kurallar yeterli uygulanmaz ise yapılan çalışmalar sırasında kazalarla karşılaşmak kaçınılmazdır. Kömür madenlerinde tehlike kaynaklarının en önemlisi üretim sırasında damar yapısında saklı olarak bulunan metan gazıdır. Kontrol sondajlarında metan gazının varlığı tespit edilmiş ise, var olan önlemlerin artırılması gereklidir. Uzunayak madenciliğinde, üretim çalışmaları sırasında yeni üretim yüzeyinin açılmasıyla birlikte gaz patlamaları, gaz zehirlenmeleri, tahkimat ve nakliyat işleri

sırasında iş kazaları oluşabilmektedir. Tahkimat kazalarının en önemlisi, göçüklerin meydana getirdiği iş kazalarıdır. Uzunayak madenciliğinde, göçükler özellikle ayak bölgesinde oluşmaktadır (Çizelge 1).

Uzunayak madenciliğinde oluşan kazaların önemli bölümü ise nakliyat işlerinde oluşan kazalardır. Nakliyat çalışmaları sırasında özellikle ayak bölgesinde zincirli konveyörlerde ve daha sonra ise bantlı konveyörlerde oluşan kazalar ile karşılaşmaktadır. Çizelge 1'de 1997-2000 yılları arasında Eynez yeraltı kömür ocağında oluşan kaza sayılarının kaza türlerine göre dağılımı görülmektedir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi nakliyat çalışmaları veya malzeme taşınması sırasında da kazalar görülmektedir.

Çizelge 2'de ise yeraltı kömür madenlerinde oluşan büyük maden kazalarının verileri görülmektedir. Veriler incelendiğinde kazaların büyük çoğunluğunun metan patlaması sonucu oluştuğu, diğer kazaların ise göçük, yangın ve su baskını sonucunda yaşandığı görülmektedir. Çalışanların kazalardan korunması amacıyla yapılan iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının yönetilmesi ve değerlendirilmesi günümüzde önemli bir çalışma alanı olarak görülmektedir

Çizelge 1. TKİ ELİ Eynez İşletmesi Kömür Ocağı Kaza Türü Verileri (Özfırat, 2001).

Yıllar	1997		1998		1999		2000	
	K	M	K	M	K	M	K	M
Muhtelif	73	43	44	90	49	24	26	25
Elle Taşıma	48	21	14	57	28	39	25	21
El Aletleri	-	3	4	4		1	-	1
GTKD	29	21	16	43	17	19	15	23
İş Makinaları	-	-	-	4	-	-	-	1
Makine	-	3	1	2	-	1	-	1
Demiryolu İle Taşıma	2	-	5	4	-	-	5	-
Mekanik Taşıma	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrik	-	-	2	2	-	-	1	1
Patlayıcı Madde	-	-	6	4	-	-	-	1
Gaz Zehirlenmesi	-	-	3	-	-	-	-	-
Toplam	152	91	95	210	94	84	72	74

K: Klasik üretim M: Mekanize üretim GTKD: Göçük taş kömür düşmesi

Çizelge 2. Türkiye'deki Yeraltı Kömür Madenciliğinde Yaşanan Büyük Kazalar (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010, Wikipedia, 2015).

Maden Türü	Yıl	Neden	Kaybedilen kişi sayısı
Yeraltı Kömür	07.03.1983	Grizu	103
Yeraltı Kömür	07.02.1990	Grizu	68
Yeraltı Kömür	03.03.1992	Grizu	263
Yeraltı Kömür	26.03.1995	Grizu	38
Yeraltı Kömür	22.11.2003	Grizu	10
Yeraltı Kömür	10.12.2009	Grizu	19
Yeraltı Kömür	23.02.2010	Grizu	17
Yeraltı Kömür	17.05.2010	Grizu	30
Yeraltı Kömür	07.07.2010	Yangın	3
Yeraltı Kömür	08.01.2013	Göçük	8
Yeraltı Kömür	18.01.2013	Demir düşmesi	1
Yeraltı Kömür	13.05.2014	Yangın	301
Yeraltı Kömür	11.06.2014	Göçük	3
Yeraltı Kömür	18.06.2014	Göçük	1
Yeraltı Kömür	28.10.2014	Su baskını	18
Yeraltı Kömür	01.11.2014	Göçük	2
Yeraltı Kömür	29.01.2015	Göçük	1
Yeraltı Kömür	10.03.2015	Göçük	1
Yeraltı Kömür	08.06.2015	Göçük	1

(Ciarapica ve Giacchetta, 2009). Risk analizi, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının sonuçlarının değerlendirilebilmesi amacıyla son yıllarda işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Risk analiz yöntemleri kazaların tahmini, azaltılması ve/veya önlenmesi için geliştirilmiştir. Kullanılan birçok kalitatif ve kantitatif risk ve iş güvenliği analizi yöntemleri vardır. Örnek olarak; birçok araştırmacının çalışmalarında kullandığı tehlike ve uygulanabilirliği (HAZOP) analizi, fonksiyonel tehlike analizi, Hata modu etki analizi (FMEA), ön tehlike analizi (PHA), hata ağacı analizi, olay ağacı analizi (ETA), papyon analizleri verilebilir (Bahr, 1997; Hale ve Baram, 1998; Mol, 2003; Asfahl, 2003; Özkılıç, 2014; Bayır ve Ergül,

2006, Zhang vd., 2014, Özfirat, 2014).

Yeraltı kömür madenciliğinde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında madencilik sektöründe iş güvenliğinin önemi anlaşılmaktadır. İş kazaları manevi kayıpların yanında çok büyük maddi kayıplara da neden olmakta, hatta işletmelerin kapanmasına bile neden olabilmektedir. Kazaların önüne geçmek için istatistikler incelenip risk analizi yapılmalı ve koruyucu önlemler alınmalıdır.

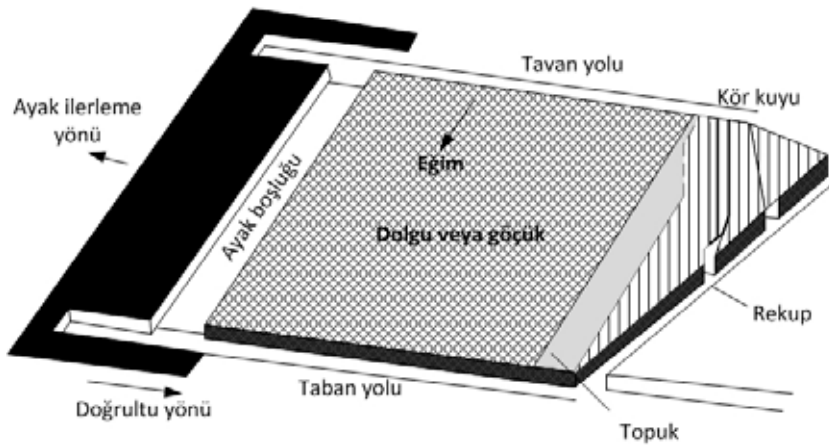
Bu çalışmada uzunayak üretim yönteminde ayak içinde oluşabilecek tehlikelerin önlenmesi amacıyla risk analizi yapılmış ve bu riskler Fine-Kinney metodu ile değerlendirilerek önlemler sunulmuştur.

1. UZUNAYAKTA TEHLİKE KAYNAKLARI

Uzunayak madenciliği, yatay olarak yataklanmış olan kömür veya orta sertlikteki cevherlerin, iki damar içi galerisi arasında kalan, uzun, dar ve doğrusal bir arın boyunca üretildiği bir yeraltı üretim yöntemidir (Şekil 1). Uzunayak panoları, kesitler ve çalışılan makineler düşünüldüğünde oldukça dar ve birçok tehlike kaynağının bir arada olduğu bölgelerdir (Şekil 2)

Bir uzunayakta potansiyel tehlikeler; grizulu damarlarda üretimle birlikte metan açığa çıkması,

tahkimat çalışmaları (tahkimatların ilerletilmesi, tahkimatların başka panoya taşınması, hidrolik hortumun patlaması, hidrolik direklerin kurulumu ve taşınması), nakliyat çalışmaları (zincirli konveyörün zincirinin kopması, konveyöre sıkışma, olukların aşınması, konveyör sisteminin çalışmaması, işçilerin bantlı konveyöre kontrolsüz binmesi, toz oluşumu) (Şekil 3), üretim (yükleme işlemi sırasında, ayak içi malzeme nakliyesi sırasında, tahkimatların düzeltilmesi ve ilerletilmesi sırasında, ayak içi temizlik sırasında, ayak arkasından tavan kömürünün alınması sırasında,



Şekil 1. Uzunayak üretim yöntemi (Şimşir, 2015)



Şekil 2. Tam mekanize bir uzunayaktan görünüm (Yetkin, 2013)

tahkimat penceresinden tavan kömürünün alınması sırasında) (Şekil 4), delme-patlatma işlemleri (grizu, kömür tozu, yetersiz havalandırma, solunabilir toz), su kontrolünün yapılmaması ve içsel yangın olarak verilebilir (Özfiat vd., 2013).



Şekil 3. Üretim sırasında oluşan toz



Şekil 4. Tahkimat penceresinden tavan kömürünün alınması



Şekil 5. Risk değerlendirme aşamaları

2. RISK ANALİZİ

Risk kavramının değişik tanımları vardır. Risk en temel anlamda olasılık ve şiddet bileşenlerinin çarpımından oluşur. Riskin tanımlaması bazı kaynaklarda aşağıdaki gibi verilmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü WHO (2002) riski, sonucun olumsuz olma ihtimali veya bu olasılığı ortaya çıkaran faktör olarak tanımlamış ve riskin ne anlamlara gelebileceğini ifade etmeye çalışmıştır. Risk olasılık anlamına gelebilir, risk istenmeyen sonucu ortaya çıkaran faktör anlamına gelebilir, risk bir sonuç anlamına gelebilir, risk potansiyel güçlük veya tehdit anlamına gelebilir. TS 18001 (OHSAS) standardında ise "Tehlikeli bir olayın veya maruz kalmanın meydana gelme olasılığı ve sonuçlarının kombinasyonu" şeklinde tanımlanmıştır. İşçileri olası iş kazalarından korumak için yapılan işçi sağlığı ve iş güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesi işlemleri ve risk analizi uygulamaları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sarı vd., 2009, Önder vd., 2009).

Çizelge 3. Zararın Gerçekleşme Olasılığı-İhtimali-Şansı (Fine ve Kinney, 1971; Özkılıç, 2014)

OLASILIK - İHTİMAL - ŞANS		OLASILIK DEĞERİ
Beklenir, Kesin	Çok kuvvetle muhtemel	10
Yüksek/ oldukça mümkün	Kuvvetle muhtemel	6
Olası	Nadir fakat olabilir	3
Mümkün fakat düşük	Oldukça düşük ihtimal	1
Beklenmez fakat mümkün	Zayıf ihtimal	0,5
Beklenmez	Pratik olarak imkânsız	0,2

Çizelge 4. Tehlikeye Zaman İçinde Maruz Kalma Tekrarı-Sıklığı (Fine ve Kinney, 1971; Özkılıç, 2014)

FREKANS - SIKLIK		FREKANS DEĞERİ
Rutin olmayan	Rutin olan	
Sürekli (hemen hemen her zaman)	Bir saatte birkaç defa	10
Sık (sıklıkla)	Günde bir veya birkaç defa	6
Ara sıra	Haftada bir veya birkaç defa	3
Sık değil (nadir)	Ayda bir veya birkaç defa	2
Oldukça seyrek (oldukça nadir)	Yılda birkaç defa	1
Çok seyrek (çok nadir)	Yılda bir veya daha seyrek	0,5

Risk analizinde, Şekil 5’de görüldüğü gibi riskler belirlenirken mevcut durumlar tek tek dikkate alınır ve her bir durumun içinde bulunduğu tehlikeler belirlenir. Ayrıca hali hazırda mevcut olan karşı önlemler incelenir. Daha sonraki aşamada ortaya konulmuş olan durum, açıklık, tehdit ve karşı önlemlerin değerlendirilmesi işlemi yapılır. Değerlendirilmiş durum, açıklık, tehdit ve karşı önlem değerleri girdi olarak alınıp, matematiksel ve mantıksal yöntemler kullanılarak risk değeri bulunur. Bir riskin ortaya çıkabilmesi için; bir tehlikenin olması ve değer verilen bir şeyin bu tehlikeye maruz kalması gerekir.

Tehlike kavramı, Türk Dil Kurumuna göre “Büyük

zarar ya da yok olmaya yol açabilecek durum” olarak tanımlanmaktadır. Belli bir tehlike için; Tehlikeye maruz kalan kişilerin sayısı, Ne sıklıkla tehlikeye maruz kalındığı, Ne kadar süreyle tehlikeye maruz kalındığı, Eğitim düzeyi, Denetimin etkinlik düzeyi, Çalışma koşulları, Yorgunluk, dikkatsizlik, halsizlik gibi etmenler tehlike olasılığını farklı kılar (Canpolat, 2008).

Çizelge 5. Tehlikenin İnsan ve/veya Çevre Üzerindeki Tahmini Zararı (Fine ve Kinney, 1971; Özkılıç, 2014)

	ŞİDDET - SONUÇLARIN ETKİSİ		ŞİDDET DEĞERİ
	İnsana zararlı	Çevreye zararlı	
Felaket	Birden fazla ölümlü kaza	Çevresel felaket	100
Çok kötü	Öldürücü kaza	Ciddi çevresel zarar	40
Çok ciddi	Kalıcı hasar-yaralanma- iş kaybı	Çevresel engel ve şikayet	15
Ciddi	Önemli hasar-yaralanma-dış ilkyardım	Arazi dışında çevresel zarar	7
Önemli	Küçük hasar-yaralanma-dâhili ilk yardım	Arazide çevresel zarar	3
Dikkate alınmalı	Ucuz atlatma	Çevresel zarar yok	1

Çizelge 6. Fine-Kinney Risk Analizi Değerlendirme Tablosu (Fine ve Kinney, 1971; Özkılıç, 2014)

RİSK DEĞERİ	RİSK DERECELENDİRME SONUCU	(Yapılacak İşlemler)
400 < R	Tolerans gösterilemez risk	Hemen gerekli önlemler alınmalı veya iş durdurulmalı, kapatılma gibi önlemler düşünülmelidir.
200 < R < 400	Esaslı risk	Kısa dönemde "birkaç ay içinde" iyileştirilmelidir.
70 < R < 200	Önemli risk	Uzun dönemde "yıl içinde" iyileştirilmez.
20 < R < 70	Olası risk	Gözetim altında tutulmalıdır.
R < 20	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.

3. FİNE-KİNNEY METODU VE ÇALIŞMADA KULLANILMASI

Fine-Kinney metodu, risklerin sınıflandırılmasında kullanılır. Sınıflandırma işlemi sonucuna göre tedbir anlamında hangi işlere öncelik verilmesi ve kaynakların öncelikle nereye aktarılması konularında kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde riskler; olasılık, frekans ve şiddet ağırlık oranları hesaplanarak sınıflandırılır ve bu riskler için önlem alınmasının gerekli olup olmadığına karar verilir. Bu yöntemde risk, aşağıdaki formül ile değerlendirilmektedir;

$$RİSK = Şans \times Frekans \times Şiddet$$

Olasılık: Bir zararın gerçekleşme ihtimali olarak tanımlanır. Olasılığın puanlaması yapılırken, belirtilen kategoriler, tehlikeli bir olayın olma olasılığını, en doğru bir şekilde açıklamak için oluşturulmalıdır. Yapılan düzeltici faaliyetler şiddeti etkilemez, etkileyeceği değişken olasılıktır (Çizelge 3).

Frekans: Frekans bir kişinin ne kadar sıklıkta veya zamanda gerçekte bir tehlike ile karşı karşıya kaldığının değerlendirilmesidir (Çizelge 4). Frekans, işin yapılma sıklığı değil, işi yaparken tehlikeye maruz kalma sıklığıdır. Düşük frekans düzeyinin etkilerini hafifletmeye çalışmak, önemsemek çok sık yapılan bir hatadır. Çünkü bir kişinin tehlikeye çok sık maruz kalmaması, bu olay için daha az önlem alınması anlamına gelmez. Bir kazanın olma kesinliği veya olasılığı, bir kişinin ne kadar sıklıkta bir tehlikeye maruz kaldığından daha önemlidir.

Şiddet: Şiddet, bir kaza olduğunda beklenen ha-

sarın ölçüsüdür (Çizelge 5). Şiddet puanlamasında 1'den başlayarak 100'e kadar devam eden bir değer ölçeği vardır. Kaza sonucunda tek ölüm olması durumunda puanlamanın 40 puan veya 100 puan (birden çok ölüm) olarak yapılması gerekmektedir. Kalıcı hasar, yaralanma ve iş kaybı durumunda şiddet değeri 15 puan olarak seçilir. Ayrıca şiddet değerlendirmelerinde, herhangi bir şüphe olduğu durumda, daha yüksek puan verilmelidir.

Olasılık, frekans ve şiddet puanlamaları neticesinde hesaplanan risk puanı 400'den büyük çıkarsa tolerans gösterilemez (Çizelge 6) ve hemen gerekli önlemler alınmalı veya tesis, bina, çevrenin kapatılması düşünülmelidir. 400 ile 200 arasında çıkarsa risk esaslı risk sınıfına girmektedir ve riskin kaynaklandığı durum alınacak tedbirler ile kısa dönemde iyileştirilmelidir (birkaç ay). Risk değeri 200 ile 70 arasında çıkarsa risk önemli risktir ve uzun dönemde iyileştirilmelidir (yıl içinde). Risk değeri 70 ile 20 arasında çıkarsa risk olası risktir ve gözetim altında tutulmalıdır. 20'den küçük ise risk önemsiz risktir ve önlem öncelikli değildir (Fine ve Kinney, 1971).

4. DEĞERLENDİRME

Uzunayak üretim yönteminde meydana gelmesi olası riskler belirlenmiş ve Fine-Kinney metodu ile değerlendirilerek sayısallaştırılmıştır. Üretim faaliyetleri için Çizelge 7'de verilen değerlere bakıldığında üretim faaliyeti sırasında arından büyük parça düşmesi riskinin R değeri 240 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Fine-Kinney sonuç tablosuna göre esaslı risk sınıfına girmektedir. Bu durumda kazaların önüne geçmek için üretim

faaliyetlerinde görev alan işçiler yapılan işle ilgili eğitilmeli, tamburlu kesicinin ayna kesimi yaptığı sırada yakın bölgelerde işçilerin olması engellenmeli, kazı işlemi sonrasında temizlik sırasında işçilerin kazı aynasına çok yakın durmamaları sağlanmalıdır.

Delme-patlatma işlemi sırasında Çizelge 8'de verilen değerlere bakıldığında yüksek metan içeren ocaklarda olasılık, frekans ve şiddet değerlerinin çarpımının sonucunda R değeri 500 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Fine-Kinney sonuç tablosuna göre tolerans gösterilemez risk sınıfına girmektedir. Metan içeriğinin orta derecede olması durumunda R değeri 300 olarak hesaplanmıştır. Esaslı risk sınıfına giren bu durumu engellemek için gaz ölçümleri sıklaştırılmalıdır. Metan gazından kaynaklanan tehlikeyi ortadan kaldırmak için grizu ölçümlerinin düzenli yapılması gerekmektedir. Ayrıca gaz dedektörle-

rinin kalibrasyon kontrollerinin yapılması ve 25 m'lik arına dik olarak yapılan kontrol sondajlarının yapılması ile bu tehlikelerin önüne geçilebilir. Bu husus "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde" vurgulanmıştır.

Mekanize kazı için Çizelge 9 ve Çizelge 13'de verilen değerlere bakıldığında, tamburlu kesicinin kesim yaptığı sırada aynadan büyük parça düşmesi riskinin ve elektrik aletlerinin bakım onarım ihmali riskinin R değerleri sırasıyla 135 ve 100 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler önemli risk sınıfına girmektedir. Bu durumlardan kaynaklanabilecek kazaların önüne geçmek için elektrikle çalışan makine-ekipmanın kontrollerinin periyodik olarak yapılması sağlanmalıdır. Yeraltı makine ve ekipmanının Antigrizutin/Atex/Exproof özellikli malzemeler ile kaplanmış olması gerekmektedir. Bu bölümde, ayrıca kömür tozu risk değeri 180 olarak bulunmuştur. Önemli

Çizelge 7. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Üretim)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önemli
EI, kol ve bacak bölgesinde kazma ile kazalanma	6	6	1	36	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Eldiven kullanımı sağlanmalıdır.
Yükleme işlemi sırasında kazalanma	6	6	3	108	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Ayak içi malzeme nakliyesi sırasında kazalanma	3	3	3	27	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Tahkimatların düzeltilmesi sırasında kazalanma	3	3	3	27	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Ayak içi temizlik sırasında kazalanma	6	3	3	54	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Pencereden tavan kömürünün alınması sırasında kazalanma	1	6	3	18	Önemsiz risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Büyük kömür parçalarının gelmesi durumunda önlemler artırılmalıdır.
Ayak arkası kömürünün çekilmesi sırasında kazalanma	1	6	3	18	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Arından büyük parça düşmesi ile kazalanma	3	2	40	240	Esaslı risk. Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. Arın kısmına işçilerin geçmesine izin verilmemelidir. Geçiş zorunlu ise, ön sarma aynaya yaslanarak açılmalı ve ek önlemler alınmalıdır.

Çizelge 8. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Delme-Patlatma)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önem
Metan içeriği yüksek	10	0,5	100	500	Tolerans gösterilemez risk. Hemen gerekli önlemler alınmalı veya iş durdurulmalı, tahliye gibi önlemler düşünülmelidir. Gaz ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Kontrol sondajları yapılmalıdır. Metan drenajı yöntemlerine başlanmalıdır. Ölçümler sıklaştırılmalıdır.
Grizu Metan içeriği orta derecede	6	0,5	100	300	Esaslı risk. Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. Gaz ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Kontrol sondajları yapılmalıdır. Metan drenajı yöntemlerine başlanmalıdır. Ölçümler sıklaştırılmalıdır.
Metan içeriği yok ya da düşük	0,5	0,5	100	25	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. Arına dik kontrol sondajları yapılmalıdır. Gaz ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Ölçümlere normal düzeyde devam edilmelidir.
Kömür tozu	10	6	3	180	Önemli risk. Koruyucu maskelerin takılması sağlanmalı ve işçiye eğitim verilmelidir. Taş tozu barajları yapılmalıdır. Sağlığa zararsız taş tozu ile bastırma ve belirli dönemlerde kömür tozu temizliği yapılmalıdır.
Yetersiz havalandırma	1	2	100	200	Esaslı risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Fan kapasiteleri, fan bakımları ve hava hızı ölçümleri düzenli yapılmalıdır.
Solunabilir toz	10	6	1	60	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. Koruyucu maskelerin takılması sağlanmalı, işçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Toz maskesi kullanımı sağlanmalıdır.

Çizelge 9. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Mekanize Kazı)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
Delicide yaralanma	6	3	3	54	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Yedekli çalışmalıdır.
Elektrik	3	1	40	120	Önemli risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Elektrik kabloları exproof özellikte olmalıdır. Kurulu elektrik kapasitesi yeterli olmalıdır.
Sıkışma	1	2	40	80	Önemli risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Zincirli konveyör hareket halindeyken işçilerin üzerine çıkmaları engellenmelidir.
Arın önünden büyük parça düşmesi	3	3	15	135	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Kömür tozu	10	6	3	180	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. Koruyucu toz maskelerinin takılması sağlanmalı, işçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.
Ani su geliri	1	1	100	100	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. Kontrol sondajları yapılmalıdır. Gerekli topuk boyutları sağlanmalıdır.
Ani gaz geliri	0,5	0,5	100	25	Önemsiz risk. Arına dik kontrol sondajları yapılmalıdır. Gaz ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Cebri havalandırmaya ek olarak lokal havalandırma yapılmalıdır.
Gürültü	10	6	1	60	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. Kulak koruyucu kullanımı sağlanmalıdır.

Çizelge 10. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Tahkimat)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
Yürüyen tahkimatın ilerletilmesi	10	6	3	180	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Zamanında ve düzenli olarak ilerleme yapılmalıdır.
Yürüyen tahkimatın yeni panoya taşınması	10	0,5	15	75	Önemli risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Geçici tahkimat iyi bir şekilde sağlanmalıdır. Taşıma planlaması yapılmalıdır.
Hidrolik hortum patlaması	1	1	15	15	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Zaman kaybetmeden onarılmalıdır.
Hidrolik direğin kurulmasında	10	3	7	210	Esaslı risk. Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Direksiz cephe kısmı güvenliğe alınmalıdır.
Hidrolik direğin taşınmasında	10	3	1	30	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Taşıma ergonomik koşullarda ve mümkün mertebe makine ile yapılmalıdır.

Çizelge 11. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Nakliyat)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
Zincir kopması	0,5	0,5	1	0,25	Önemsiz risk. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Ayak içindeki işçilere çarpmaması için önlemler alınmalıdır.
Zincire sıkışma	1	1	40	40	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Zincirli konveyöre işçilerin çıkması önlenmelidir.
Olukların aşınarak eğilmesi	1	0,5	3	1,5	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Olukların yenisi ile değiştirilmesi gereklidir.
Nakliye sireninin çalınmaması	1	1	15	15	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Sinyalizasyon kontrollerinin yapılması gereklidir.
Bantlı konveyöre sıkışma	1	1	40	40	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Mutlaka yedekli ve gözetim altında bakım yapılmalıdır.
İşçilerin bantlı konveyöre binmesi	6	3	7	126	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konveyöre binmemeleri konusunda eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir.

Çizelge 12. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(İnsan)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
Kişisel koruyucuların kullanılmaması	6	6	3	108	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Kişisel koruyucu donanımların kullanımı sağlanmalıdır.
İş organizasyonu eksikliği	3	2	40	240	Esaslı risk. Kısa dönemde birkaç ay içerisinde önlem alınmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. İş organizasyonu düzenli ve planlı olmalıdır.
Eğitim eksikliği	1	1	40	40	Olası risk. Olay gözetim altında tutulmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Meslek içi eğitim seminerleri düzenlenmelidir.

Çizelge 13. Uzunayakta Çalışma Sırasındaki Risklerin Değerlendirilmesi-(Elektrik)

Riskler	Şans	Frekans	Şiddet	Risk değeri	Önlem
Yanmaz malzeme kullanımı	0,5	0,5	100	25	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Exproof özellikte malzeme kullanılmalıdır.
Makine-ekipmanın uygun yerlerde kullanılmaması	0,2	0,5	7	0,7	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. İş organizasyonu ve planı yapılmalıdır.
Elektrik işçilerinin iyi eğitilmemesi	0,2	0,5	40	4	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Eğitimler düzenlenmelidir.
Elektrikli aletlerin bakım onarım ihmali	1	1	100	100	Önemli risk. Yıl içerisinde işlemde iyileştirme yapılmalıdır. İşçiler konu ile ilgili eğitilmeli ve bilgilendirilmelidir. Bakım onarımlar yapılmalı ve yazılı kayıt altına alınmalıdır.
Topraklama hattının kontrol edilmemesi	0,5	0,5	100	25	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Topraklama hattı olmalıdır.
Uygun olmayan elektrikli alet kullanımı	0,5	0,5	100	25	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Ergonomik iş ekipmanları sağlanmalıdır.
Yeterli sayıda uzman elektrikçi olmaması	0,2	0,5	7	0,7	Önemsiz risk. Önlem öncelikli değildir. Yeterli sayıda ve düzeyde işçi olmalıdır.

risk sınıfına giren bu tehlikeli durumu önlemek için taş tozu barajları yapılmalıdır. Sağlığa zararsız taş tozu ile bastırma ve belirli dönemlerde kömür tozu temizliği yapılmalıdır. Kömür tozunun patlayıcı olmasından dolayı taş tozu veya su ile kömür tozlarının bastırılması işlemlerinin yapılması önemlidir. Ayrıca 0,1-5,0 mikron tane boyutu arasındaki tozlar pnömokonyoz hastalığına (antrakoz) sebep olabilir.

Tahkimat işlerinde Çizelge 10'da verilen değerlere bakıldığında hidrolik direklerin kurulmasında meydana gelen kaza riskinin R değeri 210, yürüyen tahkimatların ilerletilmesi riskinin R değeri 180 olarak hesaplanmıştır. Direk kurulmasında tavandan parça düşme ve göçük kazalarına dikkat edilmeli ve işçiler bilgilendirilmelidir. Yürüyen tahkimatların ilerletilmesi işlemi zamanında ve düzenli olarak eğitilmiş işçiler tarafından yapılmalıdır.

Çizelge 11'de verilen nakliyat işlerinde oluşan risklere bakıldığında zincire sıkışma ve bantlı konveyöre sıkışma risklerinin R değerleri 40, işçilerin bantlı konveyöre binmeleri riskinin R değeri 126 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre işçilerin bantlı konveyöre binmeleri riski esaslı risk sınıfına girmektedir. Bantlı konveyörde personel taşınması için ek önlem alınmalı ve tesisler yok iken işçilerin bantlı konveyöre binmeleri önlenmelidir.

Çizelge 12'de verilen risklere bakıldığında iş organizasyonu eksikliği sonucunda oluşan riskin R değeri 240 olarak hesaplanmıştır. Esaslı risk sınıfına giren bu durumu önlemek için işçiler sürekli olarak görevli oldukları birimde yapılan işler hakkında bilgilendirilmelidir. İşçiler, yeraltına inmeden önce tertip sırasında yapılacak olan işler hakkında net bir şekilde bilgilendirilmelidir.

SONUÇ

Fine-Kinney risk analizi metodu olasılık (şans) ve şiddet bileşenlerine frekans değeri ekleyerek risk sınıflamasını daha belirgin yapan bir yöntemdir. Çalışmada uzunayak madenciliğinde karşılaşılması olası tehlikeler kendi aralarında gruplara ayrılarak, risk puanları hesaplanmıştır. Üretim işleri için arından büyük parça düşmesi riski R değeri 240 puan, delme-patlatma işleri için metan gazı riski R değeri 500 puan, mekanize kazı için kömür tozu riski R değeri 180 puan, tahkimat işleri için hidrolik direğin kurulması riski R değeri 210 puan, nakliyat işleri için işçile-

rin bantlı konveyöre binmeleri riski R değeri 126 puan, insan faktörü için iş organizasyonu eksikliği riskinin R değeri 240 puan ve elektrik işleri için aletlerin bakım onarım ihmali riskinin R değeri 100 puan olarak hesaplanmış ve bu riskler için önleyici tedbirler sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Asfahl, C.R., 2003; "Industry safety and health management", Pearson Education Inc., USA.

Bayır, M., ve Ergül, M. 2006; "İş Güvenliği", Alfa Aktüel Yayınları, s: 213, Bursa.

Bahr, N.J., 1997; "System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach", Taylor&Francis, USA

Canpolat, P., 2008; Projelendirme ve Şantiye Yerleşim Projesi Hazırlanması Aşamasında İş Sağlığı ve Güvenliği ile İlgili Bir Öneri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Centel, T., 1992; "Çocuklar İle Gençlerin İş Güvenliği", İ.Ü. Yayınları No: 3041, İstanbul.

Ciarapica, F. E. ve Giacchetta, G., 2009; Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: An Italian study, Safety Science, 47(1): 36-49.

Fine, W. T. Ve Kinney, W. D., 1971; Mathematical evaluation for controlling hazards. Journal of Safety Research, 3(4), 157-166.

Hale, A. ve Baram, M., 1998; "Safety Management the Challenge of Change", Pergamon, Netherlands.

https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki_madencilik_kazalar%C4%B1#2003

İşçi Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, (30.06.2012). 28339 Sayılı Resmi Gazete.

İşçi Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, (29.12.2012). 28512 Sayılı Resmi Gazete.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, (19.09.2013). 28770 Sayılı Resmi Gazete.

Mol, T., 2003; "Productive safety management", Elsevier, Oxford.

Onder, M., Onder, S., Akdag, T., ve Ozgun, F., 2009; Investigation of Dust Levels in Different Areas of Underground Coal Mines, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). 15(1): 125-130.

Özırat, M.K., 2001; TKİ-ELİ-Eynez Yeraltı Linyit Ocağında 1992-2000 Yılları Arasında Manuel ve Mekanize üretimde Oluşan İş Kazalarının Etüdü, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Öz fırat M. P., 2014; Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 4, 755-768.

Öz fırat M. K., Yetkin M.E., Şimşir F., ve Kahraman B., 2013; Uzunayak Üretiminde Risklerin Fine-Kinney Metodu ile Değerlendirilmesi. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2013 Bildiriler Kitabı, 21-22 Kasım 2013, Adana.

Özkılıç, Ö., 2014; "Risk Değerlendirmesi Ateş Direktifleri-Patlayıcı Ortamlar Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması-Kantitatif Risk Değerlendirme", TISK Yayınları, Ankara.

Sari, M., Selcuk, AS., Karpuz, C., ve Duzgun, HSB., 2009; Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey, Safety Science. 47(1):78–87.

Simsir, F., 2015; "Yeraltı Madencilik Yöntemleri". İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2010), Madencilikte Yaşanan İş Kazları Raporu.

TS 18001 (OHSAS) standardı.

Yetkin M.E., 2013; 2.Doktora Tez İzleme Raporu. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.İzmir. (yayınlanmamış).

WHO2002.<http://www.who.int/whr/2002/en/>

Zhang M, Kecojevic V, ve Komljenovic D, 2014; Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using event tree analysis. Safety Science. 65: 106–117.

SIİRT-MADENKÖY BAKIR CEVHERİNİN FLOTASYON YÖNTEMİYLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

BENEFICATION OF SIİRT-MADENKÖY COPPER ORE BY FLOTATION METHOD

Adnan CEYLAN*

Gülay BULUT**

ÖZET

Bu araştırmada Siirt-Madenköy'den alınan temsili bakır numunesi üzerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalara esas olan cevher numunesinin kesitleri üzerinde yapılan mikroskobik incelemeler sonucu, cevher bileşiminde; pirit, kalkopirit, sfalerit, galen, hematit, limonit, kalsit ve kuvars minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Flotasyon deneylerinde, % 20 bakır içerikli konsantrelerin elde edilmesinin yanı sıra, elde edilen bu konsantrelerin çinko içeriğinin % 4'ün altına düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, toplayıcı cinsi, miktarı, pH, öğütme boyutu ve çeşitli bastırıcıların flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Flotasyon deneylerinde kollektör olarak Aerophine 3418 A (Sodyum izobutil dithiofosfin), KEX (Potasyum Etil Ksantat), Aerofloat 211 (Sodyum izopropildithiofosfat), köpürtücü olarak ise MIBC (Metil izobütil karbinol) kullanılmıştır. Bastırıcı olarak kostik nişasta, sodyum meta bisülfid, sodyum silikat ve çinko sülfatın etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, toplayıcı cinsi, miktarı ve öğütme boyutunun zenginleştirmeye olan etkisinde, çalışmanın amacına en uygun toplayıcının 50 g/ton miktarında dithiofosfin kökenli Aerophine 3418 A olduğu belirlenmiştir. Malzemenin % 87'sinin 53 µm tane boyutunun altında olduğu öğütme koşullarında yapılan flotasyon deneyleri ile en iyi sonuçlar alınmıştır. Sodyum meta bisülfidin bakır konsantrisi içindeki çinkonun bastırılması için en etkin reaktif olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır cevheri, Siirt-Madenköy, kalkopirit flotasyonu, bastırıcılar, kollektörler.

EXTENDED ABSTRACT

Copper ore sample collected from Siirt-Madenköy, was used in experimental studies. The results of microscopic analysis on the samples used in tests showed that the ore contains pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, hematite, limonite, calcite and quartz.

In the Siirt-Madenköy copper plant Aerophine 3418 A (50 g/ton) is used as collector, as well as zinc sulphate (120 g/ton) and sodium silicate (1000 g/ton) as depressants. In this study, collector type and dosages were investigated. A series of flotation tests were accomplished for obtaining concentrates assaying 20 % copper as well as decreasing the zinc content of concentrate below 4 %. Therefore, the effects of collector type, collector dosages, pH and particle size were investigated. In flotation tests, Aerophine 3418A (Sodium Isobutyl Dithiophosphate), KEX (Potassium Ethyl Xanthate) and Aerofloat 211 (Sodium Isopropyl

Dithiophosphate) were used as collector and MIBC (Methyl Iso Butyl Carbinol) were used as frother. The effects of depressants caustified starch, sodium meta bisulphite, sodium silicate, zinc sulphate were investigated.

As a result of flotation experiments, the best collector type is Aero 3418 A , optimum collector dosage is 50 g/t, and the optimum particle size is below 53 µm. Aerophine 3418 A provides acceptable recoveries and metal contents at pH 12 for copper. Sodium meta bisulphite is more effective depressant compared to zinc sulphate to depress zinc in copper concentrate. When 4000 g/ton meta bi sulphite is used as a depressant, a copper concentrated is produced with 71% recovery and 17.93 % Cu content where zinc content decreases to 3.39 %.

These results could be adapted to plant where zinc sulphate is used to depress zinc, sodium silicate to depress gangue minerals. Alternatively, meta bisulphite could be used in the plant for the depression of zinc.

Keywords: Copper ore, Siirt-Madenköy, chalcopyrite flotation, depressants, collectors.

* Maden Yük. Müh., Park Elektrik Üretim Madencilik A.Ş., SIİRT, adnanceylan1@hotmail.com

** Prof.Dr., İTÜ, Maden Fak., Cevher Hazırlama Müh. Böl., İSTANBUL

Giriş

Flotasyon, cevher hazırlama süreçleri içinde minerallerin yüzey/ara yüzey özelliklerinden yararlanarak, değerli mineralleri değersiz (gang) minerallerden ayırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden biridir (Atak, 1990, Gaudin, 1957).

Mineraller flotasyon işlemlerindeki davranışlarına göre, polar olmayan mineraller (grafit, elmas, kü-kürt vb) ağır metallerin sülfürleri (galen, sfalerit, pirit vb), oksitler, silikatlar ve tuzlar olarak sınıflandırılmaktadırlar. Sülfürlü minerallerin flotasyonla zenginleştirilmesinde, anyonik toplayıcılar (ksantatlar, dithiyo-fosfatlar ve merkaptanlar) ve köpürtücü olarak ise çamyacı, kresilik asit, poliglikoller ve alkoller kullanılmaktadır. Bakır cevherlerinde sülfürlü bakır mineralleri olarak kalkopirit, kalkosin, bornit, kovelin, tetraedrit, enargit, oksitli mineralleri olarak malakit, azurit, sülfürlü diğer metal mineralleri olarak pirit, pirotin, markasit ile Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Hg, Sb, Bi' un sülfürlü mineralleri, gang mineralleri olarak kuvars, serizit, barit, kalsit bulunur. Sülfürlü minerallerin gerek yantaştan gerek birbirlerinden ayrılmasında en etkin yöntem flotasyondur.

Sülfürlü minerallerin kendi aralarında çok küçük, gang mineralleri ile daha iri boyutlarda serbestleşmeleri durumunda önce kollektif flotasyonla gang mineralleri uzaklaştırılır ve elde edilen kaba konsantre daha küçük boyutlara öğütülerek sülfür mineralleri seçimli flotasyonla birbirinden ayrılırlar. Sülfürlü mineralleri ile yan kayaç arasında iri boyutta serbestleşme olması durumunda, toplu flotasyon seçimli flotasyona göre daha avantajlı olmaktadır. Kaba konsantrenin öğütülmesi sırasında mineral yüzeylerindeki artık reaktifler uzaklaştırılmakta, gerekirse Na₂S ve aktif karbon ilavesi ile de aynı etki oluşturulabilmektedir.

Kalkopirit doğal yüzeylilik özelliği olmasına rağmen endüstride daima sülfhidril kollektörler kullanılarak diğer sülfür minerallerinden ayrılır. Kompleks sülfür minerallerinin flotasyonunda tek bir sülfür minerali yüzey modifiye edici reaktifler ve kollektörün seçimi ile zenginleştirilir (Chander and Khan, 2000).

Çinko sülfat kurşun-çinko, bakır-çinko, kurşun-bakır-çinko cevherlerinin ayrılması sırasında sfaleritin bastırılması için kullanılan başlıca reaktiftir. Pratikte çinko sülfat siyanür ile birlikte kullanılır (Cao ve Liu, 2006, Bulatoviç, 2007).

Sodyum bisülfid, kükürt dioksit gibi sülf-oksi reaktifler endüstriyel proseslerde, bakır ile aktive

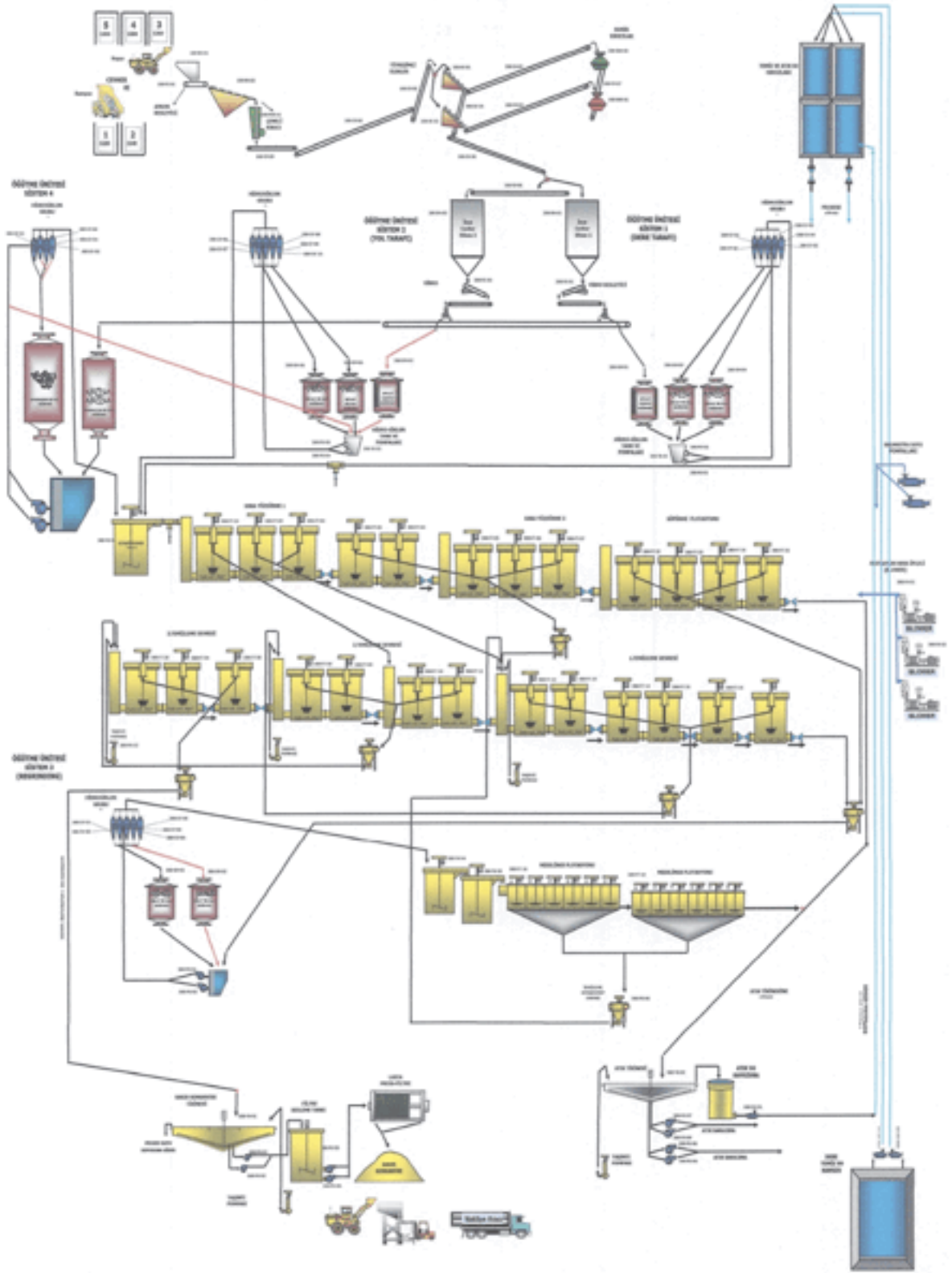
olmuş sfaleritin ve piritin kıymetli sülfür minerallerinden (örneğin; kalkopirit ve galen) selektif olarak basılması için kullanılmaktadır Bu reaktiflerin bastırma mekanizmaları ve mineraller üzerindeki etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Yamamoto, 1980, Khmeleva ve diğ., 2006; Shen ve diğ., 2001; Gül, 2007, Gül ve diğ., 2008).

Polisakkaritler mineral endüstrisinde özellikle demir oksitlerin bastırılmasında, yaklaşık 70 yıldır kullanılmaktadırlar. Son yıllarda farklı sülfür minerallerinin selektif flotasyonunda kullanımı ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır (Laskowski, ve diğ., 2007; Laskowki ve Liu, 1999, Bıçak ve diğ., 2007, Bulatoviç, 1999). Ucuz ve çevre açısından toksik etkisi olmayan nişasta ve dekstrin gibi organik maddelerin özellikle pirit üzerinde bastırıcı etki gösterdikleri bilinmektedir (Rath ve diğ., 2000, Bogusz ve diğ., 1997, Boulton ve diğ., 2001).

Siirt-Madenköy'deki bakır zenginleştirme tesisinde bakırın kazanılmasına yönelik olarak kollektör olarak 50 g/ton Aerophine 3418A'nın yanı sıra sfaleriti bastırmak için 120 g/ton çinko sülfat, silikatları bastırmak için 1000 g/ton sodyum silikat kullanılmaktadır. Siirt-Madenköy cevher sahasından alınan yaklaşık % 1,60 Cu içerikli numune ile yapılan seçimli flotasyon deneylerinde, hem yüksek içerikli bir bakır konsantresi üretmek (yaklaşık % 20 Cu), hem de bakır konsantresi içindeki Zn içeriğini düşürmek (% 4'ün altı) amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak kollektör cinsi ve miktarı, pH, öğütme boyutu gibi parametrelerin yanı sıra, özellikle konsantrelerdeki Zn içeriğini düşürmek amacıyla birtakım bastırıcıların etkisi incelenmiştir. Böylece temiz bir konsantrenin üretiminin yanı sıra, tesiste halen kullanılan reaktiflerin uygun olup olmadığı da test edilmiştir.

Materyal ve yöntem

Siirt-Madenköy stok sahasından alınan yaklaşık 70 kg cevher numunesinden, mineralojik analiz için numune alındıktan sonra, geri kalanı deneylerde kullanılmak üzere 2 mm altına kırılmıştır. Uygun tane boyutunun tespit edilmesi için numune farklı boyut gruplarına öğütülmüş ve flotasyon deneyleri yapılmıştır. Malzemenin % 87'sinin 53 mikron altında olduğu ($d_{80}=41 \mu m$) öğütme sonunda verim ve içerik açısından en iyi sonuç alınmıştır (Ceylan, 2009). Bundan sonraki deneyler Tablo 1'de boyut dağılımı verilen öğütülmüş numuneler üzerinde yürütülmüştür.



Şekil 1. Siirt-Madenköy bakır işletmesi tesis akım şeması

Tablo 1. Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Numunenin Tane Boyut Dağılımı

Boyut (Mikron)	Miktar(%)	Σ Elek Altı (%)
+100	0,4	100,0
-100+74	4,4	99,6
-74+53	8,1	95,2
-53+38	11,0	87,1
-38	76,1	76,1
Toplam	100,0	

Siirt-Madenköy stok sahasından alınan cevher numunesinin, fiziksel özellikleri saptanmış, mineralojik incelemeleri ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Numunenin kimyasal analizi Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Siirt-Madenköy Numunesinin Kimyasal Analizi

Element	%
Cu	1.60
Pb	0.13
Zn	0.43
Fe	27.65
S	27.22
SiO ₂	20.35

Tablo 2'den görüldüğü üzere cevher % 1.60 Cu, % 0.43 Zn içermektedir.

DeneySEL çalışmalara esas olan cevher numunesinden seçilen örneklerden yapılan kesitlerin mikroskopik incelemeleri sonucu, cevher bileşiminde; pirit, kalkopirit, sfalerit, markasit, pirotin, galen, rutil, hematit, götit, limonit, kalsit, siderit ve kuvars minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Pirit, cevher bileşiminde yaygın olarak bulunan ve deformasyon sonucu kataklastik yapı kazanmış yarı şekilli ve şekilsiz taneler halinde 5 mikron ile 2 mm arasında değişen boyutlarda izlenmekte, ortalama boyutları 75 mikron dolayındadır. Bazı örneklerde kalkopirit içerisinde pirit küresel ve kabuksu şekilli, 1 ile 20 mikron arasında değişen taneler halinde koloidal dokular oluşturdukları gözlenmiştir.

Kalkopirit, cevher bileşiminde genellikle kataklastik yapı gösteren pirit tanelerinin boşluklarını dolduran matris yapıcı mineral olarak ayrıca, pirit ile birlikte koloidal yapıda konsantrik ve kabuksu şekillerde eş oluşumlu büyüme gösteren

taneler halinde buldukları gözlenmiştir. Gang mineralleri içinde saçılım halinde izlenen kalkopirit tanelerinin boyutları 5 ile 70 mikron arasında değişmekte ortalama boyutları 20 mikron dolayındadır. Örneklerde sfalerit ile kenetli bir şekilde bulunan kalkopiritin yer yer sfalerit tarafından ornatıldığı ve kalkopirit içerisinde ayrılım ve kapanım halinde izlenen çoğu zaman sfalerit ile birlikte lamelli büyüme gösteren yapılar oluşturdıkları gözlenmiştir. Kalkopirit içerisindeki sfalerit faz boyutlarının 1 ile 50 mikron arasında değiştiği, ortalama boyutlarının ise, 30 mikron dolayında olduğu belirlenmiştir. Numunelerin mineralojik yapılarını gösteren bazı örnekler Şekil 2 ve 3'de verilmektedir.

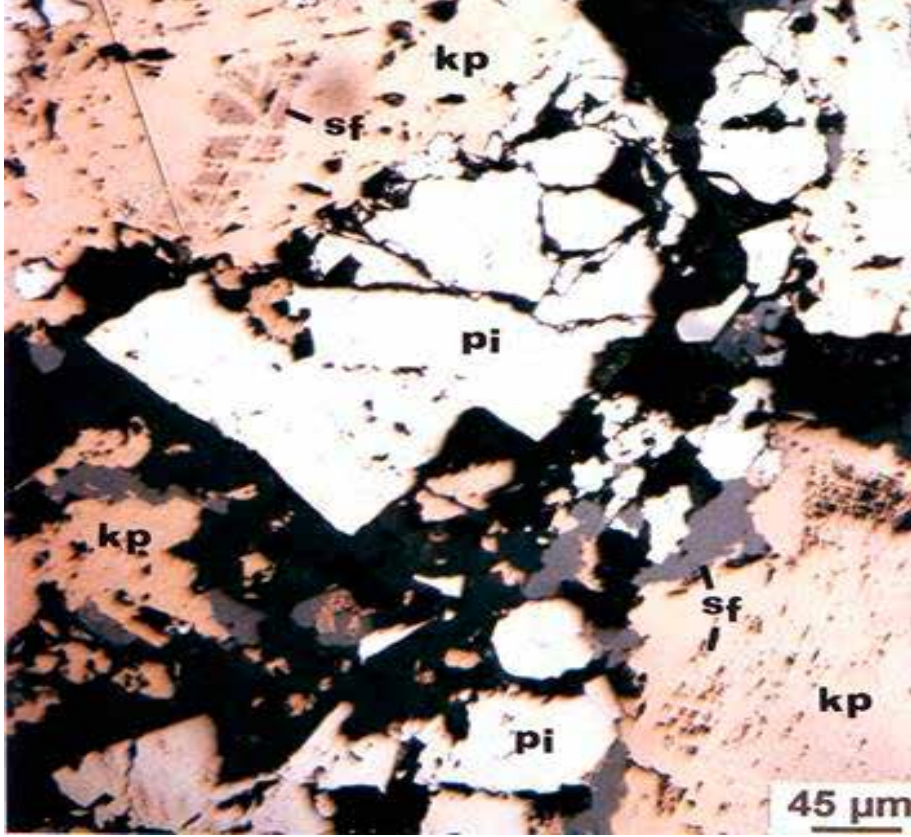
Yüksek bakır, düşük çinko içerikli konsantre üretmek amacıyla yapılan seçimli flotasyon deneylerinde kollektör cinsi, miktarı, flotasyon tane boyutu, bastırıcıların ve pH'nın etkisi incelenmiştir (Ceylan, 2009). Bütün deneylerde pirit artıkta bırakılmış, ayrıca bir pirit konsantresi üretilmemiştir. Elde edilen kaba konsantreler 2 veya 3 kez temizleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonunda kurutulan numuneler analiz edilmek üzere Siirt-Madenköy Park Elektrik Üretim Madencilik ve Ticaret A.Ş'nin analiz laboratuvarına gönderilmiş, ürünlerin Cu ve Zn içerikleri belirlenmiştir. Deneylerde izlenen flotasyon deneylerinin genel akım şeması Şekil 4'de verilmektedir.

Deneylerde pilot ölçekli çeneli ve merdaneli kırıcı çapı 19.4 ve boyu 17.3 cm olan laboratuvar tipi bilyalı değirmen, elekler, laboratuvar ölçekli Denver marka flotasyon makinası, 2.5, ve 1.5 litrelik flotasyon hücreleri, İno-Lab 720 marka pH ölçer gibi araç gereçler kullanılmıştır. Toplayıcı reaktif olarak; KEX (potasyum etil ksantat), Cytec firmasının ürettiği Aerophine 3418A (Sodyum izobutil dithiyofosfin) ve Aerofloat 211 (Sodyum izopropil dithiyofosfat) kullanılmıştır. Köpürtücü olarak MIBC (Metil izobutil karbinol), bastırıcı olarak Merck marka kostik nişasta, Na₂SiO₃, ZnSO₄, Na₂S₂O₅, pH ayarlayıcı olarak ise kireç, NaOH ve H₂SO₄ kullanılmıştır.

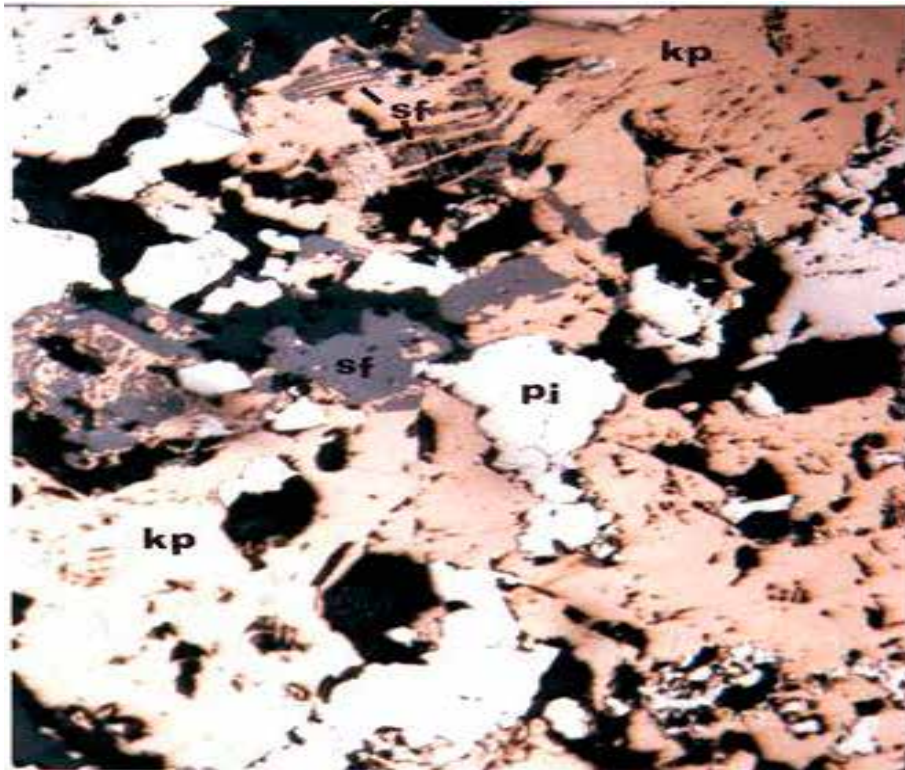
DeneySEL çalışma sonuçları

Kollektör Etkisi

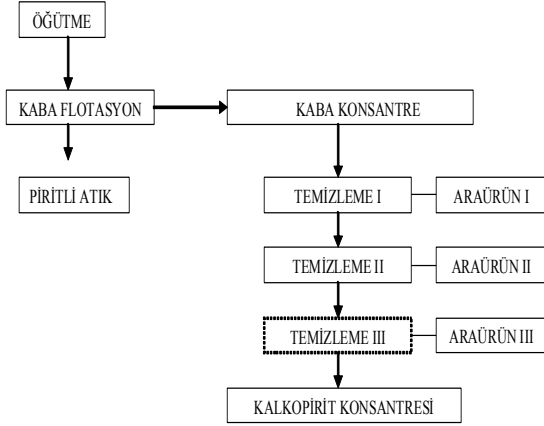
Flotasyon çalışmalarında önce kollektörün cinsinin etkisini incelemek üzere bir grup deney yapılmıştır. Deneylerde 50 g/ton kollektör miktarı sabit tutulmuş, tesiste kullanılan miktarlarda 120 g/ton ZnSO₄ ve 1000 g/ton Na₂SiO₃ kullanılmıştır.



Şekil 2. Kataklastik doku gösteren pirit (pi) taneleri ile kenetli halde izlenen kalkopirit (kp) ve sfalerit (sf) – (200 büyütmede)



Şekil 3. Kalkopirit (kp) içerisinde sfalerit (sf, kalkopirit ile birlikte lamelli büyüme göstermekte (200 büyütmede)



Şekil 4. Flotasyon deneylerinde izlenen genel akım şeması

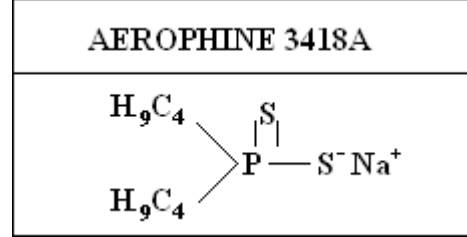
Deneylerde pH değeri 12 olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablodan da görüleceği üzere en iyi sonuç Aerophine 3418A ile elde edilmekte % 18.69 Cu içeren bir konsantre % 64.2 verimle üretilirken, bu konsantrenin Zn içeriği % 4.16 olmaktadır. Kimyasal yapısı Şekil 5'te verilen Cytec firmasının bir ürünü olan Aerophine 3418A (Sodyum izobutil dithiofosfin) özellikle demir arsenik minerallerine (pirit, arsenopirit gibi) ve aktive edilmiş sfalerit minerallerine karşı büyük bir seçicilik sağlamaktadır (Cytec Katalog, 2002). Aerophine 3418A bu yüksek seçicilik özelliğinden dolayı günümüzde birçok tesiste ksantatların yerini

Tablo 3. Kolektör Cinsinin Flotasyona Etkisi

Kolektör Cinsi	Ürünler	Miktar (%)	Cu (%)		Zn (%)	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim
3418 A	Konsantre	5.6	18.69	64.2	4.16	47.1
	AÜ 1	2.1	5.65	7.2	2.26	9.4
	AÜ 2	3.3	2.63	5.3	0.84	5.6
	AÜ 3	12.6	1.32	10.2	0.52	13.2
	Artık	76.4	0.28	13.1	0.16	24.7
	Toplam	100.0	1.63	100.0	0.495	100.0
AEORO 211	Konsantre	4.8	18.59	57.1	4.36	40.0
	AÜ 1	1.1	5.44	3.7	1.26	2.6
	AÜ 2	1.7	3.53	3.8	1.11	3.6
	AÜ 3	8.8	1.15	6.5	0.54	9.0
	Artık	83.6	0.54	28.9	0.28	44.8
	Toplam	100.0	1.56	100.0	0.523	100.0
KEX	Konsantre	2.6	23.07	37.4	5.75	28.4
	AÜ 1	1.1	11.82	7.6	2.41	4.7
	AÜ 2	1.4	7.33	6.5	1.55	4.2
	AÜ 3	7.7	3.43	16.3	0.83	12.1
	Artık	87.2	0.60	32.2	0.31	50.6
	Toplam	100.0	1.62	100.0	0.534	100.0

almış bulunmaktadır. Daha önceki bir çalışmada da bu kolektörün Siirt-Madenköy cevheri için en uygun kolektör olduğu tespit edilmiştir (Eşgün, 2006).



Şekil 5. Aerophine 3418 A kolektörünün kimyasal yapısı

Kolektör miktarının belirlenmesi amacıyla farklı miktarlarda Aerophine 3418A kullanılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4'ten de görüldüğü gibi kolektör miktarının artması flotasyon sonuçlarını olumlu bir şekilde değiştirmemektedir. Kolektörün artması ile üzen malzeme miktarı artmış böylelikle seçicilik de azalmıştır. Ayrıca aynı deney koşullarında

Kolektör miktarı (g/t)	Ürünler	Miktar (%)	Cu (%)		Zn (%)	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim
50	Konsantre	5.6	18.69	64.2	4.16	47.1
	AÜ 1	2.1	5.65	7.2	2.26	9.4
	AÜ 2	3.3	2.63	5.3	0.84	5.6
	AÜ 3	12.6	1.32	10.2	0.52	13.2
	Artık	76.4	0.28	13.1	0.16	24.7
	Toplam	100.0	1.63	100.0	0.495	100.0
75	Konsantre	8,6	13,75	74,2	3,40	62,4
	AÜ 1	2,0	3,27	4,1	0,87	3,7
	AÜ 2	3,3	1,98	4,1	0,43	3,1
	AÜ 3	10,4	1,08	7,1	0,51	11,4
	Artık	75,7	0,22	10,5	0,12	19,4
	Toplam	100,0	1,59	100,0	0,468	100,0
90	Konsantre	8,4	12,89	66,1	2,51	44,1
	AÜ 1	2,5	3,38	5,1	0,89	4,6
	AÜ 2	5,5	2,49	8,4	0,58	6,7
	AÜ 3	15,6	0,95	9,1	0,49	16,0
	Artık	68,0	0,27	11,3	0,20	28,6
	Toplam	100,0	1,63	100,0	0,476	100,0

Tablo 4. Kolektör miktarının flotasyona etkisi

Aerophine 3418A'nın yarısı olan 25 g/ton kaba devreye, diğer yarısı da temizleme devresine ilave edilmiştir. Bu deney sonuçları Tablo 5'te verilmektedir.

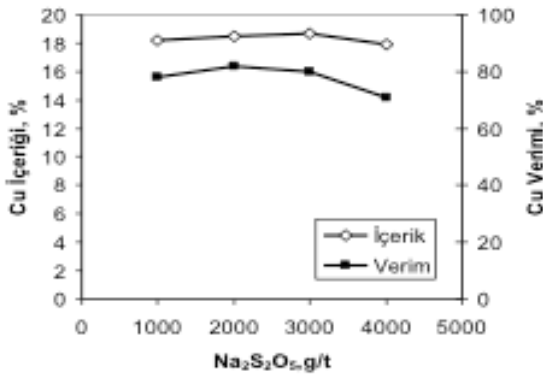
Tablo 5. Kollektörün Temizleme Devrelerinde İlave Edilmesi

Aerophine İlavesi	Ürünler	Miktar (%)	Cu (%)		Zn (%)	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim
Kaba Devre:	Konsantre	5,8	14,85	54,8	3,14	36,0
	AÜ 1	6,7	3,44	14,7	0,77	10,2
25g/ton	AÜ 2	5,9	0,25	0,9	0,34	3,9
	Artık	81,6	0,57	29,6	0,31	49,9
25 g/ton	Toplam	100,0	1,57	100,0	0,506	100,0

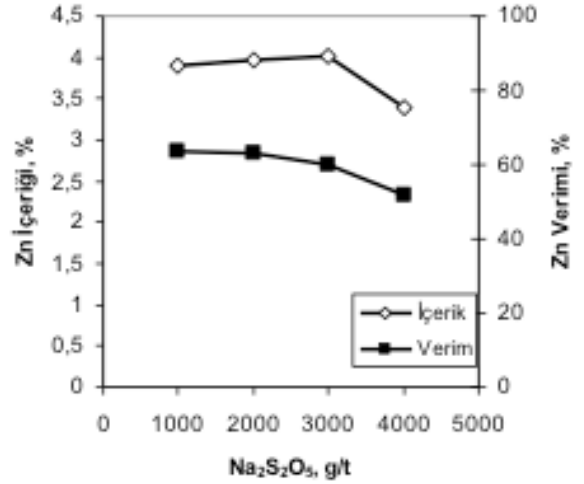
Kaba devrede 25 g/ton kolektör kullanıldığında artıka kalan kalkopirit miktarı artmaktadır. Kollektörün temizleme devresinde ilave edilmesinin de herhangi bir olumlu etkisi olmamaktadır. 50 g/ton kollektörün kaba devrede ilave edilmesinin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca buradaki sonuçlara göre kaba devrede 25 g/ton kullanılması durumunda Tablo 4'teki sonuçlar ile kıyaslandığında, kollektör miktarının 50 g/ton'dan az kullanılması durumunda artıka kalan bakır içeriğinin arttığı anlaşılmakta yani 25 g/ton Aerophine miktarı az gelmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre Siirt-Madenköy bakır zenginleştirme tesisinde kollektör cinsinin, miktarının ve eklenme şeklinin uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Bastırıcıların Etkisi

Bakır konsantresinin satılabilir içerik ve uygun verimlerde üretilebilmesi hem piritin hem de sfaleritin iyi bir şekilde bastırılması gerekmektedir.



Şekil 6. Sodyum meta bisülfid miktarına bağlı olarak bakır konsantresinin bakır içeriği ve kazanma verimlerinin değişimi.



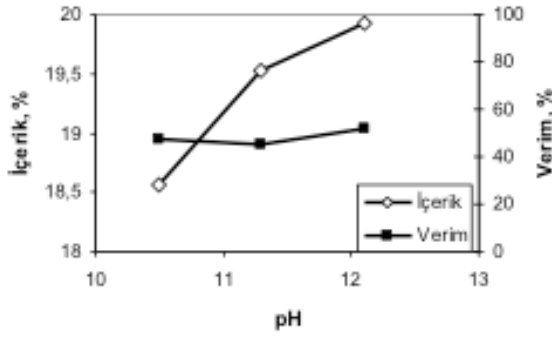
Şekil 7. Sodyum meta bisülfid miktarına bağlı olarak bakır konsantresinin çinko içeriği ve kazanma verimlerinin değişimi.

Bu çalışmada % 20 Cu içeren bir konsantrenin Zn içeriğinin de % 4'ün altına düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu yüzden de hem piritin hem de sfaleritin bastırılması için uygun koşulların ve bastırıcıların bulunmasına yönelik olarak birtakım deneyler yapılmıştır.

Öncelikle tesiste silikatların bastırılması için kullanılan sodyum silikatın (Na₂SiO₃) etkisi farklı miktarlarda (0-1000 g/ton arası) kullanılarak denemiştir. Yapılan deneyler sonucu sodyum silikat kullanımının flotasyon üzerinde olumlu bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Silvestre ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (2009) sodyum silikatın disperse etme özelliğinden dolayı sülfürlerin flotasyonunda etkili olduğu ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra sodyum silikatın pH 7-10 arasında etkili olduğu bilinmektedir (Fuerstenau ve diğ., 1985). Bu çalışmada piritin bastırılabilmesi için çok yüksek pH değerlerine çıkıldığından sodyum silikatın etkisiz olduğu bu bölgede kullanımına da gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

Bakır konsantrelerindeki sfaleritin bastırılması amacıyla çinko sülfatın (ZnSO₄) etkisinin incelendiği deneylerde, çinko sülfat 0-1000 g/ton arasında değişen miktarlarda ilave edilerek deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde konsantrelerdeki çinko içeriği % 4'lerin altına düşürülemediği (Ceylan, 2009).

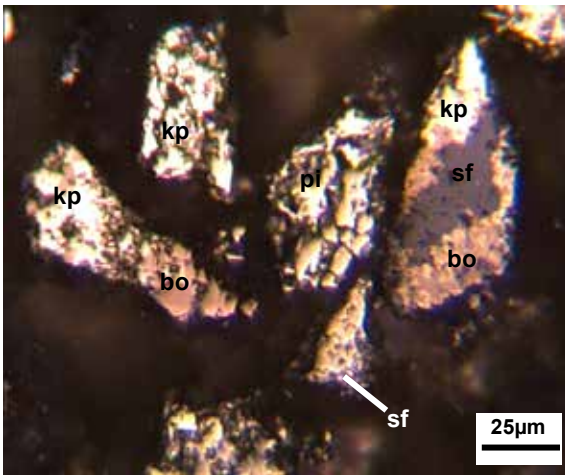
Sodyum meta bisülfidin sfaleritin üzerindeki bastırıcı etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Şekil 6 ve 7'da verilmektedir. Bu şekillerde meta bisülfid miktarının bakır konsantrelerinin içerik ve verimleri üzerindeki etkisi



Şekil 9. Farklı pH'larda nişasta kullanımı ile bakır konsantrelerindeki bakır içeriklerinin ve kazanma verimlerinin değişimi

Şekil 6'te, bakır konsantrisindeki çinko içeriği ve verimleri üzerindeki etkisi ise Şekil 7'da verilmektedir. Sodyum meta bisülfidin 4000 g/ton miktarında kullanıldığında yaklaşık % 18 Cu içeren bir konsantre % 71 gibi verimle üretilmekte, bu durumda konsantredeki Zn içeriği % 3.39 olmaktadır.

Flotasyon deneylerinde bakır içeriğinin arttığı durumda, Zn içerikleri de artmaktadır. Mineralojik etütlerden de anlaşılacağı üzere çinkonun kalkopirit içerisinde 1 ila 50 mikron boyutlarında kapanımlar halinde bulunması bu sonuca neden olmaktadır. Bakır konsantrelerinde yapılan mineralojik incelemelerde de sfaleritin bornit ve kalkopirit ile kapanım ve kenetli halde olduğu izlenmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. (Büy.320) Bakır konsantrisindeki pirit (pi), kalkopirit (kp), bornit (bo) ve kalkopirit (kp) ile kenetli halde izlenen sfalerit (sf).

Kalkopirit-piritin selektif olarak ayrılmasında yüksek pH değerlerinde siyanür kullanımı etkin bir yöntem olmasına rağmen, günümüzde siyanürün çevresel etkilerinden dolayı terk edilmiştir. Hali hazırda işleyen tesislerde genellikle yüksek pH değerlerinde siyanür kullanılmadan piritin bastırılmasına yönelik yöntemler uygulanmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda piritin bastırılması için nişasta, dekstrin gibi bastırıcıların da etkin olduğu bilinmektedir (Bogusz ve diğ., 1997, Boulton ve diğ., 2001, Laskovski ve diğ., 2007). Bu çalışmada da nişastanın flotasyon üzerindeki etkisini görmek amacıyla 3 farklı pH değerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır.

pH 10.5, 11.3 ve 12.10'da bastırıcı olarak 50 g/ton nişastanın kaba devreye, 50 g/ton'un temizlemelere eklenmesiyle deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları grafiksel olarak Şekil 8'de verilmektedir.

Şekil 9'den de görülebileceği gibi nişasta kullanımı ile pH 12'de konsantredeki bakır içeriği % 20 olmaktadır. Buna karşılık konsantre verimi % 52.2 civarındadır. Artıktaki metal kaybı % 18 civarındadır. Buradan da nişastanın temizlemelerde kullanılması ile içerikte bir düzelme olduğu buna karşılık ara ürünlerde fazla bakır kaldığı anlaşılmaktadır. Bakır konsantresindeki Zn içerikleri % 5 ila % 6 arasında değişmektedir. Yine bakır içeriğinin arttığı durumda çinko içeriğinin de arttığı gözlenmektedir. Nişasta kullanımının piritin bastırılması için çok büyük bir avantaj sağlamadığı, konsantrelerdeki çinkonun düşürülmesi için de uygun bir reaktif olmadığı anlaşılmıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışmada kullanılan Siirt-Madenköy bakır cevheri % 1.60 Cu, % 0.43 Zn içermektedir.
- Siirt-Madenköy cevherinin mineralojik etütleri sonucu numunenin, pirit, sfalerit, kalkopirit, markasit, pirotin, galen, rutil, hematit, götit, limonit, kalsit, siderit ve kuvars minerallerini içerdiği tespit edilmiştir. Piritin ortalama boyutu 75 mikron, kalkopiritin ise 70 mikron civarındadır. Sfalerit kalkopirit içerisinde kapanımlar halinde ortalama 30 mikron boyutlarında dağılmaktadır.
- Cevherin flotasyon ile zenginleştirmesinde şu anda Siirt-Madenköy tesisinde de kullanılan

50 g/ton Aerophine 3418 A ile en iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

- Silikatların bastırılması için sodyum silikat, sfaleritin bastırılması için çinko sülfat kullanımının flotasyon sonuçları üzerinde herhangi bir değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre şu anda tesiste halihazırda kullanılan bu reaktiflerin gerekliliğinin tesis bazında kontrol edilmesi faydalı olacaktır.
- Bakır konsantreleri içindeki çinkonun bastırılması için kullanılan 4000 g/ton sodyum meta bisülfidin çinko içeriğini %3.4'lere düşürdüğü gözlenmiştir. Ancak meta bisülfid kullanımı bakır tenörlerini de bir miktar düşürmüştür.
- Nişasta kullanımı ile bakır içerikleri bir miktar artmasına rağmen bakır kazanma verimleri azalmıştır. Konsantredeki bakır içeriğinin artmasına bağlı olarak çinko içerikleri de artmıştır.
- Çinkonun kalkopirit ile kapanım halinde bulunması konsantrelerdeki çinko içeriğinin düşürülmesi açısından zorluk yaratmaktadır.
- Siirt-Madenköy cevheri üzerinde yapılan bu çalışma sonunda, tesiste kullanılan çinko sülfat, sodyum silikat gibi bastırıcıların gereksiz olduğu anlaşılmaktadır. Çinko'nun bakır konsantrelerinde bastırılması karmaşık mineralojik yapısından dolayı zor olmakla birlikte, çok fazla meta bisülfid kullanımı ile mümkün gözükmektedir. Ancak bu miktar Cu verimi düşüşüne de neden olmaktadır.
- Siirt-Madenköy bakır işletmesinde 2013 yılında faaliyete giren 2 adet Remas bilyalı değirmen ve eklenen 5 er adet 20 m³ ve 10 m³ celüller sayesinde 1650 000 ton/yıl tuvenan cevher işleme kapasitesi ve 100 000 ton/yıl konsantre elde etme kapasitesine ulaşmıştır.
- Siirt-Madenköy bakır işletmesine yeni alınan Remas bilyalı değirmenler ve yeni eklenen celüller sayesinde hem kapasite hemde randıman artmıştır, bunun nedeni daha iyi öğütme sağlanması ve cevherin flotasyonda kalma süresinin artmasındandır.
- Siirt-Madenköy bakır işletmesinde daha önce çinko sülfat kullanılmaktaydı, şu anda kullanılmamaktadır. Bakır konsantre tenöründeki çinko miktarı % 2 lere kadar düşmüştür.

KAYNAKLAR

- Atak, S., (1990). Flotasyon İnkeleri ve Uygulaması, İ.T.Ü. Vakfı, 34, İstanbul.
- Bıçak, O., Ekmekçi, Z., Bradshaw, D.J., Harris, P.J., (2007). Adsorption of guar gum and CMC on pyrite, Mineral Engineering, 20, 996-1002.
- Bogusz, E., Brienne, S.R., Butler, I., Rao, S.R., Finch J.A., (1997). Metal ions and dekstrin adsorption on pyrite, Mineral Engineering, 10, 4, 441-445 (Technical Note).
- Boulton, A., Fornasiero, D., Ralston, J., (2001). Selective depression of pyrite with polysaccharide polymers, International Journal of Mineral Processing, 61, 13-22.
- Bulatoviç, S.M., (1999). Use of organic polymers in the flotation of polymetallic ores, A review, Mineral Engineering, 12, 4, 341-354.
- Bulatoviç, S.M., (2007). Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice. Flotation of Sulfide Ores, Elsevier.
- Cao M. and Liu, Q., (2006). Re-examining the functions of zinc sulphate as a selective depressant in differential sulphide flotation—the role of coagulation, Journal of Colloid and Interface Science 301, 523–531.
- Ceylan, A., (2009). Siirt-Madenköy cevherinin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chander, S., Khan, A., (2000). Effect of sulfur dioxide on flotation of chalcopyrite, International Journal of Mineral Processing, 58, 1-4, 45-55.
- Cytec Mining Chemical Handbook, (2002).
- Eşgün, S., (2006). Siirt-Madenköy cevherinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Fuerstenau, M.C., Miller, J.D., Kuhn, M.C., (1985). Chemistry of Flotation. Kingsport Press, Tennessee.
- Gaudin, A.M., (1957). Flotation, Mcgraw- Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London
- Gül, A., (2007). The role of Na₂S₂O₅ and activated carbon on the selective flotation of chalcopyrite from a copper ore using a dithiophosphine –type collector. Mineral Processing and Extractive Metal.Rev., 28, 235-245.
- Gül, A., Yüce, A.E., Sirkeci, A.A., Özer, M., (2008). Use of non-toxic depressants in the selective flotation of copper-lead-zinc ores, Canadian Metallurgical Quarterly, 47, 2, 111-118.
- Khmeleva, T.N., Chapelet, J.K., Skinner, W.M., Beattie, D.A., (2006). Depression mechanisms of sodium bisulphite in the xanthate-induced flotation of copper activated sphalerite, International Journal of

Mineral Processing, 79, 61-75.

Laskowski, J.S., Liu, Q., (1999). Adsorption of polysaccharides onto sulfides and their use in sulphide flotation, In: Laskowski, J.S. (Ed.) Polymers Mineral Processing. MetSoc of CIM, 71-89.

Laskowski, J.S., Liu, Q., ve O' Connor, C.T., (2007). Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral /aqueous solution interface, International Journal of Mineral Processing, 84, 59-68.

Rath, R.K., Subramanian, S., Pradeep, T., (2000). Surface chemical studies on pyrite in the presence of polysaccharide-based flotation depressant, Journal of Colloid and Interface Science, 229, 82-91

Shen, W.Z., Fornasiero, D., Ralston, J., (2001). Flotation of sphalerite and pyrite in the presence of sodium sulfite, International Journal of Mineral Processing, 63, 1, 17-28.

Silvestre M. O., Pereira, C.A., R. Galery, R., and A.E.C. Peres, A.E.C, (2009). Dispersion effect on a lead-zinc sulphide ore flotation, Mineral Processing, 22, 9-10, 752-758.

Yamamoto, T., (1980). Mechanism of depression of pyrite and sphalerite by sulphite, complex sulphide ores, ed. M.J. Jones, London, Institute of Mining and Metallurgy Conference, Rome, Italy, pp.71-78.

ROTARİ SONDAJ MATKAPLARININ OPTİMUM SEÇİMİ VE İŞLETİLMESİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

A NEW METHOD TO OPTIMIZE THE ROTARY DRILL BIT SELECTION AND OPERATION

Hasan Ergin*
Ömür Acaroğlu**
Melis Toker***
Bahadır Ergener****
Deyvi Akkriş*****

ÖZET

Bu çalışmada rotari sondaj matkaplarının seçimi ve kullanımını optimize eden yeni bir yöntem tanıtılmaktadır. Çalışmanın amacı, delinebilirliğe etki eden kayaç parametreleri ile gerçek boyutlu laboratuvar delik delme çalışmaları ve yerinde arazi uygulamalarından elde edilen datalar arasında regresyon analizi ile delme hızı tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Bu çalışmada; öncelikle kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenecektir. Kayaç koşullarına uygun olan farklı üreticilerin tavsiye ettikleri gerçek boyutlu matkaplar, bu matkapların kontrollü koşullarda test edilmesine imkân tanıyan yatay sondaj makinesinde sistematik olarak test edilip; delme hızı, matkap tasarımı ve işletme parametreleri en uygun matkabı bulmak amacıyla araştırılacaktır. Yatay sondaj makinesinde baskı kuvveti ve rotasyon parametrelerinin etkisi sistematik olarak test edilebilmektedir. Elde edilen verilerin detaylı analizleri ışığında matkapların spesifik delme hızı, spesifik aşınma ve spesifik enerji tüketimi belirlenmektedir.

Anahtar sözcük: Rotari sondaj, optimum matkap seçimi

ABSTRACT

This paper reviews current state to the art to rotary drill bit selection and operation and also introduce a new method for optimizing this process. The research done so far are examined those are the rock properties affecting the drillability, the full scale laboratory studies, the observation of field practice and the regression analysis of this data to develop penetration rate estimation models. In the new method introduced at this paper; the physical and mechanical parameters of rock samples are firstly determined. Then, systematic drilling tests are carried out in Horizontal Drill Rig using real bits recommended by different manufacturers according to rock conditions. The relation between the penetration rate and the bit design and operational parameters are investigated to find the most suitable bit. In the light of data produced the detailed analysis are carried out to define the specific penetration rate, specific wear rate and specific energy consumption for different bits.

Keywords: Rotary drilling, optimum bit selection

* Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL, acaroglu@itu.edu.tr
** Doç.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL
*** Araş.Gör., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Maden Müh. Bölümü, İSTANBUL
**** Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş., İSTANBUL
***** Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş., İSTANBUL

GİRİŞ

Delik delme işlemi; yer kabuğunda bulunan değerli maddelerin (maden, petrol, doğalgaz, sıcak su vb.) aranması, değerlendirilmesi ve işletilmesinde; enjeksiyon ve zemin sağlamlaştırma, drenaj, baraj, tünel gibi inşaat projeleri yanında açık ocak maden işletmelerinde delme-patlama işlerinin yapılmasında çok önemli bir yere sahiptir. Çok pahalı bir operasyon olan sondaj işlemi ileri düzeyde teknik bilgi ve teknoloji gerektirmektedir. Sondaj maliyetlerinde kuyunun hızlı bir şekilde tamamlanmasında en büyük etken olan matkapların (delici uç) tasarımı ve proje şartlarına göre en uygun matkabın seçilerek optimum koşullarda işletilmesi son 20 yıllık dönem içerisinde çok yoğun ve geniş çalışmaların yapıldığı araştırma konularından biridir. Konu ile ilgili yönelimler, delik delme ekonomisinin büyük oranda bağlı olduğu "matkap ilerleme hızının" ve "matkap ömrünün artırılmasına" yöneliktir. Döner sondaj yönteminde değişik formasyon koşulları için önerilen çok sayıda değişik firma tarafından üretilmiş Üç konili matkaplar (çelik ve tungsten karbür dişli), PDC matkaplar, elmas matkaplar (yüzey taşı elmas ve emprenye elmas matkaplar) kullanılmaktadır. Ayrıca henüz endüstriyel uygulaması yaygın olmayan mini diskli ve kesici parçaları sökülebilen dual matkap üretimi için de çalışmalar mevcuttur. Delik delme işleminde birçok parametre delme verimliliğini etkilemektedir. Delinen kayaçların özellikleri delinebilirliği ve ilerlemeyi en fazla etkileyen parametreler olup, özellikle dikkate alınmaları gerekmektedir. Bu iki terim delme sisteminin ilerleme hızına kayaçların fiziksel, mekanik ve dokusal parametrelerinin eşzamanlı etkisini tarif etmek için kullanılmaktadır (Singh vd. 2009). Her bir kayaç parametresinin niteliksel ve niceliksel etkisini bilmek çok önemlidir.

İlk araştırmacılar kayaç parametrelerini doğrudan delinebilirlik ölçüsü olarak kullanmışlardır. Kayaçların sertlik ve dayanıklılığına bağlı delme hızını ifade eden bir teori öneren Paona ve Bruce delme hızını doğrudan kayaç dayanımı ile ilişkilendiren araştırmalar yapmışlardır (Paona vd., 1963). Hartman darbeli delme sonucu oluşan çukurun hacmi ile temel değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmıştır (Hartman 1962). Rotari delmede bir konik matkap için kayaç çatlak modeli geliştirilmiş, her bir dişin bağımsız hareket ettiği kabul edilmiştir. Daha sonra oluşan çatlakların rotari gücü, yatay ve dikey kuvvetlerle ilgili olduğu belirlenmiştir (Eronini vd., 1982).

Tek bir kayaç parametresinin kayaç örneği üzerinde etkisini test etmek matkap seçiminde ve kullanımında hatalara neden olabileceğini göz önüne alınarak son yıllarda çeşitli araştırmacılar ağırlıklar ve oranlar ile her bir parametrenin diğer parametre ile olan ilişkisini hesaba katan kayaç sınıflandırma sistemlerine yoğunlaşmaktadır. Bütün parametrelerin dikkate alınması delme verimliliğinin iyileştirilmesini sağlayacak, işletme maliyetini ve aşınmayı düşürecektir (Thuro, 1996; Hoseinie vd., 2009). Bu bağlamda yapılan önemli fizikomekanik kayaç özelliklerinin ilerleme hızına etkileri belirlenmiştir (Singh vd., 2009).

Kayaçların mekanik özellikleri ve jeolojik koşulları içeren formasyon özelliklerinin yanında matkap tipi, tasarımı, malzeme kalitesi gibi matkabın özellikleri ile işletme parametreleri de delme işlemi ve matkapların aşınmasını etkiler (Praillet, 1990; Praillet 1998; Koronka vd., 2009; Opafunso vd., 2008). Bu çalışmanın amacı en iyi performans veren matkabı seçmek ve belirli kayaç koşulları için delme parametrelerini optimize etmek için kullanılacak yeni bir yöntemi tanıtmaktır.

1. KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde günümüzde kullanılan matkap seçme yöntemleri kısaca anlatılmaktadır.

1.1. Matkapların Sınıflandırma Sistemi IADC'nin Kullanılması

Yıllar önce, Uluslararası Sondaj Müteahhitleri Birliği (IADC) çelik ve tungsten karbür dişli rotari matkaplar için 6 temel formasyonu içerecek şekilde geliştirilen bir sınıflandırma sistemi tanımladı. Her iki matkap tipi için ayrı ayrı tanımlanan seriler sekiz adettir. Her bir seriyi ifade eden kodun ilk rakamı formasyon sertliğini göstermekte ve sertlikle birlikte artmaktadır. İkinci rakam ise 4 alt zonu göstermekte olup, rakamın artmasıyla birlikte yine sertliğin arttığı ifade edilmektedir (World Oil, 2008). Rotari matkapların IADC kodlarına karşılık gelen formasyonlar aşağıdaki gibidir:

- Yapışkan tabakalı ve düşük basınç dayanımlı formasyonlar, örneğin kil, marn IADC serisindeki karşılığı 1 ve 4.
- Düşük basınç dayanımlı ve yüksek delinebilirlik özelliğine sahip formasyonlar, örneğin marn, tuz, anhidrit ve şeyl (IADC serisi 1ve 4).
- Düşük basınç dayanımı arada sert tabakalan-

maların olduğu yumuşak orta sert formasyonlar, örneğin kum, şeyl ve kireç (IADC serisi 5).

- Yüksek ve çok yüksek basınç dayanımına sahip ancak aşındırıcı olmayan veya çok az aşındırıcı olan tabakalar içeren orta-sert formasyonlar, örneğin şeyler, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, dolomit ve anhidrit (IADC serisi 2 veya 6).
- Yüksek basınç dayanımına ve ara ara yüksek aşındırıcı tabakalara sahip sert formasyonlar, örneğin siltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı (IADC 3 veya 7).
- Çok sert ve aşındırıcı formasyonlar, örneğin Kuvarsit, volkanikler (IADC serisi 8).

1.2. Matkap Üretici Firmaların Katalogları ve Tavsiyeleri

Üretici firmaların dokümanları matkap ismi, model numarası, IADC kodu, boyut aralığı, tavsiye edilen baskı kuvveti ve dönme hızı ve diğer spesifik yapısal ve operasyonel özellikleri içerir (Varel, 1991; Walker, 1998; Hughes, 1989; Rockmore, 1996). Matkap üreticilerinin sağladığı bilgiler kullanılarak uygun matkap ve işletme parametreleri seçilebilir.

1.3. Tam Boyutlu Laboratuvar Sondaj Deneyleri

Tam boyutlu sondaj laboratuvar deneyleri ile kayaç-matkap ilişkisi test edilebildiği için sondaj dinamiklerinin matkap performansı ve ömrüne etkisini anlamamıza imkân vermektedir. Bu makineler sondaj performansına etki eden işletme parametrelerinin araştırılmasına, yeni matkapların tasarımına ayrıca, delik dibi ekipmanlarının kalitelerinin artırılmasına imkân sağlamaktadır. Böylece titreşimlerin engellenebilmesini sağlamaktadır. İleri derecede geliştirilmiş laboratuvar simülasyonu ile kuyu dibinin yerinde özelliklerine oldukça yakın şartlar sağlanabilecektir. Bu simülasyon temsili kaya bloğu arazideki kayaç matkap ilişkisinin araştırılması için kullanılabilir. Bu sistemlerden elde edilen veriler ile arazi sonuçları arasındaki ilişkiyi araştırılan çalışmalar mevcuttur (Raymond, vd., 2008; Motahhari vd., 2009).

16 tam boyutlu derin kuyu simülasyonları 6 inç boyutunda matkaplar kullanılarak üç farklı kayaç ve 5 farklı sondaj sıvısı tipi için yapılmıştır. Bu tam boyutlu laboratuvar testleri 100.000 psi'in üzerinde baskı kuvveti kullanılarak gerçekleştiril-

miştir. (Judzis vd., 2007).

Farklı dönme hızlarında ve baskı kuvvetlerinde çeşitli kayaç tiplerinde PDC ve emprenye elmas matkaplarla testler yapılmıştır (Ersoy, 2003).

Schlumberger Cambridge Sondaj Araştırma Laboratuvarında da 12 ¼ inç çapa kadar matkaplarla 5.000 m derinlikteki kuyu şartları sağlanarak deneyler yapılabilmektedir (Cooper vd., 1986).

1.4. Geliştirilmiş Veritabanı Programları ve Geçmiş Matkap Performanslarının Analizi

PDC matkapların seçimine yardımcı olacak bir uzman sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, matkap seçim kurallarından oluşan bir veri tabanını belirli jeolojik koşullar ve delme şartları için en uygun matkabı seçecek şekilde kullanır. Bu kurallar önceden kullanılan matkapların deldiği jeoloji, kayaç özellikleri ve metrajları ile çalıştırılmaktadır (Fear vd., 1994).

Diğer bir yöntem ise optimum matkap tipini üç katlı yapay sinir ağları yöntemiyle seçmektedir. Bu sistem arazi dataları ile tasarımı yapılmış ve test edilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda optimum matkap seçimi için iki saklı katmanlı geri beslemeli yapının en efektif sinir ağı tasarımı olduğu ortaya çıkmıştır. Geliştirilen model değişik arazilerde matkap seçimi için kullanılmıştır (Bilgesu vd., 2000).

Veriler veritabanında toplanıp modifiye edilebilirler. Böylece gerekli hesaplamalar yapılabilir, bu hesaplamalara ve dataya bilgisayar programlarıncada erişilebilir. Bu çalışmada arazi datalarını tutabilecek bir veritabanı tasarlanmış ve gerekli parametreleri hesaplayacak bir bilgisayar programı ve çıkışları bulunduracak bir excel dosyası ile ilişkilendirilmiştir. Genellikle metre başına düşen en düşük maliyet seçim kriteri olsa da optimum matkap seçimini sağlayan tek bir yöntem yoktur. Bu nedenle yeni sistemler seçim için faydalı olacaklardır (Dumans vd., 1990; Kok vd., 2008).

2. OPTİMUM MATKAP SEÇİMİ VE KULLANIMI İÇİN TASARLANMIŞ YENİ BİR METHOD

2.1. Yeni Metod

Döner sondaja etki eden en önemli faktörler matkap seçimi, işletme parametreleri, baskı kuvveti, dönme hızı ve kuyu dibinin temizlenmesidir.

Matkap seçimi ve işletme parametrelerinin bağlı

olduğu faktörler;

- Formasyon ve ilgili özellikleri
- Dönme hızları
- Baskı kuvveti
- Kuyu dibi temizliği
- Kuyu çapı
- Kuyu derinliği ve delinme sıklığı

Bütün bu delme işlemine etki eden önemli parametreler, bu makalenin konusu olan yatay sondaj makinesi ile belirlenebilir. Gerçek matkaplar kullanılarak belirli şartlar için bu parametrelerle ilgili araştırmalar yapılabilir. Yeni metodun akış diyagramı Şekil 1'de verilmiş olup, beş aşamadan oluşmaktadır.

Adım 1: Araziden temsili numuneler almak ve kayaçların delme performansına etki edecek jeoteknik parametrelerini laboratuvar testleri ile belirlemek.

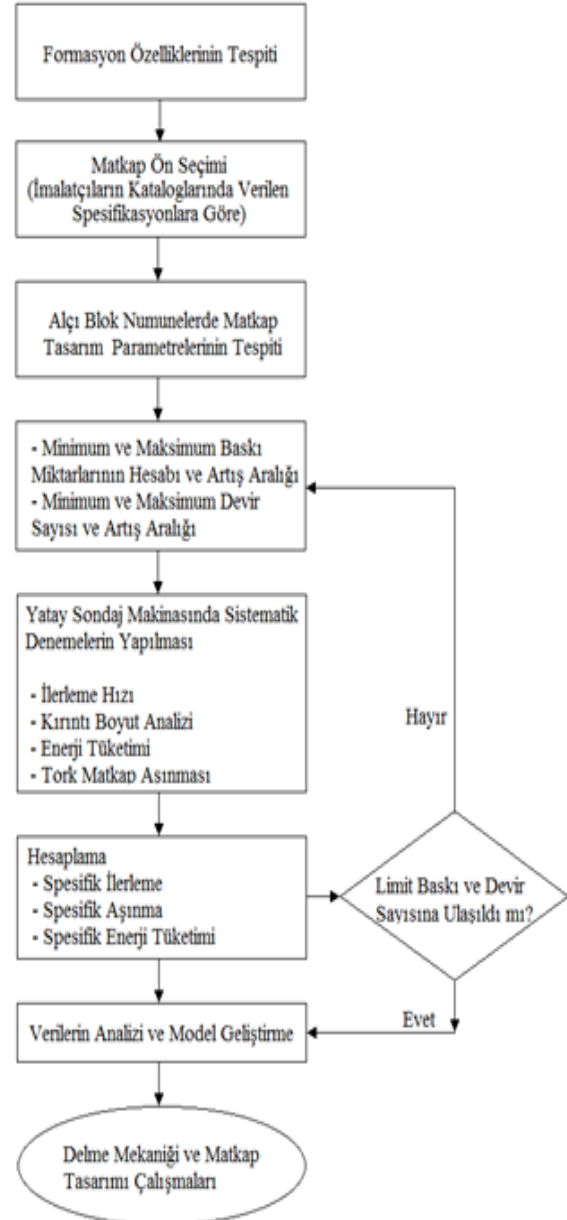
Adım 2: Üretici firmanın listesinde tanımlanan en uygun matkapları belirlemek.

Adım 3: Yatay Sondaj makinesini kullanarak tam boyutlu sondaj testini gerçekleştirmek. İşletme parametreleri baskı kuvveti ve dönme hızı (rpm) sistematik olarak değiştirilerek işletme parametreleri optimize edilecektir. Farklı işletme koşullarında, ilerleme miktarı, tork ve güç ölçülerek en ekonomik performans değerleri belirlenecektir. Tavsiye edilen baskı kuvveti iki faktöre bağlıdır: Bunlar matkap boyutu ve formasyon sertliği. Daha büyük matkap boyutu daha fazla baskı kuvveti gerektirir. Aynı şekilde formasyon sertliği de baskı kuvveti ihtiyacını artırır. Daha önceki çalışmalardan iyi bilinen bir gerçek ise çok düşük veya çok yüksek baskı kuvvetleri matkap aşınmasını artırmaktadır. Bu nedenle optimum baskı kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Konik matkaplarda bir dakikada dönme hızı 30 ile 140 devir arasında değişmektedir. Dönme hızları yumuşak ve ıslak formasyonlarda daha yüksek, sert formasyonlarda daha düşük olup formasyona göre belirlenmesi gerekmektedir.

Matkapların performanslarının karşılaştırılması optimum işletme şartlarının belirlenmesi ile gerçekleştirilecek olup, matkap aşınma oranlarının belirlenmesi ve kırıntı boyut dağılım analizi de laboratuvar testlerine dahildir.

Şekil 2 yatay sondaj makinesinin resmini göstermektedir. Bir sondaj dizisinin bütün işletme pa-



Şekil 1. Rotari sondaj matkabı seçimi ve kullanımı için yeni yöntemin akış diyagramı.

rametreleri (baskı kuvveti, ilerleme hızı, dönme hızı ve tork değerleri) eş zamanlı olarak kayıt edilmekte ve bir bilgisayar yardımıyla görselleştirilmektedir (Şekil 3). Bu amaçla ESAM 2000 serisi bir I/O kart (16 tek uçlu, 8 farklı kanallı, 12 bit çözünürlüklü ve 100kS/s kapasiteli) bilgisayara takılmıştır.

Giriş verileri analog tipte olup, bir transdüserle ± 10 V aralığında iletilmektedirler. Datalar anında bilgisayarda gözlenebilmektedir. Bütün çıkış sinyallerinin aralığı 10 V olup, doğrudan I/O kartına ve PC'ye dataları gönderen veri edinme sistemindeki transdüserler şunlardır:

- İtme kuvveti ölçümleri (yatay ve yanal) basınç transdüserleri,
- Dönme hızı ve tork transdüserleri,
- İlerleme hızının ölçümü için yatay yer değiştirme ölçüm transdüserleri.



Şekil 2. Yatay sondaj makinesi.

Manner Sensör Telemetri sistemi tork ve dönme hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu sistemde Şekil 3'te görüldüğü gibi deformasyon ölçer Whetstone köprüsü oluşturularak 45o açı ile ana shafta yapıştırılır.

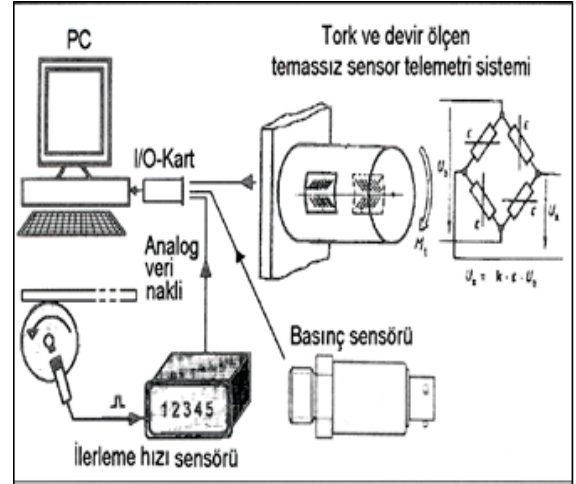
Giriş ve çıkış sinyalleri temassız sistemin ana ünitesi olan antenle transfer edilirler. Çıkış sinyalleri iletim sistemlerine göre shaftın üzerinde kuvvetlendirilirler.

Adım 4: Matkapların performansını karşılaştırmak için spesifik ilerleme hızı, spesifik enerji tüketimi ve spesifik aşınma miktarı hesaplanır. Spesifik aşınma oranı belirli koşullarda spesifik bir matkap ile bütün bir kuyu için matkap ömürlerinin hesaplanmasına imkan verecektir.

Adım 5: Maliyet değerlendirmesi, optimum matkap ve işletme parametrelerinin seçiminin saptanması için belirlenen matkapların maliyet açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir (Borquez, 1981).

2.2. Örnek Bir Çalışma

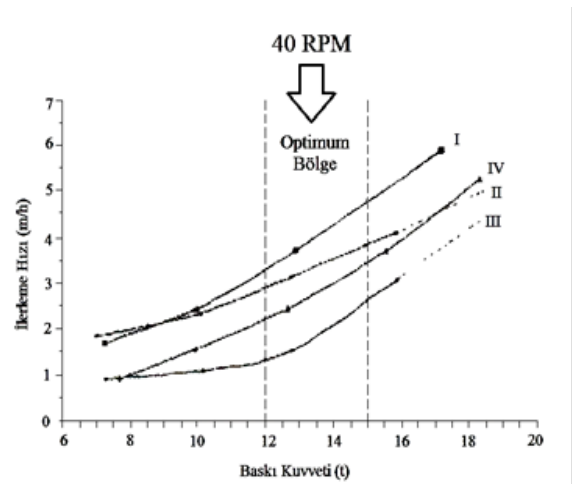
Aşağıda Yapılmış ve Yayınlanmış Bir Çalışma Özetlenmiştir.



Şekil 3. Yatay sondaj makinasının veri edinme sistemi.

Bu çalışmada, Karadeniz Bakır İşletmelerinden 1.5x1.0x1.0 m'lik bir blok numune alınmıştır. Bu örnek fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için teste tabi tutulmuştur. Ortalama basınç ve çekme dayanımı sırasıyla $783 \pm 17 \text{ kg/cm}^2$ ve $61 \pm 6.7 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Farklı üreticilere ait formasyon için uygun 4 farklı konik matkap araştırma için seçilmiştir. Bütün matkaplar 6 inç çapındadır. Seçilen matkapların genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seçilen konik matkaplar 40 ile 60 devir/dak arasında çalıştırılabilmekte, uygulanabilen baskı kuvveti ise 6 ile 18 ton arasında değişmektedir.

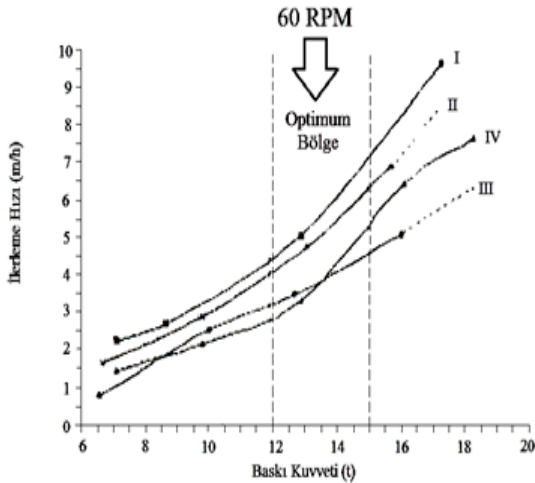
Bu çalışmanın en önemli sonucu, test edilen bütün matkaplarda ilerleme hızına en çok etki eden faktörün baskı kuvveti olduğunun belirlenmesidir. Şekil 4'de görüldüğü gibi dönme hızı da iler-



Şekil 4. Yatay sondaj makinasında 40 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.

Çizelge 1: Seçilen Matkapların Özellikleri.

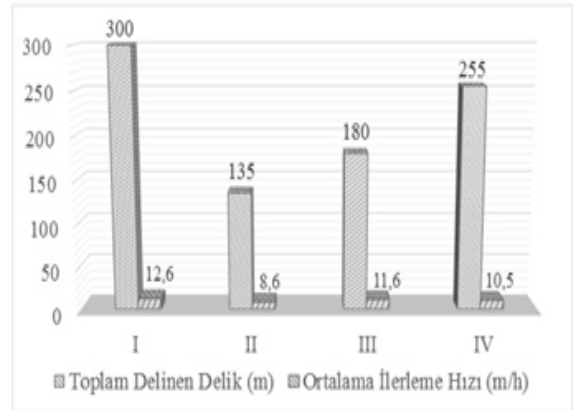
Ürün Özellikleri	Matkap Tipi			
	I	II	III	IV
Matkap boyutu (inch)	6	6	6	6
IADC	731-742	723	812-832	Bilinmiyor
Formasyon tipi	Sert-Çok aşındırıcı	Sert-Çok aşındırıcı	Çok sert-Aşındırıcı	Orta-Orta sert
Basınç dayanımı (kg/cm ²)	704-1400	563-1400	845-1760	563-1400
Dönme hızı (rpm)	50-90	40-70	40-80	35-70
Önerilen baskı kuvveti (ton)	9-18	9-14	15-24	9-18
Matkap ağırlığı (kg)	14.5	22	20.4	20.9



Şekil 5. Yatay sondaj makinasında 60 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.

leme hızına etki eden önemli faktörlerden biridir.

Şekil 4 ve 5 KBİ Bakır Madeni formasyonunda test edilen 4 matkaba ait performans eğrilerini göstermektedir. Matkap ömrü maliyet verimliliği açısından ilerleme hızı kadar önemli rol oynar.



Şekil 6. Test edilen dört matkabin karşılaştırılması.

Basitçe ifade edilirse, eğer alım maliyetleri bütün matkaplar için aynı kabul edilirse, I no'lumatkabın 12.6 m/saat ilerleme hızı ve toplam 300 m delik delme kapasitesiyle (Şekil 6) en verimli matkap olduğu için seçilmelidir (Ergin vd., 2000).

SONUÇLAR

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilmekte olan yeni metodoloji rotari matkapların optimum seçimi ve işletilmesi için çeşitli avantajlar sunmaktadır. İlk aşamada, formasyon özelliklerinin belirlenmesi ve matkabın plaster örneklerinin üzerinde kontak yüzey alanlarının belirlenmesi görece olarak yatay sondaj makinasındaki optimum baskı kuvveti değerini bulmak için daha iyi bir baskı kuvveti ile başlanmasını sağlayacaktır.

İlerleme hızının, kırıntı boyut dağılımının ve matkap aşınmasının ölçülmesi değişik kayaç şartlarında matkap kayaç ilişkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Böylece, aynı kayaç şartlarında matkapları karşılaştırmak, delme işleminde yeni terimler olan spesifik ilerleme hızı, spesifik aşınma oranı ve spesifik enerji tüketimi tanımlanabilecektir. Sonunda, matkap ömrünün hesaplanabilmesi ve maliyet analizinin yapılması belirli kayaç şartlarında en iyi performans ve işletme koşulları belirlenmiş matkabın seçilebilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Hughes, B., 1989. Baker Hughes mining tools product catalogue, Baker Hughes, Houston, Texas, s.1-17.
- Bilgesu, H.I., Al-Rashidi, A.F., Aminian, K., Ameri, S., 2000. A new approach for drill-bit Selection, Journal of Petroleum Technology, 52, s.27-28.
- Borquez, G.V., 1981. Estimating drilling and blasting costs and analysis prediction model, Engineering and Mining Journal, January, s.83-89.
- Cooper, G.A., Peltier, B., 1986. Advanced techniques for laboratory full-scale drilling tests, IADC/SPE Drilling Conference, s. 479-488, Dallas-USA.
- Dumans, C.F.F., Maidla, E.E., 1990. PDC bit selection method through the analysis of past bit performance, SPE Latin American Petroleum Engineering Conference, s.1-6, Rio De Jenerio.
- Ergin, H., Kuzu, C., Balci, C., Tuncdemir, H., Bilgin, N., 2000. Optimum bit selection and operation for the rotary blasthole drilling using a horzizontal drilling rig (HDR) – A case study at KBI Murgul copper Mine, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 14, 4, s.295-304.
- Eronini, I.E., Somerton, W.H., Auslander, D.M., 1982. A dynamic model for rotary rock drilling, Journal of Energy Resources Technology, 104, 2, s.108-120.
- Ersoy, A., 2003. Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits, Trans. Int. Min. Metall A, 112, s.86-96.
- Fear, M.J., Meany, N.C., Evans, J.M., 1994. An expert system for drill bit selection, IADC/SPE Drilling Conference, s.359-383.
- Hartman, H.L., 1962. Crater geometry relations in percussive drilling, Mine and Quarry Engineering, s.530-536.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Osanloo, M., 2009. A new classification system for evaluating Rock penetrability, International Journal Rock Mechanization Mining Sciences, 46, s.1329-1340.
- Judzis, A., Bland, R.G., Curry, D.A., Black, A.D., Robertson, H.A., Meiners, M.J., Grant, T.C., 2007. Optimization of deep-drilling performance-benchmark testing drives ROP Improvements for bits and drilling fluids, SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam-Netherlands, s.25-39.
- Kok, M.V., Guzeloglu, L., Akin, S., 2008. Data base development for drilling bit selection, Energy Resources, 30, s.377-383.
- Koronka, F., Tacaks, F., Andras, I., 2009. The influence of Rock properties on the wear of mining tools for rotating drilling, Revisto Minerol, 9, s.20-24.
- Motahhari, H.R., Hareland, G., Nygaard, R., Bond, B., 2009. Method of optimizing motor and bit performance for maximum ROP, Journal of Canadian Petroleum Technology, 48, s.44-49.
- Opafunso, Z.O., Adebayo, B., 2008. Blast-hole cuttings: an indicator of drill bit wear in quarries, European Journal of Scientific Research, 20, s.721-736.
- Paona, J., Bruce W.E., 1963. Drillability studies-diamond drilling, RI-USBM 6324.
- Praillet, D., 1990. Drilling a manufacturer's viewpoint, Mining Technology Int., s.73-82.
- Praillet, R., 1998. Blasthole drilling, Rotary drilling and the four kingdoms, World Mining Equipments, s.20-23.
- Raymond, D.W., Elsayed, M.A., Polsky, Y., Kuszmaul, S.S., 2008. Laboratory simulation of drill bit dynamics using a model-based servohydraulic controller, Journal of Energy Resources Technology, 130, 4, s.1-12.
- Rockmore Int. Co., 1996. Product Catalogue, Rockmore Int., s.1-18.
- Singh, T.N., Jain, A., Sarkar, K., 2009. Petrophysical parameters affecting the microbit drillability of rocks, Int. Journal Rock Mechanization Mining Sciences, 1, s.261-277.
- Thuro, K., Spaun, G., 1996. Introducing the 'Destruction Work' as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling, Eurock'96-Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering, 2, s.707-713.

Torino-Italy.

Varel Co., 1991. Varel product catalogue-mining industrial Rock bits, Varel Manufacturing Co., s.1-17, Dallas-Texas.

Walker-McDonald Mfg. Co., 1998. Rotary bits, Walker-McDonald.

World Oil's, 2008. Drill Bit Classifier, Gulf Publishing Co., s.133-153, Houston, USA.

PATLATMA SONUÇLARININ ANALİZİNDE YERSEL LAZER TARAYICILARIN (LiDAR) KULLANIMI

THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING (LiDAR) FOR THE ANALYSIS OF BLASTING RESULTS

İrfan Celal Engin*

Norbert Maerz**

ÖZET

Madencilik amaçlı patlatma uygulamalarında verimliliğin önemli bir ölçütü patlatma sonrası sağlanan parçalanmanın derecesidir. Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmış ve bu yöntemlerde, ölçüm hataları, uzun işlem süreleri gibi çeşitli sorunlarla karşılaşmıştır. Bu çalışmada, LiDAR teknolojisi kullanılarak, öncelikle laboratuvar ölçekli yığın üzerinde, daha sonra bir taş ocağında, kırılmış agrega yığını ve patlatma sonrası oluşan yığın üzerinde parça boyutu dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Tane boyu analizi; yığından yersel lazer tarayıcı yardımıyla nokta bulutu verilerinin alınması, bu verilerle yığının üç boyutlu modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması, geliştirilen bir algoritma ile yığını oluşturan parçaların tanımlanması ve boyut dağılımlarının belirlenmesini içermektedir. LiDAR teknolojisinin patlatma sonuçlarının analizinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: LiDAR, Yersel Lazer Tarama, Parça Boyutu, Patlatma.

ABSTRACT

An important efficiency criterion of the blasting operations in mine production is the degree of fragmentation. Different methods have been used to determine the fragmentation up to the present, however some difficulties such as measurement error and long operation times were encountered. In the study, size distribution analysis using terrestrial laser scanning technology (LiDAR) was firstly applied to laboratory scaled broken rock pile, and then, the method was applied to aggregate pile and blasted rock pile in a quarry. Particle size analysis process contains; obtaining point cloud data of the piles using terrestrial laser scanner, creating three-dimensional computer models of the piles through the various filters and related software, defining the fragments and determining the particle size distribution. It is concluded that LiDAR technology can be used effectively in the determination of the size distribution of the piles for evaluating the blasting results.

Key Words: LiDAR, Terrestrial Laser Scanning, Fragmentation, Blasting.

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR, icengin@hotmail.com
** Missouri University of Science and Technology, Geological Engineering Department, Rolla, USA

GİRİŞ

Patlatma işlemi, açık ocak maden üretiminde önemli bir yere sahip olup işlem maliyeti toplam ocak üretim maliyetinin %40'ına ulaşabilmektedir. Bunun yanında, daha sonraki kazı-yükleme ve kırma-öğütme gibi süreçleri doğrudan etkilediğinden tüm maden üretim verimliliği ve maliyetini de etkilemektedir. Patlatma verimliliği, özellikle patlatma sonrası elde edilen parça boyut dağılımıyla değerlendirilmektedir.

Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmış, sayısal görüntü analiz yöntemi bunlar içerisinde en son ve en çok kabul gören yöntem olmuştur. Fakat tüm yığını temsil edecek fotoğrafların teminindeki güçlükler, hava koşullarına ve kullanılan kameraya bağlı olarak elde edilen görüntülerin kalitesindeki farklılıklar, iki boyutta ölçüm yapılabilmesi, fotoğraflarda oluşan perspektif nedeniyle doğru ölçüm alınamaması ve benzeri eksik yönleri görüntü analiz yöntemine alternatif yeni bir uygulamanın geliştirilebileceği fikrini doğurmuştur.

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak patlatma sonrası parça boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Lazer tarama teknolojisi kullanılarak belirlenen tane boyu dağılım eğrileri ayrıca elek analizi ile tespit edilen tane boyu dağılım eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

1. LIDAR TEKNOLOJİSİ

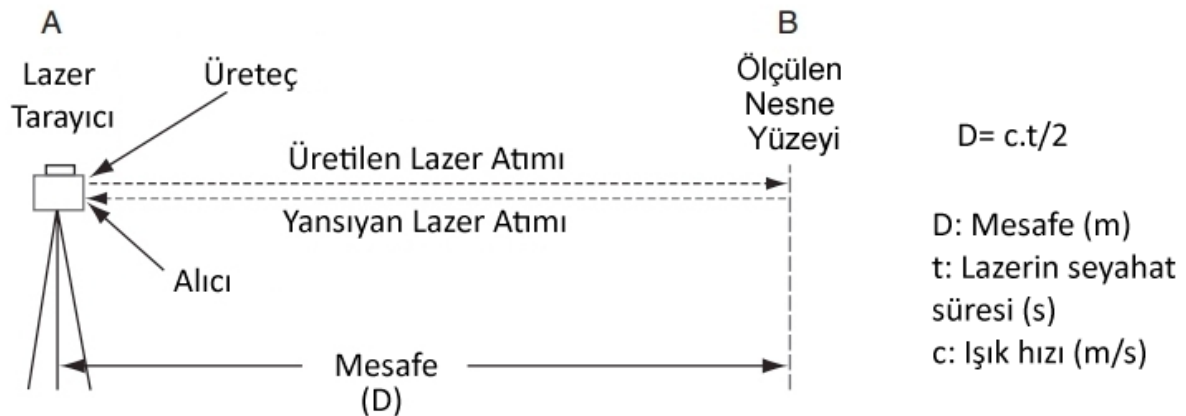
1960'lı yıllarda başlayan lazer teknolojisindeki araştırmalar, günümüzde de sayısı ve kapsamı artarak devam etmektedir. Bu araştırmalar sonucu ortaya çıkan yersel lazer tarama teknolojisinin (LiDAR) bir ölçüm aracı olarak kullanılması son 15 yılda gerçekleşmiştir (Gümüş, 2008). Gün-

müzde birçok mühendislik projesinde objelerin mevcut durumunu elde etmek için detaylı üç boyut (3B) bilgisine ve bunun hızla teminine ihtiyaç vardır. Geleneksel jeodezik ölçüm yöntemleri ve dijital fotogrametri yöntemleri ölçüm alanının tam ve yüksek doğrulukla bilgisayar ortamına aktarılması ve gerekli hesaplamaların yapılması ayrıca işlem süresi bakımından yersel lazer tarama teknolojisiyle kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır.

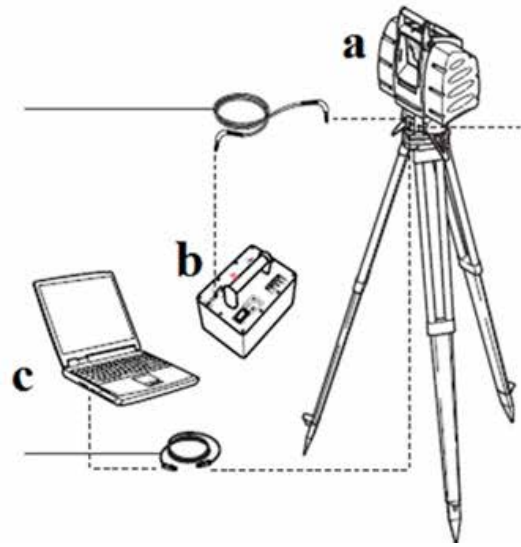
Yersel lazer tarayıcı ile taranacak yüzey üzerindeki bir nokta arasındaki uzunluk, lazer sinyalinin yüzeye gönderilmesi ve yüzeyden geri dönen lazer sinyalinin tespiti arasında geçen zamanın yüksek doğrulukla belirlenmesiyle hesaplanır (Şekil 1).

Objeye, optik-mekanik tarayıcılar ile ölçme uzunluğuna bağlı olarak, yatay ve düşey yönlendirmelerle taratılır. Tarama işlemi sonucunda elde edilen, objenin milyonlarca noktadan oluşan detaylı 3B görüntüsünün çıkarılmasını sağlayan, yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu nokta kümelerine nokta bulutu denir. Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. 3 boyutlu modeli elde edilmeye çalışılan objelerin geniş ve karışık şekilli olmalarından dolayı, tek seferde tarama yapılarak obje geometrisi elde edilememektedir. Bu yüzden, farklı konumlardan taramalar yapılır. Objenin tamamlanmış gösterimini sağlamak için, bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür (Ingensand, 2006; Gümüş, 2008). Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajı, 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı ölçüm özelliğidir.

Diğer avantajları ise Waggot vd. (2005), Reshet-yuk (2006) ve Gümüş (2008) tarafından aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:



Şekil 1. Lazer atımının seyahat süresine göre (TOF) Mesafe ölçümü yöntemi

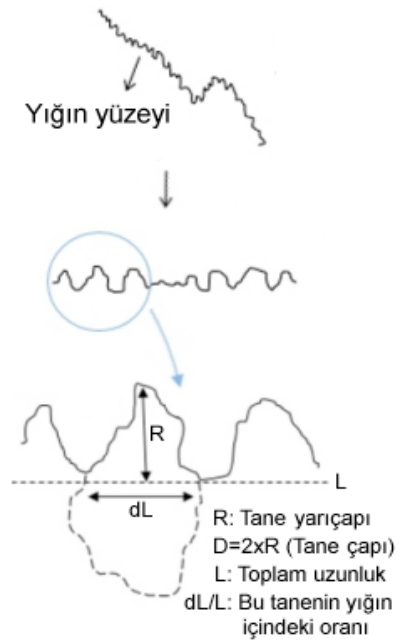
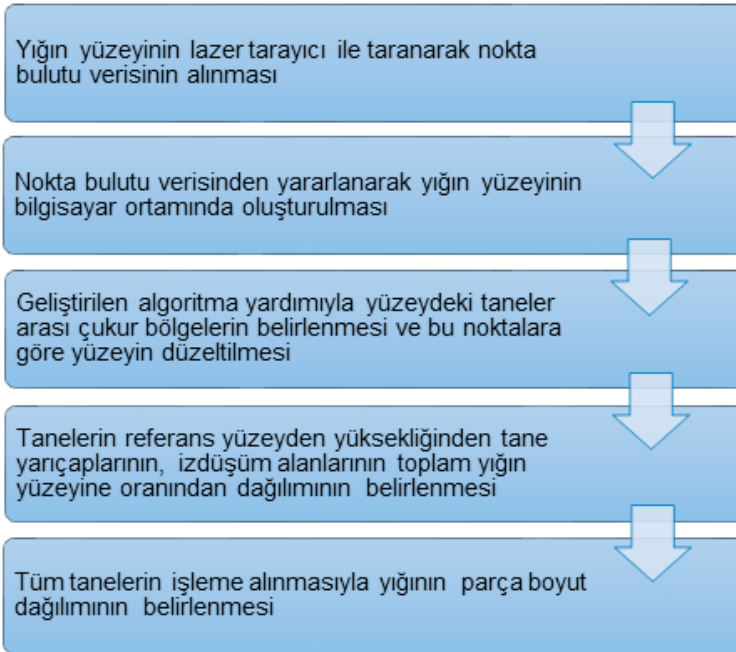


Şekil 2. Leica ScanStation II Marka lazer tarayıcının genel görünümü ve tarama sisteminin parçaları: Tarayıcı (a), Batarya-Jeneratör (b), Bilgisayar (c)

- Aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama,
- Çok amaçlı veri kullanımı,
- Hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme,
- Ulaşılması zor, tehlikeli alanlarda daha güvenli veri toplama imkânı,
- Yüksek doğruluklu sayısal arazi modelleri üretebilme,

- Gerçek renkli görüntü üretebilme,
- Tarama işlemlerinin çevre aydınlatması gerektirmemesi, gece tarama yapabilme özelliği.

Yersel lazer tarayıcıların ilk temininde fiyatının göreceli olarak yüksek oluşu belki bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3. LiDAR Teknolojisiyle parça boyutu analizinde izlenen aşamalar ve parça tanımlama işleminin şematik gösterimi

1.1. Yersel Lazerin Madencilikteki Kullanım Alanları

Yersel lazer tarama teknolojisi bahsedilen avantajlarından ötürü son yıllarda madencilik alanında da kullanılmaya başlanmış, bu konuda birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmalar daha çok açık ocaklarda şev ve basamak geometrisinin 3B olarak elde edilmesi (Feng ve Röshoff, 2004; Yanalak, 2005; Oparin vd., 2007), çeşitli hacim hesaplamaları (Yanalak ve Baykal, 2003; Yakar vd., 2008), açık ocaktaki ve yeraltı açıklıklarındaki süreksizliklerin tespiti (Slob vd. 2004; Slob vd., 2005; Kemeny vd., 2006; Decker, 2008; Lato vd., 2009; Sturzenegger ve Stead, 2009; Maerz vd., 2012; Lato vd., 2013; Fekete ve Diederichs, 2013, Deliormanlı vd., 2014), kaya düşmeleri ve heyelan kontrolünün yapılması amacıyla deformasyon ölçümleri (Bauer vd., 2005; Aksoy ve Ercanoglu, 2006; Teza vd., 2008; Abellán vd., 2008; Salvini vd., 2013) üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, açık ocak patlatmalarında, patlatma sonrası parça boyut dağılımının belirlenmesinde yersel lazer tarama teknolojisinin kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla Leica ScanStation II marka lazer tarayıcı kullanılarak patlatma sonrası oluşan yığın taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir.

Daha sonra yığını oluşturan kayaç parçalarının tanımlanması için bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle laboratuvar ölçekli tane boyutu dağılımı bilinen bir agregası karışımında tarama ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra açık ocakta yine parça boyutu bilinen bir yığına benzer işlemler tekrarlanmıştır. Son olarak açık ocakta yapılan bir patlatma uygulamasından sonra elde edilen yığının parça boyut dağılımı bu yöntemle belirlenmiştir.

Lazer tarama işlemleri Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (University of Science and Technology) Kaya Mekaniği ve Patlayıcı Araştırma Merkezi'nde Dr. Norbert MAERZ yönetiminde bulunan Leica ScanStation II marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

Leica ScanStation II marka lazer tarayıcı, saniyede 50.000 lazer atımı yapabilme ve 300m mesafede 4mm hassasiyetinde ölçüm yapabilme kabiliyetine sahip dâhili yüksek çözünürlüklü diji-

tal kamera içeren, tamamen bilgisayar kontrollü bir ölçme aletidir.

Parça boyut dağılımının belirlenmesinde izlenen yöntem laboratuvar ve saha çalışmaları için aynı olup Şekil 3'de akım şeması olarak verilmiştir.

Parça boyutunun belirlenmesinde öncelikle yığının yüzeyi bilgisayar ortamına aktarılmış, daha sonra yerel minimum (çukur) noktalarının belirlenmesiyle her bir tanenin (agrega veya kaya parçalarının) yığın yüzeyinden olan yüksekliği diğer bir ifadeyle tane yarıçapı belirlenmiştir. Bunun iki katı tane çapı olarak kabul edilmiştir. Tanelerin izdüşüm alanları da belirlenerek toplam yığın yüzeyindeki tane oranı hesaplanmıştır. Tüm tanelerin işleme alınmasıyla yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir (Şekil 3).

Lazer tarama sonucunda elde edilen nokta bulutu verisinden yığın yüzeyinin 3B görüntüsünün elde edilmesinde ve tane boyu dağılımının belirlenmesinde CloudCompare, MATLAB R2013 b yazılımlarından faydalanılmıştır. Bu yazılımlardan CloudCompare tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri içindeki gereksiz noktaların temizlenmesi ve nokta bulutu verilerinin kontrolünde, MATLAB R2013b yazılımı ise nokta bulutu verilerinden yüzey oluşturulması, yığın yüzeyindeki çukur bölgelerin tespiti, yığın yüzeyinin düzeltilmesi ve sonrasında tanelerin belirlenmesinde kullanılmıştır.

2.1. Laboratuvar Ölçekli Uygulama

Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle tane boyu dağılımı bilinen bir karışım hazırlanmış ve bu karışım lazerle taranarak analiz edilmiş ve tane boyu dağılımı bu yöntemle



Şekil 4. Laboratuvarda hazırlanan tane boyu bilinen kalsit agregası karışımından bir görünüm

Çizelge 1. Kireçtaşı Agregası Kullanılarak Hazırlanan Karışımın Tane Boyu Dağılımı

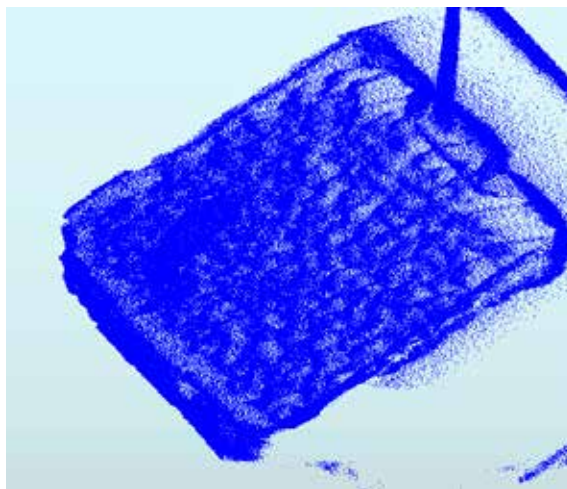
mm	g (elekaltı)	%	Kümülatif %
25	105	2.63	100.00
19	1102	27.64	97.37
16	2698	67.67	69.73
9.5	45	1.13	2.06
4.75	1	0.03	0.93
2.36	1	0.03	0.90
1.18	35	0.88	0.88
Toplam	3987	100	

belirlenmiştir. Hazırlanan karışımın görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Tane boyu analizi ise Çizelge 1'de verilmiştir.

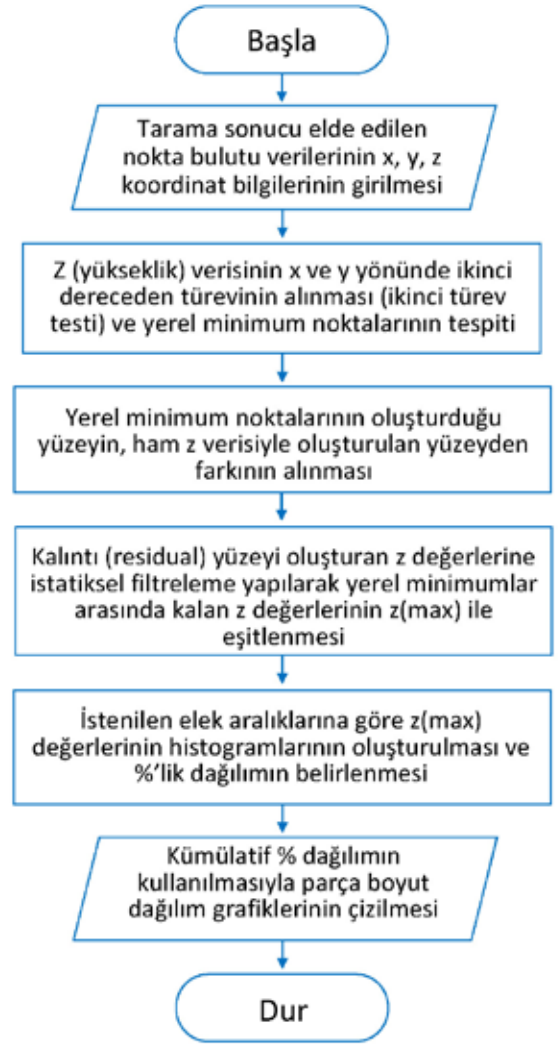
Karışım serbest şekilde düz bir yüzeye dökülmüş ve yüzeyi lazer tarayıcı ile taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir (Şekil 5).

Tarama işleminde noktalar arası 1mm olacak şekilde seçilmiştir. Daha sonra yüzeyin bilgisayar ortamında üç boyutlu görünümü elde edilmiştir. MATLAB yazılımında geliştirilen kodlar yardımıyla yüzeyi oluşturan tanelerin aralarındaki çukur noktalar belirlenerek (yerel minimumlar) yüzey düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Taneler arasındaki çukur alanların belirlenme-



Şekil 5. Agrega karışımının tarama işlemi sonrası nokta bulutu verisi

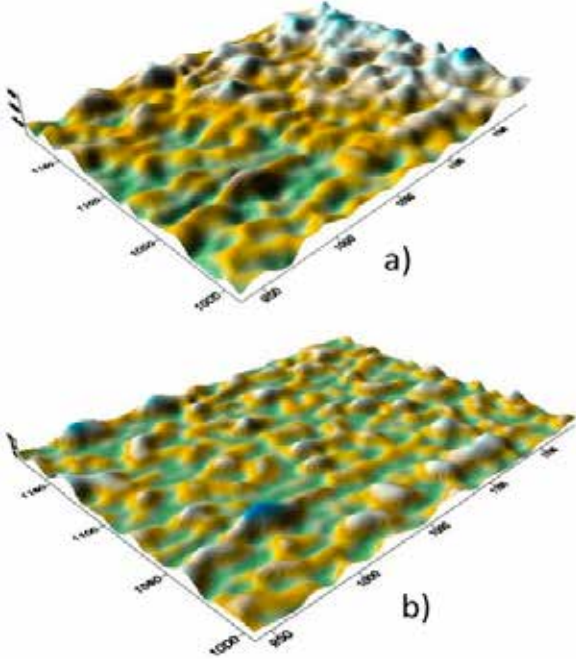


Şekil 6. MATLAB yazılımı ile tane boyu dağılımı belirlenmesinde uygulanan algoritma

sinde ikinci dereceden türev alma yöntemi uygulanmıştır. Bilgisayar ortamında oluşturulan yüzey üzerinde MATLAB yazılımı yardımıyla iki doğrultuda olmak üzere yükseklik fonksiyonunun ikinci dereceden türevi alınmış, bunun değerinden yola çıkılarak yerel minimum noktaları tespit edilmiştir. Bu minimum noktaları kullanılarak yığın yüzeyi düzeltilmiş ve tanelerin ölçülebilmesi sağlanmıştır.

Daha sonra her tanenin referans düzleminden olan yüksekliğinden tane çapı ve yüzey alanının yığının yüzey alanına oranından da tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Bu işlemleri kapsayan algoritma bir akım şeması halinde Şekil 6'da verilmiştir.

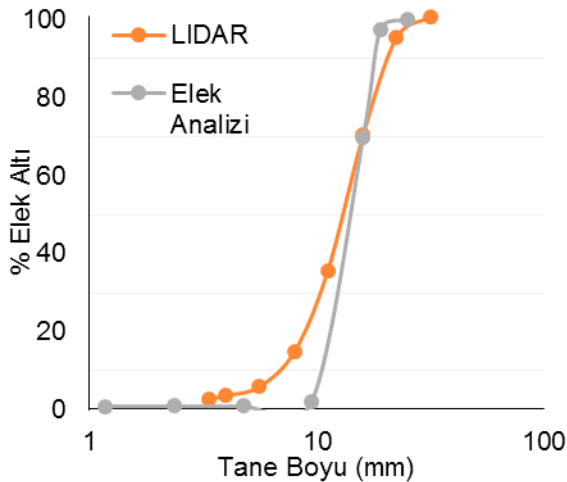
Yığın yüzeyinin düzeltilmesi işlemine bir örnek Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Hazırlanan yığının orijinal 3B modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

Nokta bulutu verilerinin analizinden belirlenen tane boyu dağılımı ile elek analizi sonuçları ise Şekil 8'de karşılaştırılmıştır.

Şekil 8'den görülebileceği gibi lazer tarama ve sonrasında yapılan tane boyu analizi işlemiyle elde edilen tane boyu dağılım eğrisi elek analizinden elde edilen eğriyle oldukça yakındır. Özellikle ince tane bölgesinde (<10 mm) bir miktar sapma olmuştur bu da cihazın tarama hassasiyetinin aşılmasıyla ilgili bir durumu işaret etmektedir.



Şekil 8. Elek analizi sonucunda elde edilen tane boyu dağılımı ile LiDAR yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

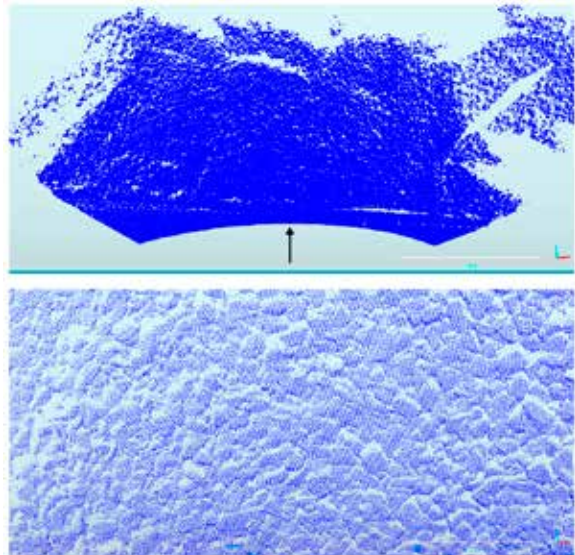
2.2. Taş Ocağı Uygulamaları

Saha çalışmaları ABD Missouri eyaletinde Rolla şehri yakınlarında bulunan bir kireçtaşı ocağında (Şekil 9) gerçekleştirilmiştir.

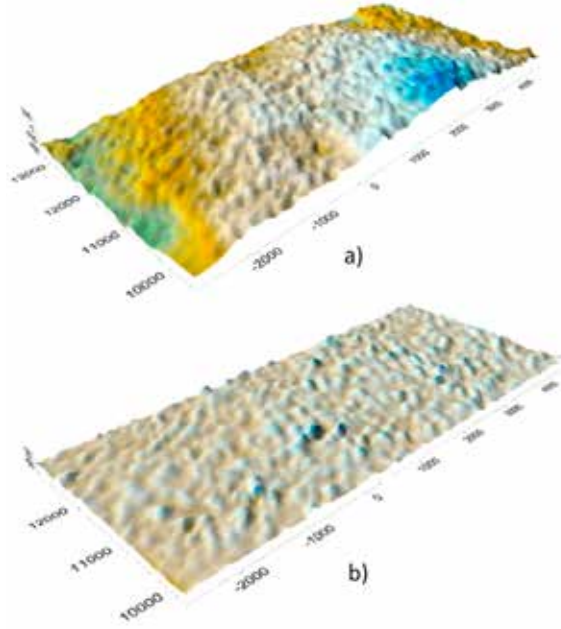


Şekil 9. Rolla şehri yakınlarındaki kireçtaşı ocağının yer bulduru haritası

Ocakta lazer tarama işlemi öncelikle kırma eleme tesisinden çıkan tane büyüklüğü 4 inç (10,16mm) olan kayaların oluşturduğu yığın üzerinde denenmiştir (Şekil 10). Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve düzeltilmiş görünüm ise Şekil 11'da verilmiştir.

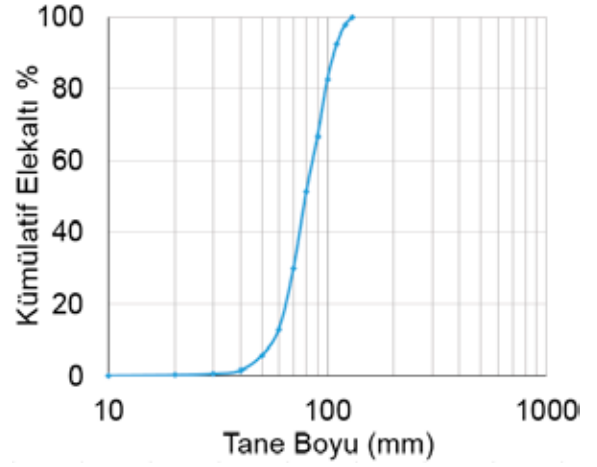


Şekil 10. Lazer tarama işlemi yapılan kırılmış agrega yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (altta)



Şekil 11. Taş ocağındaki kırılmış agrega yığınının orijinal 3b modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

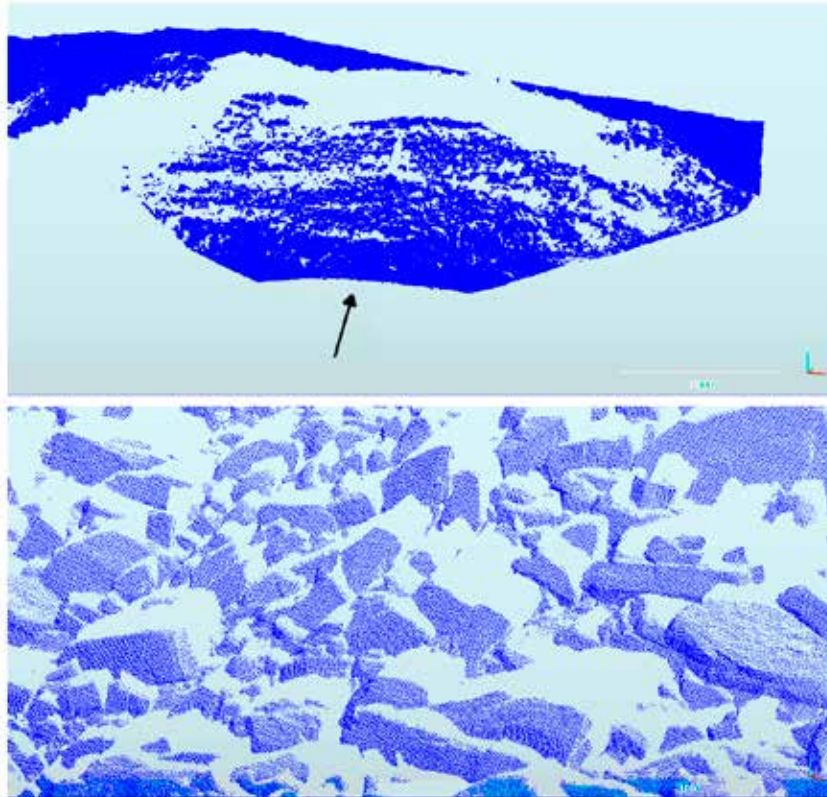
Bahsedilen yöntemle agrega yığınının tane boyu analizi yapılmış ve sonuçta elde edilen tane boyu dağılım eğrisi Şekil 12'de verilmiştir. Görül-



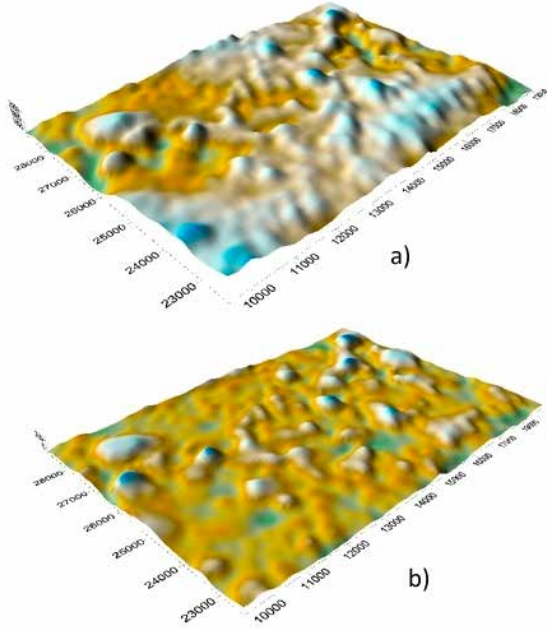
Şekil 12. LiDAR yöntemi ile agrega yığını üzerinde yapılan tane boyu analizi sonucu elde edilen tane boyu dağılım eğrisi

düğü gibi gerçek değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Benzer uygulama ocaкта yapılan bir basamak patlatması sonucu elde edilen yığın üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).

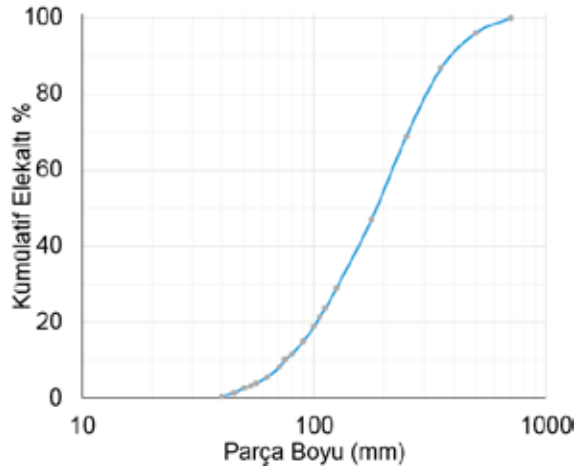


Şekil 13. lazer tarama işlemi yapılan patlatma sonrası elde edilen yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (altta) verilmiştir



Şekil 14. Taş ocağındaki patlatma sonrası elde edilen yığının orijinal 3b modeli (a) ve düzeltme işleminden sonraki görünümü (b)

Yapılan patlatma uygulamasında delik çapı 10 cm, dilim kalınlığı 3 m, delikler arası mesafe 3,6 m, basamak yüksekliği 17 m, delik boyu 18 m, özgül şarj ise 0,842 kg/m³ olarak seçilmiştir. Emülsiyon tipi patlayıcı kullanılmıştır.



Şekil 15. Kireçtaşı ocağındaki patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı

Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve düzeltilmiş görünüm ise Şekil 14'de verilmiştir. Yapılan tane boyu analizi sonucu ise Şekil 15'de verilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojinin patlatma uygulamalarının sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle nokta bulutu verilerinden parça boyutu dağılımının belirlenmesi amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle öncelikle laboratuvar ölçekli agrega karışımının parça boyut dağılımı belirlenmiş, daha sonra ise bir taşocağında boyut dağılımı bilinen yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Her iki uygulamada da yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu verilerinin analizi sonucunda bulunan boyut dağılımı gerçek (elek analizi) verilerle çok iyi uyum içerisindedir. Son olarak patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı da aynı yöntem izlenerek belirlenmiştir. Patlatma sonrası parça boyut dağılımının yersel lazer tarayıcılarla belirlenmesinde yöntemin hassasiyeti kullanılan lazer tarayıcının hassasiyeti ve tanelerin tanımlanmasında kullanılan algoritmaların güvenilirliği ile yakından ilgilidir.

Yersel lazer tarayıcılar geleneksel jeodezik yöntemlere göre sahip olduğu avantajlar nedeniyle artan bir kullanım alanına sahiptir. Madenlerde üretimin planlanması ve izlenmesinde, hacim hesaplamalarında, süreksizliklerin belirlenmesi ve analizinde, heyelanların izlenmesinde vb. uygulamalarda kullanımının yanında patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla parça boyut dağılımının belirlenmesinde de kullanılması daha verimli üretim yapılmasına imkân sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abellán A., Vilaplana J.M., Martínez J., 2008. Application of a long-range terrestrial laser scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern pyrenees, Spain), Eng Geol 88, 136-148.

Aksoy, H., Ercanoğlu, M., 2006. Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation. Natural Hazards and Earth System 6, 941-954.

Bauer A., Paar G., Kaltenböck A., 2005. Mass movement monitoring using terrestrial laser scanner for rock fall management. In: Proc first international symposium on geo-information for disaster management, 393-406.

Decker J., 2008. Laser scanning techniques in Devil's Slide tunnels. In: Proceedings of the 42nd US rock mechanics symposium, San Francisco.

- Deljormanlı A.H., Maerz N., Otoo J.N.A., 2014. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 66, 41–48.
- Fekete S., Diederichs M., 2013. Integration of three-dimensional laser scanning with discontinuum modelling for stability analysis of tunnels in blocky rock masses. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 57, 11–23.
- Feng, Q.H., Röshoff, K., 2004. In-situ mapping and documentation of rock faces using full-coverage 3D laser scanning techniques. *International Journal of Rock Mechanics and Mining* 41, 379.
- Gümüş K., 2008. Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134 s.
- Ingensand H., 2006. Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology. In *Proceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements*.
- Kemeny, J., Turner, K., and Norton, B. 2006. LiDAR for Rock Mass Characterization: hardware, software, accuracy, and best practices. *Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization workshop*, Golden Colorado, June 17-18, 2006, pp. 49-62.
- Lato M., Kemeny J., Harrap R.M., Bevan G., 2013. Rock bench: Establishing a common repository and standards for assessing rockmass characteristics using LiDAR and photogrammetry. *Computers & Geosciences* 50, 106–114.
- Maerz, N. H., Youssef, A. M., Otoo, J. N., Kassebaum, T. J., and Duan, Y. 2012. A simple method for measuring discontinuity orientations from terrestrial LiDAR images. *Sub. to J. of Environmental and Engineering Geoscience*. Feb. 2012.
- Oparin V.N., Seredovich V.A., Yushkin V. F., Ivanov A.V., Prokop'eva, S.A., 2007. Application of laser scanning for developing a 3D digital model of an open-pit side surface. *Journal of Mining Science* 43(5), 545-554.
- Reshetyuk Y., 2006. Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner Leica HDS 3000. *ZfV (Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement)*, 131 (2), 96-103.
- Salvini R., Francioni M., Riccucci S., Bonciani F., Callegari I., 2013. Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola–Iselle railway, the Italian Alps. *Geomorphology* 185, 110–122.
- Slob S, Hack R, Knapen B, Kemeny J., 2005. A method for automated discontinuity analysis of rock slopes with 3D laser scanning. In: *Proceedings of the 84th annual meeting of Transportation Research Board*, Washington, DC, 16 pp.
- Slob S., Hack R., Van Knapen B., Kemeny J., 2004. Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques, In *Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquy*, Salzburg, 439-443.
- Sturzenegger M., Stead D., 2009. Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, *Engineering Geology* 106, 163-182.
- Teza G., Pesci A., Genevois R., Galgaro A., 2008. Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation, *Geomorphology* 97, 424-437.
- Waggot S.M., Clegg P., Jones R.R., 2005. Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK, GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration, *Proceedings of the 7th Conference on 3-D Optical Measurement Techniques*, Vienna, Austria, 3-5 Oct. 2005.
- Yakar M., Yılmaz H.M., Mutluoğlu Ö., 2008. Lazer Tarama Teknolojisi ve Fotogrametrik Yöntem ile Hacim Hesabı. TÜBİTAK, Proje No: 105M179, 90s.
- Yanalak M, and Baykal O., 2003. Digital Elevation Model Based Volume Calculations Using Topographical Data, *Journal of Surveying Engineering* 129 (2), 56-64.
- Yanalak M., 2005. Computing Pit Excavation Volume. *Journal of Surveying Engineering* 131(1), 15-19.

