

# MADENCİLİK

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

HAZİRAN

JUNE

2016

CİLT

VOLUME

55

SAYI

NUMBER

2

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Ekin KÖKEN,  
Ahmet ÖZARSLAN

3

**UZUNAYAK MADENCİLİĞİNDE ANA TAVAN YÜKLEMESİNİN YALANCI TAVAN KIRILMA MESAFESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**  
*Investigation of the Effects of Main Roof Loading on the Breaking Distance of the Immediate Roof in Longwall Mining*

Bülent ERDEM,  
Tuğba DOĞAN,  
Zekeriya DURAN,  
Zafer ÖZGEN

23

**MADEN İŞYERLERİNDE KULLANILAN BAZI İŞ ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİNİN ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ**

*Measurement and Evaluation of Hand-Arm Vibration Exposure Sourced From Some Power Tools in Mining Workplaces*

Hasan Ali TANER,  
Vildan ÖNEN

45

**KİLLERİN PÜLP ORTAMINDAKİ DAVRANIŞI VE FLOTASYONA ETKİSİ**

*Behaviour of Clays in Pulp Media and Their Effect on Flotation*

Gürhan DEMİR  
Muzaffer YILMAZ  
Murat ŞEN

53

**ETİ BAKIR A.Ş. KÜRE YERALTI İŞLETMESİ'NDE GERÇEKLEŞTİRİLEN PATLATMA UYGULAMALARININ İNCELENMESİ**

*Investigation of Underground Blasting Applications in Eti Bakır A.Ş. Küre Underground Mine*

MADENCİLİK dergisi yazı dizini 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





**TMMOB  
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**

*Adına Sahibi:*

**Ayhan Yüksel**

*Yazı İşleri Müdürü:*

**Necmi Ergin**

*Yönetim Kurulu:*

**Ayhan Yüksel**

**Emre Demir**

**Necmi Ergin**

**Mehmet Özyurt**

**Sinan Girdaplı**

**Öznur Akça**

**Servet Gürer**

Selanik Cad. Yeşim Apt. No:19/3-4

06650 Kızılay – Çankaya / ANKARA

Tel : 0312 425 10 80 / 418 36 57 / 418 77 59 / 418 77 95

Cep : 0546 425 10 80 / 0533 747 29 04

Faks : 0312 417 52 90

Web : [www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)

e-Posta : [maden@maden.org.tr](mailto:maden@maden.org.tr)

SÜREKLİ EĞİTİM MERKEZİ (Devamı 52 Sayfada)

## UZUNAYAK MADENCİLİĞİNDE ANA TAVAN YÜKLEMESİNİN YALANCI TAVAN KIRILMA MESAFESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

### *Investigation of the Effects of Main Roof Loading on the Breaking Distance of the Immediate Roof in Longwall Mining*

Ekin KÖKEN\*  
Ahmet ÖZARSLAN\*\*

#### ÖZET

Uzunayak madenciliğinde yalancı tavan göçertilmesinin etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması açısından önemli olduğu bilinmektedir. Tavan tabakalarının jeomekanik özelliklerinden etkilenen yalancı tavan kırılmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus ise ana tavan yüklemesidir. Ana tavanın nasıl ve hangi oranda yalancı tavan üzerine etkidiği tam olarak ortaya konulamamaktadır. Bu çalışmada yalancı tavan kırılma mesafesinin kestirilmesini amaçlayan önemli yaklaşımlar özetlenmiştir. Yalancı tavan üzerine farklı kalınlıkta ve üçgen yayılı yükleme koşullarında etkiyen ana tavanın yalancı tavanın kırılma mesafesi üzerine etkisi elastik kiriş teorisine göre incelenmiştir. Kiriş teorisi kullanılarak gerçekleştirilen parametrik analizlerden elde edilen sonuçlar Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan altı adet uzunayaktan elde edilen ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ana tavan yüklemesinin yalancı tavanın kırılma mesafesi üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Uzunayak, Ana Tavan Yükleme, Tabaka Kontrolü, Yalancı Tavanın Kırılma Mesafesi

#### ABSTRACT

As known from the previous studies that the cavability of immediate roof is important to maintain an effective strata control. The other issue should be paid attention in breaking of immediate roof affected by geomechanical properties of roof strata, is the main roof loading. It is not accurately revealed how and to what extent main roof acts on the immediate roof. Important approximations aiming to estimate the breaking distance of immediate roof are summarized in this study. The effect of main roof acting upon the immediate roof with different thickness and triangular distributed loading conditions is investigated according to elastic beam theory. The results obtained from parametrical analysis using beam theory are compared to the breaking distance values of six longwalls located in Zonguldak Hard coal Basin. In conclusion, significant effects of main roof loading are seen for the breaking distance of immediate roof.

**Keywords:** Longwall, Main Roof Loading, Strata Control, Breaking Distance of Immediate Roof

\* Arş. Gör., Bülent Ecevit Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., ZONGULDAK, ekin.koken@beun.edu.tr  
\*\* Doç. Dr., Bülent Ecevit Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., ZONGULDAK

## GİRİŞ

Ayak arkasının göçebilirliği konusunda yapılan çalışmalarda geniş bir yer tutan ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi, üretim hızını etkilemesi ve etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ayak arkasının ilk kırılma mesafesi, teorik olarak iki mesnetli bir giriş şeklinde düşünülmüş ve çeşitli araştırmacılar tarafından fiziksel ve sayısal olarak modellenmiştir (Bilinski ve Konopko 1973, Peng 1986, Majumdar 1986, Hongzhu 1996, Hongzhu ve Ramayya 1996, Manteghi vd. 2012, Hosseini vd. 2013).

Ayak arkası kırılma şekli, mesafesi ve söz konusu göçme olayının anlaşılması için yapılan araştırma yöntemlerinden bir diğeri ise fiziksel modelleme tekniğidir. Jacobi (1981), Jeremic (1985) ile Singh ve Singh (1999) uzunayaktaki göçme mekanizmasının anlaşılması için ölçekli uzunayak modelleri oluşturarak farklı yükleme koşulları altında göçme olayını kavramsal olarak açıklamaya çalışmıştır.

### 1. AYAK ARKASI KIRILMASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen, fiziksel ve sayısal modeller ile literatürde yer alan tavan göçebilirlik sınıflamaları ışığında ayak arkasının kırılmasında etkili en önemli değişirgeler aşağıdaki gibi listelenebilir (Bilinski ve Konopko 1973, Ghose 1976, Venkateswarlu vd. 1989, Laubscher 1990, Hongzhu 1996, Singh ve Singh 1999, Das 2000, Mark ve Molinda 2003, Lawrence 2009, Köken 2014).

- i. Yalancı tavan kalınlığı ( $h_{im}$ )
- ii. Yalancı tavanın dayanım özellikleri (Eğilme veya çekme dayanımı)
- iii. Yalancı tavanın içerdiği süreksizliklerin konumu (Arın düşey eksenine paralel, dik veya herhangi bir açı ile kesmesi)
- iv. Yalancı tavan süreksizliklerin jeoteknik özellikleri (Süreksizlik açıklığı, aralığı, devamlılığı, pürüzlülüğü, ayrışma-bozunma durumu vb.)
- v. Yalancı tavanın katılığı (Yalancı tavan katılığı, tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanı ve kaya kütlesi deformasyon modülü yardımı ile tespit edilir)
- vi. Yalancı tavan litolojisi

vii. Yeraltı suyunun etkisi

viii. Ayak içi tahkimat elemanlarının doğru kurulum sokülmesi

### 1.1. Yalancı Tavan Kalınlığını Belirleme Yöntemleri

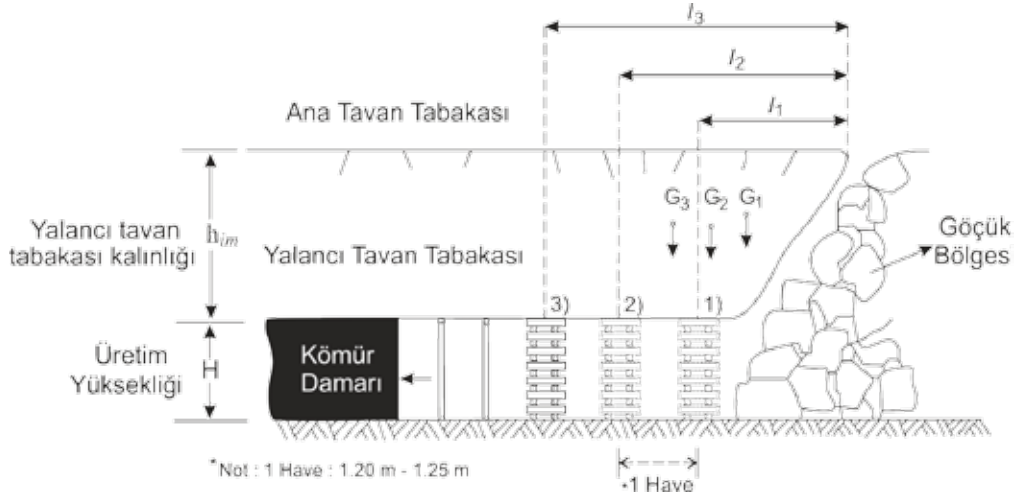
Ayak arkasının kırılması konusunda önemli bir büyüklük olan yalancı tavan tabakasının kalınlığı ve buna bağlı olarak meydana gelen tavan yükleri, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde belirlenmektedir. Doğrudan yöntem, uzunayakta, domuzdamı, ahşap ve/veya hidrolik direkler altında yerleştirilen yük ölçüm aletleri kullanılarak yapılmaktadır. Sistematik yapılan ölçümlerin zamana bağlı olarak değişimi kayıt edilerek, ortalama yük yoğunluğu (OYY) ve yalancı tavan kalınlığı ( $h_{im}$ ) belirlenmektedir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda, doğrudan yük ölçümleri ile  $h_{im}$  ve OYY değerlerinin belirlenmesi; Ünlü (1989), Paşamehmetoğlu vd. (1989), Bilir (1994) ve Özel (1995) tarafından yapılmıştır.

Dolaylı yöntemler ile tavan yükleri ve yalancı tavan kalınlığının belirlenmesi ise, arazi ölçümleri ve önceki çalışmalardan elde edilen değerlerin birleştirilmesi sonucu geliştirilen görgül bağıntılar yardımı ile yapılmaktadır (Whittaker ve Jeremic 1979, Unrug 1983, Everling 1985, Zhou 1991, Ünal 1995).

### 1.2. Yalancı Tavanın Dayanımı

Ayak arkasının kırılması özetle ayak ilerlemesine bağlı olarak yalancı tavanın eğilerek kırılması şeklindedir. Ayak ilerledikçe askıda kalan, başka bir ifade ile göçmeyen giriş şeklindeki tavan bloğunun hacmi artmakta ve arın ilerleme yönüne doğru ( $I_1$ ,  $I_2$  ve  $I_3$  mesafelerine doğru) giriş şeklindeki tavan bloğunun ağırlık merkezi sırasıyla  $G_1$ ,  $G_2$  ve  $G_3$  noktalarına ötelenmektedir (Şekil 1). Söz konusu ötelenme arın ilerlemesine kıyasla oldukça yavaş gerçekleştiğinden, askıda kalan kaya bloğunun ağırlık merkezi domuzdamının düşey ekseninden ayrılmaktadır. Böylece tavan bloğunda deformasyon ve eğilmeler artarak, tavan bloğu statik koşullar altında çekme yenilmesi ile kırılmaktadır. (Salamon 1990).

Bu sebepten tavan tabakasının çekme ve/veya eğilme dayanımı kırılma mesafesi üzerinde etkili olacaktır. Giriş şeklindeki tavan kendi ağırlığı altında eğildiğinde yalancı tavan üst kısmında çekme gerilmesinden kaynaklanan bir kırılma söz konusu olmaktadır.



Şekil 1. Ayak arkasında askıda bekleyen tavan tabakasının arın ilerlemesine bağlı olarak ağırlık merkezinin ötelenmesi.

Kaya kütlelerinin çekme dayanımı ( $\sigma_{tm}$ ) genel olarak Hoek vd. (2002) tarafından önerilen görgül bağıntı kullanılarak belirlenmektedir (Eşitlik 1) Hoek vd. (2002) tarafından önerilen Eşitlik 1, gerçekte iki eksenli çekme dayanımını ifade etmektedir. Ancak yazarlar, iki eksenli çekme dayanımı ile tek eksenli çekme dayanım değerleri arasında pek bir fark olmadığını belirtmiş ve bu eşitliğin kaya kütlelerinin tek eksenli çekme dayanımı değeri olarak kabul edilebileceğini ifade etmiştir.

$$\sigma_{tm} = -\frac{s \times \sigma_{ci}}{m_b} \quad (1)$$

Burada s kaya kütlelerinin çatlaklılık derecesini ifade etmekte olup Eşitlik 2 ile belirlenmektedir. Hoek-Brown kaya kütleleri dayanım sabiti olan  $m_b$  ise Eşitlik 3 ile ifade edilmektedir.

$$s = e^{\left(\frac{RMR_{89}-100}{9}\right)} \quad (2)$$

$$m_b = m_i \times e^{\left(\frac{RMR_{89}-100}{28}\right)} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te yer alan  $m_i$  ifadesi Hoek-Brown ye-

nilme ölçütüne göre kaya malzemesi dayanım sabiti olarak tanımlanmakta olup, dolaylı çekme dayanımı deneyinde disk numune merkezindeki basınç gerilmesinin çekme gerilmesine olan oranı arasındaki ilişkinin ( $\sigma_{max} = -3 \sigma_{min} = -3 \sigma_{tB}$ ) dikkate alınmasıyla kolaylıkla belirlenebilir

(Gerçek 2002). Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te yer alan  $RMR_{89}$  ifadesi ise Bieniawski (1989) tarafından güncellenen Jeomekanik Sınıflama Sistemi puanıdır.

Hoek – Brown kaya malzemesi dayanım sabiti olarak tanımlanan  $m_i$  değeri Gerçek (2002) tarafından önerilen Eşitlik 4 kullanılarak belirlenebilir. Eşitlik 4'te yer alan  $\sigma_{tB}$  değeri (-) işaretli olarak bağıntıda yerini alır.

$$m_i = \frac{16\sigma_{tB}}{\sigma_{ci}} - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} \quad (4)$$

Burada  $\sigma_{tB}$  kaya malzemesi dolaylı çekme dayanımı (MPa),  $\sigma_{ci}$  ise kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa) olarak tanımlanmaktadır.

$\sigma_{ci}$  ile  $\sigma_{tB}$  arasındaki anlamlı ilişkinin Zonguldak kömür çevre kayaçları için araştırılması sonucu

elde edilen  $\left|\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}}\right|$  oranlarının Eşitlik 1'de yerine yazılıp düzenlenmesi ile Zonguldak Taşkömürü Havzası tavan tabakalarının çekme dayanımının kestirilmesi için yeni bir görgül bağıntı geliştirilmiştir (Eşitlik 5).

Geliştirilen görgül bağıntı (Bkz. Eşitlik 5) Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda ilgili mühendislerin kolaylıkla yapılabilen deney ve gözlemler ile tavan tabakalarının çekme dayanımının kestirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = -\eta \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR_{89}-100)\right)} \quad (5)$$

Burada  $\eta$  farklı tavan litolojilerine karşılık gelen bir çarpan olarak tanımlanmış olarak ve

Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde farklı tavan litolojileri için  $\eta$  değerinin 1,11 ile 1,30 arasında değiştiği görülmektedir. Litolojinin konglomera olduğu durumlarda ise, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiştir.

Görgül bağıntısının geliştirilmesinde kullanılan

$\sigma_{ci}$  ve  $\sigma_{tB}$  değerleri ZEDEM (1994) ve Paşamehmetoğlu vd. (1989) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçlarıdır.

Çizelge 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası için  $\eta$  değerleri.

Litoloji	n	$\sigma_{ci} /  \sigma_{tB} $	R*	$m_i$	$\eta$
İnce ve Orta Taneli Kumtaşı	56	12,46	0,80	11,95	1,12
Killaşı	21	9,48	0,78	8,41	1,22
Silttaşı	34	9,89	0,82	8,90	1,20
Çamurtaşı	12	8,30	0,94	6,35	1,30
Şeyl	8	12,65	0,78	12,39	1,11

Çizelge 1'deki R\* ifadesi  $\sigma_{ci}$  -  $\sigma_{tB}$  arasındaki ilişkinin doğruluk katsayısı, n regresyon analizlerinde kullanılan örnek sayısını,  $m_i$  Hoek-Brown dayanım sabitini ifade etmektedir. Farklı tavan litolojilerine karşılık gelen  $\eta$  değerinin niceliksel olarak büyüklüğü ise Eşitlik 6 ile belirlenebilir.

$$\eta = \left[1 - \left(4\sigma_{tB} / \sigma_{ci}\right)^2\right]^{-1} \quad (6)$$

### 1.3. Süreksizliklerin Konumu

Ayak kırılması ve göçme davranışında süreksizliklerin konumu oldukça önemlidir. Arına paralel süreksizlikler ayak arkası kırılmasını kolaylaştırırken, arına dik süreksizlikler ayak kırılmasını zorlaştırıcı bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Arın düşey eksenini ile belirli açılar yapan süreksizlikler ise genellikle parçalı ve bloklu bir göçme davranışına sebep olmaktadır. Doğrultuları kesişen süreksizlikler tavanda irili ufaklı kamalar oluşturarak yalancı tavanın parçalar şeklinde dökülmesine olanak sağlar.

Ayak arkasının kırılmadığı, zor göçen tavanlarda uygulanan kontrollü patlatmanın en önemli amacı da tavanda pek çok süreksizlik oluşturarak tavanın daha kolay göçmesini sağlamaktır.

Tavan süreksizlik konumlarının ölçülmesi genel olarak jeolog pusulası yardımı ile belirlenmekte olup, yalancı tavadaki süreksizlikler genel olarak iki grupta toplanabilir. Birinci grupta tektonik kökenli süreksizlikler yer almaktadır.

Bu süreksizlikler arazi gerilme durumları ve çalışılan bölgede daha önce gerçekleşen tektonik hareketler sonucu meydana gelmiş süreksizliklerdir. Ayak arkasının kolay göçmesi isteniyorsa panoların planlanması esnasında yeraltındaki tektonik süreksizliklerin konumları (Pano doğrultusu ile egemen süreksizlik takımı doğrultusu olabildiğince birbirine paralel olmalıdır.) dikkate alınmalıdır.

Herhangi bir kazı yapılmadan yeraltındaki süreksizlikler hakkında yüzeyde yapılan süreksizlik ölçümleri ve sondaj karotları konu hakkında önemli bilgiler verecektir (Alpan 1969, Ulusay ve Sönmez 2007). Yeraltındaki tektonik süreksizlikleri belirlemede bir diğer önemli araştırma yöntemi ise jeofizik çalışmalardır (Kelly vd. 2002).

İkinci grupta ise tektonik olmayan süreksizlikler yer almaktadır. Bu süreksizlikler ayak ilerlemesine bağlı yalancı tavan üst kısımlarında gelişen çekme çatlakları ve su etkisi altında ıslanma kuruma sonucu meydana gelen kılcal çatlaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu iki farklı süreksizlik türünü ayırt etmek genellikle mümkün olmayıp bazı durumlarda süreksizlik doğrultu ve eğim farkından, bazı durumlarda ise süreksizlik dolgu durumundan ayırt edilebilmektedir (Lihpin ve Zoubkov 1990, Ragan 2009)

### 1.4. Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri

Süreksizliklerin jeoteknik özellikleri tavan du-

raylılığı, ayak arkası kırılma mesafesi ve göçme davranışında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husustur (Mark ve Molinda 2003, Venkateswarlu vd. 1989, Das 2000, Hongzhu 1996, Köken 2014). Köken (2014) Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayakları için geliştirdiği tavan göçebilirlik sınıflamasında, süreksizliklerin jeoteknik özelliklerini etkin olarak kullanmıştır. Süreksizlik yüzeyi ne kadar ayrışmamış ve taze ise ayak arkasının kırılması o denli zorlaşacaktır.

### 1.5. Yalancı Tavan Katılığı

Yalancı tavan katılığı, yalancı tavanın içerdiği süreksizlikleri tavan tabakalarının deformasyon modülü ve tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanının bir bileşkesi olarak tanımlanabilir.

Özel (1995), uzunayaklarda yürüyen tahkimat tasarımı hakkında yaptığı çalışmalarda, yalancı tavan katılığını, tavan tabakalarının tek tabaka halinde (yekpare tabaka) ve ardalanmalı tavanlar (tabakalı tavanlar) olmak üzere iki farklı şekilde incelemiştir.

Eğer tavan tabakaları tek tabaka halindeyse, yalancı tavan katılığı Eşitlik 7 ile; ardalanmalı

(n tabakalı) tavanların hakim olduğu bölgelerde ise, yalancı tavan katılığı Eşitlik 8 ile belirlenmektedir.

$$K_{im} = \frac{E_m A}{h_{im}} \quad (7)$$

$$\frac{1}{K_{im}} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \frac{h_{im(i)}}{E_{m(i)}} \quad (8)$$

Burada  $E_m$  tavan tabakalarının (tavan kaya külesinin) deformasyon modülü (GPa), A tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanı ( $m^2$ ) ve  $h_{im}$  yalancı tavan kalınlığı (m) olarak tanımlanmaktadır. Bu birimlere göre yalancı tavan katılığı  $K_{im}$ 'in birimi GN/m olmaktadır.

Tavan tabakalarının deformasyon modülü ve tahkimatin yüzey alanının artması, yalancı tavan katılığını artırmakta, buna karşın yalancı tavan kalınlığının artması durumunda ise yalancı tavan katılığının azaldığı görülmektedir. Buradan tavan katılığının artması ile tavan duraylılığı arasında

doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Tavan katılığı ne kadar yüksek olursa tavan o kadar duraylı olacaktır. Bu sebepten yalancı tavan katılığının etkin bir tabaka kontrolü açısından belirlenmesi gerekmektedir.

### 1.6. Yalancı Tavan Litolojisi

Kömür tavan ve taban tabakalarının litolojileri göz önünde bulundurulduğunda, tavan kayacındaki litolojik değişikliklerin tabaka hareketlerini ve tahkimat tasarımını doğrudan etkileyeceği anlaşılmaktadır. Kumtaşı, kiltası, silttaşı, marn, şeyl, çamurtaşı ve zaman zaman konglomera olan kömür çevre kayaçları, gerek tane boyutları gerekse yükler altındaki malzeme davranışları açısından farklılıklar göstermektedir.

Kil içeren kayaçlar genellikle sünümlü malzeme davranışı gösterirken; kumtaşı, konglomera gibi kayaçlar ise daha ziyade gevrek malzeme davranışı sunmaktadır. Bu farklı malzeme davranışları ve kayaçların dayanımları arasındaki farklılıklar tavan tabakalarının duraylılığı ve göçme mekanizmalarını etkilemektedir (Farmer ve Gupta 1993). Bu tip kaya malzemelerin dayanım özellikleri de farklı olduğundan, litolojinin göçme davranışı üzerinde etkili olduğunu ileri sürmek yerinde olacaktır. Aynı litolojide ve mineralojik bileşimdeki kayaçlarda ise tane boyutu ve sedimanter kayaçlardaki çimentolanma dereceleri göçme olayında etkilidir.

Ayrıca, tavan litolojisinin tavan duraylılığı ve ayak arkasının göçmesine olan etkisini Das (2000) detaylı olarak araştırmıştır. Buna göre, zayıf ve karbonlu şeyller çok kolay göçebilen tavanlar olarak tanımlanırken, kumlu şeyller, silttaşları orta zorlukta göçebilen tavanlar ve sert kumtaşları ise zor göçebilen tavan olarak tanımlanmaktadır.

### 1.7. Yeraltı Suyunun Etkisi

Tavan su geliri süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünü azaltarak blokların birbirinden ayrılmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun dışında su geliri tavan tabakalarını suya doymun hale getirmekte ve tavan tabakalarının dayanımını düşürmektedir. Dayanımı düşen tavan tabakaları kuru şartlara göre daha kısa mesafelerde kırılmaktadır. Ancak tavan tabakalarının hangi oranda suya doymun olup olmadığı tam olarak belli değildir. Bu çalışmada incelenen ayaklar genellikle kuru koşullarda olup, nadiren nemli tavan koşulları gözlenmektedir.

## 1.8. Ayak İçi Tahkimat Elemanlarının Doğru Kurulup Sökülmesi

Madencilikte tahkimat; madencilik amacıyla yeraltında açılan boşluğu, işin gerektirdiği sürece emniyetli olarak ayakta tutmak için alınan mühendislik önlemlerinin tümü olarak tanımlanmaktadır (Birön ve Arıoğlu 1999).

Tahkimat elemanlarının bir başka kullanım amacı ise, ayak arkasının göçmesini kolaylaştırmasıdır.

Ayak arkasına kurulan domuzdamları, uygun katılıkta ve doğru kurulmuşsa ayak arkasının göçmesine yardımcı olurken, aksi durumlarda ayak arkasının göçmesini zorlaştırmaktadır.

Ayak arkasının göçmesi veya göçertilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli pasif tahkimat elemanı domuzdamıdır. Domuzdamı; ayak arkasını göçertmeye yarayan, sert ağaç direklerden yapılmış, yük taşıma kapasitesi ve katılığı yüksek düzeneklerdir.

Ahşap domuzdamları; genellikle 20x20 cm kesitli aynı uzunluktaki (80-150 cm, genellikle 120 cm) ve paralel konumlu ahşap direklerin her kat birbirine dik olacak şekilde, üst üste düzenli olarak yığılmasıyla oluşturulur. Geleneksel olarak, ülkemizde domuzdamı direkleri 30 cm çapındaki sert ağaçların (meşe, kayın, gürgen) dört taraftan 5'er cm'lik kısımlarının tıraşlanmasıyla elde edilir (Ünlü ve Gerçek, 2000).

Ayak arkasının kontrollü olarak göçmesi, domuzdamının mekanik davranışıyla bire bir ilişkilidir. Domuzdamının yükleme koşullarında mümkün olduğunca katı olması istenir. Burada ifade edilen domuzdamı katılığı; her sırada bulunan direk sayısı, domuzdamı yüksekliği, damın kuruluş şekli ve direk boyutlarının tamamını içeren bir kavramdır. Her sıradaki direk sayısı arttıkça, damın yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Damın yüksekliği, başka bir deyişle damar kalınlığı arttıkça, damın kurulması zorlaşır ve aynı ölçüde bu damların duraylılığı azalır. Ancak yükseklik / genişlik oranının en uygun şekilde tasarlanması ile damın en uygun katılığı belirlenebilir (Barczak ve Gearhart 1993).

## 2. AYAK ARKASININ KIRILMASINDA KULLANILAN ÖNEMLİ YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirilmesinde kullanılan önemli yaklaşımlar özetlenmiştir.

## 2.1. Elastik Kiriş Teorisine Göre Ayak Arkasının Kırılması

Ayağın ilk kırılma mesafesinden sonra ayak ilerleyişini takiben ayağın kırılma durumları, kırılma şekilleri ve bu kırılmanın büyüklüğünün kestirimi, göçebilirlik sınıflamaları için önemli bir bulgu olarak kabul edilmektedir. Whittaker ve Jeremic (1979) ayak arkasının ilk kırılma mesafesinden sonraki kırılma durumları ve bu mesafenin kestirimi için elastik kiriş teorisinin kullanılabilirliğini ifade etmiştir. Kai (2011) ve Noroozi vd. (2012) elastik kiriş teorisini kullanarak yalancı tavanın ilk kırılmadan sonraki kırılma mesafesini ( $l_{im}$ ) kestirmeyi amaçlayan Eşitlik 9'u önermiştir.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \sigma_{im}}{3 \times \gamma_{im}}} \quad (9)$$

Burada  $h_{im}$  yalancı tavan kalınlığı (m),  $s_{im}$  yalancı tavan tabakası çekme dayanımı

(MPa) ve  $\gamma_{im}$  ise tavan tabakası birim hacim ağırlığını ( $MN/m^3$ ) ifade etmektedir.

Kai (2011) ve Noroozi vd. (2012) Eşitlik 9'un türetilmesinde aşağıda özetlenen bazı varsayımları yapmıştır.

- Domuzdamı düşey ekseninde askıda kalan yalancı tavan bir kiriş şeklinde kabul edilmektedir.
- Domuzdamında herhangi bir dönme ve eğilme söz konusu değildir.
- Yalancı tavan homojen ve izotrop olarak kabul edilmekte ve ayak ilerlemesine bağlı olarak kendi ağırlığı altında eğilerek kırılmaktadır.
- Ana tavanın yalancı tavan üzerine etkisi ihmal edilmektedir.

Bu çalışmada yalancı tavanın kırılma mesafesinin kestiriminde ana tavanın da etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan altı adet uzunayakta yapılan gözlem ve incelemeler ile bu ayaklardan alınan numuneler kullanılarak gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ışığında incelenen ayakların kırılma mesafeleri Eşitlik 9'a göre hesaplanmış ve Bölüm 4'te verilen arazide gözlenen ayak ar-



kası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2).

## 2.2. Laubscher Yaklaşımı

Laubscher (1990),  $RMR_{99}$  sınıflama sistemini tavan tabakalarının göçebilirliği ile ilişkilendirerek bir sınıflama sistemi önermiştir. Beş farklı RMR sınıfı için önerilen sınıflamada, tavan tabakalarının göçebilirlik durumları ve ayak arkası kırılma mesafeleri Çizelge 2'de ifade edilmiştir.

Çizelge 2. Laubscher Tavan Göçebilirliği Sınıflaması (Laubscher 1990'dan düzenlenerek).

Tavan Sınıfı	I	II	III	IV	V
$RMR_{99}$ Puanı	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	$\leq 20$
Göçebilirlik	Çok Zor	Zor	Orta	Kolay	Çok Kolay
Ayak Kırılma Mesafesi, $l_m$ (m)	20 - 3	9 - 1,5	5 - 0,4	2 - 0,1	$\leq 0,3$

## 2.3. Das Tavan Göçebilirlik Sınıflaması

Das (2000) Hindistan kömür madenlerinde yaptığı çalışmalarda tavan duraylılığının ortaya konması için bir tavan göçebilirlik sınıflaması geliştirmiştir. Geliştirdiği sınıflama sisteminden elde edilen tavan göçebilirlik puanına göre ayak arkası kırılma mesafesi kestirilebilir (Çizelge 3).

## 2.4. Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması

Köken (2014), Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan altı adet uzunayakta gerçekleştirdiği arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda tavan tabakalarını göçebilirlik açısından sınıflandırmıştır. Geliştirilen göçebilirlik sınıflaması, tavan göçme davranışı ve ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi konularında bilgiler vermektedir (Çizelge 4). Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (ZTGS) hakkında detaylar Köken (2014) tarafından ifade edilmiştir.

## 3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayaklarında gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında ayaklardan uygun boyutlarda kaya blokları temin edilerek laboratuvar deneyleri için silindirik numuneler (54 mm çapında) hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ISRM (1981)'de ifade edilen öneriler doğrultusunda

kuru şartlar altında gerçekleştirilmiştir. İncelenen ayaklara ait laboratuvar deney sonuçları Çizelge 5'te toplu olarak sunulmuştur.

## 4. KAYA KÜTLESİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İncelenen ayakların kaya kütlesi mekanik özellikleri; Hoek-Brown sabitlerinden  $s$  ve  $m_p$  değerleri (Sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak belirlenmiştir), tavan tabakası deformasyon modülü ( $E_m$ ) ve tavan tabakası çekme dayanımı ( $\sigma_{tm}$ ) değerlerinin hesaplanması şeklindedir. Tavan tabakalarının deformasyon modülü, Çizelge 6'da ifade edilen yaklaşımlardan elde edilen değerlerin ortalaması olarak kabul edilmiştir. Kaya kütlesinin çekme dayanımı ise Eşitlik 1 ve Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir. Tavan tabakalarının deformasyon modülü yalnızca tavan katılığının kestirilmesinde kullanılmış ve yalnızca tavan katılığı ile ayak arkası kırılma mesafesi arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Kuru şartlar altında hesaplanan tavan tabakaları çekme dayanımı değerleri ise elastik kırış teorisi (Eşitlik 9) kullanılmıştır. İncelenen ayaklardaki tavan tabakalarının kaya kütlesi mekanik özellikleri Çizelge 7'de verilmiştir.

## 5. İNCELENEN AYAKLARIN KIRILMA MESAFELERİNİN KESTİRİLMESİ

Üçüncü bölümde ifade edilen yaklaşımlar kullanılarak incelenen ayakların kırılma mesafeleri kuru şartlar altında hesaplanmış ve araziden elde edilen gerçek ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen ayaklara ait genel bilgiler TTK (2013)'ten alınmış olup, ayak arkasının kırılma mesafesinin yeraltında belirlenmesi Sweby (1997) tarafından ifade edilen önemli bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir.

Sweby (1997), domuzdamı arkasında yer alan göçük bölgesindeki kaya bloklarını gevşeklik durumu ve blok boyutları arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuştur. Buna göre domuzdamı arkasında ilk gözlenen göçmüş kaya blokları göçük bölgesindeki en büyük blok hacmine sahip olup, bu blokların (en az üç farklı kaya bloğunun domuzdamı havasına olan mesafeleri çelik şeritmetre ile belirlenmiştir.) domuzdamı havasından olan mesafelerinin ortalaması ayak arkası kırılma mesafesi olarak kabul edilmiştir.

Yeraltında ölçülen ayak arkası kırılma mesafelerinin belirlenmesi ile Elastik Kırış Teorisi'nden (Bkz. Eşitlik 9) elde edilen ayak arkası kırılma mesafeleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3 Das Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (Das 2000'den düzenlenerek.).

Tavan Göçebilirlik Sınıflaması						
Göçebilirlik Puanı	0 - 20	20 - 36	36 - 52	52 - 72	72 - 93	93 - 100
Tavan Göçebilirliği	Çok Kolay	Kolay	Orta-Kolay	Orta	Zor	Çok Zor
Tavan Göçme Açısı (°)	90 - 85	85 - 75	75 - 65	65 - 50	50 - 35	≥ 35
Askıda Kalan Yalancı Tavan Uzunluğu (m)	0	0 - 0,5	0,5 - 1,5	1,5 - 3	3 - 6	≥ 6
Uygun İşletme Yöntemi	Göçertmeli	Göçertmeli	Göçertmeli	Göçertmeli, yer yer kontrollü patlatma ile göçertme	Kontrollü patlatma ile göçertme ve/veya dolgulu	Dolgulu

Çizelge 4. Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (Köken 2014).

Tavan Sınıfı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği	Göçme Davranışı	Tahmini Ayak Kırılma Mesafesi, $l_m$ (m)
I	≤ 40	Çok Kolay	Kendiliğinden göçme	≤ 1,5
II	40 - 50	Kolay	Küçük blokçu göçme	1,5 – 4
III	50 - 60	Orta	Küçük-orta bloklu göçme ve tabaka ayrılmaları şeklinde	4 – 8
IV	60 - 70	Zor	Periyodik kırılma	8 – 13
V	≥ 70	Çok Zor	Göçme çoğu kez kendiliğinden gerçekleşmez, kontrollü delme-patlatma gerekebilir.	≥ 13

Çizelge 5. Laboratuvar Deney Sonuçları.

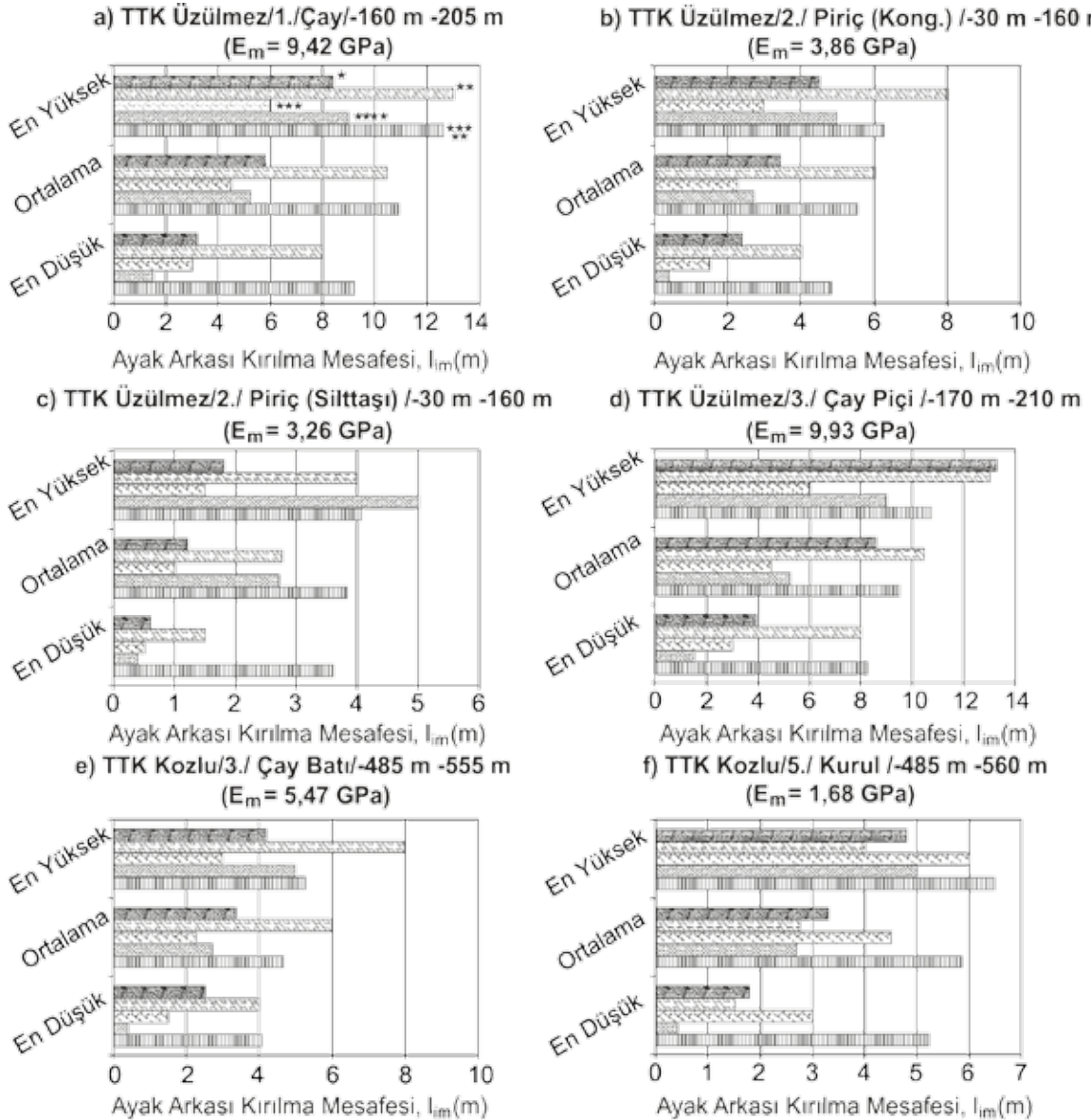
Kuru Şartlar Altındaki Kaya Malzemesinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri						
İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	$\gamma_m$ (MN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{bg}$ (MPa)	$\sigma_o$ (MPa)	$E_t$ (GPa)	$m_i^*$
TTK Üzülmöz/1./Çay / -160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0255	10,50	117,80	22,10	9,79
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Konglomera.) / -30 m -160 m	Konglomera	0,0240	9,05	67,20	14,39	5,27
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Silttaşı) / -30 m -160 m	Silttaşı	0,0260	7,00	48,20	16,70	4,56
TTK Üzülmöz/3./ Çay Piçi / -170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0255	11,20	144,50	24,10	11,66
TTK Kozlu/5./ Kurul / -485 m -560 m	Silttaşı	0,0250	8,00	49,90	7,40	3,67
TTK Kozlu/3./ Çay Batı / -485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0250	8,25	105,69	20,36	11,56

Açıklamalar  $\gamma_m$ : Tavan Tabakası Birim Hacim Ağırlığı,  $\sigma_{bg}$ : Dolaylı Çekme Dayanımı,  $\sigma_o$ : Tek Eksenli Basınç Dayanımı,  $E_t$ : Teğetsel Deformasyon Modülü,  $m_i^*$ : Hoek-Brown Kaya Malzemesi Sabiti, (Eşitlik 4 kullanılarak belirlenmiştir.)

Sert tavanlarda ( $E_m \geq 4$  GPa, Kuru şartlar için), (Çizelge 7), Laubscher (1990) yaklaşımı gerçek değerler ile kısmen yakın sonuçlar vermekte olup (Şekil 2a, Şekil 2d ve Şekil 2e), orta katılıklıta

( $E_m = 2-4$  GPa), (Şekil 2b, Şekil 2c) ve gevşek tavanlarda ( $E_m \leq 2$  GPa) ise (Şekil 2f) yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerleri, Das (2000) ile ZTGS (2014) yaklaşımlardan elde edilen değerlerin arasında kaldığı görülmektedir.

Şekil 2'de ifade edilen Elastik Kiriş Teorisi'nden (Kai 2011 ve Noroozi vd. 2012) elde edilen değerler (Eşitlik 9 kullanılarak elde edilen değerler) ise yeraltında gözlenen değerlerden belirgin olarak fazladır. Bu durum elastik kiriş teorisinde ihmal edilen ana tavan yüklemesinin ayak arkası kırılmasına etki ettiğini düşündürmektedir. Yedinci bölümde söz konusu ana tavan yüklemesi elastik kiriş teorisine ilave edilerek incelenen ayakların kırılma mesafeleri tekrar hesaplanmıştır.



#### AÇIKLAMALAR

- |  |                           |  |  |  |                  |
|--|---------------------------|--|--|--|------------------|
|  | Elastik Kiriş Teorisi (*) |  | ZTGS (2014) (**)                                 |  | Das (2000) (***) |
|  | Laubscher (1990) (****)   |  | Yeraltında Gözlenen Ayak Kırılma Mesafesi (****) |  |                  |

Şekil 2. İncelenen ayaklara ait ayak arkası kırılma mesafeleri

## 6. ANA TAVAN YÜKLEMESİNİN AYAK ARKASI KIRILMA MESAFESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Şekil 2'de Elastik Kiriş Teorisi'nden elde edilen ayak kırılma mesafelerinin yeraltında gözlenen kırılma mesafesi değerlerinden büyük olduğu ifade edilmişti. Bu bölümde dikdörtgen bir kiriş olarak kabul edilen yalancı tavan üzerine etkileyen ana tavan yüklemesinin elastik kiriş teorisine ilave edilmesini içermektedir. Peng ve Chiang (1984) eğilerek kırılan bir yalancı tavan ile ana tavan arasında ayak ilerlemesine bağlı olarak tabaka ayrılmaları olduğunu ifade etmektedir. Ana tavan ile yalancı tavan arasındaki bu boşluk (tabaka ayrılması) iki tavan tabakası arasında bir süreksizlik hattı oluşturmakta olup, ana tavanın yalancı tavan üzerine eş yüklü olarak etkimesini zorlaştırmaktadır. Bu sebepten ana tavanın yalancı tavan üzerine olan etkisi, farklı etki alanlarında ve üçgen yayılı yüklemeye koşullarında incelenmiştir (Şekil 3).

Düzayaklar için (Damar eğimi,  $\alpha = 0^\circ$ ) geliştirilmiş olan çözüm eğimli ayaklar için de uygulanabilir. Öncelikle eğimli ayaklarda tavan tabakalarının birbiri üzerindeki sürtünme durumları ve ayağın ortalama eğiminin Eşitlik 9'a eklenmesi gerekmektedir.

Bu durumda Jacobi'nin (1981) önerdiği tavan sürtünme katsayısı değerleri yalancı tavan katılığı ile ilişkilendirilerek Şekil 4 önerilmiştir. Tavan tabakalarının sürtünme durumu Jacobi (1981) tarafından ayak eğimi ve tavan tabakalarının sürtünme durumlarının bir fonksiyonu (Eşitlik 10) olarak tanımlanmaktadır. Ayak eğimi ve tavan sürtünme katsayısı ile Şekil 4'te ifade edilen farklı ana tavan yüklemeye koşulları doğrultusunda ayak arkası kırılma mesafesinin kestirimini amaçlayan Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü Eşitlik 11 ile ifade edilmiştir.

$$F_a = \cos(\alpha_l) + \frac{\sin(\alpha_l)}{\mu} \quad (10)$$

Burada  $\alpha_l$  ortalama damar eğimi ( $^\circ$ ) ve  $\mu$  tavan tabakalarının sürtünme katsayısı olarak ifade edilmektedir.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \sigma_{im}}{t \times \gamma_{im}} \times \left( \cos(\alpha_l) + \frac{\sin(\alpha_l)}{\mu} \right)} \quad (11)$$

Burada  $t$  çarpanı ( $t \geq 3$ ), farklı kalınlıktaki ana tavanının yalancı tavan üzerine artan üçgen yayılı yüklemeye koşullarındaki değerleridir.

(Bkz. Şekil 5).

İncelenen ayaklara ait yalancı tavan ve ayak geometrilerine ait genel bilgiler Çizelge 8'de verilmiştir. Eşitlik 11 kullanılarak incelenen ayakların kuru şartlardaki tahmini ayak kırılma mesafeleri belirlenmiştir (Şekil 6).

Geliştirilmiş Elastik Kiriş Teorisi kullanılarak oluşturulan Şekil 6'ya göre, çok katı tavanlarda ( $K_{im} \geq 20$  GN/m) kuru şartlar altındaki ayak arkası kırılma mesafesi, en az %70 ana tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 3$  koşullarında yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar vermektedir (Bkz. Şekil 6a, Şekil 6f)

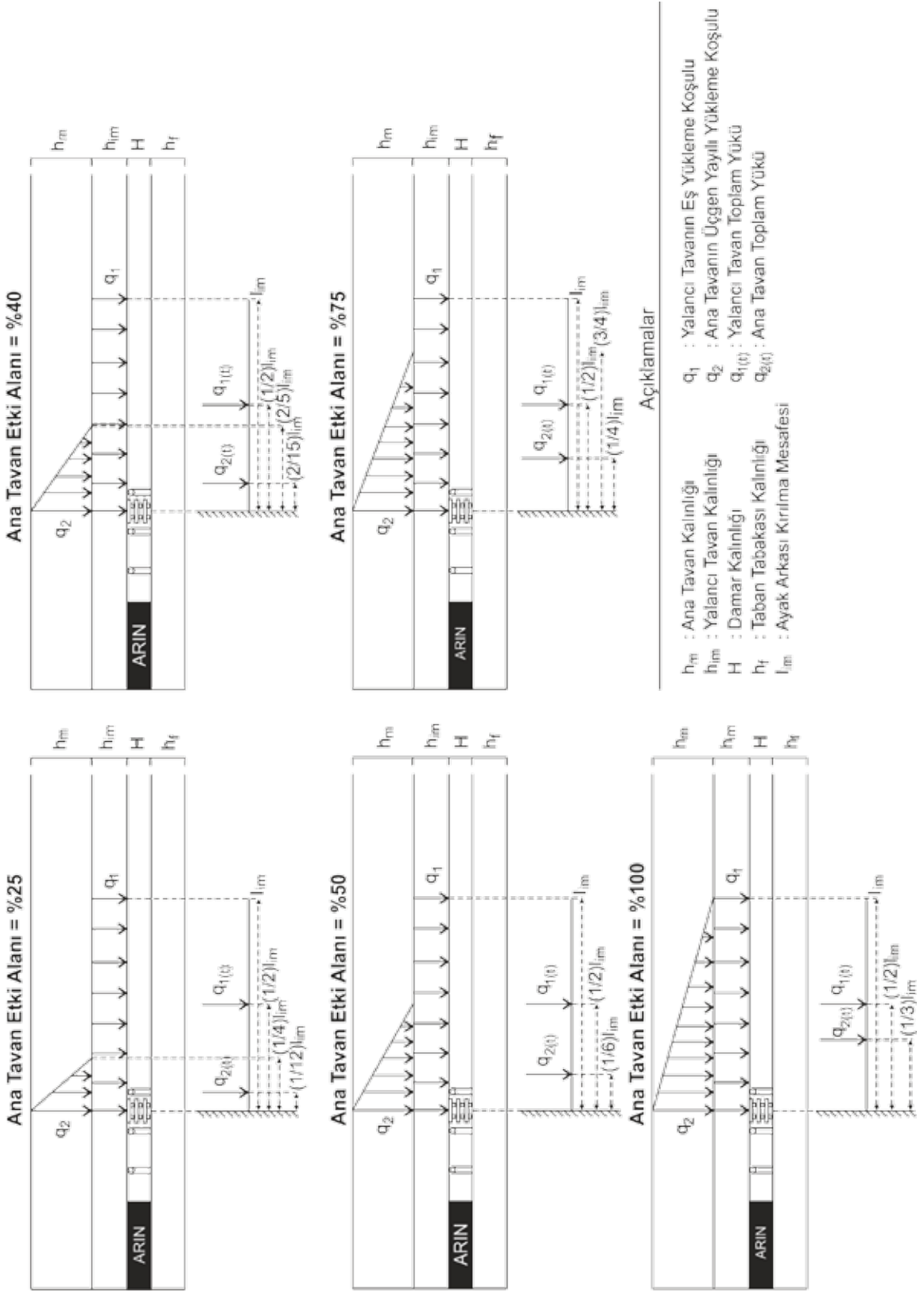
Kuru şartlar altında orta katılıktaki tavanlar ( $6$  GN/m  $\leq K_{im} < 20$  GN/m) Geliştirilmiş Elastik Kiriş Teorisi'ne göre en az %70 ana tavan etki alanında ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 4$  koşullarında yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar vermektedir

(Bkz. Şekil 6b ve Şekil 6c). Gevşek tavanlardaki ( $K_{im} < 6$  GN/m) kırılma mesafeleri incelendiğinde

ise en az %70 ana tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 6$  koşullarında ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6e). Diğer taraftan TTK Üzülmöz 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı incelendiğinde (Şekil 6d), Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü'nden elde edilen ayak kırılma mesafe değerleri arazide gözlenen ortalama ayak kırılma mesafesi değerlerini en az %80 ana

tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 1$  koşullarında sağlamaktadır.

Söz konusu ayakta (TTK Üzülmöz 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı) gözlenen en yüksek arazi kırılma değeri ise geliştirilmiş elastik kiriş çözümü değerinden büyüktür.



Şekil 3. Bu çalışmada kullanılan farklı ana tavan yükleme koşulları.

Çizelge 6. Kaya Kütleli Deformasyon Modülünün Kestirilmesi İçin Bu Çalışmada Kullanılan Görgül Bağlantılar.

Araştırmacı	Görgül Bağlantı	Açıklamalar
Nicholson ve Bieniawski (1990)	$\frac{E_m}{E_f} = 0,01 \times \left[ 0,0028 \times RMR^2 + 0,9 \times e^{\left( \frac{RMR}{22,82} \right)} \right]$	RMR : Jeomekanik Sınıflama Sistemi Puanı E <sub>f</sub> : Kaya malzemesi young modülü (GPa)
Mitri vd. (1994)	$\frac{E_m}{E_f} = 0,5 \times \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi \times RMR}{100} \right) \right]$	π : Radyan cinsindedir.
Kim vd. (2003)	$\frac{E_m}{E_f} = \left[ \frac{0,668}{1 + e^{(0,55 - 0,24RMR)}} + 0,1165 \right]$	
Kayabaşı vd. (2003)	$\frac{E_m}{E_f} = 0,135 \left[ \frac{1 + \frac{RQD}{100}}{W_d} \right]^{3,811}$	RQD : Kaya kalite göstergesi (%) W <sub>d</sub> : Ayrışma bozunma derecesi (Az ayrılmış kaya kütlelerinde W <sub>d</sub> = 1 ileri derecede ayrılmış kaya kütlelerinde W <sub>d</sub> = 4)
Gökçeoğlu vd. (2003)	$E_m = 0,001 \left[ MR \frac{\left( 1 + \frac{RQD}{100} \right)^{1,5526}}{W_d} \right]$	MR : Modül Oranı $\left( MR = \frac{E_f}{\sigma_{ci}} \right)$
Ramamurthy (2004)	$\frac{E_m}{E_f} = e^{\left( \frac{RMR - 100}{17,4} \right)}$	
Sönmez vd. (2004)	$\frac{E_m}{E_f} = (s^a)^{0,4}$	s : Kaya kütleli çatlaklılık derecesi a = Hoek-Brown üstel sabiti (Hoek vd. 2002' ye bakınız.)
Zhang ve Einstein (2004)	$\frac{E_m}{E_f} = 10^{(0,0196RQD - 1,91)}$	
Hoek ve Diederichs (2006)	$\frac{E_m}{E_f} = \left[ \frac{0,02 + (1 - 0,5D)}{1 + e^{\left( \frac{60 + 7,0 - GSI}{11} \right)}} \right]$	D : Örselenme Faktörü, GSI = Jeolojik Dayanım İndeksi (Hoek ve Diederichs 2006'ya bakınız.)
Sönmez vd. (2006)	$\frac{E_m}{E_f} = 10^{\left[ \frac{(RMR - 100)^2}{4000} - \frac{RMR}{100} \right]}$	
Shen vd. (2012)	$\frac{E_m}{E_f} = 1,14 \times e^{\left( \frac{RMR - 116}{41} \right)}$	

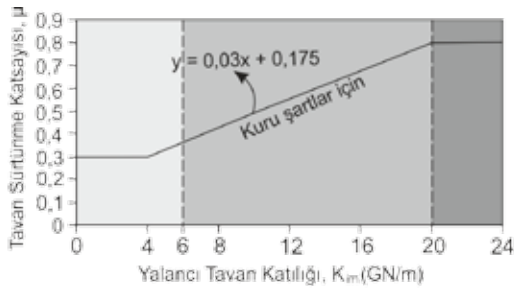
Not : E<sub>m</sub> değerleri GPa cinsindedir.

## Çizelge 7. Tavan Tabakaları Kaya Kütlelerinin Mekanik Özellikleri

İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	RMR <sub>95</sub>	s	m <sub>b</sub>	σ <sub>lm</sub> (MPa)		E <sub>m</sub> (GPa)**
					Hoek vd. (2002)	Bu Çalışma*	
TTK Üzülmez/1. /Çay/-160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	74	0,0550	3,87	1,69	1,66	9,42
TTK Üzülmez/2. / Piriç (Konglomera) /-30 m -160 m	Konglomera	60	0,0110	1,26	0,63	0,46	3,86
TTK Üzülmez/2. / Piriç (Silttaşı) /-30 m -160 m	Silttaşı	46	0,0025	0,66	0,18	0,14	3,26
TTK Üzülmez/3. / Çay Piçi /-170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	72	0,0440	4,29	1,53	1,52	9,93
TTK Kozlu/5. /Kurul /-485 m -560 m	Silttaşı	55	0,0067	0,74	0,46	0,32	1,68
TTK Kozlu/3. / Çay Batı/-485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	57	0,0084	2,49	0,36	0,36	5,47

Not : \* Eşitlik 5 kullanılarak belirlenen kaya kütlesi çekme dayanımı ortalama değeridir.

\*\* Çizelge 6'da ifade edilen görgül bağıntılar kullanılarak elde edilen kaya kütlesi deformasyon modülü değerlerin ortalamasıdır.

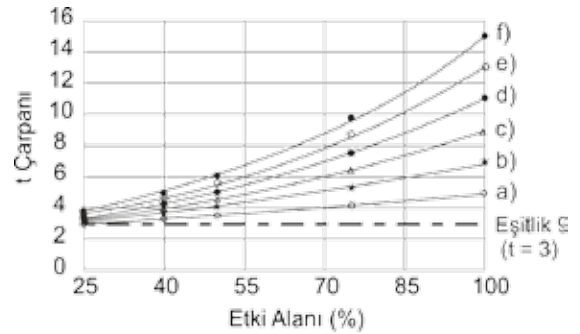


AYIKLAMALAR  
 Gevşek Tavan   
 Orta Katılıklı Tavan   
 Çok Katı Tavan

Şekil 4. Kuru şartlardaki yalancı tavan katılığı ile tavan sürtünme katsayısı arasındaki ilişki (Jacobi 1981'den değiştirilerek).

Bu farklılık ayaktaki tahkimat sorunlarından (sarma direk ve domuzdamlarının doğru kurulum sökülememesi) kaynaklandığı yeraltında yapılan arazi çalışmalarında gözlemlenmiştir. Dolayısıyla doğru kurulum sökülemeyen tahkimat elemanları göçük bölgesinde tavanın geçebilirliğini zorlaştırıcı bir unsur olarak ifade edilmektedir (Köken 2013).

Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü'nden elde edilen sonuçlara göre, TTK Üzülmez 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı haricindeki bütün uzunayaklara ait kırılma mesafesi değerlerinde muhtemel bir ana tavan etkisinden söz edilebilir.



AYIKLAMALAR  
a)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 1$     b)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 2$     c)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 3$   
d)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 4$     e)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 5$     f)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 6$

Şekil 5. Eşitlik 11'de ifade edilen t çarpanının farklı durumlardaki değerleri.

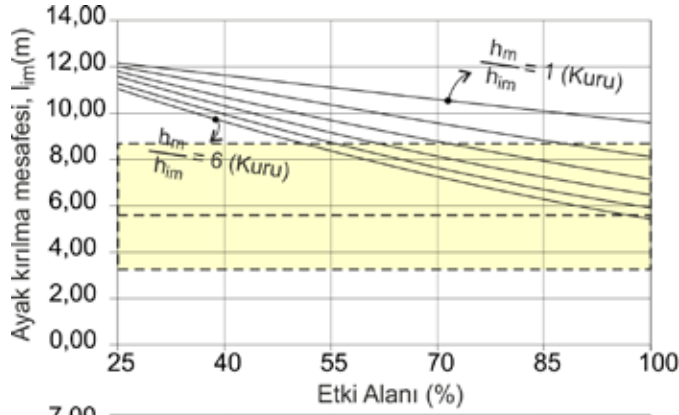
Çizelge 8. İncelenen Ayaklara Ait Yalancı Tavan ve Ayak Geometrisine Ait Veriler.

İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	Kuru Şartlar Altında Yalancı Tavan ve Ayak Geometrisi Hakkında Bilgiler														
		$K_m$ (GN/m)			$h_m$ (m)			$l_m$ (m)			H (m)					
		min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.			
TTK Üzülmöz/1./Çay/ -160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	18,74	24,40	35,33	3,84	5,54	7,24	3,20	5,80	8,40	3,00	3,40	3,80	14	0,80	140
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Kong.) / -30 m -160 m	Konglomera	12,24	13,36	20,74	2,68	3,61	4,54	2,40	3,70	5,00	1,84	2,62	3,36	16	0,57	350
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Silttaşı)/ -30 m -160 m	Silttaşı	2,05	3,58	8,34	5,63	6,40	7,17	0,60	1,20	1,80	1,74	2,11	2,37	16	0,30	130
TTK Üzülmöz/3./ Çay Piriç / -170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	24,15	32,10	41,10	3,48	4,70	5,92	3,90	8,60	13,30	2,45	2,80	3,15	13	0,80	84
TTK Kozlu/5./Kurul / -485 m -560 m	Silttaşı	3,51	3,96	5,37	4,50	5,70	6,90	1,80	3,30	4,80	2,05	2,40	2,78	37	0,30	100
TTK Kozlu/3./ Çay Batı/ -485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	9,79	19,16	30,75	3,47	4,11	5,85	3,00	3,80	4,80	1,80	2,20	2,60	27	0,51	136

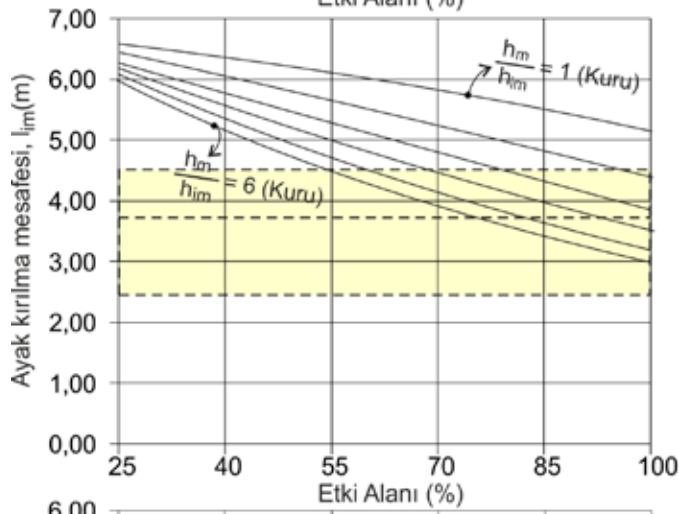
**ACIKLAMALAR**

- $K_m$  : Yalancı Tavan Tabakası Katılığı  
 $h_m$  : Yalancı Tavan Tabakası Kalınlığı  
 $l_m$  : Yeryüzünde Gözlenen Ayak Arkası Kırılma Mesafesi  
H : Kömür Damar Kalınlığı  
 $\alpha_1$  : Ortalama Kömür Damarı Eğimi  
 $\mu$  : Tavan Tabakaları Sürtünme Katsayısı  
 $F_1$  : Ayak Boyu

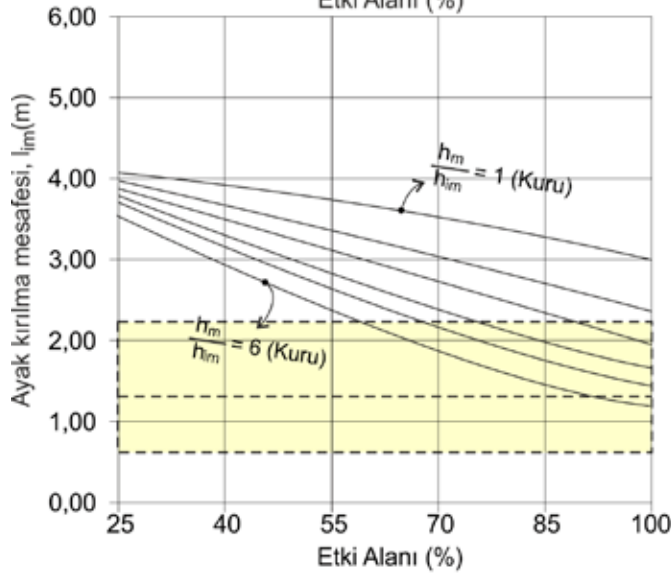




- a) TTK Üzülmez 1. Kariye Çay Ayak  
(Tavantaşı : İnce taneli kumtaşı)  
 $K_{im} = 24,40 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli



- b) TTK Üzülmez 2. Kariye Piriç Ayak  
(Tavantaşı : Konglomera)  
 $K_{im} = 13,36 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru

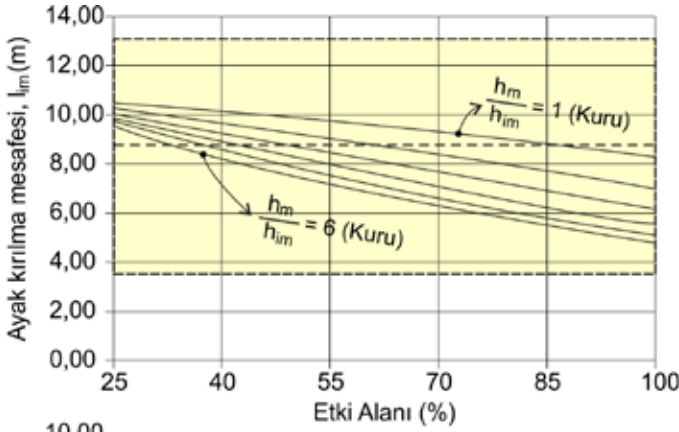


- c) TTK Üzülmez 2. Kariye Piriç Ayak  
(Tavantaşı : Siltaşı)  
 $K_{im} = 3,58 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli

#### Açıklamalar

8,4 m		Yeraltında Gözlenen En Yüksek Ayak Kırılma Mesafesi
5,8 m		Yeraltında Gözlenen Ortalama Ayak Kırılma Mesafesi
3,2 m		Yeraltında Gözlenen En Düşük Ayak Kırılma Mesafesi

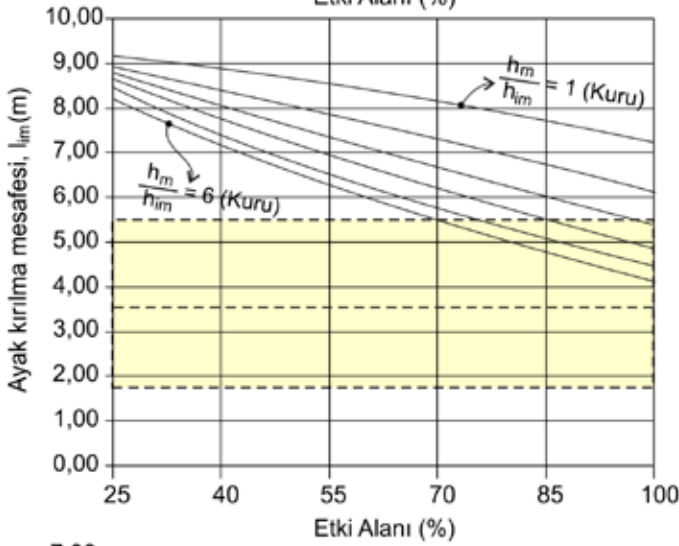
Şekil 6. Geliştirilmiş elastik kiriş çözümünden elde edilen farklı ayak kırılma mesafeleri ile yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafelerinin karşılaştırılması. (devam ediyor)



d) TTK Üzülmöz 3. Kariye Çay Piçi Ayağı  
(Tavantaşı : İnce Taneli Kumtaşı)

$$K_{im} = 32,10 \text{ GN/m}$$

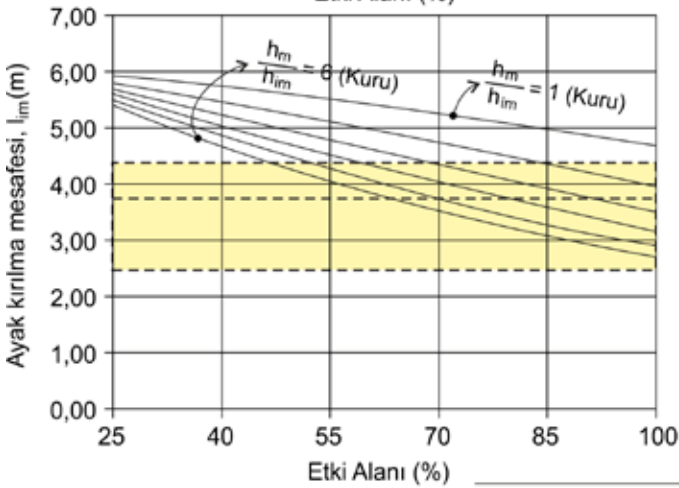
Yeraltı Su Durumu : Kuru



e) TTK Kozlu 5. Kariye Kurul Ayak  
(Tavantaşı : Silttaşı)

$$K_{im} = 3,96 \text{ GN/m}$$

Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli



f) TTK Kozlu 3. Kariye Çay Batı Ayağı  
(Tavantaşı : İnce Taneli Kumtaşı)

$$K_{im} = 19,16 \text{ GN/m}$$

Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli

#### Açıklamalar

4,8 m		Yeraltında Gözlenen En Yüksek Ayak Kırılma Mesafesi
3,3 m		Yeraltında Gözlenen Ortalama Ayak Kırılma Mesafesi
1,8 m		Yeraltında Gözlenen En Düşük Ayak Kırılma Mesafesi

Şekil 6. Geliştirilmiş elastik kiriş çözümünden elde edilen farklı ayak kırılma mesafeleri ile yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafelerinin karşılaştırılması.

## TARTIŞMA

Bu çalışmada önerilen Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü ile kuru koşullar altında incelenen ayakların kırılma mesafeleri araştırılmıştır. Farklı ana tavan kalınlıklarında ve üçgen yayılı yüklemelerde geliştirilen Eşitlik 11 kullanılarak farklı tavan katılığındaki ayakların kırılma mesafe ve mekanizmaları hakkında bazı bilgilere ulaşılmıştır. Çok katı ve katı tavanlarda bu çalışma için kullanılan üçgen yayılı yüklemelerdeki ana tavan etkisi ayak kırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Gevşek tavan koşullarında ise Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü dikkatli kullanılmalıdır.

Kratzsch (1983), kömür damarı üzerinde detaylı çalışma yapılması gereken yüksekliğin 12H kadar olduğunu ifade etmiştir. Palchik (2003) Ukrayna kömür madenlerinde (Donetsk Havzası) yaptığı çalışmalarda kömür damarı üzerinde eklem takımlarının kesiştiği, çatlaklı zon olarak tanımlanan bölgenin 4H – 11H kadar bir düşey yüksekliği kapsadığını vurgulamıştır. Majdi vd. (2012) ise bu kapsamda yaklaşık 20H kadar bir düşey mesafeden söz etmektedir.

Bu çalışmada, incelenen ayaklar için yalancı tavan kalınlığı Bölüm 2.1’de ifade edilen yaklaşımlar ışığında belirlenmiştir. Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü’ne göre gerçekleştirilen analizlerde ana tavan kalınlığının yalancı tavan kalınlığının

en fazla altı katı olduğu  $\left(\frac{h_m}{h_m} = 6\right)$  düşünülürken etkin bir tabaka kontrolünü sağlanması için detaylı çalışılması gereken yüksekliğin 3H – 9H (kömür damarı üst yüzeyinden) olduğu istatistik olarak belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada uzunayak madenciliğinde ayak arkası kırılma mesafesine etki eden değişirgeler ifade edilmiştir. Ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi hakkında literatürde yer alan önemli yaklaşımlar özetlenmiş ve incelenen ayakların kırılma mesafeleri bu yaklaşımlar doğrultusunda ele alınmıştır. Literatürde yer alan yaklaşımların incelenen ayaklara uygulanması sonucu katı tavanlarda Laubscher (1990) yaklaşımının anlamlı sonuçlar verdiği, orta katılıkta ve gevşek tavanlarda yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerleri Das (2000) ile ZTGS (2014) yaklaşımlarından elde edilen değerler arasında kaldığı

görülmüştür. Özellikle klasik elastik kiriş teorisi (Eşitlik 9) kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen değerlerin yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerlerinden yüksek olması yalancı tavan üzerinde ana tavan yüklemesini düşündürmektedir. Bu sebepten elastik kiriş teorisi kuralları dâhilinde farklı ana tavan kalınlıklarında ve farklı etki alanlarında Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü (Bkz. Eşitlik 11) önerilmiştir. Önerilen çözüm yöntemi Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda yer alan altı adet uzunayak kömür madenine uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- i. Uzunayak madenciliğinde, ayak arkasının kırılmasında ana tavan yüklemesinin önemli etkileri olduğu görülmüştür.
- ii. Ayak arkası kırılmasında önemli bir mekanik büyüklük olan Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür çevre kayaçlarının çekme dayanımının (kaya kütlesi) kestirilmesi adına Hoek – Brown Yenilme Ölçütü kullanılarak yeni bir görgül bağıntı türetilmiştir. Geliştirilen görgül bağıntı farklı litolojilerdeki kömür çevre kayaçlarına uygulanmış ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.
- iii. Ana tavan ile yalancı tavan arasındaki tabaka ayrılması olayı göz önünde bulundurulduğunda, ana tavanın yalancı tavan üzerine eş yüklemeye koşulu yerine üçgen yüklemeye koşulunun kullanılması, yeraltından alınan ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile daha anlamlı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ana tavanın yalancı tavan üzerine olan etkisi üçgen yayılı yüklemelerde etki alanının en az % 70 ve daha büyük alınması durumunda yeraltında gözlenen ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile uyumluluk göstermektedir.
- iv. İncelenen altı adet uzunayakta yapılan analiz ve laboratuvar çalışmaları sonucunda etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması için detaylı çalışılması gereken düşey yüksekliğin 3H – 9H (kömür damarı üst yüzeyinden) olduğu belirlenmiştir.
- v. Kuru şartlar altında gerçekleştirilen analizler ile ana tavan yüklemesinin arkası kırılma mesafesi üzerine etkileri kavramsal olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Kuru koşulların mevcut olmadığı ortamlarda su etkisi ve tavan tabakaları doygunluk derecesinin ayak arkası kırılma

rilma mesafeleri üzerine olası etkilerinin yapılacak ilave çalışmalarla araştırılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Alpan S (1969) Maden İşletme Metotları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 2, 21.

Barczak, T.M. and Gearhart, D.F. (1993). Engineering methods for the design and employment of wood cribs. Proceedings of the 12th Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, pp. 47-54.

Bieniawski Z.T. (1989), Engineering Rock Mass Classification. pp. 51-64

Bilinski A. and Konopko W. (1973) Criteria of the Selection of Individual and Mechanized Support Schemes for Longwall Workings (in Polish), Przegląd 6: pp 241-244.

Bilir, M. E. (1994) TTK Asma İşletmesinde Hidrolik Direk-Eklemlili Çelik Sarma Uygulamalarının Yük ve Konverjans Ölçümleriyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 161s.

Birön C. ve Arioğlu E (1999) Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 361s.

Das, S. K. (2000) Observations and Classification of Roof Strata Behaviour over Longwall Coal Mining Panels in India, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37 : pp 585-597.

Everling, G. (1985) Der Einfluß der Strebbreite auf die Hangendbeherrschung, Glickauf Forschunghefte.

Farmer I., Gupta R. N. (1993) Geotechnical design aspects of longwall caving in difficult conditions. J. Min. Res.;4: pp 25–32.

Gerçek, H. (2002). Hoek-Brown ölçütünün tanımladığı yenilme zarfları ve yüzeylerinin özellikleri. KAYAMEK 2002 - VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, C. Şensöğüt ve İ. Özkan (ed.), T.U.K.M.D. ve S.Ü Maden Müh. Bölümü, Konya, s. 3-10.

Ghose A., K. (1976) Design of Longwall Systems for Future Longwall Faces, Journal of Mines Metals and Fuels of India, Special Number on Mine Support.

Gökçeoğlu C., Sönmez H. and Kayabaşı A. (2003). Predicting the Deformation Modulus of Rock Masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 40: pp 703-712.

Hoek E., Carranza-Torres C. T. and Corkum B. (2002). Hoek–Brown failure criterion – 2002 edition, Proc. of the 5th North American Rock Mech. Symp. and 17th Tunnelling Assoc. of Canada Conf., Toronto, Canada, pp 267–273.

Hoek E. and Diedrichs M. S. (2006). Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, Int. J. Rock. Mech.

Min. Sci. 36: pp 203-215.

Hongzhu Z. (1996) Ground Pressure Characteristic and Selection of Hydraulic Supports in Fully Mechanized Longwall Face in China, Second Nat. Conf. on Ground Control in Mining, pp 57-78.

Hongzhu Z. and Ramayya M. S. V. (1996) Strata Movement on Shallow Fully Mechanized Longwall Face at PVK Mine of SCCL and Option of Powered Support, Second Nat. Conf. on Ground Control in Mining, pp 79-98.

Hosseini N., Oraee K., Shahriar K. and Goshtasbi K. (2013). Studying the stress redistribution around the longwall mining panel using passive seismic velocity tomography and geostatistical estimation, Arab. J. Geosci. 6: pp 1407–1416.

Jacobi O (1981) Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Auflage, Essen, 576p.

Jeremic M L (1985) Strata Mechanics in Coal Mining, A.A. Balkema, 564p.

Kai, W., (2011), Study of Reasonable Hanging Roof Length on Hard Roof, Procedia Engineering 26: pp 772 – 777

Kayabaşı A., Gökçeoğlu C. and Ercanoğlu M. (2003). Estimating the Deformation Modulus of Rock Masses : a Comparative Study, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 40: pp 55-63.

Kelly M., Luo X. And Craig S., (2002) Integrating tools for longwall geomechanics assessment, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39: pp 661–676.

Kim B. H., Yang H. S. and Chung S. K.

(2003). Revaluation of rock mass classification using multivariate analysis and estimation of tunnel support. Proceedings: ISRM 2003 - Technology road map for rock mechanics. South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 645-648.

Kratzsch H. (1983) Mining Subsidence Engineering. Springer, Berlin Heidelberg. New York

Köken E. (2013). Zonguldak Havzası Uzunayakları için Bir Göçebilirlik Sınıflamasının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), B.E.Ü. Fen Bilimleri Enst., 205s.

Köken E. (2014). Zonguldak Taşkömürü Havzası Uzunayakları için Bir Tavan Göçebilirlik Sınıflamasının Geliştirilmesi, Madencilik, Cilt: 53, Sayı: 1-2, 3-20.

Laubscher D. H. (1990) A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design, J. South Afr. Inst. Min. Metall. 90: pp 257-273.

Lawrence, W. (2009) A method for the design of longwall gateroad roof support, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 46 pp 789–795.

Lihpin, Y.I. and Zoubkov A.Z. (1990) Simulation and in-situ study of rock behaviour around mining opening

- approaching to a tectonic discontinuity, Rock Joints, Barton&Stephasson (eds), Balkema, pp 455 - 473.
- Manteghi H., Shahriar K., and Torabi T.,(2012). Numerical modelling for estimation of first weighting distance in longwall coal mining – A case study, 12th Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 60-68.
- Majdi A., Hassani F. P., Nasiri M. Y., (2012) Prediction of the Height of Destressed Zone above the Mined Panel Roof in Longwall Coal Mining, Int. J. Coal Geology, 98: pp 62-72.
- Mark C. and Molinda G. M., (2003). The Coal Mine Roof Rating in Mining Engineering Practice, Proc. of the Fourth Under. Coal Operators Conf., ed. Aziz N, Kininmonth B, Carlton, Victoria, Australia: Australian Institute of Mining And Metallurgy.
- Majumdar, S., (1986). The support requirements at a longwall face - a bending moment approach, In Proceedings of the rock mechanics: key to energy production: 27th US symposium on rock mechanics, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama; June. pp. 325-332.
- Mitri H. S., Edrissi R. and Henning J. (1994). Finite Element Modelling of Cable Bolted Stopes in Hardrock Ground Mines, SME Annual Meeting, pp 94-116. New Mexico.
- Nicholson G. A. and Bieniawski Z. T., (1990). A Nonlinear Deformation Modulus Based on Rock Mass Classification, Int. J. Min. Geol. Eng. 8: pp 181-202.
- Noroozi A, Oraee K, Javadi M and Goshtasbi K (2012) A Model for Determining the Breaking Characteristics of Immediate Roof in Longwall Mining, Yerbilimleri, 33: pp 193-204.
- Özel R. (1995) Development of guidelines for selection of longwall shield supports, Doktora Tezi (yayımlanmamış), ODTÜ / FBE Enst., 245s.
- Palchik, V., (2003). Formation of Fractured Zones in Overburden due to Longwall Mining. Environ. Geol. 44, 28–38.
- Paşamehmetoğlu A. G. ve Bilgin H. A. (1989) Ara rapor 1: Galerilerde Optimum patlatma düzeninin saptanması, TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkarılmasının Araştırılması, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Peng, S. S., Chiang, H. S., (1984). John, Wiley and Sons., Longwall Mining.
- Peng, S. S., (1986). Coal Mine Ground Control, 2nd ed., West Virginia University.
- Ragan, D.M. (2009). Structural Geology : An Introduction to Geometrical Techniques, 4th Edition, Cambirdge Uni. Press, 632p.
- Ramamurthy T. (2004). A Geo-Engineering Classification for Rocks and Rock Masses, Int. J. Rock. Mec. and Min. Sci. 41: pp 89-201.
- Salamon M.D.G., (1990). Mechanism of caving in longwall mining. In: Hustrulid W, Johnson G, editors. Proceedings of the 31st US rock mechanical symposium, Golden, Colorado. Rotterdam: Balkema; pp 161–68.
- Shen J., Karakus M. and Xu C. (2012). A comparative study for empirical equations in estimating deformation modulus of rock masses. Tunnel. and Underground Space Tech. 32: pp 245-250.
- Singh R. and Singh T. N., (1999). Investigation into the Behaviour of A Support System and Roof During Sublevel Caving of A Thick Coal Seam, Geotech.and Geol. Eng., 17: pp 21-35.
- Sönmez H., Gökçeoğlu C. and Ulusay R. (2004). Indirect Determination of The Modulus of Deformation of Rock Masses based on GSI System, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41: pp 849-857.
- Sönmez H., Nefeslioğlu H. A., Gökçeoğlu C., Kayabaşı A. (2006). Estimation of Rock Modulus for Intact Rocks with an Artificial Neural Network and for Rock Masses with A New Empirical Equation, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 43: pp 224 - 235.
- Sweby G. (1997) Review thystems and determine the effect of the mechanism on the safety of the system, Project No : COL – 327, GSİRO MININGTEK.
- TTK (2013) Türkiye Taşkömürü Kurumu Plan Büroları Arşivleri (Üzülmez, Kozlu ve Gelik Müesseseleri).
- Ulusay R. ve Sönmez H. (2007). Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, JMO Yayınları, 292s.
- Ünal E. (1995). Modified Rock Mass Classification M-RMR System, Milstones in Rock Engineering, The Bieniawski's Jubilee Collection, AA Balkema, pp. 203-223.
- Ünlü T. (1989). Üzülmez Müessesesi Asma İşletmesi Sulu Ayakta Yapılan Yük ve Konverjans Ölçümleri İle Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 129s.
- Ünlü T. ve Gerçek H. (2000). Ahşap Domuzdamlarının Mekanik Davranışı ve Tasarımı, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Kdz. Ereğli, Zonguldak, pp 41-53.
- Unrug K. ,F. (1983) Longwall Support Requirements, Journal of Mines Metal and Fuels of India, Special Number on Updates on Longwall Mining-Evolving Trends.
- Venkateswarlu V., Ghose A. K. and Raju N. M., (1989). Rock Mass Classification for Design of Roof Supports – A Statistical Evaluation Of Parameters, Min. Sci. And Tech.,pp 97-107.

Whittaker B. N. and Jeremic M. L., (1979). Longwall Mining Potential of Plains, Region of Coal Deposits in Western Canada Colliery, Guar. Coal Int., pp 31-39.

ZEDEM (1994). Establishment of an Industrial Support Centre in Zonguldak, Final Report, 104 p.

Zhang L. and Einstein H. H. (2004). Using RQD to Estimate the Deformation Modulus of Rock Masses, Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. 41: pp 337-341.

Zhou, Y, (1991). Evaluating the impact of multi-seam mining on recoverable coal reserves in an adjacent seam, Virginia Division of Mineral Resources, Commonwealth of Virginia, Department of Mines, Minerals and Energy, Publication, 104.

## MADEN İŞYERLERİNDE KULLANILAN BAZI İŞ ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİNİN ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

### *Measurement and Evaluation of Hand-Arm Vibration Exposure Sourced From Some Power Tools in Mining Workplaces*

Bülent ERDEM\*  
Tuğba DOĞAN\*\*  
Zekeriya DURAN\*\*\*  
Zafer ÖZGEN\*\*\*\*

#### ÖZET

Bu çalışmada maden işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Araştırma, sanayiden sayılan işyerlerinden alınan ölçümlerle de desteklenmiştir. Ölçümler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'te belirtilen standartlara uygun ekipman ve süreçler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her alet/araç için en büyük titreşim ivmesi (AEQ), eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)), saatlik maruziyet puanı (HEP), toplam maruziyet puanı (TEP), her eksen için baskın titreşim ivmesi frekansı, maruziyet eylem değerine erişim süresi (EAV<sub>TT</sub>) ile maruziyet sınır değerine erişim süresi (ELV<sub>TT</sub>) hesaplanmıştır. Daha sonra alet/araçlar; benzer işlev gören aletler bazında, elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören aletler bazında, aracın ya da nesnenin tutulması ile işlev gören aletler bazında ve elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli aletler bazında olmak üzere dört başlıkta gruplandırılarak, analiz edilmiştir. Kompaktörler, matkaplardan martopikörlere kadar araçların bulunduğu delici sınıfı ile yüksek devirle dönen avuç taşlama/kesme makineleri ile spiral kesme makinelerinin tüm gruplarda, maruziyet sınır değerine erişim süresini dakikalar ile sınırlayacak kadar yüksek titreşime neden olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** El-kol titreşimi sendromu (EKTS), maruziyet eylem değeri, maruziyet sınır değeri, TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2.

#### ABSTRACT

This study includes measuring and then evaluating the hand-arm vibration exposure of mine workers. The research is supported by measurements taken from industrial establishments. The measurements were carried out using equipment and processes suitable to the relevant standards, which are specified in the Control of Vibration at Work Regulations issued by the Labor and Social Security Ministry of Turkey. For each tool/instrument the following vibration-related parameters were calculated: acceleration equivalent level (AEQ), equivalent vibration acceleration (A(8)), hourly exposure points (HEP), total exposure points (TEP), the dominant vibration acceleration frequency for each axis, time to reach the exposure action value (EAV<sub>TT</sub>) and time to reach the exposure limit value (ELV<sub>TT</sub>). Later, instruments/tools were grouped and then analyzed under the following four headings; instruments which perform similar functions, hand-held or hand-driven instruments/tools, performing a specific task by holding the tool/instrument or by holding and feeding a working object to the tool, and finally electricity or pressurized fluid driven tools. In all groups, compactors, drill tools of all types, high-speed grinders and cutters were found to cause extremely high levels of hand-arm vibration exposure, which would confine the time to reach to the exposure limit value within a few minutes.

**Keywords:** Hand-arm vibration syndrome (HAVS), exposure action value, exposure limit value, TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2.

\* Prof. Dr., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS, bulent@cumhuriyet.edu.tr  
\*\* Arş. Gör., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS  
\*\*\* Öğr. Gör., Cumhuriyet Üniv., Sivas MYO, SİVAS  
\*\*\*\* Öğr. Gör., Sütçü İmam Üniv., Afşin MYO, KAHRAMANMARAŞ

## GİRİŞ

Madencilik ve inşaat sektörlerinde basınçlı hava ile çalışan matkap türü el aletleri ilk olarak 1840'lı yıllarda Fransa'da tünel açma çalışmalarında kullanılmıştır. Bu araçların endüstriyel uygulamalarda kullanımı özellikle İkinci Dünya Savaşı ile birlikte artış göstermiş olup günümüzde delici, kırıcı, kesici ve cilalayıcı özellikteki bu titreşimli aletler birçok iş alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Böylece, elle yapılan bu işlerde verimin 6-12 kat artması sağlanmıştır (Yamada ve Sakakibara, 1998).

İmalat sanayiinde (metal işleyen darbeli aletler, matkaplar veya dönerek çalışan diğer alet ve anahtarlar), taş ocağı, madencilik, yol ve yapı işlerinde (kaya deliciler, kaya parçalayıcılar, yol kırıcılar, beton kırıcılar), tarım ve ormancılık alanında (zincir ve fırça testere, ağaç kabuğu soyma makineleri), sürekli motosiklet kullanmak durumunda olan çalışanlarda (trafik polisi) ve evsel kullanımda (delici çekiç, el matkapları) elle iletilen titreşime mesleki veya özel maruziyet görülebilmektedir (Griffin, 1997, Mirbod vd., 1997; Cherniak, 1994; Güven'den, 2002; Anon(a), 2013). Titreşim ilintili Raynaud Fenomeni (Raynaud Hastalığı) 1862 yılında tanımlanmıştır. Profesör Giovanni Loriga 1911 yılında ilk kez İtalya'daki madenlerde darbeli çekiç ile çalışan işçilerin parmaklarında solukluk, siyanoz ve üşüme atakları ile seyreden bir hastalık tablosu tanımlamıştır (Anon(b), 2015). Ancak titreşimli el aletleri ile bu belirtiler arasındaki ilişki, 1918 yılında Alice Hamilton tarafından taş ocaklarında matkap kullanarak çalışan madencilerde "ölü parmak (dead finger)" hastalık tablosunun tespiti ile belirlenmiştir. Bu hastalık 1970'lerde "beyaz parmak sendromu (vibrating white finger, VWF)" olarak adlandırılmaya başlanmıştır (Anon(c), 2015). 1950'lerde üzerinde güç ünitesi bulunan taşınabilir el aletlerinin imal edilmeye başlanması ve çoğu endüstriyel iş alanında titreşimli araçların yaygın olarak kullanılmaya başlamasının ardından, 1960'lardan sonra pek çok "Mesleki Titreşim Sendromu" vakası görülmüştür (Yamada ve Sakakibara, 1998).

Avrupa işgücünün %(1,7 – 3,6)'sının elle iletilen titreşimin zararlı etkilerine maruz olduğu tahmin edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) yayınlarına göre ABD'nde 1,2 milyon işçi titreşime maruz kalmaktadır (NIOSH, 1989; Miller vd., 1994). İngiltere'de yapılan bir çalışma bir milyonun üzerinde iş-

çinin 2,8 m/s<sup>2</sup> ile ulusal düzeyin çok üzerinde titreşime maruz kaldığını göstermektedir. Hollanda'da yapılan bir başka çalışma ise işgücünün %(4 – 7)'sinin tüm vücut titreşimine maruz kalmakta olduğunu göstermektedir. Dublin Vakfı tarafından yürütülmekte olan bir çalışma raporu da Avrupa'da titreşime maruziyetin çok yaygın olduğunu doğrulamaktadır. Avrupa Komisyonunun sonuçlarını duyurduğu 1995 tarihli Eurostat çalışmasına göre, Avrupa'da en sık görülen meslek hastalıkları arasında titreşimden kaynaklanan hastalıklar ilk on hastalık arasında yer almaktadır (Koukoulaki, 2001; Güven'den, 2002). Titreşime maruz kalan işçilerde el-kol titreşim sendromu (EKTS) görülme yaygınlığı %(10 – 70) olarak rapor edilmektedir (Miller vd., 1994). 1990'lı yıllarda HSE tarafından yapılan çalışmada 5 milyon civarında İngiliz işçinin el kol titreşimine maruz kaldığı bildirilmiştir (HSE, 2010).

Güven (2011), ülkeler arasında değişmekle birlikte, yılda her bin işçiden 4-12'sinin meslek hastalığına yakalanma ihtimali olduğunu bildiğini ifade etmektedir. Bu varsayıma göre; ülkemizde 2009 yılı verilerine göre 9.030.202 zorunlu sigortalı çalışan üzerinden beklenen meslek hastalığı vaka sayısı 36.000 – 108.000 arasında iken, 2009 yılı SGK istatistiklerine göre meslek hastalıkları vaka sayısı 429 olarak girilmiştir. 2012 yılı incelendiğinde, 172 erkek (%99) ve 1 kadın (%1) olmak üzere toplamda 173 kişi sürekli iş göremez hale gelmiş olup 1 erkek işçi meslek hastalığı nedeniyle hayatını yitirmiştir. 2012 yılında, tümü erkek olan 238 adedi 'maden çıkarımı ve inşaatla ilgili işlerde çalışan sanatkârlar' kapsamında olmak üzere 395 meslek hastalığı tespit edilmiştir. Meslek hastalıkları, türüne göre dağılımı bakımından değerlendirildiğinde ise 246 erkek işçi silikoz ve siliko-tüberküloz, 26 işçi (25 erkek, 1 kadın) kurşun ve kurşun tozları, 14 işçi (13 erkek, 1 kadın) nikel ve bileşikler, 13 işçi (10 erkek, 3 kadın) kas krampları ve 10 erkek işçi mesleki-bronşiyal astım kaynaklı meslek hastalığına yakalanmıştır. 2012 yılında titreşim sonucu kemik-eklem zararları ve anjiyo-nörotik bozuklukları kaynaklı meslek hastalığı olgusu ancak 3 erkek işçide izlenmiştir (Anon(a), 2013). Güven (2011), ülke istatistiklerimizin bu denli yetersiz olmasının ardında tıbbi, yasal ve sosyal taraflara ilişkin birçok nedenin sıralanabileceğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada maden işyerleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve farklı ölçütler ile değerlendirilmiştir (Özgen, 2015).



## 1. EL-KOL TİTREŞİMİ ÜZERİNE ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Haines vd., (1988) çalışmalarında, titreşime maruz kalmayan işçilere kıyasla vardiya süresince titreşime maruz kalan maden işçilerinde dokunsal duyarlılık derecesi (esteziyometrik) eşik değişimlerinin olup olmadığını araştırmayı amaçlamışlardır. Denek olarak seçilen 99 madenci ve 40 döküm işçisinden dört denek çalışmaya katılmayı reddetmiş, dokuz işçi de test izleğini anlamadıkları için gruptan çıkarılmışlardır. Vardiya öncesi ve sonrasında her iki elde de başparmaklar hariç olmak üzere iki nokta ayrımı ve derinlik duygusu esteziyometrisi yapılmıştır. Vardiya boyunca titreşimli bir aletin kullanılmasına ek olarak kol hasarına dair işaretler, parmak ucunda nasırlaşma ve tek el kullanma eğiliminin olduğu görülmüştür. Analizde, vardiya öncesi ve sonrası okumalar (analiz) bu değişkenlere göre ve özellikle de vardiyada martoperforatör ile çalışma sonucu titreşime maruziyet durumuna göre incelenmiştir. Martoperforatör maruziyeti hariç, esteziyometrik sonuçlar bakımından, hem ortalamaların düzeltilmemiş kıyaslanması ve hem de geriye doğru eleme (backward elimination) tipi regresyon analizinde bu değişkenler ve vardiya boyunca oluşan değişim arasında hiçbir bağlantı gözlenmemiştir. Ancak, vardiya süresince martoperforatör ile sağ elde iki nokta ayrımı ve derinlik algısı esteziyometrik sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağlantı bulunmuş, özellikle de iki nokta ayrımına dair bir öğrenme olduğu gözlenmiştir. Böyle bir öğrenmenin sol elde değil sağ elde gerçekleşmesi, baskın tek elliliği (tek eli kullanma eğilimi) ve deneklerde sağ elde daha fazla titreşim maruziyetinin olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, titreşime maruz kalan işçilere esteziyometrik test yapılmadan önce maruziyet olmayan bir aralığın/molanın olması gerektiğini savunulmaktadır.

Yeraltı madenlerinde çalışanlarda vardiya öncesi ve sonrası EKTS maruziyetini değerlendirmek için ABD Maden Bürosu (USBM) ve Kanada-Ontario Madencilik Sağlık ve Güvenlik Bakanlığı, bir yeraltı altın madeni yönetiminin işbirliği ile çalışmalar gerçekleştirmiştir (Hudock, 1990). EKTS maruziyetinin akut etkisi; titreşim ölçer sistemi kullanılarak çeşitli seviye ve frekansta titreşim verilerle duyarlılık testi, tutuş güç dinamometresi kullanarak el gücü ölçme testi, Purdue pegboard testi kullanılarak el ve kolların hem kaba (gross) hareketleri hem de parmak ucu becerisini ölçmeye yönelik testler olmak üzere 3 ayrı ölçüm ara-

cı kullanılarak, değerlendirilmiştir. Eşleştirilmiş t-testlerinde vardiyalardaki titreşim ölçer puanlarında vardiya önce ya da sonrasına göre önemli hiçbir fark bulunamamıştır. Vardiya sonrası testte sağ elde sürekli titreme, toplanma ve toplam titreşim puanları önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır. Bu üç ölçüm aracının hiçbirinin el kol titreşimi maruziyeti akut etkilerini belirlemek için yeterince duyarlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Narini vd. (1993) yaptıkları çalışma ile Kanada kuzey Ontario'da bulunan bir yeraltı altın ocağında çalışan işçileri el-kol titreşimi maruziyetinin etkilerini sınamak için değerlendirmeye almışlardır. Çalışma uzayına yaş ortalamaları 35 olan ve titreşimli aletler kullanan 19 yeraltı maden işçisi ile yaş ortalaması 31 olan ve titreşime maruz kalmayan 15 adet kontrol grubu işçisi alınmıştır. İşçilerin ortalama titreşim maruziyet öyküsü 14 yıldır. Çalışmada statik iki noktayı ayırt etme, iki nokta ayrımını değiştirme, titreşim eşiği ve kütenöz (deriyle ilgili) basınç eşiği parametreleri değerlendirilmiştir. Karpal ve kübital tüneller üzerinde tinel, basınç, falen (Phalen) işaretleri dâhil olmak üzere provokatif testler yapılmıştır. 12 maden işçisinde ve bir kontrol grubu deneginde hissizlik, ağrı ve zayıflık rapor edilmiş, 16 maden işçisi ile üç kontrol deneginde EKTS gözlenmiştir. Maden işçileri, kontrol grubundakilere kıyasla, karpal ve kübital tünellerde daha yüksek pozitif provokatif test oluşumu ve daha yüksek kütenöz basınç eşiğine sahip bulunmuştur. Ayrıca yeraltı maden işçilerinde, kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde yüksek titreşim eşikleri tespit edilmiş ve çalışma ömrü boyunca titreşime maruziyet süresi ile titreşim eşiği arasında da bir ilgileşim görülmüştür.

Dasgupta ve Harrison (1996) Hindistan'da bulunan iki madende çalışan 66 martopikör işçisi ile 35 ateşçiyi EKTS bakımından klinik olarak incelemişlerdir. Söz konusu bu inceleme; ankete dayalı bilgi, parmakların kemik çevre ölçümüyle ilgili klinik muayene (FCT) ve motor sinir iletimini (MCV) içeren klinik muayeneden oluşmaktaydı. Sıcak bir ortamda, birçok belirtinin bir arada bulunması, herhangi bir periferik dolaşım bozukluğundansa periferik nöropati ve kas-iskelet sistemi anormallikleri olduğunu göstermiştir. Klinik muayene; ellerde yumuşak doku hasarı (26 vaka), ulnar sinir bozukluğu (23 vaka), medyan sinir bozukluğu (16 vaka) ve Dupuytren kontraktürü (4 vaka) olduğunu göstermiştir. Bu değerlendirmeye gönüllü olarak katılan 66 delme işçisinden 59 adedinin ortalama motor sinir iletim hızı,

35 ateşçiden anlamlı ölçüde farklı çıkmamıştır. Yaş ve çalışma ömrü boyunca titreşime maruziyet süresi regresyon analizine tabi tutulduğunda ilişileşim katsayısı sonuçları MCV bakımından önemli ölçüde değişlik göstermiştir. Ancak 30 delici işçinin 30 ateşçi ile MCV ve FCT bakımından kıyaslamasında titreşime maruz kalmış grupta sağ medyan sinirinin ortalama MCV'sinin önemli ölçüde azaldığı görülmüş ( $p<0.01$ ) ve ortalama FCT için ise sağ işaret parmağı, sol başparmak ve sol yüzük parmağının proksimal kemiklerinin titreşime maruz kalmış grupta daha ince olduğu belirlenmiştir ( $p<0.05$ ).

Güven (2002) titreşimin el ve kollarındaki dolaşıma olumsuz etkilerini göstermek amacıyla Ankara'da kamu kurum ve kuruluşlarında çalışan ve titreşimli cihaz kullanan 30 kişi ile kullanmayan 17 kişi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda, katılımcılarla yüz yüze görüşmeler yapılmış, tanımlayıcı ve el-kol dolaşımına ait belirti bilgileri toplanmış, genel sağlık kontrolü, laboratuvar muayeneleri ve el-kol dolaşımı ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, titreşimli cihaz kullananların; titreşimin sağlık etkileri, HAVS'ın belirtileri ve korunma yöntemleri konusunda eğitilmeleri, titreşimli cihaz kullanım sürelerinin düzenlenmesi ve genel iş sağlığı ve güvenliği önlemleri kapsamında koruyucu önlemlerin alınmasının sağlanması ve daha büyük gruplarda yeni epidemiyolojik araştırmaların yapılması önerilmiştir.

Oddo vd. (2004) madencilik sanayiinde yaygın olarak kullanılan martopikör ve martoperforatör gibi kayaç matkaplarının neden olduğu el-kol titreşimini azaltacak süspansiyonlu kol tasarımı modelini geliştirmişlerdir. Tipik madencilik şartlarında çalıştırıldığında, 6,3 Hz – 1250 Hz frekans aralığında değerlendirilen frekans ağırlıklı el-kol titreşimi maruziyet seviyeleri 25 m/s<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Çalışmada çoğu basınçlı havalı matkapta 35 Hz ve 45 Hz arasında oluşan titreşim ve şokları azaltmak için tasarlanmış süspansiyonlu bir kolun geliştirilmesiyle ilgili ilk aşamanın sonuçları verilmiştir. Bu amaç için el-kol sistemi, ISO 10068 standardında model-2 olarak adlandırılan dört serbestlik dereceli yuvarlanmış bir parametre modeli ile gösterilmiştir. Araştırmanın parçası olarak, birinde helikoidal yaylar, diğerinde viskoelastik çerçeveler bulunan iki tür süspansiyonlu kolu gösteren bir model geliştirilmiştir. Elektrodinamik titreşimdeki süspansiyonlu kollar çalıştırıldığında ortaya çıkan titreşim iletimi ölçümleriyle ilgili tahminlerle kıyaslama yapılarak bu kombine el-kol süspansiyonlu kol mo-

delleri daha sonra doğrulanmıştır. Ölçümlerde, kolları tutan ve 0 N – 80 N arası itme gücü ile 20 N – 50 N arası tutma gücü uygulayan insan denekler kullanılmıştır. 50 N'a ayarlanan tutma ve itme güçleri için, özellikle 35 Hz üzerindeki frekanslarda model tahminleri ile yapılan ölçümler arasında uyum bulunmuştur.

Futatsuka vd. (2005) Vietnam'da taş ocağı çalışanlarında EKTS gelişimini araştırmışlardır. Titreşimli aletlerin tropik bölgelerde çalışan işçiler üzerindeki etkisini araştıran çok az çalışma mevcut olduğunu vurgulayan yazarlar, martopikör gibi kaya matkaplarını kullanmayla ilgili iş koşulları ve sağlık sorunlarını, 73 delici işçi dâhil olmak üzere Vietnam'daki 102 taş ocağı çalışanı üzerinde incelemişler ve titreşim maruziyeti riski, titreşimin neden olduğu VWF ortaya çıkışı ve EKTS karakteristiklerini netleştirmeyi amaçlamışlardır. Çin ya da Rusya'da imal edilen kaya matkaplarının toplam ağırlıklı ortalama karekök ivmesinin 45 m/s<sup>2</sup> - 55 m/s<sup>2</sup> olduğunu ifade etmişlerdir. Gözlemlerine göre günlük titreşim maruziyeti (160 – 210) dakikaydı. ISO-5349'e göre bu miktarın işçilerde yüksek EKTS riskine neden olacağı tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda VWF ile ilgili net bir kanıt bulunamamıştır. Hiçbir işçide VWF bulunmamasıyla ilgili çeşitli sebepler olabilir: 1) çalışma ortamının sıcak olması, 2) daha genç ve tecrübesiz işçiler, 3) iş operasyonlarında mevsimsel değişiklikler, 4) sağlıklı işçi etkisi. Diğer yandan ise delici operatörlerinin %(5-10)'unun, sensori-nöral tipin baskın olduğu orta şiddetli EKTS'den mustarip olabileceği ve tropik bölgelerde çalışan taş ocağı işçilerinde EKTS'in bazı karakteristik özelliklerinin bulunabileceği sonucuna varmışlardır.

Nyantumbu vd. (2007) Güney Afrika'daki maden işçilerinde EKTS'nin yaygınlığı ve ağırlığı ile bu duruma neden olan aletleri belirlemek amacıyla Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki bir altın madeninde kesitsel bir çalışma yapmışlardır. EKTS'nin elle tutulan/güdülen titreşimli aletlerin kullanılmasıyla bağlantılı olduğu, bu durumdan etkilenen işçilerde iğnelenme, hissizlik, tutuş gücü kaybı ve ağrı görülebileceği, el becerisi kaybının günlük aktivitelerin gerçekleştirilmesini zorlaştıracacağı ve mesleki kaza riskini potansiyel olarak artırabileceğini ifade etmişlerdir. Martopikör ve martoperforatörlerde 31 m/s<sup>2</sup> gibi yüksek titreşim ivmesi seviyelerinin ölçülmüş olduğunu da eklemişlerdir. Katılımcılar yıllık izinden dönen maden işçileri arasından rastgele seçilmiş ve toplamda, işlerinden dolayı titreşime maruz kalan 156 kişi

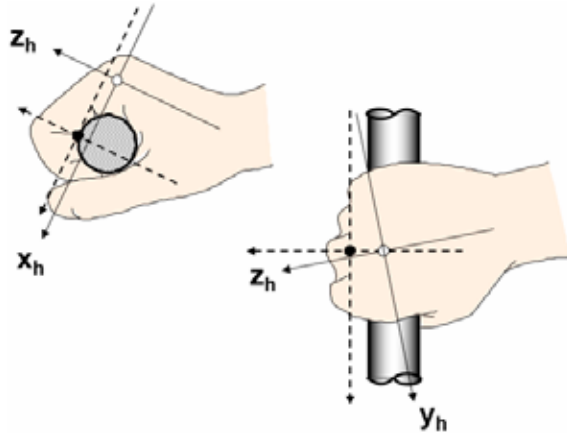
ile titreşime hiç maruz kalmayan 140 kişi seçilmiştir. Katılmayı kabul eden madenciler, HSL protokolüne uygun olarak klinik anlamda EKTS değerlendirmesine alınmıştır. Titreşime maruz kalmış altın madencilerinde EKTS yaygınlığı %15 olarak bulunmuş ve hastalığın belirti vermediği 5,6 yıllık da gizli bir dönem belirlenmiştir. Titreşime maruz kalmamış kıyas grubunun %5'inde EKTS'den ayırt edilemeyen işaret ve belirtiler görülmüş ve bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). EKTS vakalarının tümü delicilere maruziyet öyküsü içermiştir. Çalışmada EKTS yaygınlığı beklenenden daha düşük bulunmuştur. Bu durum denek topluluğunun çalışma şartlarına dayanıklı olması ve sıcak ortam koşullarından dolayı dolaşım ilintili belirtilerin yetersiz tanımlanması ile açıklanmıştır.

Nor vd. (2014) Malezya'da 5 farklı tip çim biçme makinesi üzerinde titreşim ve gürültüyü incelemek üzere yaptıkları çalışmada bu makineleri kullanan işçilerin sağ ve sol el farklılıkları da gözlemlenmiştir. A(8) titreşim maruziyet değeri ölçülen çalışmada sağ el için 2,1 ile 20,7  $m/s^2$ , sol el için de, 2,7 ile 29,1  $m/s^2$  titreşim değerleri ölçülmüştür.

## 2. EL-KOL TİTREŞİMİ

### 2.1. Tanımı ve Etkileri

Titreşim, büyüklüğü ve frekansı ile tanımlanmaktadır. Titreşim büyüklüğü titreşim yer değiştirmesi (m), titreşim hızı (m/s) ya da titreşim ivmesi ( $m/s^2$ ) cinsinden ifade edilmektedir. Çoğu titreşim çevirgeci (transducer) ivme ile ilintili bir çıktı ürettiğinden ivme, titreşimi tanımlamak için geleneksel olarak kullanılır hale gelmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi el üzerinden iletilen titreşime ait tam bir görüntü elde etmek için titreşim, üç ekseninde ölçülmektedir.



Şekil 1. El-kol titreşimi ölçüm eksenleri (EU, 2006).

Elle iletilen titreşime aşırı maruziyet, damar duvarının harap olması sonucunda esnekliğini yitirmesi, damarlarda daralma, kan akımında azalma, soğuğa dayanıksızlık yanı sıra sinirler, kaslar, kemik ve eklemlerde (maruziyetin yakınlıklarında yer alan eklemlerde) bozukluklara yol açabilmektedir. Elle iletilen titreşime maruziyette görülen el ve kolda karıncalanma, uyuşukluk, beyazlaşma, ağrı, kolda ve omuzda kramplar, bilekte kuvvet kaybı gibi bulgular "El-Kol Titreşimi Sendromu" başlığı altında toplanmaktadır (Ruffle vd., 1987; McKenna vd., 1994; Güven'den, 2002). Avrupa'da en sık görülen meslek hastalıkları arasında titreşim kaynaklı olanlar, ilk on hastalık arasında yer almaktadır (Koukoulaki, 2001; Güven'den, 2002). Titreşime maruz kalan işçilerde EKTS görülme sıklığı %10 - %70 olarak bildirilmektedir (Miller vd., 1994).

El-kol titreşimi için önemli olduğu düşünülen frekanslar 8 Hz ile 1000 Hz arasında değişmektedir. Ancak eldeki hasar riski tüm frekanslarda eşit olmadığından farklı frekanslarda zarar görme olasılığını temsil etmek için bir frekans ağırlıklandırması kullanılmaktadır. Sonuç olarak frekans yükseldikçe ağırlıklandırılmış frekans düşmektedir. El-kol titreşiminde tüm eksenler için bir frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanılmaktadır.

Her titreşim ekseninden frekans ağırlıklı bir RMS ortalama ivme ölçülmektedir. Bu,  $a_{hw}$  olarak ifade edilmektedir. Maruziyete değer biçmek için kullanılan değer, X, Y ve Z eksenlerindeki  $a_{hw}$  değerlerini birleştiren titreşim toplam değeridir:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Elle tutularak kullanılan güç üniteli aletlere ait örnek titreşim değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

### 2.2. Ölçüm Yöntemi

Birçok ülke, el-kol titreşim maruziyeti için standartlar veya kılavuzlar oluşturmuştur. Bunların temeli esas olarak ölçümlerde frekans ağırlıklandırmasını öneren ISO 5349 standardına dayanmaktadır (Anon(d), 2015). Titreşimin frekans ağırlıklı ivme değeri  $a_{hw}$ , uygun ağırlıklandırma filtresi kullanılarak veya dik koordinat sistemi boyunca 1/1 oktav veya 1/3 oktav bantlar ile ölçülerek elde edilebilmektedir (Ikeda, 1998).

- Ülkemizde Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, Madde 4'e göre:

- ii. El-kol titreşimi: İnsanda el-kol sistemine aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle de damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan mekanik titreşimi,
- iii. Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,

Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

- i. Madde 5: El-kol titreşimi için;
- ii. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 5 m/s<sup>2</sup>.

Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: 2,5 m/s<sup>2</sup>

Yönetmeliğin EK 1: Maruziyet değerlendirme-si'ne göre;

"El-kol titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi sekiz saatlik bir referans döneme A(8) normalize edilen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ivme değerlerinin karelerinin toplamının (RMS) (toplam değer) karekökü olarak ifade edilen, TS EN ISO 5349-1 "Mekanik Titreşim – Kişilerin Maruz Kaldığı Elle İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Genel Kurallar" ile TS EN ISO 5349-2 "Mekanik Titreşim – Kişilerin Maruz Kaldığı, Elden Vücuda İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi – Bölüm 2: İşyerlerinde Ölçme Yapmak için Pratik Kılavuz" standartlarına ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır."

### 2.3. Ölçülen ve hesaplanan büyüklükler

- a. Çalışma kapsamında aşağıdaki parametreler ölçülmüştür:
- b. Peak (m/s<sup>2</sup>): tanımlanan zaman aralığında titreşim ivmesinin eriştiği en büyük (tepe) anlık mutlak değer. Tepe değeri genellikle titreşim ivmesinin ortalama değerinden en büyük sapma olarak alınmaktadır. Böylece pozitif tepe değeri en büyük pozitif sapmayı, negatif tepe değeri de en büyük negatif sapmayı göstermektedir (Griffin, 1997).
- c. Peak-Peak (P-P) (m/s<sup>2</sup>): tanımlanan zaman aralığında titreşim ivmesine ait dalga yapısındaki pozitif en büyük genlik değeri ile negatif

en büyük genlik değeri arasındaki fark.

- d. a<sub>hwX</sub> (m/s<sup>2</sup>): Kullanılan alet/aracın tutamağında X-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.
- e. a<sub>hwY</sub> (m/s<sup>2</sup>): Kullanılan alet/aracın tutamağında Y-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.
- f. a<sub>hwZ</sub> (m/s<sup>2</sup>): Kullanılan alet/aracın tutamağında Z-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.

CRF: Tepe faktörü, PEAK/a<sub>hw</sub> olarak hesaplanmaktadır.

El-kol titreşim maruziyetinin değerlendirilmesinde, kaydedilen ölçümlere dayalı belirli sayıda fonksiyon da kullanılmaktadır (SVANTEK, 2013). Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- a. Max(RMS): Bu fonksiyon ile çalışanın eli aracılığı ile vücuda iletilen en yüksek el-kol titreşimi ivmesi tespit edilmektedir.
- b. AEQ: El-kol titreşim ivmesi vektörü fonksiyonu el-kol titreşim dozu hesaplamalarında kullanılmaktadır.

$$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2}$$

- c. A(8): Günlük eşdeğer maruziyet değeri, günlük maruziyet süresi (T<sub>E</sub>) boyunca oluşan titreşim ivmesinin 8 saatlik (28800 s) bir referans dönemine (T<sub>0</sub>) normalize edilmesi ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada el-kol titreşimi ölçümleri alınan işyerlerinden sağlıklı maruziyet süresi değerleri elde edilemediğinden A(8) değeri, günlük maruziyet süresi (T<sub>E</sub>) yerine ölçüm süresi (T) kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçüm süreleri birkaç dakika ile sınırlandırıldığından, bu sürenin 8 saatlik bir vardiyaya normalize edilmesi sonucunda hesaplanan A(8) değerleri oldukça düşük çıkmaktadır. Bu nedenle personelin vardiyaya boyunca maruz kalabileceği el-kol titreşimini sayısal ölçekte temsil yeteneği bulunmayan bu değer yerine el-kol titreşim ivmesi vektörü olan AEQ kullanılmıştır.

$$A(8) = AEQ \sqrt{\frac{T_E}{T_0}}$$

- d. EAV<sub>TT</sub>: Maruziyet eylem değerine erişim süresi fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s<sup>2</sup>lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam

maruziyet süresidir (ss:dd:nn).

$$EAV_{TT} = T_0 \left( \frac{EAV}{AEQ} \right)^2$$

- e.  $EAV_{TL}$ : Maruziyet eylem değerine erişim için kalan süre fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s<sup>2</sup>lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süredir (ss:d:nn).

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T$$

- f.  $ELV_{TT}$ : Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 5 m/s<sup>2</sup>lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresidir (ss:dd:nn).

$$ELV_{TT} = T_0 \left( \frac{ELV}{AEQ} \right)^2$$

- g.  $ELV_{TL}$ : Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 5 m/s<sup>2</sup>lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süredir (ss:d:nn).

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T$$

- h. HEP (puan): Saatlik maruziyet puanı. Kullanılan araç aracılığıyla maruz kalınan el-kol titreşiminin 1 saat çalışma üzerinden sağlığa olası etkileri açısından değeri. Maruziyet eylem değeri olan 2,5 m/s<sup>2</sup> eşdeğer ivmeye 100 puan, maruziyet sınır değeri olan 5 m/s<sup>2</sup> eşdeğer ivmeye ise 400 puan verilmiştir.

$$HEP = 2a_{hv}^2$$

- i. TEP (puan): Toplam maruziyet puanı. Kullanılan araç aracılığıyla maruz kalınan el-kol titreşiminin 8 saat çalışma üzerinden sağlığa olası etkileri açısından değeri. Maruziyet eylem değeri olan 2,5 m/s<sup>2</sup> eşdeğer ivmeye 100 puan, maruziyet sınır değeri olan 5 m/s<sup>2</sup> eşdeğer ivmeye ise 400 puan verilmiştir.

$$TEP = \left( \frac{a_{hv}}{2,5} \right)^2 \frac{T}{8} 100$$

- j. Baskın frekans ( $a_{hw}$ ): El-kol titreşiminin insana 5 Hz – 1500 Hz frekans aralıklarında daha zararlı olduğu belirtilmektedir. Tutamak üzerinden ele iletilen titreşim ivmesinin frekans

dağılımını görebilmek için ölçümler 1/3 oktav frekans aralıklandırması ile yapılmış ve sık aralıklı titreşim frekanslarındaki titreşim ivmesi değerleri tespit edilmiştir.

### 3. EL - KOL TİTREŞİM MARUZİYETİ DEĞERLENDİRMELERİ

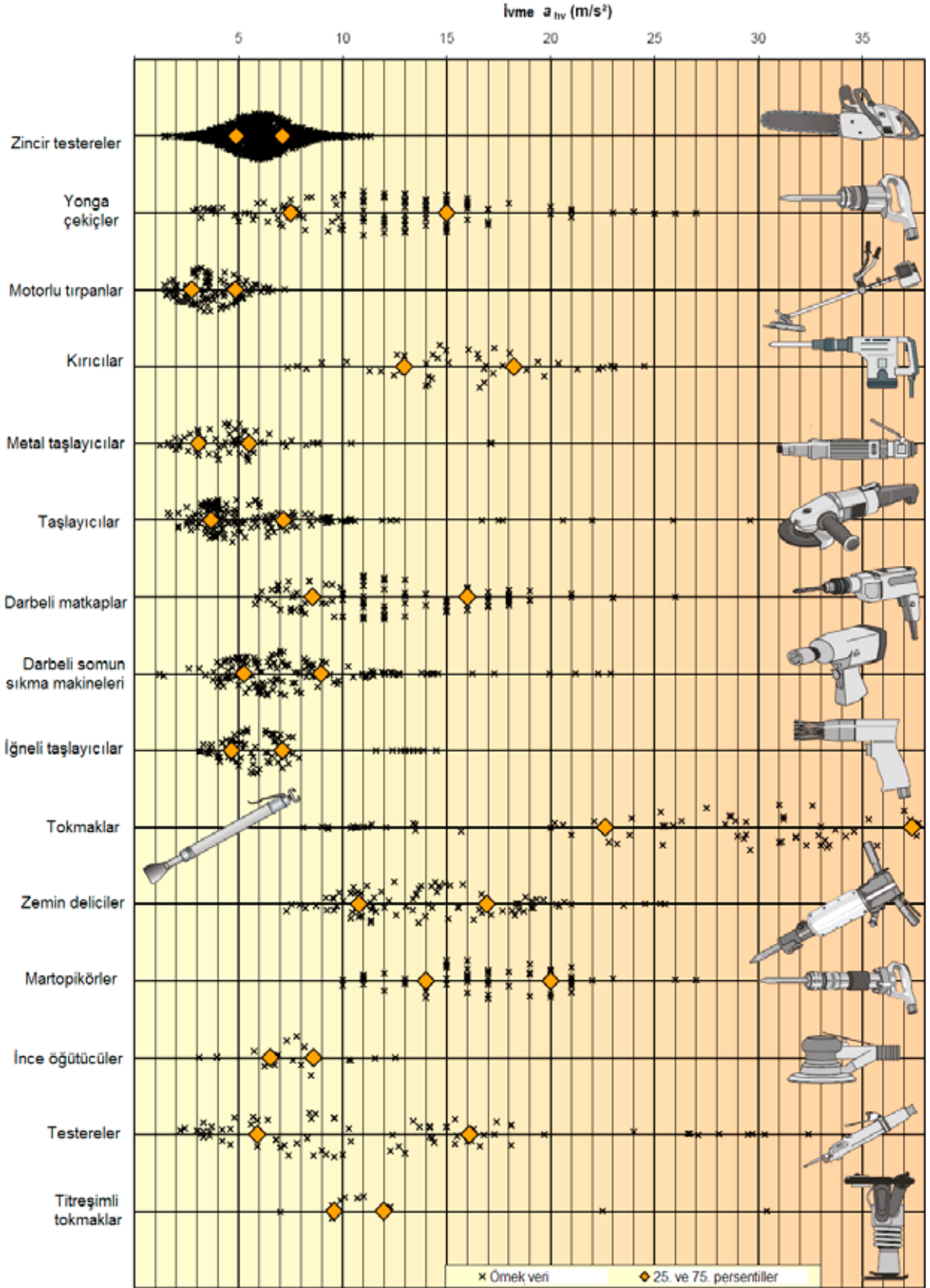
#### 3.1. Çalışma Uzayı

Bu çalışmada Sivas ve komşu illerde faaliyet gösteren beş maden işletmesi ile sanayiden sayılan iki işletmede değişik faaliyetlerde kullanılan farklı tip ve modelde toplam 51 adet elle tutulan ya da güdülen iş aletinden alınan el-kol titreşimi maruziyeti ölçümleri analiz edilmiştir. Bu araçlar arasında açılı kesim makinesi, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi, basınçlı su tabancası, büyük çekiç, çim biçme makinesi, elektrikli avuç taşlama makinesi, elektrikli büyük matkap, elektrikli küçük matkap, elektrikli martopikör, elektrikli somun sıkma makinesi, elektrikli spiral kesme ve taşlama makineleri, giyotin, havalı avuç taşlama makinesi, havalı bijon tabancası, havalı martopikör, havalı zımba tabancası, kaynak makinesi, kompaktör, parke kalıp makinesi, PVC birleştirme makinesi, PVC çapak temizleme makinesi, sütunlu matkap ve tranjer testere bulunmaktadır. Tüm ölçümlerin sonuçları Çizelge 1'de toplanmıştır.

Ölçümler bir adet titreşim analizörü ile bir adet el-kol ivmeölçeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizör; ISO 5349 standardında öngörülen gereklilikleri karşılamakta ve el-kol titreşimi için Wh (ISO 5349) filtresini eksenlere göre ayarlamaktadır. El-kol tipi ivmeölçer eşzamanlı olarak üç eksenli (X, Y ve Z) veriyi 2000 m/s<sup>2</sup> PEAK ivmeye kadar kaydedebilmekte ve 0,1 Hz ile 2500 Hz arasındaki frekans değerlerini ayıklayabilmektedir.

#### 3.2. Benzer İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma

El-kol titreşimine yol açan ve benzer işlev görev alet/araçlar, gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makineleri maruziyet sınır değeri üzerinde el-kol titreşim vektörü sunarken, çim biçme makinesi, avuç taşlama/kesme ve parke kalıp makineleri, bant soyma makinesi, tranjer testere ve PVC işleme makinelerine ait titreşim ivmeleri maruziyet eylem değeri üzerinde bulunmuştur.



Şekil 2. 1997-2005 yılları arasında İngiltere ve Fransa'daki işyerlerinde yaygın olarak kullanılan el aletlerinde kaydedilen titreşim ölçümleri (EU, 2006).

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler

Ölçüm No	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s <sup>2</sup>	AEQ m/s <sup>2</sup>	A(β) m/s <sup>2</sup>	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a <sub>w</sub>	EAV <sub>T(RMS)</sub> ss:dd:nn	EAV <sub>L(RMS)</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>T(RMS)</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>L(RMS)</sub> ss:dd:nn
1	Kalıp makinesi – 1	X	2.941	3.782	0.330	29	2	800 Hz	3:29:46	3:26:07	13:59:06	13:55:27
		Y						400 Hz				
		Z						800 Hz				
2	Kalıp makinesi – 2	X	2.145	3.484	0.272	24	1	800 Hz	4:07:12	4:04:16	16:28:49	16:25:53
		Y						31.5 Hz				
		Z						2.5 Hz				
3	Havali bijon tabancası – 1	X	5.585	8.557	0.657	146	7	50 Hz	0:40:58	0:38:08	2:43:53	2:41:03
		Y						50 Hz				
		Z						50 Hz				
4	Asfalt kesme makinesi	X	6.569	8.535	1.188	146	23	25 Hz	0:41:11	0:31:53	2:44:44	2:35:26
		Y						50 Hz				
		Z						50 Hz				
5	Kompaktör – 1	X	14.808	21.597	2.291	933	84	800 Hz	0:06:26	0:01:02	0:25:44	0:20:20
		Y						80 Hz				
		Z						80 Hz				
6	Elektrikli martopikör	X	8.831	14.262	0.857	407	12	40 Hz	0:14:45	0:13:01	0:59:00	0:57:16
		Y						2000 Hz				
		Z						12.5 Hz				
7	Havali martopikör – 1	X	4.365	5.768	0.578	67	5	500 Hz	1:30:11	1:25:22	6:00:44	5:55:55
		Y						500 Hz				
		Z						500 Hz				
8	Havali zimba tabancası	X	1.540	2.437	0.208	12	1	800 Hz	8:25:06	8:21:36	33:40:24	33:36:54
		Y						400 Hz				
		Z						400 Hz				
9	Havali bijon tabancası – 2	X	3.285	4.548	0.558	41	5	2000 Hz	2:25:02	2:17:49	9:40:07	9:32:54
		Y						1250 Hz				
		Z						1250 Hz				
10	Sütunlu matkap	X	0.451	0.729	0.059	1	0	630 Hz	94:11:02	94:07:55	376:44:07	376:41:00
		Y						500 Hz				
		Z						125 Hz				
11	Elektrikli avuç taşıma makinesi – 1	X	4.597	6.687	0.560	89	5	315 Hz	1:07:05	1:03:43	4:28:21	4:24:59
		Y						100 Hz				
		Z						100 Hz				
12	PVC birleştirme makinesi	X	0.449	0.757	0.068	1	0	0.4 Hz	87:11:50	87:08:01	348:47:20	348:43:31
		Y						0.4 Hz				
		Z						0.4 Hz				

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

Öçüm No	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s <sup>2</sup>	AEQ m/s <sup>2</sup>	A(8) m/s <sup>2</sup>	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a <sub>w</sub>	EAV <sub>TL(RMS)</sub> ss:dd:nn	EAV <sub>TL(RMS)</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>TL(RMS)</sub> ss:dd:nn	
13	PVC çapak temizleme makinesi	X Y Z	0.790	1.242	0.097	3	0	50 Hz	32:24:50	32:21:53	129:39:22	129:36:25
14	Giyotin-1	X Y Z	0.484	0.761	0.052	1	0	0.4 Hz 0.4 Hz 0.4 Hz	86:18:35	86:16:19	345:14:18	345:12:02
15	Giyotin-2	X Y Z	0.405	0.627	0.043	1	0	100 Hz 1000 Hz 1000 Hz	127:00:16	126:58:00	508:01:04	507:58:48
16	Açılı kesim makinesi	X Y Z	4.285	5.992	0.497	72	4	1600 Hz 1600 Hz 1600 Hz	1:23:33	1:20:15	5:34:11	5:30:53
17	Çim biçme makinesi	X Y Z	3.105	4.812	0.471	46	4	200 Hz 630 Hz 630 Hz	2:09:33	2:04:57	8:38:14	8:33:38
18	Havali bijon tabancası-3	X Y Z	2.463	3.765	0.384	28	2	2500 Hz 2500 Hz 2500 Hz	3:31:36	3:26:37	14:06:23	14:01:24
19	Havali bijon tabancası-4	X Y Z	2.679	3.639	0.275	26	1	2000 Hz 2500 Hz 2500 Hz	3:46:36	3:43:52	15:06:25	15:03:41
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi-2	X Y Z	1.687	2.840	0.214	16	1	400 Hz 315 Hz 400 Hz	6:11:51	6:09:08	24:47:26	24:44:43
21	Havali avuç taşlama makinesi	X Y Z	1.090	1.716	0.104	6	0	1600 Hz 63 Hz 1250 Hz	16:58:33	16:56:47	67:54:13	67:52:27
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi-3	X Y Z	3.949	6.213	0.438	77	3	100 Hz 315 Hz 100 Hz	1:17:43	1:15:20	5:10:54	5:08:31
23	Kaynak makinesi	X Y Z	0.710	1.023	0.080	2	0	2500 Hz 2500 Hz 2500 Hz	47:46:03	47:43:05	191:04:13	191:01:15
24	Havali bijon tabancası-5	X Y Z	1.404	2.234	0.141	10	0	1000 Hz 1000 Hz 1250 Hz	10:01:18	9:59:24	40:05:14	40:03:20
25	Basmıçlı su tabancası	X Y Z	1.253	1.485	0.103	4	0	160 Hz 160 Hz 160 Hz	22:41:00	22:38:41	90:43:59	90:41:40



Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Arac	Eksen	Max(RMS) m/s <sup>2</sup>	AEQ m/s <sup>2</sup>	A(8) m/s <sup>2</sup>	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a <sub>max</sub>	EAV <sub>T(RMS)</sub> ss:dd:nn	EAV <sub>L(RMS)</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>T(RMS)</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>L(RMS)</sub> ss:dd:nn
26	Büyük çekiç	X Y Z	6.361 Ch2	8.307	0.317	138	2	1600 Hz 3.15 Hz 1 Hz	0.43:28	0.42:46	2.53:54	2.53:12
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4	X Y Z	3.451 Ch3	4.576	0.427	42	3	80 Hz 400 Hz 100 Hz	2.23:16	2.19:05	9.33:05	9.28:54
28	Elektrikli matkap – küçük – 1	X Y Z	5.814 Ch2	7.690	0.505	118	4	1000 Hz 500 Hz 160 Hz	0.50:44	0.48:40	3.22:56	3.20:52
29	Elektrikli matkap – küçük – 2	X Y Z	8.985 Ch3	14.367	0.954	413	15	800 Hz 500 Hz 80 Hz	0.14:32	0.12:25	0.58:08	0.56:01
30	Elektrikli matkap – büyük – 1	X Y Z	7.295 Ch3	11.479	0.803	264	10	40 Hz 400 Hz 80 Hz	0.22:46	0.20:25	1.31:05	1.28:44
31	Elektrikli matkap – büyük – 2	X Y Z	8.185 Ch3	13.367	0.922	357	14	40 Hz 40 Hz 40 Hz	0.16:47	0.14:30	1.07:10	1.04:53
32	Elektrikli somun sıkma makinesi – 1	X Y Z	4.667 Ch1	6.778	0.464	92	3	1250 Hz 500 Hz 1000 Hz	1.05:18	1.03:03	4.21:12	4.18:57
33	Elektrikli spiral kesme makinesi – 1	X Y Z	5.565 Ch2	7.224	0.478	104	4	1000 Hz 315 Hz 315 Hz	0.57:30	0.55:24	3.49:58	3.47:52
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	X Y Z	4.188 Ch3	5.828	0.350	68	2	100 Hz 400 Hz 100 Hz	1.28:19	1.26:35	5.53:18	5.51:34
35	Kompaktör – 2	X Y Z	11.468 Ch1	18.003	1.350	648	29	80 Hz 80 Hz 80 Hz	0.09:15	0.06:33	0.37:02	0.34:20
36	Havali martopikör – 2	X Y Z	15.812 Ch1	16.880	2.026	570	66	2500 Hz 400 Hz 500 Hz	0.10:32	0.03:37	0.42:07	0.35:12
37	Havali bjon tabancası – 6	X Y Z	3.412 Ch3	4.809	0.348	46	2	1250 Hz 500 Hz 1250 Hz	2.09:44	2.07:13	8.38:55	8.36:24
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	X Y Z	1.912 Ch3	2.847	0.235	16	1	315 Hz 315 Hz 800 Hz	6.10:04	6.06:48	24.40:15	24.36:59

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

Ölçüm no	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s <sup>2</sup>	AEQ m/s <sup>2</sup>	A(8) m/s <sup>2</sup>	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a <sub>w</sub>	EAV <sub>TURMS</sub> ss:dd:nn	EAV <sub>TURMS</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>TURMS</sub> ss:dd:nn	ELV <sub>TURMS</sub> ss:dd:nn
39	Elektrikli avuç taşıma makinesi – 5	X Y Z	3.673 Ch2	5.156	0.252	53	1	125 Hz 400 Hz 125 Hz	1:52:50	1:51:41	7:31:20	7:30:11
40	Elektrikli avuç taşıma makinesi – 6	X Y Z	1.652 Ch3	2.488	0.208	12	1	100 Hz 315 Hz 315 Hz	8:04:42	8:01:21	32:18:49	32:15:28
41	Havali bjon tabancası – 7	X Y Z	6.317 Ch3	7.429	0.605	110	6	1600 Hz 630 Hz 630 Hz	0:54:22	0:51:11	3:37:27	3:34:16
42	Tranjör testere	X Y Z	2.104 Ch2	3.007	0.228	18	1	50 Hz 50 Hz 50 Hz	5:31:45	5:28:59	22:06:59	22:04:13
43	Elektrikli matkap – küçük – 3	X Y Z	4.004 Ch3	5.231	0.407	55	3	400 Hz 80 Hz 80 Hz	1:49:37	1:46:43	7:18:29	7:15:35
44	Elektrikli somun sıkma makinesi – 2	X Y Z	7.516 Ch3	12.043	0.903	290	13	800 Hz 800 Hz 315 Hz	0:20:41	0:17:59	1:22:44	1:20:02
45	Elektrikli avuç taşıma makinesi – 7	X Y Z	1.305 Ch3	1.949	0.155	8	0	500 Hz 2000 Hz 630 Hz	13:10:09	13:07:07	52:40:35	52:37:33
46	Elektrikli in taşıma makinesi – 8	X Y Z	2.358 Ch1	3.298	0.256	22	1	400 Hz 400 Hz 400 Hz	4:35:49	4:32:56	18:23:15	18:20:22
47	Elektrikli spiral kesme makinesi – 2	X Y Z	2.333 Ch3	3.212	0.242	21	1	500 Hz 500 Hz 500 Hz	4:50:47	4:48:03	19:23:06	19:20:22
48	Elektrikli spiral kesme makinesi – 3	X Y Z	3.159 Ch1	4.027	0.291	32	1	125 Hz 400 Hz 630 Hz	3:04:59	3:02:29	12:19:54	12:17:24
49	Bant soyma makinesi	X Y Z	9.716 Ch3	11.054	0.886	244	13	80 Hz 80 Hz 80 Hz	0:24:33	0:21:28	1:38:12	1:35:07
50	Şarjlı matkap	X Y Z	0.694 Ch3	1.129	0.065	3	0	2000 Hz 400 Hz 400 Hz	39:11:32	39:09:57	156:46:07	156:44:32
51	Elektrikli matkap – büyük – 3	X Y Z	4.710 Ch2	7.487	0.441	112	3	50 Hz 315 Hz 315 Hz	0:53:31	0:51:51	3:34:05	3:32:25

### **3.3. Elle Tutularak veya Elle Gdlerek İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma**

El-kol titreşimine yol açan alet/araçların bir kısmı tutamaklarından elle sıkı şekilde tutularak çalıştırılırken diğeri bir kısmı ise bir kulp aracılığıyla yön verilerek ya da güdülerek kullanılmaktadır. Sözgelimi bir avuç taşlama makinesi elle tutularak kullanılırken, kompaktör ise yönlendirilip, güdülerek kullanılmaktadır. Çalışmada lçm kaydedilen araçlar, tutulma/gdlme ayırımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur. Gruplar arasında titreşim bakımından kayda değer farklılık bulunmamıştır.

### **3.4. Aracın ya da Nesnenin Tutulması ile İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma**

El-kol titreşimine maruziyet ya iş aleti/aracı tutulması veya güdülmesi ile ya da işlenecek nesnenin tutulması/güdülmesi ile doğrudan veya dolaylı olarak meydana gelmektedir. Sözgelimi basınçlı hava ile çalışan bir martopikr kullanan işçi, aracın tutamakları aracılığıyla doğrudan, asfalt kesme makinesini kullanan bir işçi aracın gidonu üzerinden yine doğrudan el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Diğeri taraftan bir metal giyotininde metalik bir parçayı kesen işçi, işlenen parça üzerinden dolaylı olarak el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Her iki çalışma şekli arasında el-kol titreşimi maruziyeti bakımından farkı görmek amacıyla tez çalışmasında ölçüm kaydedilen araçlar, doğrudan/dolaylı titreşim maruziyeti ayırımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur. Doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçların, dolaylı yoldan titreşim maruziyetine neden olan araçlara kıyasla çok daha yüksek titreşim ivmelerine neden olduğu görülmüştür.

### **3.5. Elektrik ya da Basınçlı Akışkan Tahrikli Aletler Bazında Gruplandırma**

El-kol titreşimi maruziyeti herhangi bir enerji kaynağı ile güçlendirilen alet/araçlar aracılığıyla olmaktadır. Elle tutulan ya da güdülen alet/araçlar genellikle elektrik motorları ile güçlendirilmiş olmakla birlikte, basınçlı hava, basınçlı sıvı ya da içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen araçlar da kullanılmakta ve çalışan el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Sözgelimi somun sıkma makineleri ile martopikrler hem elektrik hem de basınçlı hava tahrikli olabilmektedir. Basınçlı su jetle-

ri, basınçlı su ile çalışmakta ve titreşime neden olmaktadır. Diğeri taraftan portatif kompaktörler elektrik tahrikli ya da içten yanmalı motor tahrikli olabilmektedir. Tüm tahrik türleri arasında el-kol titreşimi maruziyeti bakımından farkı görmek amacıyla çalışmada ölçüm kaydedilen araçlar, tahrik bakımından ayırma tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 5'de sunulmuştur. Elektrik tahrikli alet/araçların daha düşük el-kol titreşimi ivmesi oluşturdıkları gözlenmiştir.

### **3.6. El-kol titreşim parametreleri bakımından değerlendirme**

Öncelikle, el-kol titreşimi maruziyetine yol açan alet/araçlar, en yüksek aksenal titreşim ivmesi bazında değerlendirilmiştir. Çizelge 6 incelendiğinde kompaktörler sınıfındaki her iki araç, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi ve büyük çekiç ile deliciler, avuç taşlama/kesme makineleri ve somun sıkma makineleri grubundaki araçların maruziyet sınır değeri üzerinde aksenal titreşim ivmesine sahip olduğu görülmektedir. Deliciler grubundaki toplam 9 aracın 6 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 3 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Somun sıkma makineleri grubundaki 10 aracın 3 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 4 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Benzer şekilde avuç taşlama/kesme makineleri grubundaki 14 aracın 1 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 6 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Çim biçme makinesi, açılı kesim makinesi ve parke kalıp makinesi de maruziyet eylem değerinin üzerinde aksenal titreşim ivmesi vermiştir. Sonuç olarak deliciler ve kompaktörler gruplarının oldukça yüksek titreşim ivmesine, somun sıkma makineleri ile avuç taşlama/kesme makineleri gruplarının da yüksek titreşim ivmesine yol açtığı tespit edilmiştir.

Diğeri yandan Çizelge 6'dan en büyük titreşim ivmesine sahip eksenler incelendiğinde maruziyet sınır değeri üzerinde titreşime neden olan 15 aletin 4 adedinin X (Ch1), 4 adedinin Y (Ch2) ve 7 adedinin de Z (Ch3) eksenlerinde en yüksek titreşim ivmesi verdiği görülmektedir. Diğeri yandan X eksenini, maruziyet eylem değeri üzerindeki 16 aletin 7 adedinde en yüksek titreşim ivmesine neden olarak baskın eksen olarak belirirken Z eksenini 6 araçla onu izlemekte ve Y eksenini ise 3 araçla en son sırada bulunmaktadır. En büyük aksenal titreşim ivmesi alet grupları bazında incelendiğinde deliciler grubundaki mar-

topikörler için X eksen, matkaplar için Z eksen, kompaktörler için X ve Z eksen ile somun sıkma makineleri için X ekseninin baskın eksen olduğu tespit edilmiştir.

Ölçülen titreşim ivmelerinin herhangi baskın bir eksene bağımlı olup olmadığını belirlemek amacıyla en büyük aksenal ivmenin en küçük aksenal ivmeye bölünmesiyle bulunan oran ( $Oran1 = \frac{Max(RMS)}{Min(RMS)}$ ) Çizelge 7'de sunulmuştur. Yüksek bir oran aksenal titreşim ivmeleri arasındaki büyük farklılıklardan ötürü baskın eksenin, el-kol titreşimi vektörü üzerinde büyük payı olduğuna, düşük bir oran ise aksenal titreşim ivmesi değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle titreşim vektörünün, tüm eksen

değerlerine yakın olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada  $\frac{Max(RMS)}{Min(RMS)}$  oranı 1,5'dan büyük olan alet/araçlar baskın eksene bağlı olarak tanımlanmış ve buna bağlı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiştir. Çalışmada ölçüm alınan araçların çoğunluğu elektrik tahriklidir. Buna karşın basınçlı akışkan ile tahrik edilen alet/araçların daha büyük bölümü baskın bir eksen üzerinde titreşim ivmesine sahiptir. Durum benzer işlev gören alet/araç grupları bakımından incelendiğinde somun sıkma makineleri, avuç taşlama/kesme makineleri ve deliciler gruplarının da baskın eksene bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Her üç grupta yüksek devirli ya da yüksek frekanslı araçlardır.

Çizelge 2. Benzer İşlev Grupları Bazında Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Alet/araç	Adet	AEQ (m/s <sup>2</sup> )	A(8) (m/s <sup>2</sup> )
Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
Büyük çekiç	1	8.307	0.317
Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
Parke kalıp makinesi	2	3.633±0.149	0.301±0.029
Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
Tranjer testere	1	3.007	0.228
PVC işleme makineleri	3	2.664±2.362	0.221±0.196
Havali zımba tabancası	1	2.437	0.208
Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
Giyotin	2	0.694±0.067	0.048±0.005

Çizelge 3. Alet/Araç Kullanma Yöntemi Bazında Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s <sup>2</sup> )	A(8) (m/s <sup>2</sup> )
Elle tutularak kullanılan alet/araçlar	Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
	Büyük çekiç	1	8.307	0.317
	Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
	Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	Havali zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
Elle güdülererek kullanılan alet/araçlar	Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
	Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
	Parke kalıp makineleri	2	3.633±0.149	0.301±0.029
	PVC işleme makineleri	3	2.664±2.362	0.221±0.196
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
	Giyotin	2	0.694±0.067	0.048±0.005

Çizelge 4. Doğrudan Veya Dolaylı Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s <sup>2</sup> )	A(8) (m/s <sup>2</sup> )
Doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçlar	Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
	Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
	Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
	Büyük çekiç	1	8.307	0.317
	Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
	Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
	Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	Havalı zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Basıncılı su tabancası	1	1.485	0.103
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
	Dolaylı yoldan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçlar	Parke kalıp makineleri	2	3.633±0.149
PVC işleme makineleri		3	2.664±2.362	0.221±0.196
Giyotin		2	0.694±0.067	0.048±0.005

Çizelge 5. Alet/Aracın Tahriki Bakımından Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s <sup>2</sup> )	A(8) (m/s <sup>2</sup> )
Elektrik tahrikli alet/araç	Deliciler	7	10.554	0.698
	Somun sıkma makineleri	3	6.650	0.477
	Avuç taşlama/kesme makineleri	13	4.334	0.316
	Parke kalıp makinesi	2	3.633	0.301
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	PVC işleme makineleri	3	2.664	0.221
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
	Giyotin	2	0.694	0.048
	Diğer tahrikli alet/araç	Kompaktörler	2	19.800
Deliciler		2	11.324	1.302
Asfalt kesme makinesi		1	8.535	1.188
Büyük çekiç		1	8.307	0.317
Somun sıkma makineleri		7	5.349	0.448
Çim biçme makinesi		1	4.812	0.471
Havalı zımba tabancası		1	2.437	0.208
Avuç taşlama/kesme makineleri		1	1.716	0.104
Basıncılı su tabancası		1	1.485	0.103

El-kol titreşiminin baskın bir eksen ya da tüm eksenlerden alınan titreşimin yaklaşık ortak katkısı ile oluştuğunu belirlemek için bir diğer oran değeri daha (Oran2) tanımlanmıştır. Buna göre, titreşim vektörünün (AEQ) baskın eksen ivmesine (Max(RMS)) bölünmesi sonucunda bulunan

Oran2, titreşim vektörüne baskın eksen haricindeki diğer eksenlerin katkısını göstermektedir. Yine, AEQ/Max(RMS) oranı 1,5'dan küçük olan alet/araçlar, baskın eksenden gelen el-kol titreşimi ivmesinin diğer eksenlerden en az birisinden oldukça yüksek olduğu duruma işaret etmekte-

dir. Bu duruma bağılı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiş ve hemen hemen Oran1 ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.

İşçilerin çalışma sırasında kullandıkları farklı iş aletleri nedeniyle oluşan kısmi maruziyet puanları toplanarak toplam maruziyet puanı (TEP) belirlenmektedir. Buna göre maruziyet eylem değeri (EAV) 100 puan, maruziyet sınır değeri (ELV) ise 400 puana karşılık gelmektedir. 100 veya daha büyük bir toplam maruziyet puan değeri çalışanlar bakımından artan riske işaret etmekte olup riski azaltmak için idari veya mühendislik kontrollerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Diğer yandan 400 veya daha büyük bir toplam maruziyet puan değeri, güvenli sınırların aşıldığını, işçilerin HAVS gelişimi bakımından kayda değer risk altında olduğuna ve titreşim maruziyetini azaltmak için derhal kontrol önlemlerinin uygulamaya konulması gerektiğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada işçilerin titreşim maruziyeti sonucunda oluşan saatlik ve toplam maruziyet puanları hesaplanmış ve Çizelge 8'de sunulmuştur. Yukarıda özetlendiği üzere EAV ve ELV değerlendirmeleri TEP üzerinden yapılmalı olsa da, saha çalışması sırasında izin verilen ölçüm süreleri oldukça kısa olduğundan ve TEP de ölçüm süresi maruziyet süresine eşleştirilerek hesaplandığından, TEP değerleri olması gerekenden düşük çıkmaktadır. Bu nedenle bu bölümdeki değerlendirmeler HEP üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 8 incelendiğinde kompaktörler ile deliciler grubundaki martopikörlerin ELV üzerinde puana sahip olduğu ve maruziyeti azaltmak ya da yok etmek için mutlaka idari/mühendislik kontrollerine başvurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan deliciler grubunun diğer elemanları, basınçlı hava ile çalışan somun sıkma makineleri, bant soyma makinesi, asfalt kesme makinesi ile büyük çekiç de çalışanları EAV üzerinde titreşime maruz bırakmaktadır.

EI-kol titreşimi ölçümü alınan 51 adet alet/araç, en yüksek titreşim ivmesini veren baskın frekans bakımından da değerlendirilmiştir. Ölçümler 1/3 oktav frekans bantları üzerinden yapıldığından, ağırlıklandırılmış titreşim ivmeleri 0.4 Hz, 0.5 Hz, 0.63 Hz, 0.8 Hz, 1 Hz, 1.25 Hz, 1.6 Hz, 2 Hz, 2.5 Hz, 3.15 Hz, 4 Hz, 5 Hz, 6.3 Hz, 8 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31.5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630

Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz ve 2500 Hz merkez frekanslarda kaydedilmiştir. Elle iletilen titreşim için 1000 Hz'in üzerine kadar frekanslar sağlığa zararlı görülmekte iken 0.5 Hz'in altındaki frekanslar ise yol tutmasına neden olabilmektedir. Çizelge 9'da sunulan baskın frekanslar incelendiğinde giyotin ve PVC birleştirme makinesinin X, Y ve Z eksenlerindeki en yüksek ağırlıklandırılmış titreşim ivmelerinin, mide bulantısına neden olabilen 0.4 Hz merkez frekans bandından geldiği görülmektedir. 40 Hz - 160 Hz arasındaki düşük merkez frekanslarda her üç eksendeki ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmelerinin aynı frekanstan geldiği kaydedilmiştir. Yüksek devirle dönen avuç taşılama/kesme makineleri grubundaki araçların büyük kısmının ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri düşük merkez frekanslardan gelmekte iken somun sıkma makineleri grubundaki araçların ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri ise frekans tayfının üst sınırlarına aittir. Diğer yandan, ölçüm alınan araçların büyük çoğunluğuna ait ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri X-ekseninden gelmektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Sivas, Erzincan ve Kahramanmaraş il sınırları içerisinde bulunan kömür, altın ve jips çıkartılan maden işyerlerine ait mekanik, tamir-bakım, elektrik ve vulkanize atölyeleri ile Sivas il merkezinde bulunan sanayiden sayılan işyerlerinde elle tutulan ya da elle güdülen alet/araçları kullanan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Araçlar arasında açılı kesim makinesi, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi, basınçlı su tabancası, büyük çekiç, çim biçme makinesi, elektrikli avuç taşılama makinesi, elektrikli büyük matkap, elektrikli küçük matkap, elektrikli martopikör, elektrikli somun sıkma makinesi, elektrikli spiral kesme makinesi, elektrikli spiral taşılama makinesi, giyotin, havalı avuç taşılama makinesi, havalı bijon tabancası, havalı martopikör, havalı zimba tabancası, kaynak makinesi, kompaktör, parke kalıp makinesi, PVC birleştirme makinesi, PVC çapak temizleme makinesi, sütunlu matkap ve tranjer testere bulunmaktadır. EI-kol titreşimi ölçümü yapılan alet/araçlar benzer işlev grupları altında toplanmıştır. Bunlar: kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç, avuç taşılama/kesme makineleri, somun sıkma makineleri, çim biçme makinesi, parke kalıp makineleri, PVC işleme makineleri, havalı zimba tabancası, basınçlı su tabancası, kaynak makinesi,

sütunlu matkap, bant soyma makinesi, tranjer testere ve giyotinlerdir.

El-kol titreşimi maruziyet ölçüm sonuçları aşağıdaki dört kategoriye ayrılarak, değerlendirilmiştir.

- a. Benzer işlev görev alet/araç gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makinelerinin maruziyet sınır değeri üzerinde el-kol titreşim vektörü sunduğu; çim biçme makinesi, avuç taşıma/kesme makineleri, parke kalıp makineleri, bant soyma makinesi, tranjer testere ve PVC işleme makinelerine ait titreşim ivmelerinin maruziyet eylem değeri üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir.
- b. Elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören alet gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde gruplar arasında titreşim ivmesi büyüklüğü bakımından kayda değer farklılık bulunmadığı sonucuna varılmıştır.
- c. İş aleti/aracı (doğrudan) ya da işlenen nesnenin (dolaylı) tutulması ile çalışılan grupların temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçların, dolaylı yoldan titreşim maruziyetine neden olan araçlara kıyasla çok daha yüksek titreşim ivmelerine neden olduğu belirlenmiştir.
- d. Elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli alet/araç gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde elektrik tahrikli alet/araçların daha düşük el-kol titreşimi ivmesi oluşturdukları görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-592 proje numarası ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Anon(a), 2013; "T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllıkları, 2012 yılı istatistikleri", [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk\\_istatistik\\_yilliklari/](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk_istatistik_yilliklari/), alındığı tarih: 01.08.2013

Anon(b), 2015; <http://www.londonhealthandsafetygroup.org/downloads/140512-hand-arm-vibration-syndrome-by-stewart-mcnaughton/>, alındığı tarih: 01.09.2015

Anon(c), 2015; <https://www.britsafe.org/sites/default/files/editor/Stuart%20McNaughton.%20Reactec.pdf>,

alındığı tarihi: 01.09.2015

Anon(d), 2015; [www.iso.org](http://www.iso.org), alındığı tarih: 09.09.2015.

Cherniak, M. 1994; "Upper Extremity Disorders" (in Rosenstock, L., M.D., M.P.H., Cullen M.R., M.D., Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine), Saunders Company, USA, 380-382.

Dasgupta, A.K., Harrison, J., 1996; "Effects of vibration on the hand-arm system of miners in India", Occupational Medicine, 46(1), 71-78.

EU, 2006; "Non-Binding Guide to Good Practice with a View to Implementation of Directive 2002/44/EC on the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risks Arising from Physical Agents (vibrations)", Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion, European Commission, ISBN: 978-92-79-07533-9, 61 pp.

Futatsuka, M., Shono, M., Sakakibara, H., Quoc Quan, P., 2005; "Hand-Arm Vibration Syndrome Among Quarry Workers in Vietnam", Journal of Occupational Health, 47(2), 165-170.

Griffin, M.J., 1997; "Handbook of Human Vibration", Academic Press Limited, ISBN: 0-12-303040-4.

Güven, H.N.R., 2002; "Titreşimli Cihaz Kullananlarda Titreşimin El-Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ens. (Doktora Tezi), p.124, Ankara.

Güven, H.N.R., 2011; "Meslek Hastalıkları Rehberi", Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, (Editörler: Berk, M., Önal, B. ve Güven, R.) ISBN : 978-975-455-169-3.

Haines, T., Chong, J., Verrall, A.B., Julian, J., Bernholz, C., Spears, R., Muir, D.C., 1988; "Aesthesiometric Threshold Changes over the Course of a Work Shift in Miners Exposed to Hand-Arm Vibration", British Journal of Industrial Medicine, 45(2), 106-111.

HSE, 2010; "Topic Inspection Pack Hand-Arm Vibration", Health & Safety Executive, 1-10.

Hudock, S.D., 1990; "Performance Analysis of Acute Exposure to Hand-Arm Vibration Among Underground Drillers", Proceedings of the Human Factors Soc 34th Annual Meeting Human Factors, Soc: 734-737.

Ikeda, K., Ishizuka H., Sawada, A., Urushiyama, K., 1998; "Vibration Acceleration Magnitudes of Hand-Held Tools and Workpieces", Industrial Health, 11, 197-208.

Koukoulaki, T., 2001; "Workers' Exposure to Vibrations: Council Common Position", Newsletter of The European Trade Union Technical Bureau for Health and Safety (TUTB Newsletter), No.17, 16-18 (in Güven, H.N.R., 2002; "Titreşimli Cihaz Kullananlarda Titreşimin El-Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ens. (Doktora Tezi), p.124, Ankara.).

Mckenna, K. M., Blann, A.D., Allen, J.A., 1994; "Vascular Responses in Chain Saw Operators", *Occupational and Environmental Medicine*, V.51, 366-370

Miller, R.F., Lohman, W.H., Maldonado, G., Mandel, J.S., 1994; "An Epidemiologic Study of Carpal Tunnel Syndrome and Hand-Arm Vibration Syndrome in Relation to Vibration Exposure", *The Journal of Hand Surgery*, 19A(1), 99-105.

Mirbod, S.M., Yoshida, H., Jamali, M., Masamura, K., Inaba, R., Iwata, H., 1997; "Assessment of Hand Arm Vibration Exposure Among Traffic Police Motorcyclists", *Int. Arch. Occupational Environmental Health*, 70, 22-28.

Narini, P.P., Novak, C.B., Mackinnon, S.E., Coulson-Roos, C., 1993; "Occupational Exposure to Hand Vibration in Northern Ontario Gold Miners", *The Journal of Hand Surgery*, 18(6), 1051–1058.

NIOSH, 1989; "Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration", U.S Department of Health and Human Services, Ohio, USA.

Nor, A. A., Mohd, I.G., Musli, N.Y., 2014; "Hand Arm Vibration and Personnel Noise Exposure Characteristics of Hand Held Grass Cutter Machines", *The 21st International Congress on Sound and Vibration*, Beijing China, 1-8

Nyantumbu, B., Barber, C.M., Ross, M., Curran, A.D., Fishwick, D., Dias, B., Kgalamono, S., Phillips, J.I., 2007; "Hand–Arm Vibration Syndrome in South African Gold Miners", *Occupational Medicine*, 57(1), 25–29.

Oddo, R., Loyau, T., Boileau, P.E., Champoux, Y., 2004; "Design of a Suspended Handle to Attenuate Rock Drill Hand-Arm Vibration: Model Development and Validation", *Journal of Sound and Vibration*, 275(3-5), 623–640.

Özgen, Z., 2015; "Maden İşyerlerinde Kullanılan Bazı İş Araçlarından Kaynaklanan El-Kol Titreşim Maruziyetinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi*, 134 s.

Ruffle, P.A.B., Lee W.R., McCallum, R.I., Murray, R., 1987; "Hunter's Diseases of Occupations", Chapter 10, Sixth Edition, London, 460-481.

SVANTEK, 2013; "SVAN 106 Vibration Meter User's Manual", SVANTEK Sp. z o.o., Warsaw, Poland, 95 pp.

Yamada, S. and Sakakibara, H., 1998; "Prevention Strategy for Vibration Hazards by Portable Power Tools, National Forest Model of Comprehensive Prevention System in Japan", *Industrial Health*, 36, 141-153.



Çizelge 6. En Yüksek Titreşim İvmesi (Max(RMS)) Bakımından Sıralama

No	Alet/araç	Grup	Max(RMS)	Ch(Max(RMS))
36	Havalı martopikör - 2	Deliciler	15.812	X
5	Kompaktör - 1	Kompaktörler	14.808	Z
35	Kompaktör - 2	Kompaktörler	11.468	X
49	Bant soyma makinesi	Bant soyma makinesi	9.716	Z
29	Elektrikli matkap - küçük - 2	Deliciler	8.985	Z
6	Elektrikli martopikör	Deliciler	8.831	X
31	Elektrikli matkap - büyük - 2	Deliciler	8.185	Z
44	Elektrikli somun sıkma makinesi - 2	Somun sıkma makineleri	7.516	Z
30	Elektrikli matkap - büyük - 1	Deliciler	7.295	Z
4	Asfalt kesme makinesi	Asfalt kesme makinesi	6.569	X
26	Büyük çekiç	Büyük çekiç	6.361	Y
41	Havalı bijon tabancası - 7	Somun sıkma makineleri	6.317	Z
28	Elektrikli matkap - küçük - 1	Deliciler	5.814	Y
3	Havalı bijon tabancası - 1	Somun sıkma makineleri	5.585	Y
33	Elektrikli spiral kesme makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	5.565	Y
51	Elektrikli matkap - büyük - 3	Deliciler	4.710	Y
32	Elektrikli somun sıkma makinesi - 1	Somun sıkma makineleri	4.667	X
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	4.597	Z
7	Havalı martopikör - 1	Deliciler	4.365	X
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	4.285	Y
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	4.188	Z
43	Elektrikli matkap - küçük - 3	Deliciler	4.004	Z
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	3.949	X
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	3.673	Y
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4	Avuç taşlama/kesme makineleri	3.451	Z
37	Havalı bijon tabancası - 6	Somun sıkma makineleri	3.412	Z
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	3.285	X
48	Elektrikli spiral kesme makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	3.159	X
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	3.105	X
1	Kalıp makinesi - 1	Parke kalıp makinesi	2.941	X
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	2.679	Z
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	2.463	X
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.358	X
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.333	Z
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	2.145	X
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	2.104	Y
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.912	Z
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.687	Y
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.652	Z
8	Havalı zımba tabancası	Havalı zımba tabancası	1.540	Y
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	1.404	Z
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.305	Z
25	Basınçlı su tabancası	Basınçlı su tabancası	1.253	Y
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.090	Y
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	0.790	Y
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	0.710	Z
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	0.694	Z
14	Giyotin - 1	Giyotin	0.484	Z
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	0.451	X
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	0.449	X
15	Giyotin - 2	Giyotin	0.405	Z

\* X-ekseni → elin sırtından ayasına doğru (pozitif eksen)  
Y-ekseni → küçük parmakta başparmağa doğru (pozitif eksen)  
Z-ekseni → üçüncü metakarpal kemikten parmak köküne doğru (pozitif eksen)

Çizelge 7. Baskın Titreşim İvmesi (Max(RMS)/Min(RMS)) Bakımından Sıralama

No	Alet/araç	Grup	Oran1	Oran2
36	Havalı martopikör - 2	Deliciler	4.797	1.068
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	3.396	1.399
28	Elektrikli matkap - küçük - 1	Deliciler	2.961	1.323
41	Havalı bijon tabancası - 7	Somun sıkma makineleri	2.416	1.176
25	Basınçlı su tabancası	Basınçlı su tabancası	2.393	1.185
51	Elektrikli matkap - büyük - 3	Deliciler	2.371	1.590
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	2.339	1.398
1	Kalıp makinesi - 1	Parke kalıp makinesi	2.283	1.286
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.177	1.506
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.143	1.377
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.140	1.326
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.096	1.489
37	Havalı bijon tabancası - 6	Somun sıkma makineleri	2.000	1.409
43	Elektrikli matkap - küçük - 3	Deliciler	1.968	1.307
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	1.923	1.358
44	Elektrikli somun sıkma makinesi - 2	Somun sıkma makineleri	1.921	1.602
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	1.860	1.385
4	Asfalt kesme makinesi	Asfalt kesme makinesi	1.828	1.299
26	Büyük çekiç	Büyük çekiç	1.780	1.306
49	Bant soyma makinesi	Bant soyma makinesi	1.760	1.138
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	1.732	1.627
7	Havalı martopikör - 1	Deliciler	1.724	1.321
33	Elektrikli spiral kesme makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.722	1.298
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.692	1.392
3	Havalı bijon tabancası - 1	Somun sıkma makineleri	1.690	1.532
32	Elektrikli somun sıkma makinesi - 1	Somun sıkma makineleri	1.637	1.452
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.585	1.494
48	Elektrikli spiral kesme makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.528	1.275
5	Kompaktör - 1	Kompaktörler	1.505	1.458
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	1.491	1.529
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.459	1.404
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	1.397	1.550
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.388	1.574
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	1.372	1.440
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.372	1.455
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	1.354	1.429
30	Elektrikli matkap - büyük - 1	Deliciler	1.312	1.573
15	Giyotin - 2	Giyotin	1.285	1.549
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.256	1.573
14	Giyotin - 1	Giyotin	1.236	1.572
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	1.233	1.624
6	Elektrikli martopikör	Deliciler	1.223	1.615
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	1.216	1.590
8	Havalı zımba tabancası	Havalı zımba tabancası	1.204	1.583
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	1.183	1.573
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	1.181	1.616
35	Kompaktör - 2	Kompaktörler	1.178	1.570
29	Elektrikli matkap - küçük - 2	Deliciler	1.168	1.599
31	Elektrikli matkap - büyük - 2	Deliciler	1.159	1.633
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.079	1.684
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	1.047	1.686

Çizelge 8. Saatlik (HEP) ve Toplam (TEP) Maruziyet Puanı Bakımından Sıralama

No	Alet/araç	Grup	HEP	TEP
<b>5</b>	<b>Kompaktör - 1</b>	<b>Kompaktörler</b>	<b>933</b>	<b>84</b>
<b>35</b>	<b>Kompaktör - 2</b>	<b>Kompaktörler</b>	<b>648</b>	<b>29</b>
<b>36</b>	<b>Havalı martopikör - 2</b>	<b>Deliciler</b>	<b>570</b>	<b>66</b>
<b>29</b>	<b>Elektrikli matkap - küçük - 2</b>	<b>Deliciler</b>	<b>413</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Elektrikli martopikör</b>	<b>Deliciler</b>	<b>407</b>	<b>12</b>
31	Elektrikli matkap - büyük - 2	Deliciler	357	14
44	Elektrikli somun sıkma makinesi - 2	Somun sıkma makineleri	290	13
30	Elektrikli matkap - büyük - 1	Deliciler	264	10
49	Bant soyma makinesi	Bant soyma makinesi	244	13
4	Asfalt kesme makinesi	Asfalt kesme makinesi	146	23
3	Havalı bijon tabancası - 1	Somun sıkma makineleri	146	7
26	Büyük çekici	Büyük çekici	138	2
28	Elektrikli matkap - küçük - 1	Deliciler	118	4
51	Elektrikli matkap - büyük - 3	Deliciler	112	3
41	Havalı bijon tabancası - 7	Somun sıkma makineleri	110	6
33	Elektrikli spiral kesme makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	104	4
32	Elektrikli somun sıkma makinesi - 1	Somun sıkma makineleri	92	3
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	89	5
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	77	3
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	72	4
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	68	2
7	Havalı martopikör - 1	Deliciler	67	5
43	Elektrikli matkap - küçük - 3	Deliciler	55	3
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	53	1
37	Havalı bijon tabancası - 6	Somun sıkma makineleri	46	2
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	46	4
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4	Avuç taşlama/kesme makineleri	42	3
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	41	5
48	Elektrikli spiral kesme makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	32	1
1	Kalıp makinesi - 1	Parke kalıp makinesi	29	2
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	28	2
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	26	1
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	24	1
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	22	1
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	21	1
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	18	1
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	16	1
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	16	1
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	12	1
8	Havalı zimba tabancası	Havalı zimba tabancası	12	1
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	10	0
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	8	0
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	6	0
25	Basınçlı su tabancası	Basınçlı su tabancası	4	0
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	3	0
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	3	0
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	2	0
15	Giyotin - 2	Giyotin	1	0
14	Giyotin - 1	Giyotin	1	0
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	1	0
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	1	0

Çizelge 9. En Yüksek Titreşim İvmesine Ait Frekans Bakımından Sıralama

No	Alet/araç	Grup	Frekans (a <sub>hw</sub> )	Eksen
14	Giyotin - 1	Giyotin	0.4	X, Y, Z
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	0.4	X, Y, Z
31	<b>Elektrikli matkap - büyük - 2</b>	<b>Deliciler</b>	<b>40</b>	<b>X, Y, Z</b>
4	<b>Asfalt kesme makinesi</b>	<b>Asfalt kesme makinesi</b>	<b>50</b>	<b>Y, Z</b>
3	<b>Havalı bijon tabancası - 1</b>	<b>Somun sıkma makineleri</b>	<b>50</b>	<b>X, Y, Z</b>
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	50	X, Y, Z
35	Kompaktör - 2	Kompaktörler	80	X, Y, Z
25	Basıncılı su tabancası	Basıncılı su tabancası	160	X, Y, Z
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	315	X
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	315	Y
48	Elektrikli spiral kesme makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	315	Z
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	315	X, Y, Z
30	Elektrikli matkap - büyük - 1	Deliciler	400	Y
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	400	Y
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4	Avuç taşlama/kesme makineleri	400	Y
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	400	X, Y, Z
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	400	X, Z
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	400	Y
7	Havalı martopikör - 1	Deliciler	500	X, Y, Z
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	630	Y, Z
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	630	X
5	Kompaktör - 1	Kompaktörler	800	X
29	Elektrikli matkap - küçük - 2	Deliciler	800	X
44	Elektrikli somun sıkma makinesi - 2	Somun sıkma makineleri	800	X, Y
43	Elektrikli matkap - küçük - 3	Deliciler	800	X
1	Kalıp makinesi - 1	Parke kalıp makinesi	800	X, Z
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	800	X
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	800	X, Y, Z
8	Havalı zimba tabancası	Havalı zimba tabancası	800	X
28	Elektrikli matkap - küçük - 1	Deliciler	1000	X
33	Elektrikli spiral kesme makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	1000	X
15	Giyotin - 2	Giyotin	1000	Y, Z
41	Havalı bijon tabancası - 7	Somun sıkma makineleri	1250	X
32	Elektrikli somun sıkma makinesi - 1	Somun sıkma makineleri	1250	X
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	1250	Y
37	Havalı bijon tabancası - 6	Somun sıkma makineleri	1250	X, Z
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1250	Z
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	1250	Y, Z
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	1250	Z
49	Bant soyma makinesi	Bant soyma makinesi	1600	X, Y, Z
26	Büyük çekiç	Büyük çekiç	1600	X
51	Elektrikli matkap - büyük - 3	Deliciler	1600	Y, Z
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	1600	X, Y, Z
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1600	X
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	1600	X
6	Elektrikli martopikör	Deliciler	2000	Y
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	2000	X
36	Havalı martopikör - 2	Deliciler	2500	X
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	2500	X, Y, Z
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	2500	X, Z
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	2500	X, Y, Z

## KİLLERİN PÜLP ORTAMINDAKİ DAVRANIŞI VE FLOTASYONA ETKİSİ

### *Behaviour of Clays in Pulp Media and Their Effect on Flotation*

Hasan Ali Taner\*

Vildan Önen\*\*

#### ÖZET

Dünyada zengin maden yataklarının azalmasıyla birlikte, yüksek kil içerikli ve düşük tenörlü cevher yataklarının işlenmesinin zorunluluk haline gelmesi ve bunun içinde flotasyon yönteminin kullanımı önem kazanmaktadır. Pek çok cevherleşmede ana gang minerali olarak bulunan kil mineralleri, zenginleştirme işlemlerinin tüm aşamalarında problem oluşturmaktadır. Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesindeki zorluklar onların farklı ve karmaşık bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alan kil mineralleri arasında belirgin yapısal farklılıklar mevcuttur. Bu yapısal farklılıklar onların zenginleştirme işlemleri sırasındaki davranışlarında dolayısıyla zenginleştirme işlemlerine olan etkilerinde de farklılıklar oluşturmaktadır. Kil içeren gang minerallerinin mineralojisini ve yapısal özelliklerini ve bu özelliklerin zenginleştirme işlemlerine etkilerini anlamamanın önemi günden güne artmaktadır.

Kil minerallerinin varlığı flotasyonda köpük kararlılığının değişmesi, şişme davranışı kaynaklı problemler, pülpün viskozitesinde artış meydana gelmesi, fazla reaktif tüketimi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden olmaktadır. Flotasyon verimini artırmak için, kil minerallerinin etkisinden emin olmak ve bu mekanizmayı iyi anlamak gereklidir. Bu makalede, kil minerallerinin flotasyon performansı üzerine etkileri ve bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar incelenmiştir.

#### ABSTRACT

Flotation method has gained importance because of necessity for processing of high clay content and low grade ore deposits with the reduction of the rich ore deposits in the world. Clay minerals which are the main gangue mineral in many mineralization create problems in all steps of the mineral processing. Difficulties in the processing of high clay content in ores are due to their different and complex structure. The clay minerals which have significant structural differences are the most complicated minerals in terms of composition and classification. These structural differences cause different behavior, so effect the enrichment process. The importance of understanding the mineralogy of clay minerals and their structural characteristics, hence effect of this properties to enrichment process is increasing day by day.

The presence of clay minerals leads to problems such as changing of froth stability, problems related to swelling behavior, increase in pulp viscosity, overconsumption of reagents, slime coating and mechanical entrainment in flotation. To improve the flotation performance, to ensure the effects of clay minerals and understand this mechanism is required. In this article, it was investigated the effects of clay minerals on flotation performance and scientific studies related with this issue.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, Kil mineralleri, Köpük kararlılığı, Mekanik taşıma

**Keywords:** Flotation, Clay minerals, Froth stability, Gangue entrainment

\* Araş.Gör., Selçuk Üni., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., KONYA

\*\* Yrd.Doç.Dr., Selçuk Üni., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., KONYA, vonen@selcuk.edu.tr

## GİRİŞ

Kil mineralleri cevher hazırlama tesislerinde genellikle gang mineralleri olarak; birçok porfirik bakır cevherlerinde (Bulatovic vd., 1998; Petruk, 2000), düşük tenörlü nikel cevherlerinde (Senior ve Thomas, 2005), platinyum grubu metal yataklarında (Visser vd., 1994), altın, kömür (Oats vd., 2010) ve bor (Çelik vd., 2002) yataklarında bulunmaktadır. Bu cevherleşmelerdeki kil minerali içeriği bazı durumlarda %80'lere kadar ulaşabilmektedir (Burdukova vd., 2008; Forbes vd., 2014).

Cevher hazırlamada kil minerallerinin varlığı, zenginleştirmede zorluklara neden olmaktadır (Peng ve Zhao, 2011). Kilin az akışkan doğasından dolayı, kuru elemelerde ve kırıcılarda tıkanmalara; öğütmede ise yüksek viskoziteye sebep olmaktadır. Kil minerallerinin varlığı flotasyonda da köpük kararlılığının değişmesi, pülp viskozitesinde artış meydana gelmesi, şlam kaplama ve mekanik taşıma gibi problemlere neden olmaktadır.

Kompleks sülfürlü polimetallik cevherlerin bünyelerinde kil zonları bulundurması sık rastlanılan bir durumdur. Bu cevherlerin flotasyon ile zenginleştirilmesi hakkında birçok gelişme kaydedilmesine rağmen, zenginleştirilmelerinde çoğunlukla jeolojik oluşumlarından kaynaklanan serbestleşme zorluğu ve kimyasal/fiziksel heterojenliklerinden kaynaklanan flotasyonları ile ilgili zorluklar ile karşılaşmaktadır. Jeolojik oluşumlarından kaynaklanan en önemli sorun kil içermeleridir. Kilin oluşmasını engellemek veya azaltmak mümkün olmadığından, yapılması gereken bunların flotasyon birim işlemindeki zararlı etkilerini en aza indirmeye çalışmaktır (Aslan 1996). Kil mineralleri sülfür flotasyonunu birçok nedenlerden dolayı olumsuz etkilemektedir. Bu tip cevherler ile birlikte bulunan kil mineralleri genellikle kaolinit, illit ve montmorillonit olmaktadır. Özellikle kaolinit ve montmorillonit bulunduğu, pülpün fiziksel özelliklerindeki değişim, flotasyonu kayda değer bir şekilde etkilemektedir (Bayraktar vd, 1992). Sülfür taneleri ve silikatlar zıt yüklü olduklarından pülpde şlam kaplamaya sebep olmaktadır (O'Connor ve Dunne, 1991).

Aslan (1996)'da yaptığı çalışmada, kil fraksiyonunun bakır kaba flotasyonunu bakır tenörü açısından olumsuz olarak etkilediği sonucuna ulaşmıştır. Kil miktarı arttıkça, alınan konsantrelerin ağırlıkça miktarları da artmıştır. Bunun nedeni kil fraksiyonunun çok ince tane boyutta olmasından dolayı, köpüğe "gerçek" flotasyon

(flotasyon hücresindeki mineral tanesi kabarcığa yapıştıktan sonra hidrofobik taneler ile yüklü kabarcığın köpük bölgesine yükselmesi) ile değil, mekanik taşıma ile (kabarcıklar arasındaki sıvı filmi ile konsantreye taşınarak) gelmesidir. İnce tanelerin küçük kütle ve dolayısıyla küçük momentuma sahip olmaları, onların ya su ile birlikte ya da yüzdürülen taneler arasında mekanik olarak köpüğe taşınmasına neden olmaktadır. Bulatovic vd (1999) bakır flotasyonunda, farklı miktar ve tipteki killerin etkisini araştırdıkları çalışmalarında, montmorillonit ve kamositin (bir çeşit klorit) flotasyon da kaolinit ve illitten daha zararlı etkiye sebep olduğunu ancak kaolinitin de köpürtücü özelliklerini değiştirerek flotasyon verimini azalttığını ifade etmişlerdir. Farrokhpay ve Ndlovu (2014), farklı fillosilikat minerallerinin (illit, talk, kaolinit ve montmorillonit) kalkopirit flotasyonunda etkisini araştırmışlardır. Fillosilikatların ilavesi ile bakır verimi yaklaşık %90 olarak sabit kalırken tüm deneylerde tenör azalmıştır. %34.8 olan bakır tenörü illitin ilavesiyle %30'a, kaolinit ile %28 ve muskovit ile %26.5'e kadar düşmüştür. %30 talk ve %15 montmorillonit eklendiği zaman tenör her biri için %22'ye kadar gerilemiştir.

Yüksek kil içerikli cevherlerin işlenmesindeki zorluklar onların farklı ve karmaşık bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kil mineralleri ince taneli minerallerden oluşan birincil doğal malzemelerdir, bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alırlar.

Kil tabakaları arasında bulunan yük dengeleyici katyonlar çözelti içerisindeki, diğer katyonlar ile yer değiştirebilirler. Yer değiştirebilen bu katyonların miktarı kilin katyon değiştirme kapasitesini (KDK) tanımlar. KDK, 100 gram kilin adsorpladığı katyonun miliequivalent (meq/100 gr) olarak ifade edilmesidir. Kil minerallerinin oldukça yüksek bir katyon değiştirme kapasitesi ve büyük bir yüzey alanı vardır. Katyonların kil yüzeylerinde bulunan katyonlarla etkileşimi, kil minerallerine, katyonların/anyonların iyon çaplarına ve derişimlerine bağlıdır. Flotasyon pülpünde bulunan katyonların ( $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$ ) killeri tarafından absorbe edilmesi, cevher içerisindeki minerallerin flotasyon özelliklerini değiştirebilmektedir. Aslan (1996), bakır, kurşun ve çinko cevheri flotasyonunda sfaleritin bastırılmasında etkili olan  $Zn^{+2}$  iyonunun sfaleritin canlandırılmasında etkin olan  $Cu^{+2}$  iyonuna göre daha fazla kil yüzeyine soğurulmasından dolayı sfaleritin bastırılmadığını ve dolayısıyla bakır

konsantresi içerisindeki çinko içeriğini artırdığını ifade etmiştir.

Cevher minerallerinin olduğu gibi gang minerallerinin de flotasyon davranışı belirlenerek değerli bilgiler elde edilebilir. Sonuç olarak kil mineralleri flotasyonda, flotasyon hızını azaltarak ve kompleks bir ortam oluşturarak zorluklar meydana getirmektedir. Flotasyon verimini ve ürün kalitesini artırmak için, kil minerallerinin etkisinden emin olmak ve bu mekanizmayı iyi anlamak gereklidir.

## 1. KİL MİNERALLERİNİN FLOTASYONA ETKİLERİ

Cevher hazırlama tesislerinde ana gang minerali olarak yaygın şekilde karşılaşılan kil minerallerinin flotasyonda sebep olduğu problemler:

- Yüzey kimyasına etkisi,
- Mineral yüzeyine veya hava kabarcıklarına şlam kaplama yaparak verimi azaltması,
- Yüzey alanlarının fazla olmasından dolayı reaktif tüketimini artırması,
- Kaba ve süpürme flotasyon devrelerinde büyük miktarda kil minerallerinin konsantreye geçmesi (mekanik taşıma),
- Flotasyon devrelerinde temizleme aşamalarının sayısının artması,
- Montmorillonit tipi killerde görülen şişme davranışının sistemi etkilemesi,
- Pülpün viskozitesinde artış meydana getirmeleri,
- Köpük zonunda salkımlaşma meydana gelmesi,
- Köpük kararlılığını etkilemesi şeklinde özetlenebilir.

### 1.1. Kil Minerallerinin Yüzey kimyası ve Flotasyona Etkileri

Kil mineralleri; tek alüminyum oktahedral ve tek silikat tetrahedral tabakası (kaolinit) veya iki silikat tetrahedral tabakasından (smektit) oluşan anizotropik ve hidratlaşmış fillosilikatlardır. İzomorfik yer değiştirmeden dolayı, kil minerallerinin yüzeyi pH'a bağlı negatif yüzey yüküne sahiptir (Zhao vd, 2008). Tabakaların kenarında, tetrahedral silika tabakaları ve oktahedral alüminyum tabakaları birincil bağları kırılmıştır. Elektrik yükü kenarda pH'a bağlıdır. Nötr ve asidik çözeltide kil minerallerinin kenar kısımları pozitif yüklüdür

(Swartzen-Allen ve Egon, 1974). Köşelerdeki ve yüzeydeki anizotropik yükler, kil mineralinin yüzeyinde kaplama (şlamla kaplama) oluşmasına sebep olur. Bu durum yeteri kadar yüzeyin hidrofobik yapılamamasına ve dolayısıyla flotasyon performansının/konsantre kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Zhang ve Peng 2015).

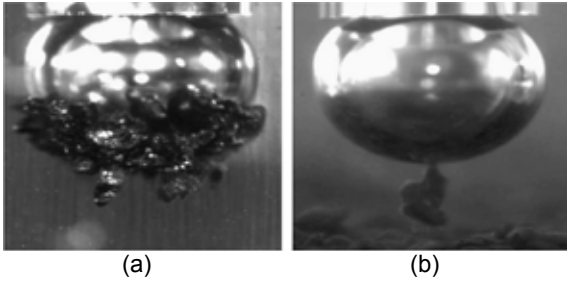
Hu vd (2003) illit, kaolin, pirofillitin kristal yapısının flotasyonla ayırmadaki rolüne ait araştırmalarında katyonik toplayıcılar kullanarak ters flotasyonla bu killerin ıslanabilirliğini ve elektrokinetiğini incelemiştir. Ölçülen sıfır yük noktası (zpc) ve hesaplanan izoelektrik nokta (iep) değerlerinde azalma olduğunu, bu azalmanın ise azalan kırık Al-O bağları ve azalan kırık Al-O/Si-O oranından kaynaklandığını tespit etmişlerdir (Özmetin, 2009).

### 1.2. Şlam Kaplama

Flotasyonu olumsuz etkileyen parametrelerden bir tanesi olan şlam kaplama, değerli tanelerin kısmen ya da tamamen hidrofilik şlam tabakası ile kaplanmasının sonucunda toplayıcı adsorpsiyonunun engellenmesidir. Şlamla kaplama, yüzmesi istenen mineralin kabarcığa bağlanmasını önleyebildiği gibi, minerale birlikte şlam teşkil eden diğer minerallerin de köpük fazında toplanmasına sebep olabilir. Şlamla kaplama, iri mineral ile ince mineraller arasındaki zeta potansiyeli işaretinin farklı oluşu ile izah edilebilir. Pozitif işaretli şlam, negatif işaretli mineral yüzeyinde toplanır veya tersi olur. Fakat hiçbir zaman şlam ve mineral aynı işaretli elektrik yükünü taşımaz. Bu sebeple şlamın veya iri mineralin elektrik yükünü değiştirici elektrolitler (potansiyeli tayin edici iyonlar) kullanılır (Atak, 1990). Değerli mineralin iri tanelerini kaplayan şlam taneleri gang minerallerinden oluştuğu zaman, bu taneler hava kabarcıklarına yapışmayı engellemekte ve bu yüzden değerli mineralin kazanımı önemli oranda azalmaktadır (Fuerstenau, 1980).

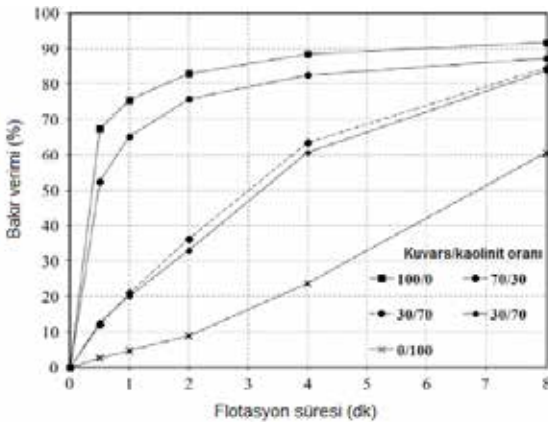
10 µm'den daha ince taneler mineral yüzeyinde toplayıcıların adsorpsiyonunu engelleyerek değerli mineralin yüzeyine kaplanır. Bu ince taneler ayrıca daha fazla reaktif tüketimine neden olarak işletim maliyetini artırmaktadır (Oats vd, 2010). Flotasyon verimi de önemli ölçüde hava kabarcıklarının pülpten hidrofobik taneleri toplayabilme yeteneğine bağlıdır. Kömür flotasyonunda verimi özellikle etkileyen olaylardan biriside şlam kaplamadır. Oats vd (2010), şlamın kömür flotasyonundaki etkisini daha iyi anlamak için ka-

barcık-tane tutunmasını, ince taneleri içeren ve içermeyen pülplerle deneyler yaparak incelemişlerdir. Şekil 1'de kömür tanelerinin kabarcık yüzeyine kil varlığında ve yokluğunda tutunmasındaki belirgin fark görülmektedir. Şlam kaplama kömür tanelerinin kabarcığa tutunmasını önemli derecede engellemekte ve böylece flotasyon verimini düşürmektedir. Şekil 1a'da kabarcığın yüzeyi kömür taneleri ile kaplanırken, Şekil 1b'de ince kil tanelerinin varlığında ise pülp daha bulanıklaşmıştır ve kil taneleri kömür yüzeyine kaplanarak kömür tanelerinin kabarcık yüzeyine tutunmasını zorlaştırmıştır.



Şekil 1. Kil ilave edilmeden (a) ve kil varlığında (b) kömür tanelerinin hava kabarcığına tutunması (Oats vd, 2010).

Forbes vd (2014) yaptıkları araştırmada, kalkopiritin yüzebilirliğinde şlam kaplama ve pülp reolojisinin etkisini araştırmışlardır. Gang tamamen kuvars içerdiği zaman kalkopirit %90 verim ile kazanılmıştır. Kaolinit miktarının artmasıyla kalkopirit verimi düşmüştür ve tamamıyla kaolinitin bulunduğu pülpden %60 bakır verimli ürün alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı kuvars/kaolinit oranlarında zamana bağlı bakır verimi (pH:8), (Forbes vd, 2014).

### 1.3. Mekanik Taşıma

İnce ve aşırı ince tanelerin zenginleştirilmesi gereksiniminin sonucu olarak flotasyon daha da

zorlaşmaktadır. Bu ince tanelerin flotasyonundaki zorluklardan biri düşük tenörlü yüksek gang taşınmanın olmasıdır.

Flotasyon hücresi içindeki kabarcıklar, köpük bölgesine yükselirken sadece susevmez mineralleri değil, aynı zamanda kabarcıklar arasındaki sıvı filmi de kabarcıklarla beraber köpük bölgesine doğru taşır ve kabarcıklar arasında bulunan bu sıvı filmi kendisinin bir parçasıymış gibi hareket eden çok küçük tanelerin de köpük bölgesine mekanik olarak taşınmasını sağlar. Mekanik taşıma ile ilgili daha önceki yapılan araştırmalar konsantreye ne kadar su gelirse mekanik taşımanın da o ölçüde değişeceğini göstermiştir. Konsantreye gelen besleme suyunun azaltılması için, kabarcıklar arasındaki sıvı filminin (besleme suyunun) pülp bölgesine geri akışının sağlanması gerekmektedir. Kabarcıklar arasındaki besleme suyunun pülp içine yeterince akabilmesi ise yeterli bir süre köpüğün bekletilmesi, yani köpük derinliğinin artırılması ile sağlanabilir (Özer, 2007).

### 1.4. Killerin Viskoziteye Etkisi ve Şişme Davranışı

Yüksek kil içerikli cevherlerin flotasyonunda kil minerallerinin etkilerine yönelik çalışmalar genellikle mekanik taşıma ve şlam kaplama üzerine yoğunlaşırken pülp reolojisi ve kil minerallerinin flotasyona pülp reolojisinden kaynaklanan etkilerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar (Zhang ve Peng, 2015) sınırlı sayıda kalmıştır. Aslında pülp reolojisinin modifikasyonu, kil minerallerinin en önemli karakteristiklerinden bir tanesidir.

Killer farklı yapıda olmalarından dolayı pülp reolojisini farklı şekillerde etkilerler. Minerallerin şişme davranışları pülpün viskozitesini artırarak reolojisini etkiler. Şişme davranışı kilin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Kaolinit 1:1 alümina silika tabakalı yapısıyla şişmeyen bir kil mineralidir ve düşük kimyasal reaktiviteye sahiptir. Montmorillonit 2:1 alümina silika tabakalı yapıya sahip smektit grubu bir kil mineralidir. Hacminin 20, ağırlığının 10 katı kadar şişebilir. Jele benzeyen viskoz bir yapı oluşturan ince kil tanelerinin salkımlaşması ve yüksek oranda şişmesinden dolayı düşük konsantrasyonda bile kayda değer miktarda akma gerilmesi sergilerler. Kaolinitle kıyaslandıklarında montmorillonitin pülpdeki viskozite üzerine etkileri daha güçlüdür. Bu etki düşünüldüğünde montmorillonitin mineral flotasyonu üzerine kaolinitten daha büyük etkilere sahip olabileceği düşünülebilir (Zhang ve Peng 2015).



Suyun tuzluluğu arttıkça, kilin şişme potansiyeli düşecektir (Zhou ve Law, 1998). Kil minerallerinin oluşumunu, değişimini ve özelliklerini anlayabilmek için kristal yapısını bilmek gerekir. Kil mineral pülplerinin reolojik davranışlarının yorumlanmasında kristalinite önemli bir etkiye sahiptir.

Bazı araştırmalar pülpün reolojik özellikleri ve flotasyon performansı arasındaki güçlü ilişkiyi işaret etmişler ve mineral pülpünün reolojisindeki değişikliklerin flotasyon hücre hidrodinamiğini etkilediğini ifade etmişlerdir. Shabalala vd (2011), katı konsantrasyonunun artması ile gaz tutuşu ve kabarcık boyutundaki beklenmedik azalmayı pülpün akma gerilmesinin yüksekliğine bağlamıştır. Schubert (2008), düşük pülp viskozitesinin hücre içerisindeki türbülansın sönmelenmesinde azalmaya sebep olacağını ifade etmiştir. Ayrıca artan pülp viskozitesi ile köpük kararlılığında artış ve kabarcıktan ayrılma olmasında azalma olduğu Xu vd (2011) tarafından doğrulanmıştır. Pulp viskozitesinin artışı, pervaneyi çevreleyen küçük türbülans boşluğunu yani flotasyon selülünün türbülans bölgesinin sınırları boyunca oluşan gaz dağılımı üzerine zararlı etkiler gösterir (Bakker vd,2009; Shabalala vd, 2011; Forbes vd,2014). Forbes vd (2014) kil içerikli kalkopiritin yüzdürülmesinde flotasyon verimindeki düşüşü kalkopirit taneciklerinin şlamla kaplanma miktarının artmasıyla ilişkilendirmişler, ayrıca pülp viskozitesinin artması ile hidrofobik tanelerin köpüğe tutunma ihtimalinin azalması sonucu flotasyon performansının düştüğünü ifade etmişlerdir.

Kabarcıktaki hidrofobik mineral miktarı kabarcık viskozitesini oldukça etkiler (Moudgil, 1993). Eğer viskozite çok düşükse kabarcık değerli minerali tutamayacak kadar çok kararsız olabilir. Bu da bastırıcı dozajının fazla olmasından ileri gelir. Fazla viskozite ise hidrofobik tanelerin hücreden çıkmasını geciktirir. Bunun nedeni ise köpüğün aşırı yüklü olmasıdır ve bu da düşük tenör ve verime neden olur (Moolman vd, 1996).

Xu vd (2012), kabarcık-tane agregatlarını daha kararlı hale getiren belirli bir miktarda gliserol ilave edilmesiyle artan ortam viskozitesinin kontrol edilmesi sonucu iri tanelerin kazanımının arttığını göstermişlerdir. Ayrıca pülp viskozitesinin kabarcık-tane agregatları üzerindeki gerilim kuvvetlerinin miktarı ve tane-kabarcık agregatlarının kararlılığını direkt kontrol eden anahtar bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir.

## 1.5. Reaktif tüketimini artırması

Flotasyonda kullanılan kimyasal reaktifler mineral yüzeylerine adsorplanarak aktivitelerini yerine getirmektedirler. Birçok kil minerali; iyonik ve molekül bağ yapıları ile adsorpsiyonu destekleyen geniş bir kimyasal aktif yüzey alanına sahiptir (Luckham ve Rossi, 1999). Kil minerallerinde bir çözünenle reaksiyona giren üç çeşit yüzey vardır ki bunlar: iç ve dış yüzey ile köşelerdir. Geniş yüzey alanları ile kil mineralleri daha çok reaksiyona olanak sağlayabilir (Farrokhpay ve Bradshaw, 2012). Bu durum artan yüzey alanı ile reaktif tüketiminin artmasının yanı sıra kimyasal reaktiflerin yoğun bir biçimde kil yüzeyine adsorpsiyonuna sebep olabilmektedir. Yüksek yüzey alanı doğrudan (a) su içinde yüksek bir çözünme hızına; (b) büyük miktarda kimyasal soğurumuna; (c) köpüğün rijitliğine; (d) yüksek pülp viskozitesine; (e) değerli tanelerin çok ince gang taneleri tarafından kaplanmasına neden olmaktadır (Çilek, 2006).

## 1.6. Köpük Kararlılığına Etkisi

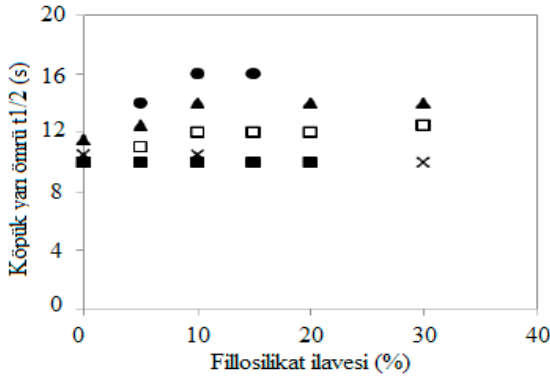
Köpük kararlılığının flotasyonda elde edilen mineralin tenörünü ve verimini belirlemede önemli bir etken olduğu bilinmektedir. Köpük kararlılığı, hem köpürtücü hem de pülpün miktarına ve tipine bağlıdır (Schwarz ve Grano, 2005). En iyi köpük kararlılığını oluşturma ve koruma, flotasyon verimini belirlemede kolay olmayan bir süreçtir.

Kil mineralleri hava kabarcıklarında kaplama oluşturabilir ve geniş mineral taneleriyle birleşmesini engelleyebilir (Wen ve Sun, 1977). Oats vd (2010) kabarcık-tane tutunması ile ilgili yaptıkları çalışmada, hücrede kalma süresinin kil tanelerinin varlığında olumsuz etkilenebileceğini göstermiştir. Flotasyon verimi kabarcıkların pülpten hidrofobik taneleri toplama kabiliyetine bağlı olduğu için, bu tanelerin yakalama veriminin azalması onların kabarcıktaki konsantrasyonunu ve böylelikle tüm köpük kararlılığını azaltacaktır.

Flotasyonda mekanik taşıma tane boyutuna bağlı olduğu kadar, köpük kararlılığına da bağlıdır. Daha küçük ve kararlı kabarcık yüksek gang taşınmasına sebep olur (Subrahmanyam ve Forsberg, 1988).

Şekil 3'te farklı fillosilikat minerallerinin ilavesine bağlı olarak köpük kararlılığındaki (köpük yarı ömrü) değişiklik gösterilmiştir (Farrokhpay ve Ndlovu, 2014). Kalkopirit süspansiyonunda montmorillonit ve muskovitin köpük kararlılığını önemli derecede etkilediği görülmektedir. Diğer

yandan illit daha az etki gösterirken, kaolinit ve talk önemsenmeyecek kadar az etki göstermiştir.



Şekil 3. Kalkopirit pülpünün köpük kararlılığında fillosilikat minerallerinin (illit □, kaolinit ■, muskovit ▲, montmorillonit ● ve talk x) etkisi (Farrokhpay ve Ndlovu, 2014).

## SONUÇLAR

Bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık mineraller arasında yer alan kil mineralleri geniş bir yelpazeye sahiptir ve her kil grubu kendine özgü anizotropik yapıları ile farklı kristal yapılarından kaynaklı yüzey yükleri, şişme potansiyelleri ve katyon değişim kapasitesi gibi yapısal özellik farklılıklarıyla cevher hazırlama tesislerindeki işlemleri farklı etki mekanizmalarıyla etkileyebilmektedirler. Günümüzde düşük tenörlü cevherlerin üretiminin bir zorunluluk haline gelmesinden dolayı, kil içeren gang minerallerinin mineralojisini ve yapısal özelliklerini ve bu özelliklerin zenginleştirme işlemlerine etkilerini anlamamanın önemi günden güne artmaktadır.

Flotasyon düşük tenörlü ince tane boyutunda serbestleşen cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygın kullanılan bir yöntem olmasına karşın en karmaşık zenginleştirme işlemidir. Kil mineralleri flotasyon işlemlerinde flotasyon kinetiğinin engellenmesi, seçiciliğin azalması şlam kaplama, mekanik taşıma, pülp viskozitesinde artış, reaktif tüketiminin artması, düşük köpük kararlılığı gibi problemlere neden olabilmektedir. Sonuç olarak etki mekanizmalarını iyi anlamak ve çözümlenmek, yüksek flotasyon verimi ve ürün kalitesi açısından önemlidir.

## KAYNAKLAR

Aslan, A., 1996; "Subvolkanik kompleks polimetalik sülfürlü cevherlerde birincil şlam ve kilin özellikleri ve flotasyon seçiciliğine etkileri", Yüksek Lisans

Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87-94.

Atak, S., 1990; "Flotasyon ilkeleri ve uygulaması", 34. Basım, İstanbul: İTÜ Vakfı.

Bakker, C. W., Meyer, C. J. ve Deglon, D.A., 2009; "Numerical modelling of non-Newtonian slurry in a mechanical flotation cell", Minerals Engineering, 22 (11), 944-950.

Bayraktar, İ., İpekoğlu, U. A. ve Tolun, R., 1992; "Features and flotation of complex Cu-Pb-Zn sulphides, in Innovations in Flotation Technology", 307-330.

Bulatovic, S. M., Wyslouzil, D. M. ve Kant, C., 1998; "Operating practices in the beneficiation of major porphyry copper/molybdenum plants from Chile: Innovated technology and opportunities, a review", Minerals Engineering, 11(4):313-331.

Bulatovic, S. M., Wyslouzil, D. M. ve Kant, C., 1999; "Effect of clay slimes on copper, molybdenum flotation from porphyry ores", in Proceedings of the Copper 99-Cober 99 International Conference, pp 95-111, Phoenix.

Burdukova, E., Becker, M., Ndlovu, B., Mokgethi, B. ve Deglon, D.A., 2008; "Relationship between slurry rheology and its mineralogical content", 24th Int. Minerals Processing Congress, China, pp. 2169-2178.

Çelik, M. S., Hançer, M. ve Miller, J. D., 2002; "Flotation chemistry of boron minerals", J. Colloid and Interface Science, 203: 254-259.

Çilek, E. C., 2006; "Mineral flotasyonu", Yayın No:59, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi.

Farrokhpay, S. ve Bradshaw, D., 2012; "Effect of clay minerals on froth stability in mineral flotation", A review, XXVI. IMPC, New Delhi, India, Paper No. 313.

Farrokhpay, S. ve Ndlovu, B., 2014; "Effect of phyllosilicate minerals on the rheology, colloidal and flotation behaviour of chalcopyrite mineral", 3-6.

Forbes, E., Davey, K. J. ve Smith, L., 2014; "Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp", Minerals Engineering, 56, 136-144.

Fuerstenau, D. W., 1980; "Fine particle flotation", in Fine Particle Processing (Ed. P. Somasundaran), AIME, Tech. Publ., 1, 669-706.

Hu, Y., Liu, X. ve Xu, Z., 2003; "Role of crystal structure in flotation separation of diaspore from kaolinite, pyrophyllite and illite", Minerals Engineering 16:219-227.

Luckham, P. F. ve Rossi, S., 1999; "The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions", Advances in Colloid and Interface Science, 82:43-92.

- Moolman, D. W., Eksteen, J. J., Aldrich, C. ve Van Deventer, J. S. J., 1996; The significance of flotation froth appearance for machine vision control, *Int. J. of Miner. Process.*, 48:135-158.
- Moudgil, B. M., 1993; Correlation between froth viscosity and flotation efficiency, *Miner. Metallurg. Process.*, 10(2):100-101.
- Oats, W. J., Özdemir, O. ve Nguyen, A. V., 2010; "Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation", *Minerals Engineering*, 23:413-419.
- O'Connor, C. T. ve Dunne, R. C., 1991; "The practice of pyrite flotation in South Africa and Australia", *Miner. Eng.*, 4(7-11), 1057-1069.
- Özer, H., 2007; "Oksit flotasyonunda tane boyutu, hidrofobiklik, köpük yapısı ve mekanik taşıma arasındaki ilişki", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 73-75.
- Özmetin E., 2009; "İllit Mineralinin Elektrokinetik Özelliklerinin Belirlenmesi", CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1(11), Manisa.
- Peng, Y. ve Zhao, S., 2011; "The effect of surface oxidation on copper sulfide minerals on clay slime coating flotation", *Minerals Engineering*, 24(15):1687-1693.
- Petruk, W., 2000; "Applied mineralogy: Porphyry copper deposits", In: Petruk, W.(Ed.), *Applied Mineralogy in the Mining Industry*, Elsevier, Amsterdam, pp. 135-147 (Chapter 7).
- Schubert, H., 2008; "On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation", *Minerals Engineering*, 21, 930-936.
- Schwarz, S. ve Grano, S., 2005; "Effect of particle hydrophobicity on particle and water transport across a flotation froth", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 256:157-164.
- Senior, G.D., ve Thomas, S.A., 2005; "Development and implementation of a new flowsheet for the flotation of a low grade nickel ore", *International Journal of Mineral Processing*, 78 (1), 49-61.
- Shabalala, N. Z. P., Harris, M., Leal Filho, L. S. ve Deglon, D. A., 2011; "Effect of slurry rheology on gas dispersion in a pilot-scale mechanical flotation cell", *Minerals Engineering*, 24 (13), 1448-1453.
- Subrahmanyam, T. V. ve Forsberg, E., 1988; "Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation - a review", *International Journal of Mineral Processing*, 23:33-53.
- Swartzen-Allen, S. L. ve Egon, M., 1974; "Surface and colloid chemistry of clays", *Chemical Revolution*, 74:385-400.
- Visser, P.R., Coetzee, M.L. ve Kendall, S.G., 1994; "Flotation of autogenously milled material", *Minerals Engineering*, 7 (2-3), 357-369.
- Wen, W. W. ve Sun, S. C., 1977; "An electrokinetic study of an amine flotation of oxidized coal", *Transactions of AIME*, 262:174-180.
- Xu, D., Ametov, I. ve Grano, S.R., 2011; "Detachment of coarse particles from oscillating bubbles – the effect of particle contact angle, shape and medium viscosity", *International Journal of Mineral Processing*, 101 (1-4), 50-57.
- Xu, D., Ametov, I. ve Grano, S. R., 2012; "Quantifying rheological and fine particle attachment contributions to coarse particle recovery in flotation", *Miner. Eng.*, 39, 89-98.
- Zhang, M. ve Peng, Y., 2015; "Effect of clay minerals on pulp rheology and the flotation of copper and gold minerals", *Minerals Engineering*, 70:8-13.
- Zhao, H., Bhattacharjee, S., Chow, R., Wallace, D., Masliyah, J. H. ve Xu, Z., 2008; "Probing surface charge potentials of clay basal planes and edges by direct force measurements", *Langmuir*, 24:12899-12910.
- Zhou, Z. ve Law, D., 1998; "Swelling clays in hydrocarbon reservoirs: the bad, the less bad, and the useful", Alberta Research Council: Edmonton, Alberta, Canada.

## EĞİTİM PROGRAMLARI

Bilirkişilik / Kamulaştırma Bilirkişiliği Eğitim Semineri  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

Maden Arama, Cevher Modelleme, Rezerv Hesabı ve  
Maden İşletme Tasarımı Micromine Yazılımı Temel Eğitimi  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

Maden Arama, Cevher Modelleme, Rezerv Hesabı ve  
Maden İşletme Tasarımı Micromine Yazılımı İleri Seviye  
Eğitimi  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

2 ve 3 Boyutlu Netcadkampüs Madencilik  
Uygulamaları Sertifika Eğitimi Programı  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

Netpro/Mine Cevher Modelleme Eğitim Programı  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

Patlamadan Korunma Dokümanı Eğitimi  
*Genel Merkez - Şubeler / İl Temsilcilikleri*

Su Sondajı Eğitimi  
*Genel Merkez*

Zemin Sondajları ve Enjeksiyon Eğitimi  
*Genel Merkez*

Maden Mühendislerine Yönelik Risk Değerlendirme  
Eğitimi  
*Genel Merkez*

Jeotermal Enerji Araştırmaları Eğitimi  
*Genel Merkez*

Coğrafi Bilgi Sistemleri Eğitimi  
*Genel Merkez*

Delme-Patlatma Eğitim Programı  
*Genel Merkez*

Patlayıcı Madde-Ateşleyici Eğitimi  
*Genel Merkez*

Proje Yönetimi Eğitimi  
*Genel Merkez*

Maden İşletme Projesi Eğitimi  
*Genel Merkez*

Tünelcilik Temel Eğitimi  
*Genel Merkez*

Acil Durum Yönetimi Eğitimi  
*Genel Merkez*

Çevre Mevzuatı Eğitimi  
*Genel Merkez*

**Not: Eğitim Tarihleri Talep Durumuna Göre Belirlenecektir.**

## ETİ BAKIR A.Ş. KÜRE YERALTI İŞLETMESİ'NDE GERÇEKLEŞTİRİLEN PATLATMA UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

### *Investigation of Underground Blasting Applications in Eti Bakır A.Ş. Küre Underground Mine*

Gürhan Demir\*  
Muzaffer Yılmaz\*\*  
Murat Şen\*\*\*

#### ÖZET

Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi'nde yeraltı kazıları delme patlatma ve arakatlı göçertme yöntemi ile yapılmaktadır. Yer altı patlatma işlemleri, cevher aynalarında, pasa aynalarında ve katlar arası göçertme patlatmaları olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Bu atımlar yerinde takip edilerek kullanılan malzemeler, çalışma yöntemi ve atımların sonuçları takip edilmiş olup dolumların patlatma dizaynına ve sıkılama boylarına dikkat edilmesinin patlayıcı maliyetine etkisi incelenmiş ve atımlar hakkında bilgiler hazırlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Yeraltı Patlatmaları, Yeraltı Bakır Madeni, Yeraltı delme-Patlatma Uygulamaları, Yeraltı Metal Madenciliğinde Delme-Patlatma Uygulamaları.

#### ABSTRACT

Underground copper mining at Küre Mine of Eti Bakır A.Ş. have been conducted by a combination of drilling - blasting and sublevel stoping method. Underground blasting operation have been investigated under three main categories: Ore faces, waste faces, and sublevel stoping blasting. Those blasting activities had been followed and used blasting materials, working methods and blasting results are summarized at below study.

\* Eti Bakır A.Ş. Küre İşletme Müdürlüğü, KASTAMONU

\*\* Eti Bakır A.Ş. Küre İşletme Müdürlüğü, KASTAMONU, muzafferyilmaz87@gmail.com

\*\*\* Eti Bakır A.Ş. Küre İşletme Müdürlüğü, KASTAMONU

## GİRİŞ

Madencilik, tünel, yol ve inşaat çalışmaları başta olmak üzere birçok sektörde delme-patlatma çalışmaları olmazsa olmazdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte patlayıcı sektörde gelişmekte, ihtiyaçlar eksiksiz ve daha güvenli bir biçimde karşılanmaktadır. Küre yeraltı işletmesindeki yeraltı hazırlık ve üretim çalışmalarının büyük bir bölümü patlatma çalışmaları ile yapılmaktadır. Patlatma sonucunda istenilen ilerleme, ayna kesitinin düzgünlüğü ve kırılan malzemenin tane boyutu patlatma veriminin temelini oluşturmaktadır. Patlatmanın sonrasında yapılacak olan nakliye ve tahkimat gibi çalışmalarda göz önünde bulundurulacak en uygun patlatma planının hazırlanması önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak patlatma sektöründeki gelişmeler yakından takip edilmekte en uygun malzeme seçimi ve yöntemi uygulanarak verimli bir patlatma hedeflenmektedir.

### 1. KÜRE YERALTI İŞLETMESİ

Kastamonu Küre İşletmesi'nde 3 açık ve 1 yeraltı madeni ile üretime başlamıştır. Günümüzde açık ocak üretimi tamamlanmış üretim sadece yeraltından yapılmaktadır. Yeraltı ocağı Bakibaba, Aşıköy-1 ve Aşıköy-2 olmak üzere üç sektörden oluşmaktadır. Ancak Aşıköy-1 ve Aşıköy-2 sektörlerindeki rezervlerin 2015 yılı sonuna kadar tükenmesi sebebiyle esas üretim bölgesi hazırlık çalışmaları halen devam eden Bakibaba bölgesinde yapılmaktadır. Bakibaba işletmesinde üretimi yapılan madenin nakli, 2013 yılında tamamlanan, 960 metre uzunluğundaki, hazırlık çalışmaları halen devam eden ve 2015 yılının Ağustos ayında faaliyete giren kuyu ile gerçekleştirilmektedir. Bu kuyu Türkiye sınırları içerisinde açılan en derin kuyu olma ayrıcalığına sahiptir.

#### 1.1. Bölgesel Jeoloji

Küre Formasyonu'na ait serpantin, gabro-diyorit ve bazalt birimlerinden cevherin konumu ile ilişkili olarak bazalt birimi içerisinde çalışılmaktadır. Bazaltlar Küre bölgesinde oldukça yaygındır. Stockwork cevherleşmenin ana kayacını ve masif (pirit-kalkopirit) zonun ise taban ve örtü kayacını oluştururlar. Ağsal saçınımın ana kayacı olan bazalt bölgelerinde kloritleşme, killeşme, serizitleşme, silisleşme, karbonat ve kuvars damarları ile yer yer dissemine pirit, spekülarit ve manyetit görülmektedir. Ağsal saçınımlı bazaltlar

üste doğru masif zon olarak devam eder. Aşıköy cevher yatağında bu zon Siyah Şeyl tarafından örtülürken, Bakibaba yatağında ise daha genç bazaltlar tarafından örtülmektedir. Aşıköy ve Bakibaba yatakları arasında kalan bölgeyi genç bazaltlar, yastık lavlar ve breşler kaplamaktadır. Siyah Şeyl çökel kayacı Aşıköy yatağında yaklaşık 150 m kalınlığındadır. Gri-Siyah renkte ve ince taneli ve ince tabakalıdır. Bazalt, Siyah Şeyl dokanağında Bazalt breşleri gözlenmektedir. Bölgedeki tektonizma, yatakta kıvrımlanma olarak gözlenmektedir. Kıvrım eksenleri kabaca K-G yönlüdür. Aşırı deforme olmuş koyu renkli bazalt biriminin bu kıvrımlanmalar nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

#### 1.2. Bakibaba Yeraltı Ocağı

Bakibaba ocağında 2007 yılında hazırlık çalışmaları başlamış olup 2012 yılında da üretim çalışmalarına başlanmıştır. Ocakta üretim cevher içinde sürülen galeriler ve bu galerilere paralel olarak sürülen alt galerilerin arakat göçertmesi ile gerçekleştirilmektedir. Tam mekanize çalışılan ocakta galeri ilerlemeleri delme-patlatma metodu ile yapılmaktadır. Delme-patlatma sonucu elde edilen cevher yeraltı kamyonları ile yeraltı kırıcı ünitesine taşınmakta. Burada uygun boyuta indirilen cevher yatay ve dikey bantlarla cevher hazırlama tesisine nakledilmektedir.

### 2. YERALTI DELME - PATLATMA UYGULAMALARI

Küre Yeraltı İşletmesi'nde Pasa aynalarında, Cevher aynalarında ve Katlar Arası göçertmelerde olmak üzere farklı paternler de delme ve patlatma yapılmaktadır. Cevher ve pasa aynalarında patlatma yöntemi Paralel delik yöntemidir. Üretim delikleri birbirine paralel delinmekte ve buna ek olarak boş delikler (serbest yüzey oluşturma amacıyla) açılmaktadır. Üretim deliklerinin çapı 48mm, genişletme deliklerinin çapı ise 102mm'dir. Katlar arası göçertme için açılan üretim delikleri 76mm-89mm, genişletme delikleri ise 152mm olarak açılmaktadır. Katlar arası dolmuş üst kattan aşağı doğru veya alt kattan yukarı doğru (baş yukarı) olacak şekilde 2 türlü yapılabilmektedir. Patlayıcı madde şarjı sadece üretim deliklerine yapılmakta, genişletme delikleri ise serbest yüzey oluşturmak amacıyla açıldığı için bu deliklere patlayıcı şarjı yapılmamaktadır.



Şekil-1. Jumbo (Atlas Copco Rocket Boomer-282)



Şekil-2. Simba (Atlas Copco Simba ME7C)

## 2.1. Yeraltı Delme Uygulamaları

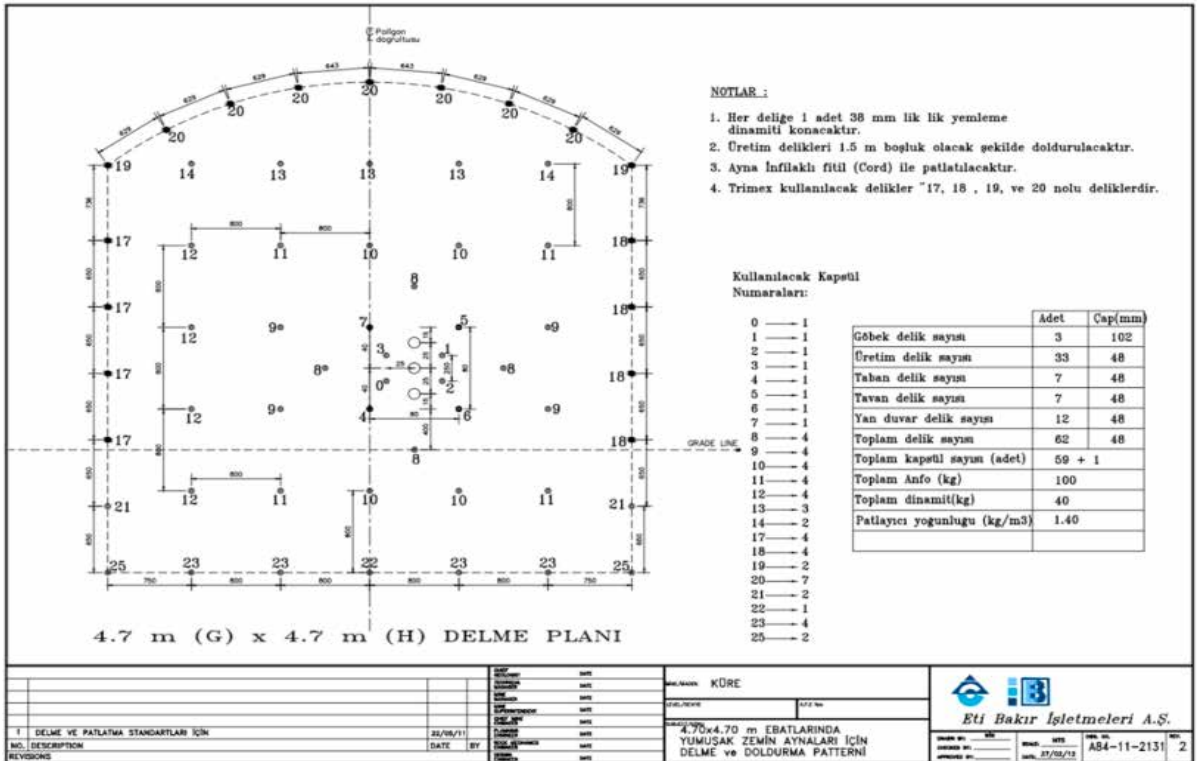
Eti Bakır A.Ş. de hazırlık ve üretim işlerinde ayna, serbest yüzey(slot) ve sıra delgisi olmak üzere 3 ayrı şekilde delgi gerçekleştirilmektedir. Patlatılacak olan zemine uygun çap ve uzunluk-taki delikler Jumbo (Şekil-1) veya Simba (Şekil-2) delicileri ile delinmektedir.

Ayna delgilerindeki delikler 48mm, 64mm (patar atımlarında) ve 102mm çaplarında delinmektedir. Delik uzunlukları ise 4.30 m, 3.70 m, 2.80 m ve 1.80 m dir. Aynalar delikleri paralel orta kesme yöntemine uygun olarak delinmektedir. Delik

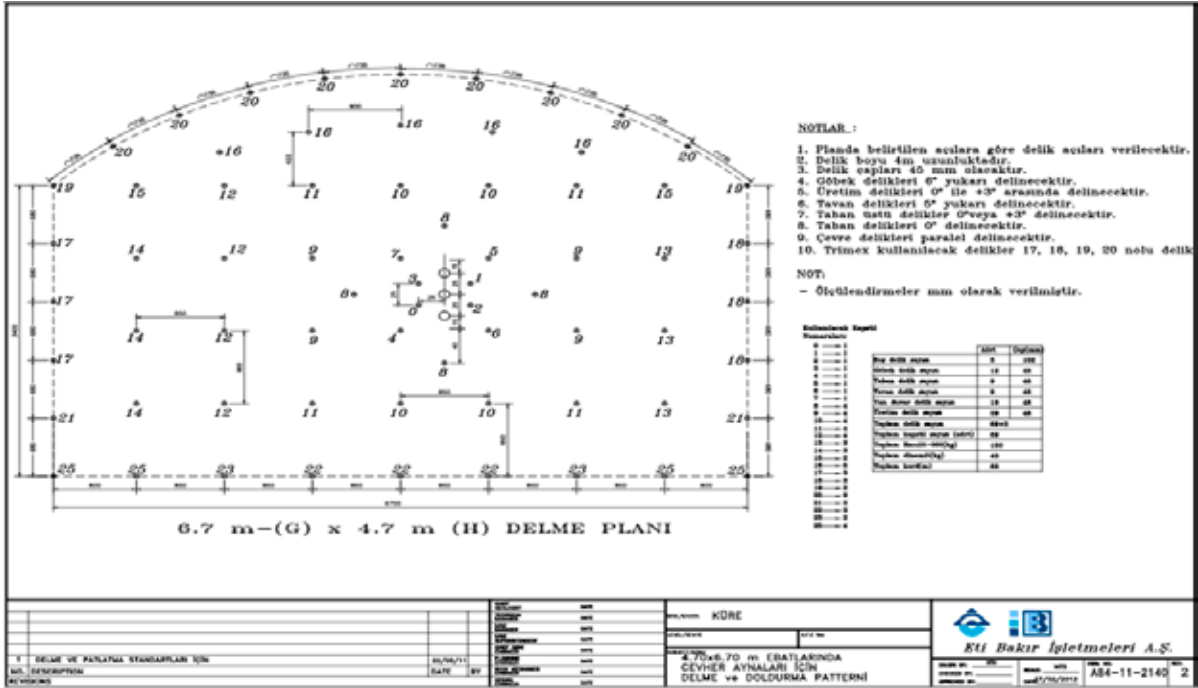
sayıları hazırlık galerileri ve maden galerilerinde değişmektedir.

İşletmede yapılan çalışmalar sonucunda pasa ve cevher aynaları için ayrı ayrı delgi ve dolum düzenleri tasarlanmıştır. Pasa aynaları 5.0mx5.0m boyutlarında olup cevher aynaları ise 7.0mx5.0m boyutlarındadır. Galeri kesitlerinin bu şekilde olmasının sebebi kullanılan makine ve ekipmana uygunluk, hedeflenen yıllık üretim miktarı ve kaya mekaniği ilkeleridir. (Şekil-3 ve Şekil-4)

İlerleyen dönemlerde üretim planına göre cevher aynalarının kesitlerinde değişiklik düşünülmektedir



Şekil-3. Hazırlık galerisi paterni

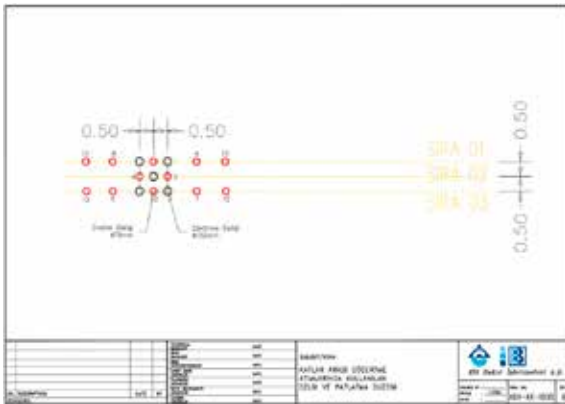


Şekil-4. Cevher galerisi paterni

Katlar arası delgilerdeki delikler 76mm, 89mm ve 152mm çaplarında delinmektedir. Delik uzunlukları cevher sınırına göre değişmekte olup bir tij (speed rod) uzunluğu 1.80m dir. Katlar arası delikleri slot atımına uygun şekilde delinmektedir. Delik sayıları zemin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.(Şekil-5 ve Şekil-6)

## 2.2. Yeraltı Patlatma Uygulamaları

Küre Yeraltı İşletmeleri'nde ilerleme ve üretim delme-patlatma ile gerçekleşmektedir. İlerlenecek ayna ve üretimi yapılacak stopelar (kat arası) delindikten sonra dolum için hazırlanır. Patlatma işleminde, 36mm çapında 420 mm uzunluğunda Kartuş, ANFO, ANFO-S (Islak Anfo), Kontur, Nonel Kapsül, İnfilaklı Fital (10gr), Elektrikli Kapsül ve Zil Teli kullanılır.

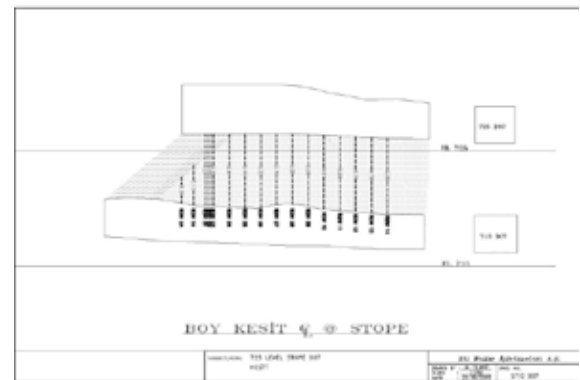


Şekil-5. Kat arası slot plan

Patlayıcı miktarları ilerleme ve üretim türlerine göre değişmektedir. Öncelikli kullanım ANFO dan yana olup deliklerin su durumuna göre şarj sadece dinamit ile gerçekleştirilir. Ayna ve katarası(slot) dolumlarında basınçlı hava yardımı ile patlayıcı yerleştirme özelliğine sahip NORMET CARMEC 1610B makinası kullanılmaktadır. (Şekil-7 ve Şekil-8)

### 2.2.1. Pasa Aynalarında Patlatma

Yeraltındaki cevhere ulaşabilmek için gerek taban taşında gerekse tavan taşında rampa sürülmektedir. Rampaya ek olarak kılavuz bağlantı (X-cut) yolları ve kılavuzlar sürülmektedir. Sürülen bu galeriler 5mx5m olarak bazalt veya siyah şeyl kaya birimlerinde sürülmektedir. Bu tür zeminlerdeki patlatmalar "Pasa Avnası Patlatmaları" olarak adlandırılır.



Şekil-6. Kat arası sıra kesit





Şekil-7. Normet charmec ayna dolumu

ri” olarak adlandırılır. Tek seriden kullanılan kapsül miktarı 10 adettir. Anlık şarj 10 deliğe göre hesaplanmıştır.

Örnek olarak 510 Cevher kuyusu(orepass) pasa aynasında yapılmış patlatmalara ait bilgiler Tablo-1 ve Tablo-2 de verilmiştir.

Tablo-1. 510 orepass patlatmalarına ait patlayıcı miktarları.

510 Orepass da Yapılan Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları							
Atımlar	Delik Sayısı (adet)	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	Trimex (kg)	İnf. Fıtil (metre)	Nonel Kapsül (Adet)	Elektrikli Kapsül (Adet)
Atım 1	63	60	150	10	45	63	1
Atım 2	57	60	160	10	35	57	1
Atım 3	56	50	150	8	30	56	1
Atım 4	57	50	125	10	30	57	1
Atım 5	54	140	0	5	30	54	1

Tablo-2. 510 orepass patlatmaları atım sonuçları.

510 Orepass Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler					
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m³)	Özgül Şarj (kg/m³)	Anlık Şarj (kg)
Atım 1	4	3.86	89.6	2.46	34.9
Atım 2	4	3.74	86.8	2.65	40.4
Atım 3	4	4.02	93.3	2.23	37.1
Atım 4	4	4.08	94.6	1.96	32.5
Atım 5	4	3.86	89.5	1.62	26.9
Ortalama Değerler	4	3.91	90.76	2.18	34.36

### 2.2.2 Cevher Aynalarında Patlatma

Maden yüzeyine ulaştıktan sonra maden zonundan çıkana kadar cevher lokasyonunda ilerleme yapılır. Tüm bu ilerlemeler delme-patlatmayla gerçekleştirilir. Bu patlatmalara “Cevher Ayna-



Şekil-8. Normet Charmec katarası (Slot) dolumu

larında Patlatma” denmektedir (Şekil-9). Galeri kesiti 5mx7m olarak açılır. Tek seriden kullanılan kapsül miktarı 10 adettir. Anlık şarj 10 deliğe göre hesaplanmıştır.

Örnek olarak 645GB15 (645 Güney Batı 15) cevher aynasında yapılmış olan patlatmalara ait bilgiler Tablo-3 ve Tablo-4 de verilmektedir.

Tablo-3. 645GB15 patlatmalarına ait patlayıcı miktarları.

645 GB15 de Yapılan Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları							
Atımlar	Delik Sayısı (adet)	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	Trimex (kg)	İnf. Fıtil (metre)	Nonel Kapsül (Adet)	Elektrikli Kapsül (Adet)
Atım 1	54	50	100	4	25	54	1
Atım 2	56	55	85	10	30	56	1
Atım 3	72	90	175	10	40	72	1
Atım 4	79	80	200	10	40	79	1
Atım 5	83	100	250	15	50	83	1

Tablo-4. 645 GB15 patlatmaları atım sonuçları.

645 GB15 Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler					
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m³)	Özgül Şarj (kg/m³)	Anlık Şarj (kg)
Atım 1	2.8	2.54	69.28	2.22	28.5
Atım 2	3.7	2.07	69.56	2.16	26.8
Atım 3	3.7	2.64	91.53	3.00	38.2
Atım 4	4	3.04	144.32	2.01	36.7
Atım 5	4	4.38	143.82	2.54	44.0
Ortalama Değerler	3.64	2.93	103.70	2.39	34.84



Şekil-9. Dolum yapılmış ayna

### 2.2.3 Katarası (Slot-Sıra) Patlatmaları

Sürülen maden galerileri tavan taşına veya ta-  
ban taşına ulaşmış maden üretimi tamamlandıktan sonra kat arası (stope) üretimine geçilmektedir. Bu üretimin gerçekleşmesi için alt ve üst galeri arasına Simba ile ilk olarak serbest yüzey oluşturmak için slot delikleri delinip (Şekil-5) patlatılır. Daha sonra serbest yüzeyin oluşmasının ardından sıra delikleri (Şekil-6) ve atımlarına geçilir. (Şekil-8)

S710 K04 kat arası için yapılmış olan patlatmalara ait bilgiler aşağıdaki Tablo-7 ve Tablo-8 de verilmiştir.



Şekil-10. Dolum yapılan slot

Tablo-7. S710 K04 slot ve sıra patlatmalarına ait patlayıcı miktarları

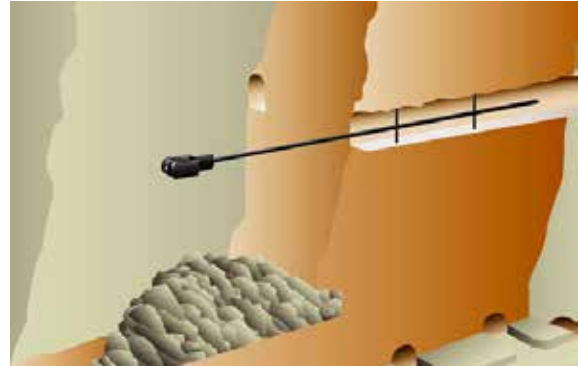
710 K04 Katarası Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları						
Atımlar	Delik Sayısı	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	İnf. Fitol (metre)	Nonel Kapsül	Elektrikli Kapsül
Slot 1	27	20	1125	40	54	1
Slot 2	20	120	900	30	36	1
Sıra 1	12	80	650	20	24	1
Sıra 2	6	60	400	20	12	1
Sıra 3	5	30	275	10	10	1
Sıra 4	6	20	120	20	6	1
Sıra 5	6	30	175	20	12	1
Sıra 6	6	30	175	20	12	1

Tablo-8. S710 K04 patlatmaları atım sonuçları.

S710 K04 Stope Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler			
Atımlar	Toplam Patlayıcı (kg)	Hacim-Kübj (m <sup>3</sup> )	Özgül Şarj (kg/m <sup>3</sup> )
Slot 1	1145	277.47	4.13
Slot 2	1020	244.82	4.17
Sıra 1	730	841.1325905	0.87
Sıra 2	460	517.6200557	0.89
Sıra 3	305	355.8637883	0.86
Sıra 4	140	155.2860167	0.90
Sıra 5	205	226.4587744	0.91
Sıra 6	205	226.459	0.91
Ortalama Değerler	526.25	355.64	1.70

### 3. YER ALTI PATLATMALARININ HACİMSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yeraltında yapılan ayna, slot ve sıra patlatmaları, atım yapılmadan önce ve atım yapıldıktan sonra CMS (Cavity Monitoring System) (Şekil-11, Şekil-12) cihazı ile ölçülerek 3 boyutlu model görüntüleri bilgisayar programlarına aktarılır. Daha sonra bu programlar yardımı ile yapılan atımların hacimsel ve metraj olarak verimleri gözlenir ve kayıt altına alınır.



Şekil-11 CMS açık stope ölçme pozisyonu

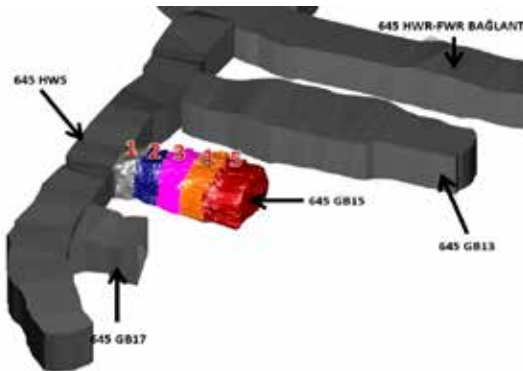


Şekil-12 CMS açık stope ölçme pozisyonu

### 3.1. Ayna Atımlarının Hacimsel Olarak İncelenmesi

Yeraltında yapılan ayna atımları (cevher ve pasa aynaları) yukarıda bahsedildiği gibi atımlardan önce ve sonra ölçme ekibi tarafından ölçülerek verileri bilgisayar ortamına taşınır. Bu veriler bilgisayar ortamında işlenerek atımlarda elde edilen verim (ilerleme, koparılan hacim, tonaj vb.) incelenir.

Çalışmanın yapıldığı 645 GB15 aynasına ait ölçümler Şekil-13 ve Tablo-10 da gösterilmiştir.



Şekil-13. 645 Aynasının atımlara göre CMS ölçümleri

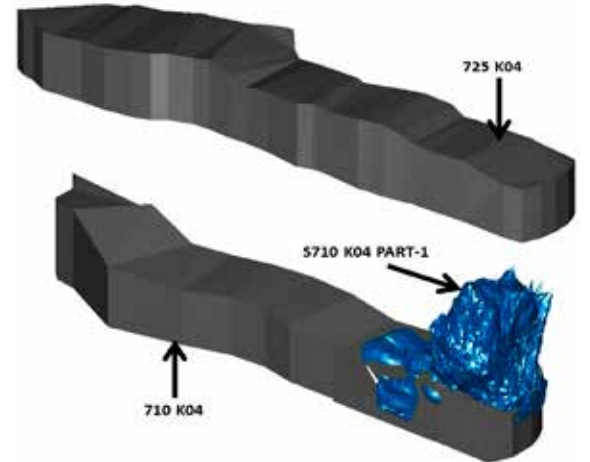
Tablo-10. 645 GB15 Aynasına Ait CMS Ölçüm Sonuçları

645 GB15 Yapılan Patlatmalara Ait Ölçümler			
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m <sup>3</sup> )
Atım 1	2.80	2.54	69.28
Atım 2	3,70	2.07	69.56
Atım 3	3,70	2.64	91.53
Atım 4	4,00	3.04	144.32
Atım 5	4,00	4.38	143.82

### 3.2. Slot ve Sıra Atımlarının Hacimsel Olarak İncelenmesi

Yeraltında yapılan slot ve sıra atımları sadece cevher üretimi için yapılır. Extra olarak (CWF İstasyonu, Kırıcı Ünitesi, Silolar, Orepass, Havalandırma Kuyuları vb.) cevher olmayan lokasyonlarda da boşluk oluşturmak için slot atımları yapılabilmektedir. Bu tür atımlardan önce ve atım yapıldıktan sonra da Ölçme Ekibi tarafından ölçümler alınıp bilgisayar programlarına aktarılır. Daha sonra bu veriler işlenerek elde edilen verim (oluşan açıklık, koparılan hacim, tonaj vb.) incelenir.

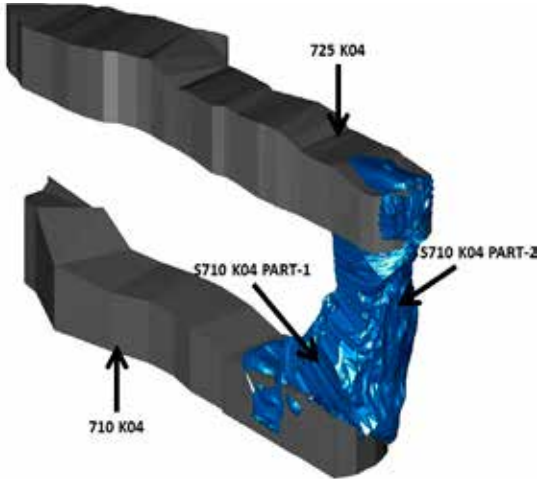
Çalışmanın yapıldığı S710 K04 kat arasına ait CMS ölçümleri Şekil-14, Şekil-15 ve Şekil-16 da gösterilmiştir.



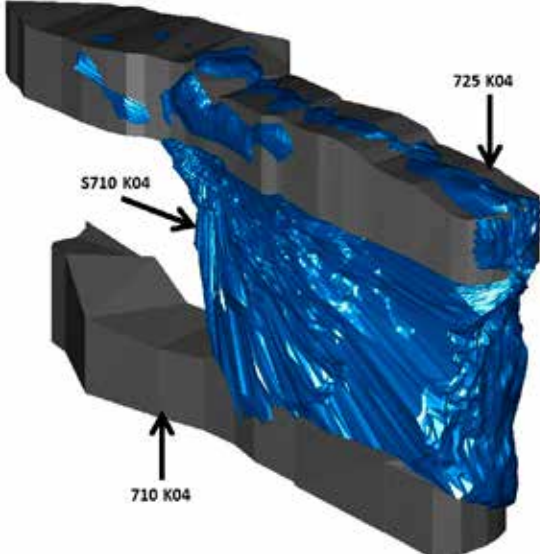
Şekil-14. S710 K04 Kat arası part-1 slot atımı CMS ölçümleri

Katlar arası slot atımlarında yükseklik iki kısma bölünüp part-1 ve part-2 olmak üzere 2 atım gerçekleşir. (Şekil-15 ve Şekil-16)





Şekil-15. S710 K04 kat arası part-2 slot atımı CMS ölçümleri



Şekil-16. S710 K04 Kat arası slot+sıra atımları CMS ölçümleri

Tablo-11. S710 K04 Ara Katına Ait CMS Ölçüm Sonuçları

S710 K04 Stope Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler				
Atımlar	Toplam Patlayıcı (kg)	Delik Sayısı (adet)	Delik Uzunluğu (m)	Hacim-Kübaj (m <sup>3</sup> )
Slot 1	1145	12	7	277.47
Slot 2	1020	12	7	244.82
Sıra 1	730	6	14	841.133
Sıra 2	460	6	14	517.62
Sıra 3	305	5	14	355.864
Sıra 4	140	5	14	155.286
Sıra 5	205	5	14	226.459
Sıra 6	205	5	14	226.459
<b>TOPLAM</b>	<b>4210</b>	<b>56</b>	<b>98</b>	<b>2845.11</b>

## SONUÇ

Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmelerinde yapılan çalışmalar da 645 GB15 aynası, 510 Orepass aynası ve S710 K04 Kat Arası seçilmiş ve atımlar yerinde takip edilmiştir. Bu çalışmada atımlarda kullanılan toplam patlayıcı miktarı, bir atımda gerçekleşen ilerleme mesafesi, bir atımda koparılan hacim incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarda belirli atımlarda ateşleme operatörlerine (ateşçiler) refakat edilmiş ve belirlenen paterne ve sıkılama boyuna dikkat edilmesi sağlanmıştır. Bu atımlar yukarıdaki tablolarda işaretlenmiştir.(510 Orepass aynası için 4. ve 5. atımlar. 645 GB15 aynası için 2. ve 4. atımlar.) Geri kalan atımlarda ise operatörlere refakat edilmemiştir.

Görüldüğü üzere delik paternlerine ve sıkılama boylarına dikkat edildiği sürece pasa aynası için özgül sarjda ortalama %27,5 lik maden aynaları için ise %19 luk bir düşüş sağlanmıştır.Yıllık olarak patlayıcı maliyetine vurulduğunda bu oran maliyete %20 düşüş olarak yansımaktadır.

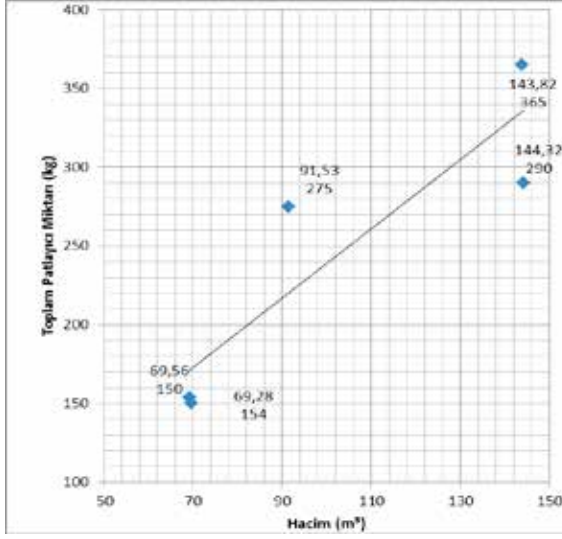
Bu nedenle personeldeki "Fazla patlayıcı madde ile daha fazla hacim koparılıp daha sağlıklı bir atım gerçekleşir." Mantığını ortadan kaldırırsa ve bunu eğitimlerle destekleyip personelin plana uygun dolum yapmasını sağlanırsa yıllık maliyette önemli bir düşüş sağlanır.

Maden-Operasyon ve Ölçme ekibiyle yapılan çalışmalar sonucunda tüm atımların toplam patlayıcı miktarı-koparılan hacim ilişkisi incelenmiş olup grafiğe aktarılmış ve Eti Bakır A.Ş Yeraltı İşletmeleri için bir standarda ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmalara göre sonuçlar Tablo-12, Şekil-17 ve Şekil-18 de sunulmuştur.

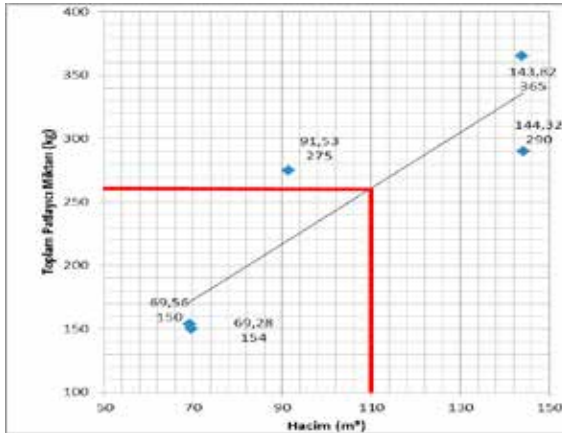
Tablo-12. 645 GB15 ve S710 K04 Atımlarına Ait Genel Bilgiler

645 GB15 ve S710 K04 Patlatmalara Ait Bilgiler				
Atımlar	Toplam İlerleme (m)	Toplam Hacim (m <sup>3</sup> )	Toplam Patlayıcı Miktarı (kg)	Ortalama Özgül Şarj (kg/m <sup>3</sup> )
645 GB15	14,67	518	1234	2,38
510 Orepass	19,56	453,8	988	2,18
S710 K05	-	2845,11	4210	1,48



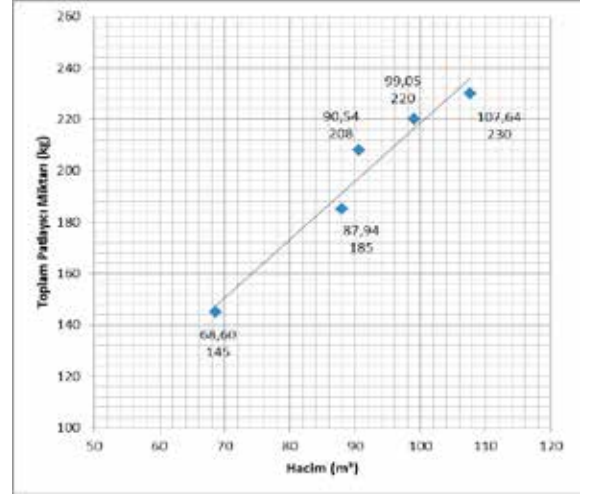
Şekil-17. 645 GB15 aynasına ait toplam patlayıcı miktarı-hacim grafiği

Yapılan ayna atımları çalışmasında 5 atım ele alınıp yukarıdaki grafiğe ulaşılmıştır. (x = Koparılmak istenen hacim, y = Toplam patlayıcı miktarı).



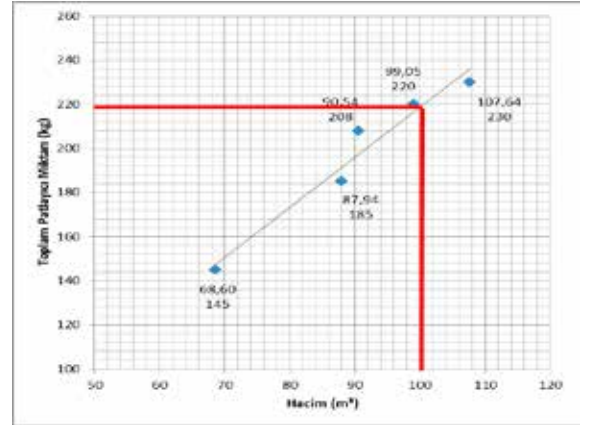
Şekil-18. Cevher aynalarında 110 m³ lük hacim koparmak istendiğinde gerekli patlayıcı miktarı grafiği

Buna göre cevher aynalarımızda 110 m³ lük bir hacim koparılmak istenirse, x = 110 m³ yaklaşık y = 260 kg lık patlayıcı kullanılması gerekmektedir.



Şekil-19. 510 Orepass aynasına ait toplam patlayıcı miktarı-hacim grafiği

Yapılan ayna atımları çalışmasında 5 atım ele alınıp yukarıdaki grafiğe ulaşılmıştır. (x = Koparılmak istenen hacim, y = Toplam patlayıcı miktarı).



Şekil-20. Pasa aynalarında 100 m³ lük hacim koparmak istendiğinde gerekli patlayıcı miktarı grafiği

Buna göre cevher aynalarımızda 100 m³ lük bir hacim koparılmak istenirse, x = 100 m³ yaklaşık y = 218 kg lık patlayıcı kullanılması gerekmektedir.

Galeri kesitlerinin dar olması (5m x 7m, 5m x 5m) ve çalışılan zeminin şartları özgül şarj değerinde değişiklikler göstermektedir. Koparılan hacim sabit tutulmak şartı ile

patlayıcı miktarlarını azaltıp aynı düzeyde verim alma çalışmaları devam etmektedir.

Kat arası yapılan patlatmalarda özgül şarj 1.48 kg/m<sup>3</sup> dir. Slot atımları, hem delik sayısı fazlalığı hem de serbest yüzey oluşturma amaçlı yapıldığından kullanılan patlayıcı miktarı fazla olmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı grafik üzerinden değerlendirme yapmaması verimli olmayacağı için slot ve sıra atımlarının sonuçları grafiğe aktarılmamıştır.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada emeği geçen, Eti Bakır A.Ş. Yeraltı Proje ve Maden Müdürü Sn. Kâzım KÜÇÜKATEŞ'e, Teknik Ofis Şefi Sn. Serkan Ömer KOÇ'a, Planlama Mühendisi Sn. Serdar KARABAY'a, Eğitim Emniyet Şefi Sn. Ali EROL'a, Harita Bölümü Şefi Sn. Yusuf ÖZGÜ'ye, Üretim Başmühendisleri Sn. Adem CANIM ve Sn. Metehan DEMİR'e ve ayrıca Harita Mühendisi Sn. Murat Semih KAYHAN'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimizi sunuyoruz

## **KAYNAKLAR**

5. Delme Patlatma Sempozyumu Bildirgeler Kitabı, 2007, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Blasting and Explosives Quick Reference Guide, 2011, Dyno Nobel, South Africa.

Olofsson, Stig O., 1988. Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Arla, Sweden, (131-147 s.).

Proceedings of the Thirty-eighth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 2012, International Society of Explosives Engineers, USA.

*Bu Makale 19 – 20 Kasım 2015 tarihinde düzenlenen VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu'nda bildiri olarak sunulmuştur.*