

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

*Journal of Geological Engineering*

*Cilt - Volume 38*

*Sayı - Number 1*

*ISSN 1016 - 9172*

*Haziran / June 2014*



**TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**Chamber of Geological Engineers of Turkey**

## **EDİTÖR / EDITOR**

Tamer TOPAL  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
06800, Ankara  
Tel : 0 312 210 26 90  
Faks : 0 312 210 57 50  
E-Posta : topal@metu.edu.tr

## **TEKNİK EDİTÖR / TECHNICAL EDITOR**

Yavuz KAYA  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## **Makale Gönderim Adresi:**

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası  
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara  
Tel : (0312) 434 36 01  
Faks : (0312) 434 23 88  
E-Posta : jmo@jmo.org.tr  
URL : www.jmo.org.tr

**Yayın Türü:** Yaygın Süreli Yayın  
**Yayın Şekli:** Yılda 2 kez (6 ayda bir)  
Türkçe

**Yayın Sahibi:** TMMOB JMO Adına  
Hüseyin ALAN

**Yayının İdare Adresi:** Kocatepe Mah.  
Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

**Baskı:** Afşaroğlu Matbaası,  
Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı  
No:87/7 İskitler/Ankara  
Tel : (0312) 384 54 88  
Baskı Tarihi : Ocak 2015  
Baskı Adedi : 1000

## **Yayın Kurulu / Editorial Board**

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)  
Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)  
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)  
Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)  
Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)  
Nusret EMEKLİ (İller Bankası)  
Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)  
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)  
Reyhan Kara GÜLBAY (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Üniversitesi)  
Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Nurkan KARAHANOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)  
K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)  
Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)  
Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)  
Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)  
Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)  
İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)  
Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)  
Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)  
Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)  
Atiye TUĞRUL (İstanbul Üniversitesi)  
Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)  
Asuman TÜRKMEENOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)  
Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)  
Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)  
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi makale ve dizin özleri  
**SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts ve EBSCO**  
uluslararası indeksleri tarafından taranmaktadır.

*Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by  
SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF, Geobase/Geo Abstracts and EBSCO*

## **Jeoloji Mühendisleri Odası Chamber of Geological Engineers Yönetim Kurulu / Executive Board**

Hüseyin ALAN	Başkan / President
Faruk İLGÜN	İkinci Başkan / Vice President
Murat ATEŞOĞULLARI	Yazman / Secretary
Halil İbrahim YİĞİT	Sayman / Treasurer
Ümit UZUNHASANOĞLU	Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities
Rengin KONUK	Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs
Nedret Beril AÇIKGÖZ	Yayın Üyesi / Member of Publication

*Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.*

## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

- 
- 1- **Tümay KADAKÇI KOCA, M. Yalçın KOCA**  
**Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi**  
*Slope Stability Assessment of Rock Slopes in an Open Pit Albite Mine Using Finite Element Method (FEM)*
- 19- **Hasan KARAKUL**  
**Pasa Yığınları için Statik Koşullarda Şev Duraylılığının Araştırılmasının Önemi: Yeniköy Linyitleri İşletmesi Yaylıktepe Sahası Örneği**  
*Importance of the Investigation of Slope Stability for Spoil Piles under Static Conditions: A Case from Yaylıktepe Site, Yeniköy Lignite Enterprises*
- 39- **Hakan ERSOY, Bülent YALÇINALP, Ali Erden BABACAN**  
**Saraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması**  
*Investigation of Geological and Geomechanical Properties of the Saraftepe (Trabzon) Tephritic Sill*
- 51- **Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA**  
**Basım Hatası: Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini**  
*Erratum to: Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting*



## Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi

*Slope Stability Assessment of Rock Slopes in an Open Pit Albite Mine Using Finite Element Method (FEM)*

**Tümay KADAKÇI KOCA, M. Yalçın KOCA**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR.*

Geliş (received) : 01 Kasım (November) 2013  
Düzeltilme (revised) : 09 Ocak (January) 2014  
Kabul (accepted) : 13 Ocak (January) 2014

### ÖZ

Çalışma alanı, Aydın, Çine-Karpuzlu'da bulunan Alipaşa açık ocak albit madenidir. Maden sahasında sadece lökokratik ortognayslar yüzlek vermektedir. Albit cevheri, K65B yönünde 129 m genişliğe, K25D yönünde yaklaşık 900 m uzunluğa sahiptir. Alipaşa albit açık ocak işletmesinin bugünkü taban kotu 395 m iken, tabandan itibaren 45 m daha işletilmesi planlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ocağın doğu şevleri için, maden çıkarma çalışmaları bittikten sonraki optimum şev açısının belirlenmesidir. Bu kapsamda, kaya kütlelerinin ayrıntılı arazi gözlemleri yapılmış ve kaya materyali üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu veriler ile açık ocaktaki derin şevler için ( $H > 100$  m) nümerik analiz çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan nümerik analizlerde, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü'nün ve eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerinin çalışma alanındaki çatlaklı kaya şevine uygulanabilirliği incelenmiştir. Analizler kapsamında, arazideki yerel blok kaymalarından etkilenen alandan geçen, tansiyon çatlaklarına dik beş adet jeoteknik kesit alınmış, farklı Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), sismik ivme katsayısı, şev açısı ve yeraltı durumu değerleri kullanılarak, iki boyutlu sonlu eleman analizi yapabilen Phase2 V.7.013 programı yardımı ile duraylılık analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, her bir kesit için güvenlik katsayısı değerleri (gerilme azaltma faktörleri - SRF) elde edilmiş, şevin yenilme mekanizması ortaya çıkarılmış ve şevin yenilme türünün nedenleri araştırılmıştır. Her iki yöntemden (Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Eşdeğer Mohr-Coulomb Ölçütü) elde edilen gerilme azaltma faktörü (SRF) değerleri, SPSS V.15.0.1 programı kullanılarak karşılaştırılmış ve çalışma alanındaki ortognaysları en iyi temsil eden ölçüt doğrultusunda, nihai şev açısı belirlenmiştir.

T.Koca

E-posta: tumay.koca@deu.edu.tr

**Anahtar Kelimeler:** Albit açık ocak işletmesi, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü, Ortognays, Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), Şev duraylılığı.

## ABSTRACT

*The study area is Alipaşa open pit albite mine which takes place in Aydın, Çine-Karpuzlu. Only leucocratic orthogneiss rock unit outcrops out in the mine. The albite mineralisation located in the N25E direction with 900 m length and in the N65W direction with 120 m width. 45 m thickness below the present mine base (395 m) of the open pit has been planned to be mined. The scope of this study is to determine the optimum overall slope angle of the eastern slopes of the mine at the time which the mining operations are terminated. In this context, based on the detailed field investigation and laboratory tests performed on the rock material, numerical analyses for the deep slopes ( $H > 100$  m) were conducted. In the numerical modelling, applicability of the finite element method (FEM) considering the Generalized Hoek-Brown Criterion and Equivalent Mohr-Coulomb parameters to the jointed rock slopes in the study area was investigated. In this process, firstly five geotechnical cross-sections passing through the area affected from local rock block slides were taken; secondly stability analyses of the overall slopes along these cross-sections considering the variations of Geological Strength Index (GSI), seismic acceleration coefficient, slope angle and water table location (WTL) were conducted by using a two-dimensional FEM software Phase2 V.7.013. The causes and mechanisms of the slope instabilities, the factor of safety values (stress reduction factors: SRF) for each cross-section were determined. The results obtained from each criterion were compared by statistical software SPSS V.15.0.1 to determine the optimum overall slope angle in terms of the best fitting criterion for the orthogneisses.*

**Key Words:** Albite open pit mine, Equivalent Mohr-Coulomb parameters, Generalized Hoek-Brown Criterion, Orthogneiss, Finite Element Method (FEM), Slope stability.

## GİRİŞ

Şev duraylılığı, gerek maden işletmelerinde gerekse karayolları şevlerinde ayrıntılı olarak çalışılması gereken önemli konulardandır. Yetersiz jeolojik çalışmalar sonucu gelişen deşik kütle hareketleri, maden çıkarma sürecinde maddi zararlara ve hatta can kayıplarına neden olabilmektedir. Şev duraylılığı, yerel jeolojik koşullar, sismik aktivite, yeraltı su tablası ve

boşluk suyu basıncındaki değişimler gibi birçok etken tarafından denetlenir. Bu çalışmada, maden çıkarma işlemi bittikten sonraki şev geometrisi için, nihai şev açısı belirlenmiştir. Şev duraylılığı incelemeleri nümerik modeller üzerinden Hoek vd. (2002) ve Hoek (2006) tarafından önerilen sırasıyla Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri kullanılarak yürütülmüştür.

Daha önceden yapılan dinamik koşullardaki şev duraylılık analizi çalışmalarında (Sofianos ve Halakatevakis, 2002; Sofianos, 2003; Sofianos ve Nomikos, 2006; Li vd., 2008; Nekouei ve Ahangari, 2013) sonlu elemanlar yönteminde Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri karşılaştırmalı olarak uygulanmamıştır. Sofianos ve Halakatevakis (2002), GSI değeri 25'ten büyük kaya kütlelerinde açılan tüneller için Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerini tahmin eden eşitlikler önermişlerdir. Sofianos (2003) ise, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerini tahmin ederken, gerilme aralığının alt limitini, kayanın iki eksenli çekme dayanımı olarak değiştirerek, destekli tüneller için destek basıncını da dikkate alan eşitlikler önermiştir. Bu eşitliklerden elde edilen  $c$  ve  $\phi$ 'yi, Hoek vd. (2002), Hoek ve Brown (1997) ile belirlenen kohezyon ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri ile karşılaştırarak, önerilen yeni eşitliğin kullanışlı olduğunu belirtmiştir. Sofianos ve Nomikos (2006) ise, kırılğan ve plastik kayalarda açılan destekli tüneller için, Sofianos (2003)'ün önerdiği eşitliği uygulamışlar, iki yöntemin birbirine tek bir durum için uyarlanamayacağını ve her çalışma için farklı eşitliklerin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Li vd. (2008), kaya şev duraylılığı tablosu oluştururken, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri ve Hoek-Brown Ölçütü'nü karşılaştırmalı olarak, limit-denge analiz yöntemi aracılığıyla kullanmıştır. Aynı çalışmada,  $45^\circ$ 'den daha eğimli yamaçlar için, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri kullanılarak oluşturulan duraylılık tablolarından elde edilen güvenlik katsayısının yüksek olduğu, buna, iki yöntemin eğrilerinin geometrik olarak

en çok farklılık gösterdiği gerilme aralığının neden olduğu, Hoek-Brown Ölçütü ve Mohr-Coulomb eğrilerinin tek bir yaklaşımla birbirine uydurulamayacağı belirtilmiş,  $45^\circ$ 'den büyük eşit ve küçük eğime sahip şevler için en küçük asal gerilmeyi hesaplayan iki farklı eşitlik önerilmiştir. Bu yolla, her iki yöntem için yakın sonuçlar elde edilmiştir. Nekouei ve Ahangari (2013) ise, Li vd. (2008) tarafından oluşturulan şev duraylılık tablolarında, Hoek-Brown Ölçütü ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerine ait değerlerin düşük korelasyona sahip olduğunu, Hoek-Brown Ölçütü'nün güvenilir ve doğru olmayacağını belirtmişlerdir.

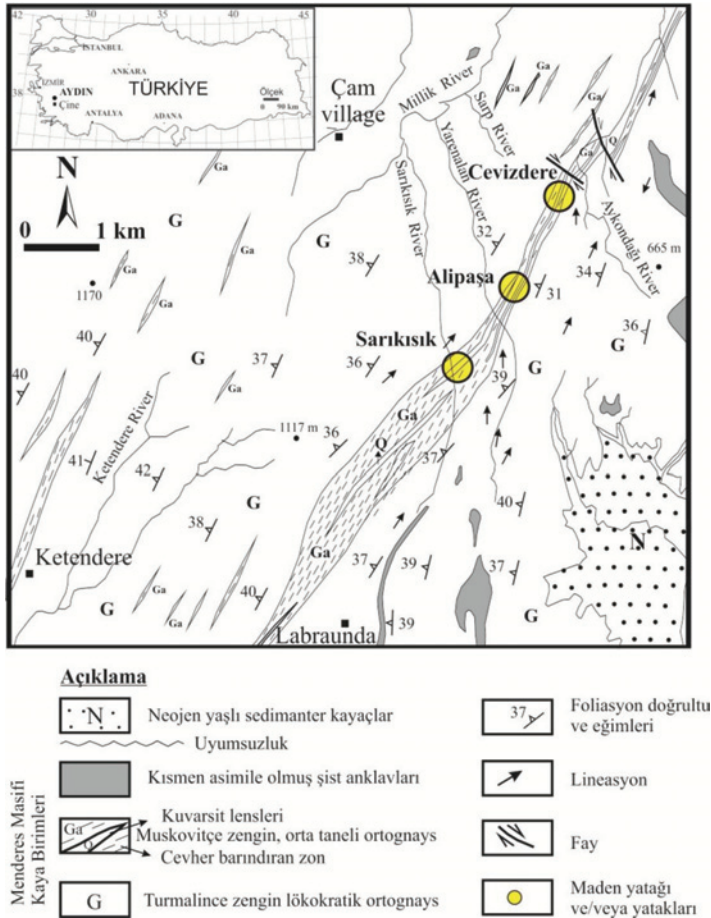
Alipaşa açık ocak albit madeni, Menderes Masifi'nde işletilen madenlerden biridir ve Menderes Masifi'nin çekirdek serilerinin tipik litolojisine uygun olarak şist anklavları içeren ortognaysların içerisinde yer almaktadır. Geçmiş yıllarda açık işletmenin doğu şevlerinde duraysızlıklar meydana gelmiştir. Bu duraysızlıklar şev basamaklarında gerçekleşmiş, arazide gözlenen tansiyon çatlakları bu hareketlerin işaretleri olarak şev üst yüzeylerinde ve şev basamaklarında gelişmiştir. Bir ve/veya birden fazla şev basamağında, foliasyon düzlemlerinin basamak şevlerini kesmesine bağlı olarak düzlemsel kaymaların tüm şevi etkileyip etkilemeyeceği, etkilemesi durumunda nihai şev açısının ne olacağı önem kazanmaktadır. Tanyaş ve Ulusay (2013), Alipaşa açık ocağının doğu ve batı şevlerini, düzlemsel ve kama tipi yenilme açısından, kinematik olarak ve psödo-statik limit denge analiz yöntemiyle geri analizler yaparak incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda,  $35^\circ$ 'lik nihai şev açısı için, şev basamaklarında düzlemsel ve kama tipi yenilmeye ait veriler elde

etmişler, ancak tüm şevde herhangi bir yenilme gözlenmeyeceği sonucuna varmışlardır.

Çalışma alanı ve çevresi için, meteorolojik veriler gözönüne alındığında, en çok yağışın kış ve bahar aylarında düştüğü ve aylık ortalama yağışın 110.4 mm olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, arazi çalışmaları yağışların şiddetlendiği ocak ayında yapılmış ve şevin % 50 oranında bir doygunluğa eriştiği gözlenmiştir.

## İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Menderes Masifi'nin güney kesiminde, Çine Asması olarak adlandırılan bölgede yer almaktadır (Şekil 1). Asması, iri taneli gözlü gnays ve ince taneli mikaca zengin gnayslar tarafından temsil edilmektedir. Ortognayslar kısmen foliasyonlu-çatlaklı kaya birimleri olup, açık işletmede ve civarında foliasyonların eğim açıları  $30^\circ$  ile  $42^\circ$  arasında değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon ve jeoloji haritası (Graciansky, 1965'ten değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. Location and geological map of the study area (modified from Graciansky, 1965).



Ege Bölgesi'ni etkileyen KKD-GGB doğrultusundaki genişleme tektoniğine bağlı olarak gelişen KD-GB uzantılı makaslama zonları, yaygın jeolojik yapılar olarak Menderes Masifi'nde gözlenmektedir (Şengör, 1987; Candan vd., 2005). Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler, bu tektoniğe bağlı olarak gelişmiş K25D doğrultusundaki makaslamanın etkisiyle deformasyona uğramışlardır. Sonuçta, foliasyon düzlemlerine dik makaslama eklemleri oluşmuştur. Na-feldispat içeren cevherleşme de (albit) bu makaslama zonları boyunca gelişmiştir (Graciansky, 1965; Uygun ve Gümüşçü, 2000).

## DEPREMSELLİK

Deprem etkisiyle oluşan şev yenilmeleri sık karşılaşılan bir durumdur ve çalışma alanını kapsayan Aydın yöresi de birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Buna bağlı olarak, şev duraylılık analizleri, sismik etki dikkate alınarak yürütülmüştür.

Büyük Menderes Fay Zonu'nda 1899 yılında 6.9 büyüklüğünde oluşan deprem 1100 kişinin ölümüne neden olmuştur (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical.php/>). Nümerik analizlerde kullanılan sismik katsayı değerleri ( $\alpha_{\text{sismik}}$ ), oluşabilecek deprem büyüklükleri ve fay zonunun çalışma alanına uzaklığı (26.5 km) dikkate alınarak, Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından önerilen ampirik azalım eşitliği ile hesaplanmıştır (Tablo 1).

$$\log_{10} a = 0.42 M_w - \log (R + 0.025 * 10^{0.42M_w}) - 0.0033R + 1.22 \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{sismik}} = a/g \quad (2)$$

a: Yatay maksimum yer ivmesinin ortalama değeri (cm/sn<sup>2</sup>)

$M_w$ : Moment büyüklüğü

R: Fay kırığı ile incelenen alan arasındaki en kısa mesafe (km)

$\alpha_{\text{sismik}}$ : Sismik katsayı

g: Yerçekimi ivmesi (gal)

Çizelge 1. Farklı deprem moment büyüklükleri için, Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından önerilen ampirik azalım eşitliği ile hesaplanan sismik katsayı değerleri.

Table 1. The seismic acceleration values calculated from the empirical attenuation equation proposed by Fukushima and Tanaka (1990) for various earthquake moment magnitudes.

Tanım	Değerler				
$M_w$	5.5	5.8	6.0	6.5	7.0
R (km)	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
a(cm/sec <sup>2</sup> )	103	112	130	182	245
$\alpha_{\text{sismik}}$ (g)	0.10	0.11	0.13	0.18	0.25

## İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Bir kaya şevinin tasarımı için kaya kütlesi içerisindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü duraylılık, süreksizliklerin konumuna ve bazı jeomekanik ve jeoteknik özelliklerine bağlıdır (Hoek ve Bray, 1981). Özellikle, kayması

muhtemel bloğun ağırlığından kaynaklanan, kayma yönündeki bileşenin büyüklüğü, şev duraylılığında önemli rol oynamaktadır. Çalışma alanında, tektonik kökenli eklemler, metamorfizmaya bağlı olarak gelişmiş foliasyon düzlemleri ve çekme gerilmelerine bağlı olarak oluşan tansiyon çatlakları olmak üzere üç farklı süreksizlik tipi gözlenmiştir (Şekil 2).



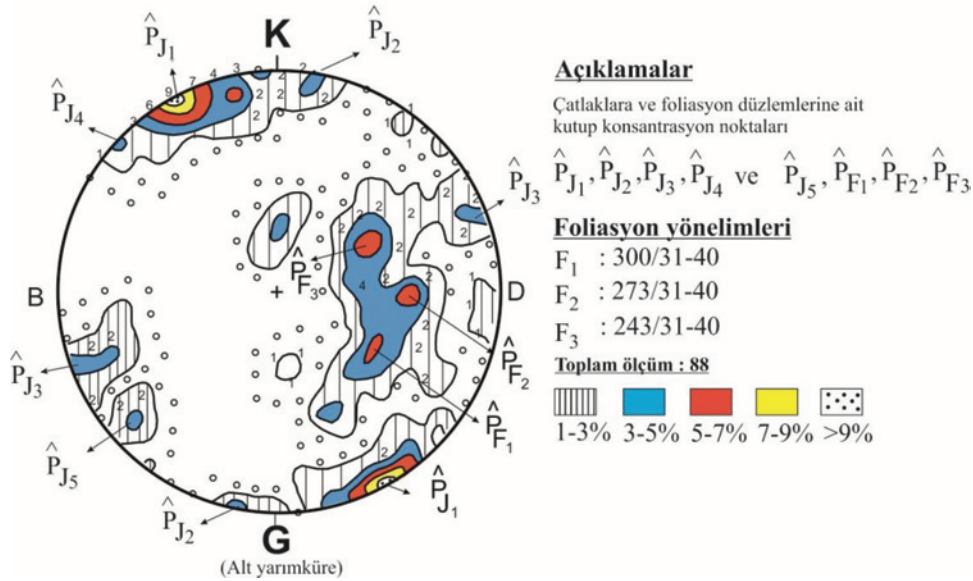
Şekil 2. Foliasyon düzlemleri ve bunlara dik olarak gelişmiş tektonik kökenli eklemler.

*Figure 2. Foliation planes and tectonically-originated joints developed nearly perpendicular to these planes*

Arazi ölçümleri sonucunda foliasyon yüzeyleri ve eklemleri içeren 88 süreksizlik düzleminin kontur diyagramı, eşit alanlı alt yarım küre stereografik projeksiyon tekniği ile Dips V. 6.0 (Rocscience, 2012) bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3).

Kutup noktası konsantrasyonlarından faydalanılarak, hâkim 3 adet foliasyon ve 5 adet

çatlak seti belirlenmiştir. Bu süreksizlik setlerinin mühendislik özellikleri, arazide ayrıntılı olarak incelenmiş, ISRM (1978a)'ya göre sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma, nümerik analizlerde kullanılan GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi),  $m_i$  (Kaya materyali için Hoek-Brown sabiti) ve D (Örselenme katsayısı) değerlerinin belirlenmesinde etkili bir parametre olarak kullanılmıştır (Tablo 2).



Şekil 3. Eşit alanlı kutupsal stereonet üzerinde eklem ve foliasyon düzlemlerinin konumlarını temsil eden kontur diyagramı.  
Figure 3. Contour diagram representing the orientation of joints and foliation planes plotted on a polar equal-area net.

Çizelge 2. İnceleme hatlarından elde edilen süreksizliklerin jeoteknik özellikleri.

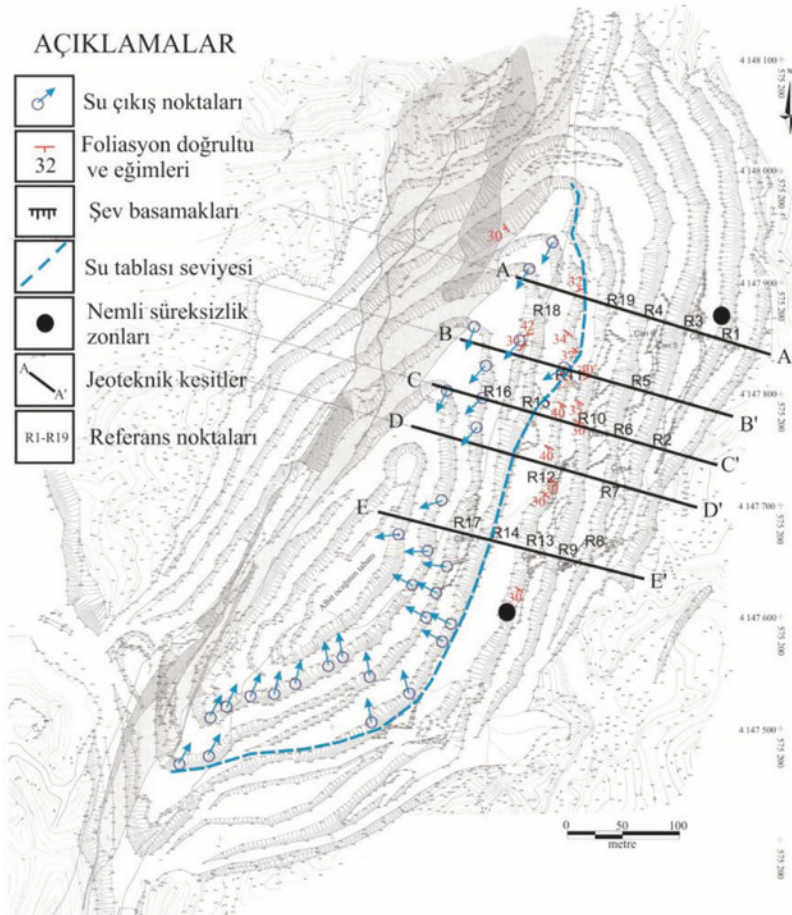
Table 2. Geotechnical properties of the discontinuities obtained from the scan-lines.

Kütle Özellikleri	Foliasyonlar	(J <sub>1</sub> ) ve (J <sub>4</sub> )	Çatlak setleri	(J <sub>2</sub> )	(J <sub>3</sub> )
Süreksizliklerin genel yönelimleri	F <sub>1</sub> : 300/32-40 F <sub>2</sub> : 273/32-40 F <sub>3</sub> : 243/32-40	325-340/80-87 290-320/80-90	190/70-85	250/80-90	
Süreksizlik aralığı (cm)	Minimum: 5 Maksimum: 25 Ortalama: 20 SD: 10 (Orta derecede aralıklı)	Minimum: 20 Maksimum: 55 Ortalama: 35 SD: 11 (Geniş aralıklı)	Minimum: 15 Maksimum: 25 Ortalama: 18 SD: 07 (Orta derecede aralıklı)	Minimum: 62 Maksimum: 78 Ortalama: 72 SD: 2.6 (Çok geniş aralıklı)	
Süreksizlik devamlılığı	4 m -12 m (Genellikle yüksek devamlılık)	1.0 m – 4.5 m (Genellikle düşük devamlılık)	1.0 m – 2.0 m (Düşük devamlılık)	3.0 m – 8.5 m (Orta derecede devamlılık)	
Süreksizlik açıklığı	1 mm – 0.5 cm (Orta derecede geniş)	0.5 – 2.0 cm (Genellikle çok geniş)	1 mm–1.0 cm (Orta derecede geniş)	0.5 cm – 3 cm (çok geniş)	
Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü	Genellikle pürüzsüz veya az dalgalı (geniş dalga boyu- az genlik)				
Dolgu Malzemesi	İnce, yumuşak ve nemli dolgu materyali				
Süreksizlik yüzeyindeki su durumu	Süreksizlik yüzeyinde damla halinde sızıntı var ancak sürekli bir akış gözlenmiyor				
Blok boyutu	Genellikle orta büyüklükte, bloklu				
Bozunma durumu	Genellikle orta derecede bozunmuş süreksizlik yüzeyleri				

Kadakçı Koca, Koca

Kaya şevlerinde, süreksizlikler, suyun kaya kütlesi içerisinde akışına imkan veren kanal görevi görerek, kaya kütlesine ikincil gözeneklilik kazandırmaktadır. Sonuç olarak, açık makaslama çatlakları ve topoğrafik koşullar su akışını kolaylaştırmaktadır. Bu görüş doğrultusunda, foliasyon düzlemlerine yaklaşık dik gelişmiş makaslama çatlakları arazide incelenmiş ve bu yüzeylere koşut bitki gelişimleri (yosun oluşumu) gözlenmiştir. Ocak ayında, kuvvetli yağışların ardından, arazide gözlenen su çıkış noktaları,

albit ocağının topoğrafik haritası üzerine işaretlenmiştir (Şekil 4). Su tablası konturu bu noktalar dikkate alınarak Şekil 4'teki gibi çizilmiştir. Jeoteknik kesit hatlarının su tablasını kestiği noktalar, duraylılık analizlerinde % 50 su seviyesi olarak dikkate alınmıştır. Ocakta, su seviyesinin maksimum topoğrafik kota kadar çıkması durumu da % 100 su seviyesi olarak (500 m kotları) her kesit için şev geometrisine işlenmiştir.



Şekil 4. Alipaşa albit madeninin doğu şevindeki su çıkış noktaları, nemli süreksizlik zonları ve tahmin edilen yeraltısuyu seviyesi.

Figure 4. The location of seeps, wet discontinuity zones and estimated groundwater table level in the eastern part of the Alipaşa albite open pit mine.

## ŞEV DURAYLILIĞI

Baraj, yol yapımı ve çeşitli mühendislik kazılarında, güvenli ve ekonomik şev tasarımı için, ayrıntılı şev duraylılığı analizleri büyük önem taşımaktadır. Nümerik analizler, yenilmenin gerçekleştiği düzlemin altındaki ve üstündeki gerilme dağılımlarını ve ilerleyici karaktere sahip deformasyonu dikkate aldığı için, günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Bu çalışmada, albit ocağının şev duraylılık analizleri, iki boyutlu, sonlu elemanlar yöntemini kullanan, Phase<sup>2</sup> (Rocscience, 2010) adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Temel olarak, sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sürekliliği, nod adı verilen noktalarla (düğüm noktaları) birleşen elemanlar ile tanımlar. Sınırları belirlenmiş, analizlerin gerçekleşeceği ortam, farklı doku seçenekleri ile ağ elemanlarına bölünür. Limit-denge analizlerinin aksine, hesaplar sadece kayma düzleminin üstündeki alan için dilimlere bölünerek değil, tüm modeli kapsayan ağ elemanları içerisinde gerçekleştirilir. Bu çalışmadaki modeller, 6 adet düğüm noktasına sahip, homojen dağılım gösteren 2000 adet ağ elemanına bölünerek nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan ağ yapısındaki eleman sayısının artırılıp azaltılması analizlerin hassasiyetini etkilemektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi, şevin kritik yenilme koşulunu temsil eden gerilme indirgeme faktörü (SRF) veya güvenlik katsayısı değerlerini hesaplayan, makaslama dayanımı indirgeme yöntemini de kullanmaktadır. Sonlu eleman modelinde tanımlanmış bütün materyallerin kesme dirençleri SRF ile indirgenir (Hammah vd., 2005).

FEM analizlerinde öncelikle Genelleştirilmiş Hoek-Brown Yenilme Ölçütü,

daha sonra çatlak dokusunu dikkate almayan Eşdeğer Mohr-Coulomb parametrelerini kullanan Mohr-Coulomb Ölçütü kullanılmış, belirli parametrelerin değerlerindeki değişikliğin şev duraylılığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örneğin; GSI değerleri 35, 40, 45, şevdeki su tablası seviyesi (STS) %100, %70, %50, sismik katsayılar, 0 (sismik ivme yok), 0.1g, 0.2g, 0.3g, ve şev açıları ise 30°, 32°, 34°, 36°, 40° olarak analizlerde girdi olarak kullanılmıştır. KB-GD yönlü kesitlerdeki şev yükseklikleri, AA': 135 m, BB': 123 m, CC': 132 m, DD': 121 m, EE': 101 m'dir (Şekil 4). Her kesitteki şev yükseklikleri sabit olduğundan, söz konusu parametreler (GSI,  $\alpha_{\text{sismik}}$  STS) değiştirilerek, farklı şev açılarında duraylılık incelemeleri yapılmıştır.

Ortognayslar üzerinde ISRM (1981) dikkate alınarak birim hacim ağırlık tayini ve ISRM (1978b) standardına göre 3 tanesi deformasyon kontrollü olmak üzere toplam 12 adet tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi yapılmış ve sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'teki tek eksenli sıkışma değerleri dikkate alınarak, ortognaysların Anon (1977) sınıflandırmasına göre orta dayanımlı kayaçlar olduğu söylenebilir.

Çizelge 3. Ortognaysların nümerik analizlerde kullanılan fiziko-mekanik özellikleri.

Table 3. The physico-mechanical properties of the orthogneisses used in the numerical analyses.

Bulunan fiziko-mekanik parametreler (n: test number)	Deney Sonuçları
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) n: 18	25.9±0.01
$\sigma_{ci}$ (MPa) n: 12	27.34±5.30
$E_i$ (MPa) n: 3	33500±3.04

Kadakçı Koca, Koca

### Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü ile Şev Duraylılığı Analizi

Laboratuvar deneylerinden elde edilen kaya materyalinin dayanım parametreleri, tabaka, foliasyon, çatlak ve faylar gibi süreksizlikler içeren kaya kütesinin dayanımını tam olarak yansıtamamaktadır. Bu süreksizlikler, yenilme düzlemleri olduğundan, kaya kütesi dayanımını azaltmaktadır. Kaya kütesi dayanımını, kaya materyali özelliklerinden en doğru yaklaşımla tahmin edebilmek için Hoek vd. (2002) tarafından Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü önerilmiştir. Çatlaklı kaya kütleleri için Genelleştirilmiş Hoek-Brown ampirik bağıntısı Eşitlik 3'te verilmiştir:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3 / \sigma_{ci}) + s]^a \quad (3)$$

Bu denklemde,  $\sigma_1'$  ve  $\sigma_3'$ , yenilme anındaki maksimum ve minimum asal gerilmeler;  $m_b$  ve  $s$  kaya materyaline,  $m_b$  ise kaya kütesine ait Hoek-Brown sabitleri;  $\sigma_{ci}$  kaya materyalinin tek eksenli sıkışma dayanımı,  $a$  ise kaya kütle özelliklerine dayanan üssel bir ifadedir. Hoek-Brown sabitleri, GSI ve  $D$  değeri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerden elde edilebilir:

$$m_b/m_i = \exp ((GSI-100) / (28- 14D)) \quad (4)$$

$$s = \exp ((GSI-100) / (9- 3D)) \quad (5)$$

$$a = 1/2 + 1/6 (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (6)$$

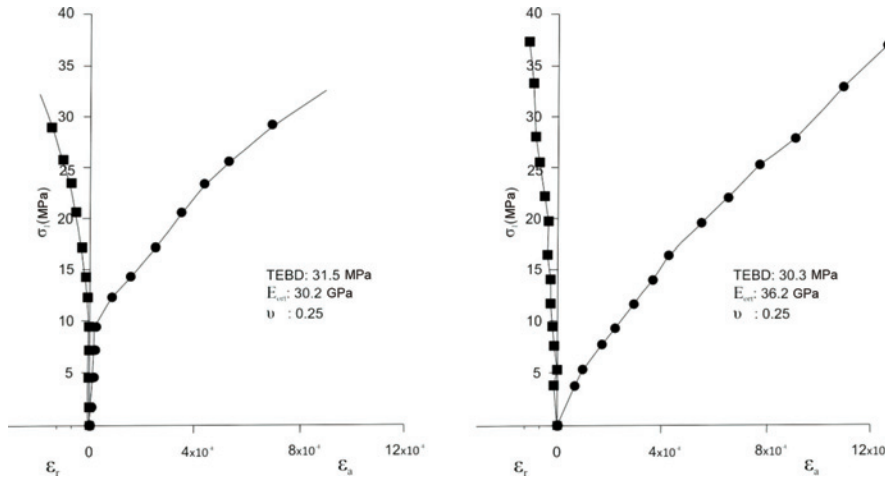
GSI parametresi, blok boyutu ve yüzey koşulları gibi süreksizlik özelliklerinin kaya kütesi dayanımındaki azaltıcı etkisini dikkate alarak Marinos ve Hoek (2001) tarafından oluşturulan tablolardan belirlenebilen, arazi verilerine dayanan bir değerdir. GSI değeri 10 (çok zayıf kaya) ve 100 (sağlam kaya) arasında değişir.  $D$  ise patlatma şeklinin kaya kütesi üzerinde oluşturduğu deformasyon dikkate alınarak Hoek (2006)'da verilen tablodan faydalanılarak belirlenebilir.  $D$  değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, sırasıyla örselenmemiş kaya kütesi ve çok örselenmiş kaya kütesini temsil etmektedir. Kaya materyalini tanımlayan  $m_i$ , 4 ile 33 arasında değer alır ve tablodan (Hoek, 2006) veya kaya materyali üzerinde yapılan üç eksenli sıkışma dayanımında uygulanan asal gerilmelerden faydalanılarak bulunabilir. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü ile FEM kullanılarak yapılan analizler için gerekli diğer parametreler Tablo 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü dikkate alınarak yapılan nümerik analizlerde kullanılan kaya materyali ve kaya kütle özellikleri.

Table 4. Rock material and rock mass properties used in the numerical analyses considering the Generalized Hoek-Brown Criterion.

Kaya Tipi:	Kaya Materyali Özellikleri			Kaya Kütle Özellikleri				
	Dilatasyon parametresi: 0			Poisson oranı ( $\mu$ ): 0.25				
	Birim Hacim Ağırlık: 0.026 MN/m <sup>3</sup>							
Orta derecede ayrışmış Ortogneys	$m_i$	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$E_i$ (MPa)	GSI	$s$	$a$	$m_b$	$E_{tm}$ (MPa)
	20	27.34	33500	35	0.0001	0.516	0.562	1500.76
				40	0.0002	0.511	0.740	1950.72
				45	0.0003	0.508	0.974	2621.66

$D = 0.7$



Şekil 5. Ortogneys karot örneği üzerinde yapılan deformasyon kontrollü tek eksenli sıkışma dayanımı deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi.

Figure 5. The stress-strain curve obtained from the strain controlled uniaxial compressive strength test conducted on the core sample of the orthogneisses.

Kaya materyali üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile  $\sigma_{ci}$  belirlenmiştir. Deformasyon kontrollü tek eksenli sıkışma deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi (Şekil 5) dikkate alınarak kaya materyaline ait ortalama elastisite modülü ( $E_i$ ) belirlenmiştir (Koca vd., 2010).

$E_{mm}$  (kaya kütesinin elastisite modülü) ise RocLab V.0.1 (Rocscience, 2007) bilgisayar programında Hoek ve Diederichs (2006)'ya ait eşitlik dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu eşitlik,  $E_i$ , D ve GSI değerlerine dayanmaktadır:

$$E_{mm} = E_i (0.02 + (1 - (D/2)) / 1 + e^{(60+15D-GSI)/11}) \quad (7)$$

(GPa)

Materyal özellikleri dışında, programa piyezometrik ve sismik özellikler de girildiğinde her bir durum için SRF değerleri hesaplanmıştır. 5 adet jeoteknik kesit için, farklı koşullar (5 adet şev açısı, 4 adet sismik katsayı değeri, 3 adet GSI değeri, 3 adet piyezometrik durum) uygulandığında oluşan kombinasyon sayısı kadar

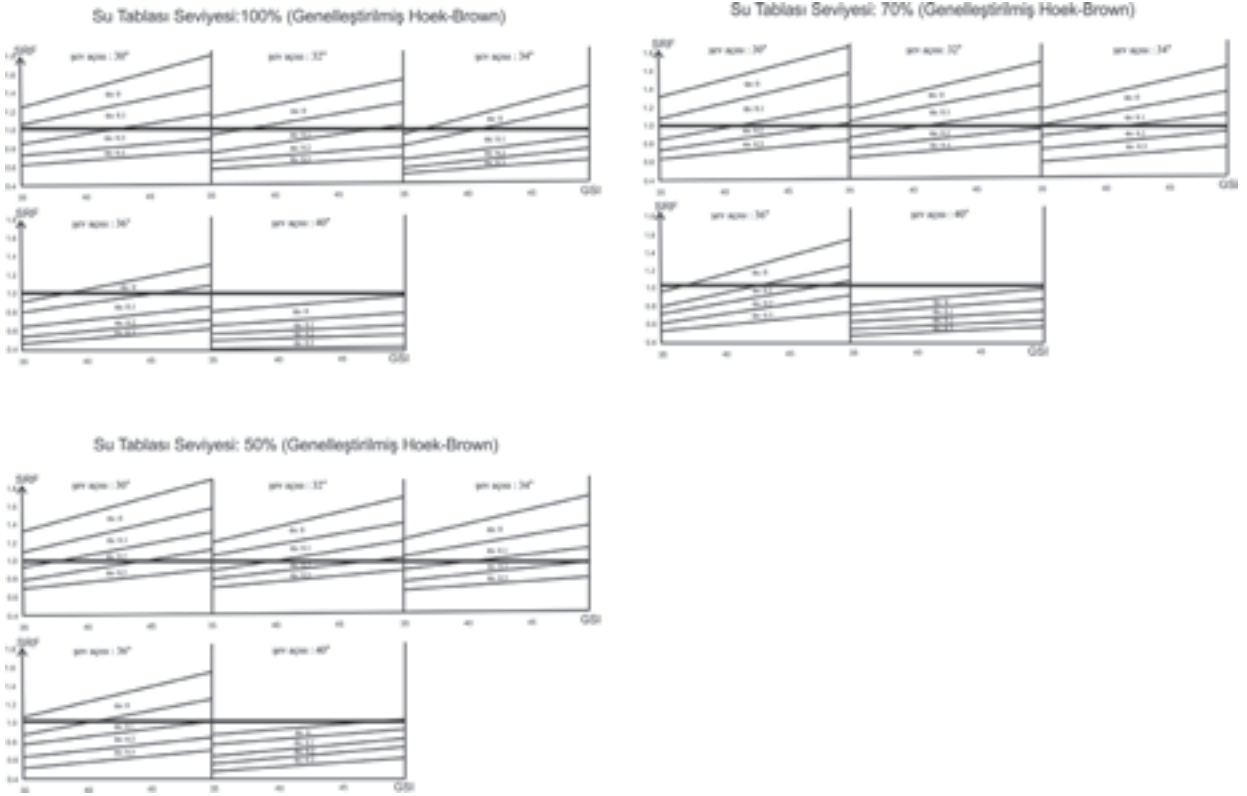
SRF değeri elde edilmiştir. SRF değerlerinin her bir koşuldaki değişimi grafiksel olarak Şekil 6'da verilmektedir.

900 adet SRF değerinin hangi değişken ile yüksek korelasyona sahip olduğunu belirlemek amacıyla da SPSS V.15.0.1 (2006) programı kullanılarak çok değişkenli analiz yapılmıştır. Bu analiz sonucunda, SRF değeri üzerinde en etkili parametrenin şev açısı olduğu, daha sonra sırasıyla, GSI, şevdeki su tablası seviyesi (STS %), sismik katsayı ve şev yüksekliğinin geldiği belirlenmiştir. Bağımlı değişken olarak SRF değerinin bağımsız değişkenlerle olan doğrusal regresyon analizleri sonucunda ise, korelasyon katsayısı 0.696 olan doğrusal bir eşitlik elde edilmiştir.

$$SRF = 2.060 - 0.399\alpha_{sismik} - 0.039\alpha_{şev} + 0.017GSI - 0.002STS - 0.002H_{şev} \quad r: 0.696 \quad (8)$$

( $\alpha_{sismik}$ : sismik katsayı;  $\alpha_{şev}$ : şev açısı; GSI: Jeolojik Dayanım İndeksi; STS: su tablası seviyesi;  $H_{şev}$ : şev yüksekliği)

Kadakçı Koca, Koca



Şekil 6. Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü'nü dikkate alan, farklı su tablası seviyeleri için, GSI değerleri ile SRF değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler.

Figure 6. The graphs showing the relationship between GSI and SRF values under the conditions of various water table levels considering the Generalized Hoek-Brown Criterion.

### Eşdeğer Mohr-Coulomb Parametreleri ile Şev Duraylılığı Analizleri

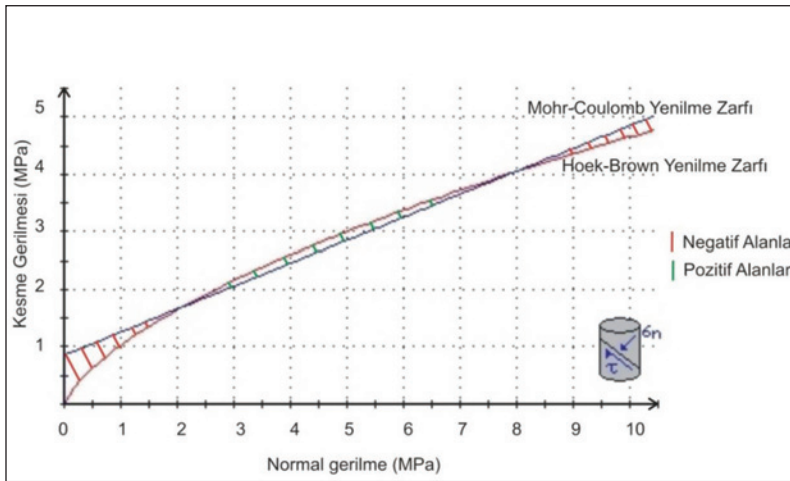
Hoek vd. (2002) tarafından, Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri, belirli bir gerilme aralığında, doğrusal Mohr-Coulomb ile doğrusal olmayan Hoek-Brown eğrilerinin arasındaki alanların en aza indirgenmesiyle bulunan  $c$  ve  $\phi$  değerleri olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle, Mohr-Coulomb eğrisinin geometrik olarak pozitif alanlarının (Mohr-Coulomb doğrusunun üzerindeki alan) toplamı, negatif alanlarının

(Mohr-Coulomb doğrusunun altındaki alan) toplamına eşitlenmeye çalışılır (Şekil 7).

Bu çalışmadaki modellerde, süreksizlik özellikleri şev modeline girilmeden, Hoek vd. (2002) tarafından önerilen eşitliklerle bulunan Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri kullanılarak duraylılık çalışmaları yürütülmüştür.

İki yenilme zarfının birbirlerine uyum işlemi, şevdeki çekme dayanımından maksimum sıkışma dayanımına kadar olan gerilme aralığında yapılmaktadır. Hoek (2006) tarafından Eşdeğer





Şekil 7. Doğrusal Mohr-Coulomb ve doğrusal olmayan Hoek-Brown Yenilme zarflarının arasındaki negatif ve pozitif alanların grafiksel gösterimi.

Figure 7. The graphical definition of the positive and negative areas between linear Mohr-Coulomb and non-linear Hoek-Brown failure envelopes.

Mohr-Coulomb parametrelerinin hesaplanması Eşitlik 9 ve 10'da verilmiştir:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (9)$$

$$c' = \left[ \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{[(1+a)(2-a) + [1+6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} / (1+a)(2+a)]^{0.5}} \right] \quad (10)$$

Formüllerdeki  $\sigma'_{3n}$ ; materyalin maksimum sıkışma dayanımının, tek eksenli sıkışma dayanımına oranıdır. Maksimum sıkışma dayanımı Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme zarflarının aralarındaki ilişkinin irdelendiği üst sınırdır ve Eşitlik 11'de verilmektedir:

$$\sigma'_{3max} = 0.72 \sigma'_{cm} (\sigma'_{cm} / \gamma H)^{-0.91} \quad (11)$$

Burada,  $\gamma$ , kaya kütlelerinin birim hacim ağırlığı; H, şev yüksekliği;  $\sigma'_{cm}$ , ise global kaya kütle dayanımıdır ve Eşitlik 12 ile hesaplanır:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \left[ \frac{m_b + 4s - a(m_b - 8s)(m_b/4 + s)^{a-1}}{(1+a)(2+a)} \right] \quad (12)$$

Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri, Phase<sup>2</sup> programı içerisindeki, RocLab V.0.1 (Rocscience, 2007) programı ile hesaplanmış ve Tablo 5'te sonuçları verilmiştir.

Nümerik hesaplamalar sonucunda elde edilen 900 adet SRF değerinin bağımlı olduğu parametrelere göre değişimi grafiksel olarak Şekil 8'de verilmiştir. Daha sonra, SRF değerleri üzerinde çok değişkenli analiz yapılmıştır. SRF değeri üzerinde en etkili parametrenin şev açısı olduğu daha sonra ise sırasıyla, su tablası seviyesi (STS %), GSI, sismik katsayı ve şev yüksekliğinin geldiği belirlenmiştir. Doğrusal regresyon analizleri sonucunda ise, korelasyon katsayısı 0.680 olan doğrusal bir eşitlik elde edilmiştir.

$$SRF = 3.037 - 0.593\alpha_{sismik} - 0.060\alpha_{şev} + 0.021GSI - 0.006STS - 0.003H_{şev} \quad r: 0.680 \quad (13)$$

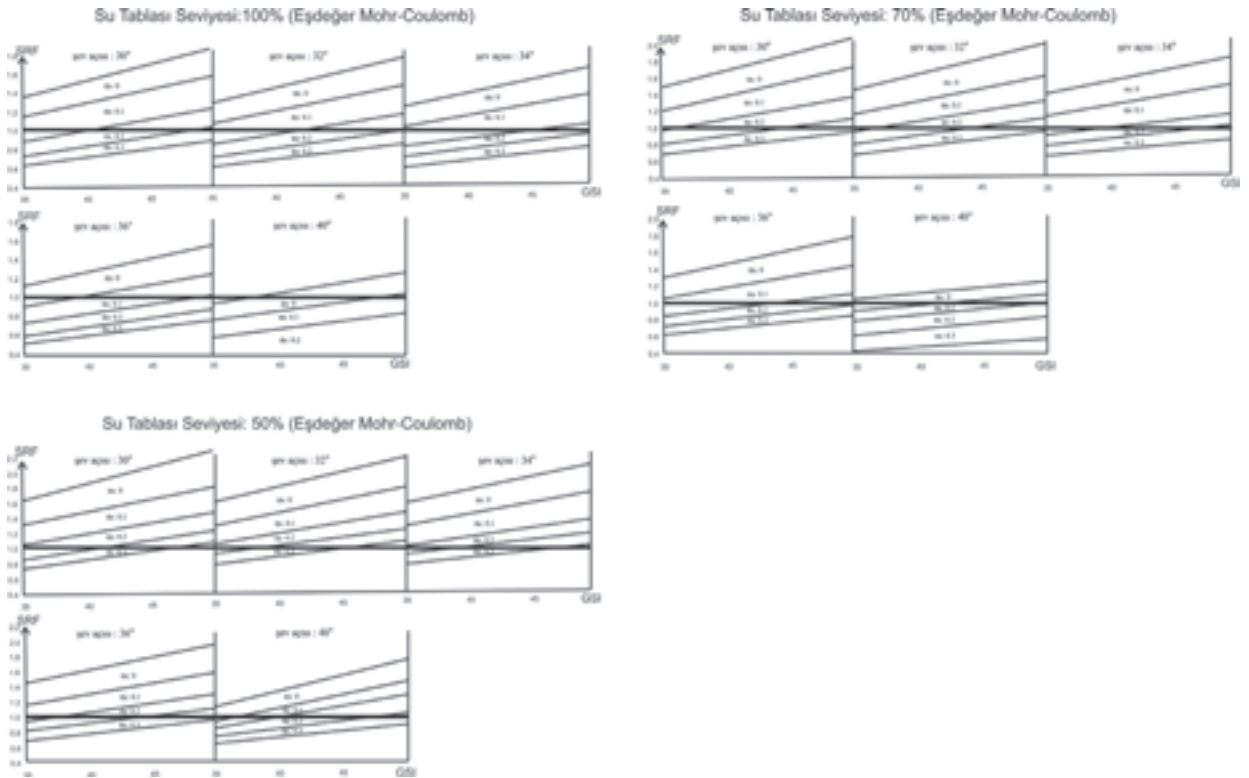
Kadakçı Koca, Koca

Çizelge 5. Farklı GSI değerleri ve her bir kesite ait şev yüksekliği için nümerik analizlerde kullanılan eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri.

Table 5. The Equivalent Mohr-Coulomb parameters used in the numerical analyses for various GSI values and the slope heights of each cross-section.

Kesit Hatları	Şev Yüksekliği (m)	Ortognays Kaya Kütle Özellikleri											
		GSI											
		35				40				45			
		c (MPa)	$\Phi$ (°)	$\sigma_t$ (MPa)	$E_m$ (MPa)	c (MPa)	$\Phi$ (°)	$\sigma_t$ (MPa)	$E_m$ (MPa)	c (MPa)	$\Phi$ (°)	$\sigma_t$ (MPa)	$E_m$ (MPa)
A-A'	135	0.436	29.46			0.497	31.83			0.562	34.17		
B-B'	123	0.412	30.14			0.470	32.53			0.531	34.87		
C-C'	132	0.430	29.62	0.004	1500.76	0.491	32	0.006	1950.72	0.526	35	0.010	2621.66
D-D'	121	0.408	30.26			0.465	32.65			0.554	34.34		
E-E'	101	0.365	31.58			0.416	34.01			0.471	36.38		

Dilatasyon Açısı ( $\psi$ ): 0



Şekil 8. Eşdeğer Mohr Coulomb Parametrelerini dikkate alan GSI değerleri ile SRF değerleri arasındaki ilişkiyi farklı su tablası seviyeleri için gösteren grafikler.

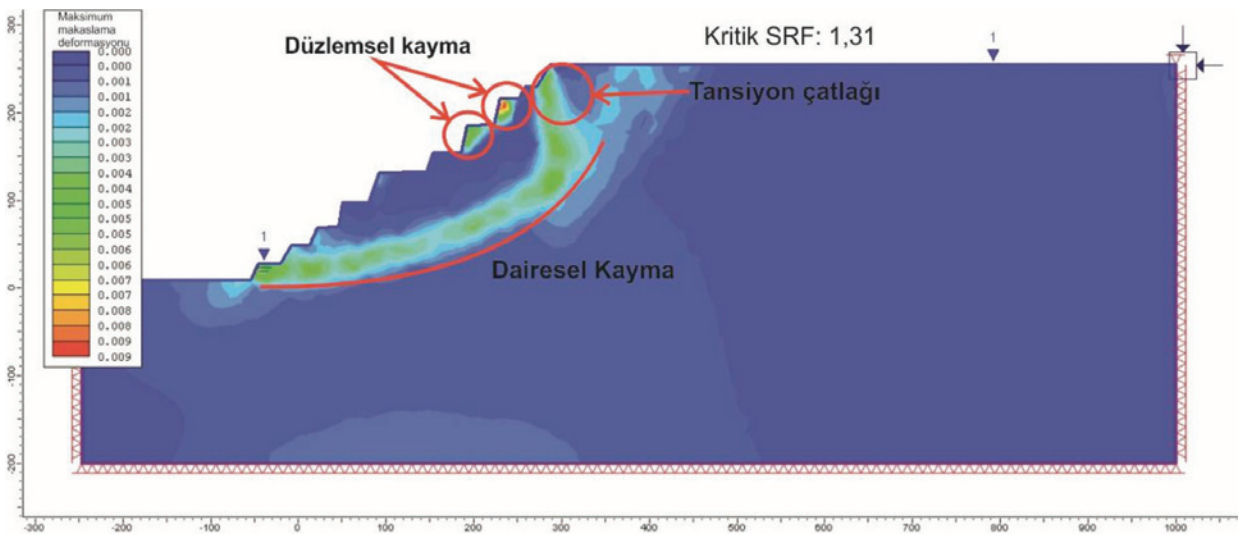
Figure 8. The graphs showing the relationship between GSI and SRF values under the conditions of various water table levels considering the Equivalent Mohr-Coulomb Parameters.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Albit açık ocak işletmesinin doğu yamacında yeralan ortognaysların şev duraylılığı değerlendirmesi için, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayanan Phase<sup>2</sup> programı, Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü ve eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri dikkate alınarak kullanılmıştır. Kayma türü ve nihai şev açısı tahmin edilmiş, her iki yöntemin uygulanabilirliği incelenmiş, değişken parametrelerin şev duraylılığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak belirlenmiştir. Şevleri oluşturan basamaklarda ( $\alpha_{\text{şevbasamak}} = 40-60^\circ$ ), eğim açıları  $32^\circ-40^\circ$  arasında değişen foliasyon düzlemleri düzlemsel kayma oluştururken,  $\alpha_{\text{şev}} < \alpha_{\text{foliasyon}}$  durumu olduğu için genel şevde oluşturmamaktadır. Bir diğer ifade ile, foliasyon düzlemleri ya genel şeve paralel konumda ya da yamaç tabanına doğru

yönelmektedir. Analizlerde belirlenen kayma yüzeyi, tansiyon çatlaklarından başlayarak, rotasyonel bir özellik ile şev topuğuna kadar devam etmektedir (Şekil 9).

Basamaklardaki yenilme, foliasyon ve basamak yönelimlerinin ilişkisi değerlendirildiğinde düzlemsel iken, tüm şevde rotasyonel bir kayma düzlemi belirlenmiştir. Şev modeline, süreksizlikler ve bu süreksizliklerin bazı jeoteknik özellikleri (açıklık, aralık, devamlılık gibi) girilmemiştir; bunun yerine, aynı özellikleri karşılayan GSI,  $m_i$  ve D değerleri ile kaya kütle parametreleri tanımlanmıştır. Bu nedenle program, düşük-orta dayanımlı olan ortagnays kaya kütlelerini relatif olarak çok çatlaklı kaya kütleleri sınıfında değerlendirerek dairesel bir kayma yüzeyi oluşturmuştur.



Şekil 9. Kayma türünü gösteren program çıktısı (GSI:40, şev açısı:  $36^\circ$ , depremsiz koşul, 100% doymun, B-B' kesiti, Mohr-Coulomb Ölçütü).

Figure 9. The output of the failure mode (GSI:40, slope angle:  $36^\circ$ , non seismic, 100% saturated, B-B' cross section, Mohr-Coulomb Criterion).

Kadakçı Koca, Koca

Şev açısının duraylılık üzerindeki etkili parametre olduğu, bunu takiben sırasıyla, suya doygunluk, GSI, sismik katsayı ve şev yüksekliğinin geldiği belirlenmiştir.

Şekil 6'da ve şekil 8'de grafiksel olarak açıklandığı gibi, 36° ve 40° şev açılarında, sismik koşulların bulunmadığı durumda bile yenilme meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, suya doygunluğun % 70, sismik katsayının 0.1g, GSI değerinin ise 42 olduğu öngörüldüğünde, oluşturulan grafiklerden, nihai şev açısının 32° olması gerektiği belirlenmiştir.

Her iki yöntemden elde edilen, normal dağılım gösteren SRF değerlerini karşılaştırmak amacıyla yapılan "bağımlı iki örneklem T testi" sonucunda, iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal olarak mı yoksa istatistiksel olarak mı anlamlı olduğu belirlenmiştir. t testi, nümerik analizlerde kullanılan 5 farklı şev açısı için, Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri arasındaki ilişkiyi belirlemek

amacıyla uygulanmıştır. % 95 güven düzeyinde, bağımlı örneklem ortalamaları arasında anlamlı bir fark ( $p < .05$ ) olduğu saptanmıştır. Her bir şev açısı için, iki yönteme ait ortalama SRF değerleri arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre, iki yöntem arasındaki ilişkinin göreceli olarak şev açısı arttıkça azaldığı görülmektedir.

Mohr-Columb Ölçütü'nün 40°'lik şev açısında çok düşük SRF değerleri vermesinin, yerel kaymayı tetikleyebilecek şev geometrisine bağlı olduğu düşünülmüştür. Sonuç olarak eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri kullanılarak yapılan analizlerde 40°'den düşük açılarda Genelleştirilmiş Hoek-Brown Ölçütü'ne göre ortalama 0.14 kadar daha yüksek SRF değerleri elde edilirken, 40°'den dik şevler için çok daha düşük SRF değerleri elde edilmiştir. Bu da, eşdeğer parametreler kullanılarak uygulanan Mohr-Coulomb Ölçütü'nün çok çatlaklı kaya kütlelerinde 40°'den dik şevler için tercih edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 6. Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Eşdeğer Mohr-Coulomb parametreleri ile elde edilen SRF değerlerinin ortalamaları arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren, 5 farklı şev açısı için bağımlı iki örneklem T testi çıktısı.

Table 6. *The T test output of the paired samples for 5 different slope angles showing correlation coefficients of the mean SRF values obtained from Generalized Hoek-Brown and Equivalent Mohr-Coulomb parameters.*

Şev açısı	Bağımlı İki Örneklem Korelasyonları		
	N	Korelasyon	Sig.
30°	180	0.961	0.000
32°	180	0.920	0.000
34°	180	0.931	0.000
36°	180	0.916	0.000
40°	180	0.645	0.000

N: Karşılaştırılan veri sayısı

Sig. : p değeri

**KAYNAKLAR**

- Anon, 1977. The description of rock masses for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 10, 43–52.
- Candan, O., Çetinkaplan, M., Oberhansli, R., Rimmele, G., Akal, C., 2005. Alpine high-pressure/Low temperature metamorphism of Afyon Zone and implication for metamorphic evolution of western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 84, 102-124.
- Dips V 6.0, 2012. Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data, Rocscience Inc.
- Fukushima, Y., Tanaka, T., 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 757-783.
- Graciansky, P., 1965. Précisions sur le métamorphisme du massif de Menderes le long de sa bordure meridionale. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 64, 9-23.
- Hammah, R.E., Yacoub, T.E., Corkum, B., Curran, J.H., 2005. The Shear strength reduction method for the Generalized Hoek-Brown Criterion. In *Proceedings of the 40<sup>th</sup> U.S. Symposium on Rock Mechanics*, AlaskaRocks 2005, Anchorage, Alaska.
- Hoek, E., 2006. Rock Mass Properties, In *Practical Rock Engineering*. Canada: The University of Toronto Press, 1-47 p.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering* (3<sup>rd</sup> Edition). Institution of Mining and Metallurgy, London, 309 p.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34 (8), 1165–1186.
- Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 203–215.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown criterion-2002 edition. In *Proceedings of North American Rock Mechanics Symposium*, Toronto, Canada, 1, 267-273.
- <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical.php/>
- ISRM, 1978a. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 319-368.
- ISRM, 1978b. suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16, 135-140.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, 211 p.
- Koca, M. Y., Kahraman, B., Karakuş, D., Özdoğan, M. V., 2010. General assessment of the stability of Overall slope of Ali Paşa Albite Mine, D.E.Ü. İZTEK, İzmir, 156 s.
- Li, A.J., Merifield, R.S., Lyamin, A.V., 2008. Stability charts for rock slopes based on the Hoek–Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 689-700.
- Marinos, P., Hoek, E., 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bulletin of the Engineering Geology and the Environment*, 60, 85-92.
- Nekouei, A.M., Ahangari, K., 2013. Validation of Hoek–Brown failure criterion charts for rock slopes. *International Journal of Mining Science and Technology*, 23 (6), 805-808.

Kadakçı Koca, Koca

- Phase 2 V 7.013, 2010. Two-dimensional finite element analysis program. Rocscience Inc.
- RocLab V.0.1, 2007. Rock Mass Strength Analysis using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion. Rocscience Inc.
- Sofianos A.I., 2003. Tunnelling Mohr-Coulomb strength parameters for rock masses satisfying the generalized Hoek-Brown failure criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 435-440.
- Sofianos, A. I., Halakatevakis, N., 2002. Equivalent tunnelling Mohr-Coulomb strength parameters for given Hoek-Brown ones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 131-137.
- Sofianos, A.I., Nomikos, P.P., 2006. Equivalent Mohr-Coulomb and generalized Hoek-Brown strength parameters for supported axisymmetric tunnels in plastic or brittle rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 683-704.
- SPSS V. 15.0.1, 2006. Statistical Package For Social Sciences. IBM.
- Şengör, A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. In Coward, M. P., Dewey, J. F., Hancock, P. L., (Ed.). *Continental Extensional Tectonics*, Geological Society (28th ed.), 575-589.
- Tanyaş, H., Ulusay, R., 2013. Assessment of structurally-controlled slope failure mechanisms and remedial design considerations at a feldspar open pit mine, Western Turkey. *Engineering Geology*, 155, 54-68.
- Uygun, A., Gümüştü, A., 2000. Geology and origin of the albite deposit of the Çine submassif, southern Menderes Massif (SW-Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 122, 23-30.

## Pasa Yığınları için Statik Koşullarda Şev Duraylılığının Araştırılmasının Önemi: Yeniköy Linyitleri İşletmesi Yaylıktepe Sahası Örneği

*Importance of the Investigation of Slope Stability for Spoil Piles under Static Conditions: A Case from Yaylıktepe Site, Yeniköy Lignite Enterprises*

**Hasan KARAKUL**

*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi, ANKARA*

Geliş (received) : 05 Şubat (February) 2014  
Düzeltilme (revised) : 17 Mart (March) 2014  
Kabul (accepted) : 21 Mart (March) 2014

### ÖZ

Açık işletmelerde cevhere ulaşmak için yapılan kazı sonucu elde edilen örtü (pasa) malzemesinin belirli alanlarda biriktirilmesi ve bu alanların doğaya yeniden kazandırılması çalışmaları madencilik sonucu doğada yaratılan tahribatların ortadan kaldırılabilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmaların önemli bir aşaması da oluşturulacak pasa yığın şevlerinin duraylılığının araştırılmasıdır. Bu çalışmada, Muğla-Milas Sekköy Linyit Açık İşletmesi Yaylık tepe sahasındaki pasa yığınları şev duraylılığı açısından incelenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayin edilmesi amacıyla yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda pasa malzemesinin yaklaşık olarak eşit oranlarda iri ve ince taneli malzeme içerdiği ve düşük plastisite indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Duraysızlık anında etkin olan makaslama dayanımı özelliklerinin belirlenmesi için sahada gözlenmiş pasa yığını duraysızlıkları geriye dönük analiz edilmişlerdir. Bu analizlerin sonuçlarıyla laboratuvar deneylerin sonuçları karşılaştırılmış ve duraysızlık anında pasa malzemesi için artık dayanımı özelliklerinin etkin olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen veriler ve saha gözlemleri ışığında çalışma alanındaki pasa yığını şevleri için Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nde belirtilen ilkeler gözetilerek, güvenli ve ekonomik olabilecek tek ve çok basamaklı pasa yığını şev geometrileri için tasarım analizleri gerçekleştirilmiştir. 10, 20 ve 30 m şev yükseklikleri dikkate alınarak yapılan analizlerde tek basamaklı şev profilleri için 20° ile 40° arasında, çok basamaklı şev profilleri için ise yaklaşık 19°'lik genel şev açısı değerleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Artık dayanım, Geriye dönük analiz, Pasa, Plastisite indeksi, Şev duraylılığı.

**ABSTRACT**

*The studies related the deposition of the spoil piles, which is obtained by mining excavation in open pit mines, and the reclamation of the depositional areas are very important to overcome the induced destruction of the nature. A significant part of these studies is the investigation of the slope stability of spoil piles. In this study, slope stability analyses have been performed for the spoil piles of the Sekköy open pit mine in Muğla-Milas. Experimental results indicated that the spoil material includes nearly equal amount of coarse and fine grains, and has low plasticity index. With the purpose of determining the mobilized shear strength parameters at the time of failure, back analyses have been performed for the spoil pile failures observed in the study area. The comparison of data from the back analyses and the laboratory tests reveals that residual strength values were mobilized at the time of failure for the spoil material. By considering the data obtained and the field observations, one and multi-bench economical and safe slope design analyses have been performed for the spoil piles in the study area in accordance with the rules in the regulation on reclamation of the sites destructed by mining applications. According to the results of the analyses for 10, 20 and 30 m slope heights, 20-40° and 19° overall slope angle values were determined for one and multi-bench slopes, respectively.*

**Key Words:** *Residual strength, Back analysis, Spoil, Plasticity index, Slope stability.*

**GİRİŞ**

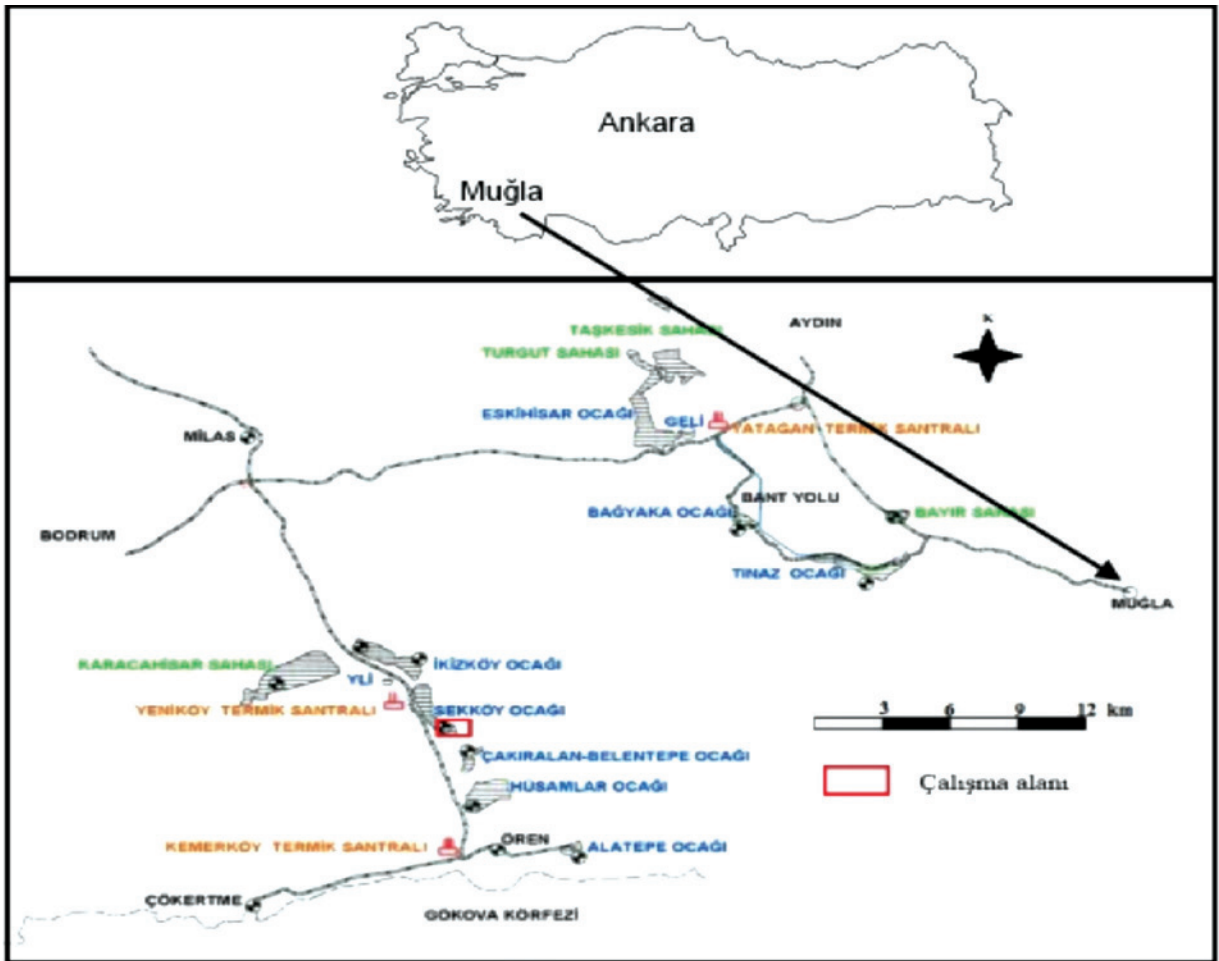
Açık işletme madenciliği yapılan alanlarda gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri sonucu o alanlardaki doğal yapının bozulması söz konusu olmaktadır. Bu alanların doğaya yeniden kazandırılmasının önemli bir aşaması da madencilik faaliyetleri sonucunda elde edilen pasa yığınlarının duraylılığının incelenmesidir. Bugüne değin pasa yığınlarının duraylılığının incelenmesi ile ilgili olarak çok sayıda çalışma (Ulusay vd.,1994; Ulusay vd., 1995a; Ulusay vd.,1995b;. Stormont ve Farfan, 2005; Kaşmer ve Ulusay, 2006; Kaşmer vd., 2006; Jeldes vd., 2013; Bradfield vd., 2013) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları (Ulusay vd.,1994; Ulusay vd.,1995a; Ulusay vd.,1995b) pasa yığınlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve duraylılıklarının limit denge analiz yöntemleri ile

araştırılması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Pasa yığınlarının duraylılığının limit denge analiz yöntemlerinin yanı sıra nümerik yöntemlerle de incelediği bazı çalışmalar da (Kaşmer ve Ulusay, 2006; Kaşmer vd. 2006) mevcuttur. Stormont ve Farfan (2005) diğer çalışmalardan farklı olarak pasa yığınlarının duraylılığının incelenmesinde sonsuz şev yönteminin kullanıldığı coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bir model kullanmıştır. Jeldes vd., (2013) pasa yığınlarının duraylılıklarının değerlendirilmesi ile ilgili olarak doğaya yeniden kazandırılması kapsamında geliştirilmiş olan orman geri kazanım yaklaşımı ilkelerini esas almıştır. Bradfield vd. (2013) ise çok farklı tane boyutlarına sahip pasa malzemelerinin makaslama davranışının araştırılmasında daha büyük boyutlu örneklerin kullanılabilirdiği (0.72 m \* 0.72 m \* 0.6 m) direk makaslama deney düzeneğinden yararlanmışır.



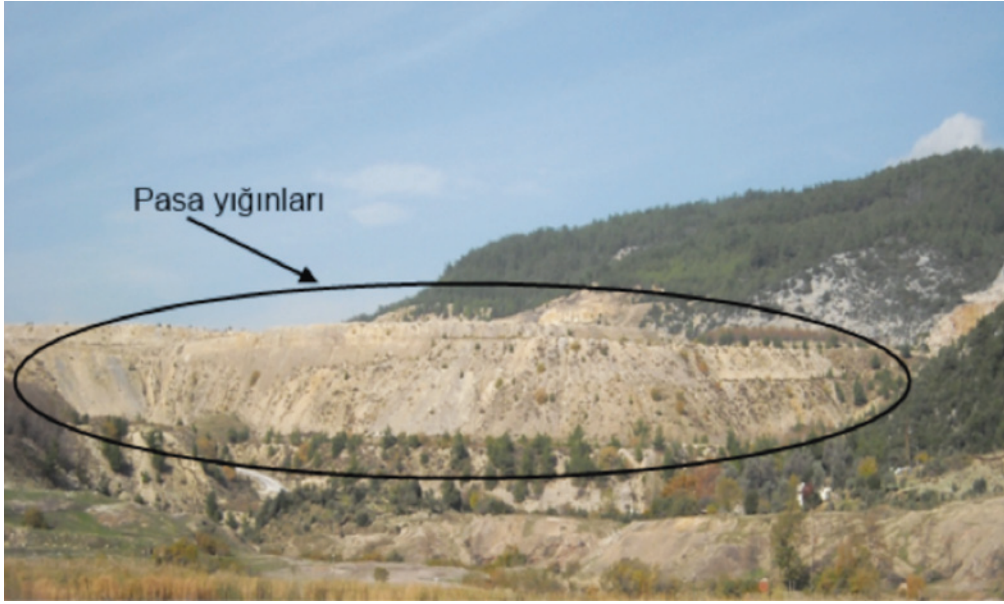
Yukarıda ifade edilen çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından işletilen Yeniköy Linyitleri İşletmesi'nde (YLI) yer alan Yaylık tepe pasa döküm sahasındaki pasa yığınları için Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 23 Ocak 2010 tarihli Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'ndeki (2000) hususlar dikkate alınarak şev duraylılık çalışmaları

gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yönetmelikte, tek basamaklı şev tasarımları için  $30^\circ$  üst sınırı mevcutken çok basamaklı şev tasarımları için basamak yüksekliğinin en fazla 3 m basamak genişliğinin ise en az 5 m olacak şekilde düzenlenmesi ile ilgili maddeler bulunmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1'de, çalışma alanındaki pasa yığınlarının genel görünümü Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.



Şekil 2. Çalışma alanındaki pasa yığınlarının genel görünümü.  
Figure 2. General view of the spoil piles in the study area.

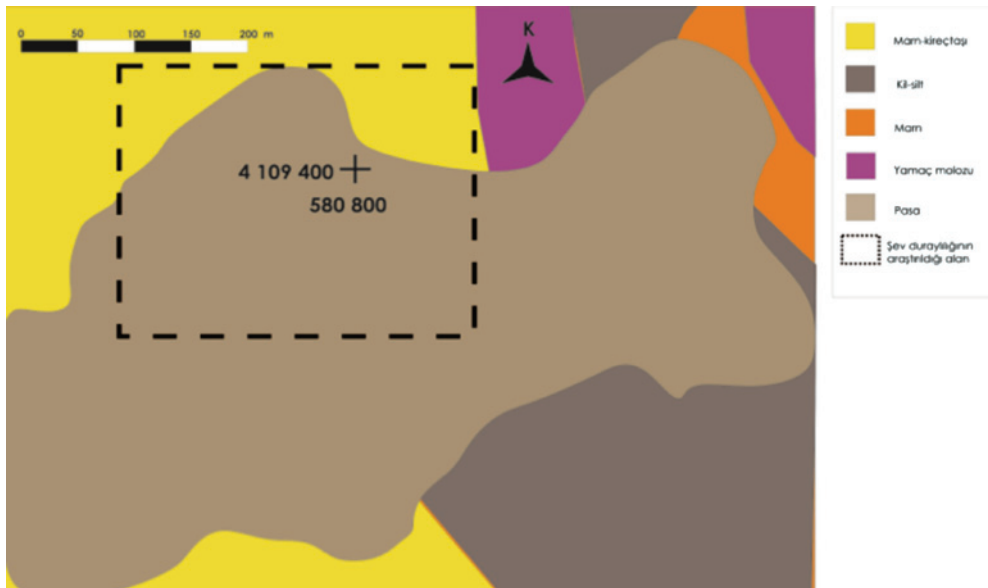
Bu kapsamda öncelikle, çalışma alanında belirlenmiş olan duraysızlıklara yönelik gözlem ve araştırmalar yapılmıştır. Geçmişte meydana gelmiş duraysızlıkların incelenmesi sonucunda çalışma konusu olan pasa yığınlarının Sekköy formasyonuna ait marn-kireçtaşı birimlerinden oluşan sert taban üzerine yığılmış oldukları ve bu tip şevler için dairesel türde ve tabandaki kaya türü malzemedan bağımsız duraysızlıkların geliştiği gözlenmiştir. Gerçekleştirilen jeoteknik amaçlı saha çalışmaları kapsamında pasa malzemesine ait fiziksel ve mekanik özelliklerin tayininde kullanılmak amacıyla pasa yığını içinden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmış ve bu örnekler üzerinde yapılan deneylerle pasa malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvarında belirlenmiştir. Ayrıca pasa malzemesi için duraysızlık anında (kayma yüzeyleri boyunca) etkin olan makaslama

özelliklerinin (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlenmesi amacıyla söz konusu pasa döküm alanında gözlenen şev duraysızlıklarının geometrileri arazide alınan topoğrafik ölçümlerle belirlenmiş ve bunlarla ilgili geriye dönük analizler yapılmıştır. Bu aşamadan sonra ise, doğaya yeniden kazandırma yönetmeliğindeki ilkeler dikkate alınarak, incelenen döküm sahası için tek ve çok basamaklı pasa döküm şevlerinin güvenli ve ekonomik şekilde tasarımı için bir dizi şev duraylılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, günümüze değin şev tasarımı için kullanılmış olan güvenlik katsayısı değerleri ile Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nde ifade edilmiş düzenlemeler için elde edilen şev tasarımları karşılaştırılmış ve her iki koşulu da sağlayan tasarım önerileri geliştirilmiştir.

## ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanında Neojen öncesi kayalar ve Neojen çökelleri olmak üzere iki ana stratigrafik birim bulunmaktadır (Yiğitel, 1978; Yücel vd., 1990). Neojen öncesi kayalar sahanın güneyinde yayılım gösteren Paleozoyik şistler ve doğu kesimindeki kireçtaşlarıdır. Neojen çökelleri ise yaşlıdan gence doğru; taban serisi (Turgut formasyonu), kömür bandı, marn-kireçtaşı serisi (Sekköy formasyonu), yamaç molozları ve alüvyondan oluşmaktadır. Turgut formasyonu olarak adlandırılan taban serisi esas olarak konglomera, kum, silt ve çakıl içeriğine sahip yüksek plastisiteli kil seviyelerinden ibarettir. Bu serinin üzerinde bej renkli kil ve kilaşlarından oluşan ara kesmeler içeren kömür bantları görülmektedir (Yücel vd., 1990). Kömür bandı üzerinde marn-kireçtaşı serisi bulunmaktadır. Kömür bandını da içeren bu seri Sekköy formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Yiğitel,

1978). Kompakt marnlar, kömür bandının hemen üzerinde yaklaşık 4 metrelik kalın tabakalara sahip olup, daha üst seviyelerde laminalı marnlar bulunmaktadır. Laminalı marnlar gri ve bej renkli olup siltli, killi ve kalkerli aralanmalar göstermektedir. Daha üst seviyelerde ise, tabaka kalınlığı yaklaşık 20 cm olan kireçtaşları bulunmaktadır. Apaydın ve Ulusay (1990), laminalı marn ve kireçtaşları arasında ise kılavuz bir kil seviyesinin bulunduğunu belirtmiştir. Boz renkli ve yaklaşık 1 m kalınlığa sahip bu siltli kil seviyesinin X-ışınları kırınım analizleri (XRD) sonuçlarına göre montmorillonit ve az miktarda illit içerdiği belirlenmiştir (Apaydın ve Ulusay, 1990). Marn-kireçtaşı serisinin üzerinde sırasıyla yamaç molozları ve alüvyon birimleri bulunmakta olup, bu birimler özellikle sahanın batısında geniş yer kaplamaktadır. Çalışma alanındaki pasa yığınları büyük ölçüde Sekköy formasyonuna ait kompakt ve laminalı marnlardan oluşmaktadır.



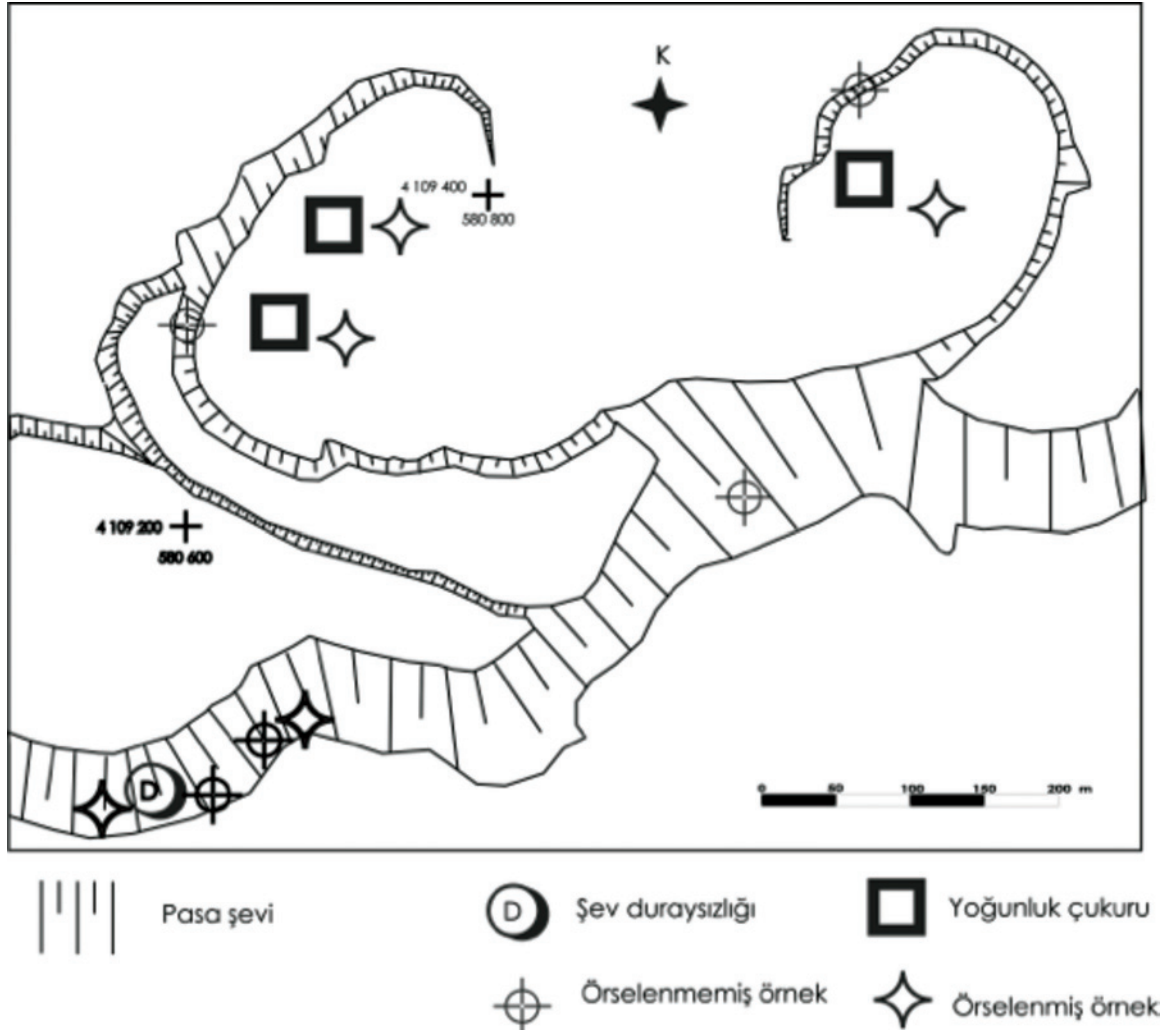
Şekil 3. Çalışma sahasının basitleştirilmiş jeoloji haritası.

Figure 3. Simplified geological map of the study area.

## ÖRNEKLEME

Çalışma alanındaki pasa malzemesinin amaca uygun fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini için dökümlerin bazı kesimlerinden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Örselenmemiş örnekler ince ağızlı metal kesici kalıplar ve 20 cm çap ve 45 cm yüksekliğe sahip ince çeperli tüpler kullanılarak alınmıştır.

Örnekleme sırasında örselenmenin en alt düzeyde tutulması amacıyla ince çeperli tüpler kepçe yardımıyla zemine itilmiştir. Örnekler duraysızlıkların kayma aynalarına komşu konumda bulunan pasa malzemesinden, pasa kütlesi içerisinde ve yerinde birim hacim ağırlık tayininde kullanılmak üzere belirli bir geometri sağlanacak şekilde kepçeyle açılmış olan üç çukurdan elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanındaki pasa yığınlarının planı ve örnekleme yapılan lokasyonlar.

Figure 4. The plan of the spoil piles and sampling locations in the study area.

Malzemedeki dağılma nedeniyle kuru koşullarda örnek alınımının oldukça güç olduğu pasa malzemesinden, kaliteli ve temsil edici nitelikte örnek almak için, taneler arası bağlantıyı yüzey gerilmesi yoluyla sağlayabileceği (malzemeye yalancı kohezyon kazandırma amacıyla) dikkate alınarak örnekleme bölgesi az miktarda suyla ıslatılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Suyla ıslatılmış pasadan örselenmemiş örnek alımı.

*Figure 5. Undisturbed sampling for the wetted spoil material.*

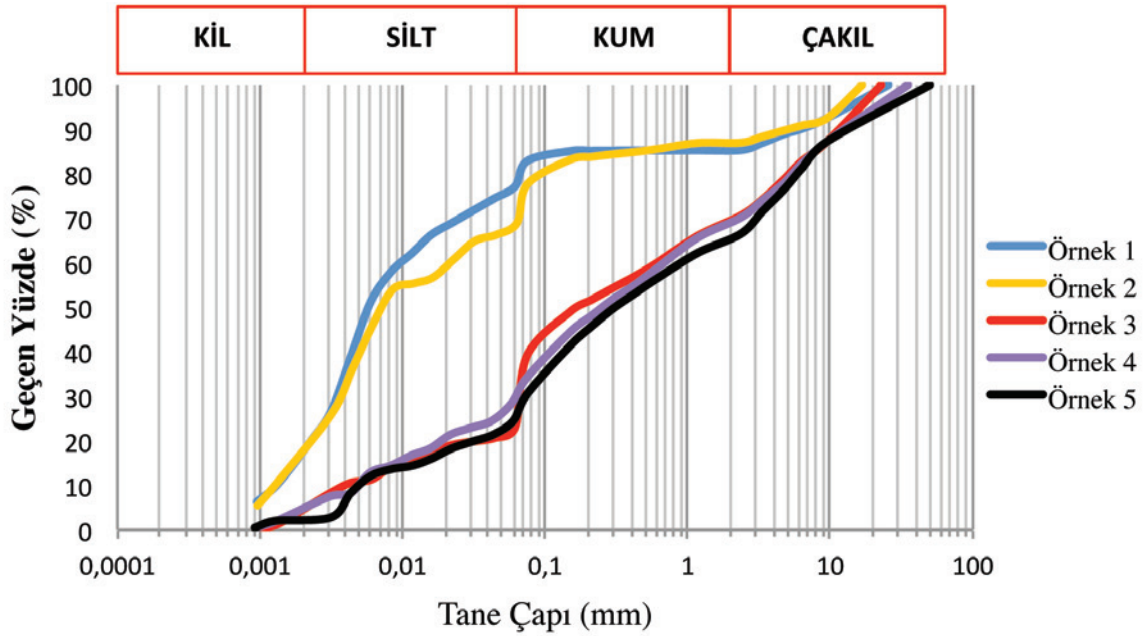
Örselenmemiş örnekler örnekleyici üzerine sarılan tülben ve gerçekleştirilen parafinleme işlemleri sonrasında laboratuvara nakledilmiştir. Açılan çukurlarda pasa malzemesinin yerindeki ortalama doğal birim hacim ağırlığı  $13.8 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmiştir.

## JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİN TAYİNİ

Çalışma sahasından alınmış olan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler kullanılarak pasa malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvarında belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerin tayini kapsamında tane boyu dağılımı, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, su içeriği ve Atterberg Limitleri belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin tayini kapsamında ise, birim-deformasyon kontrollü konsolidasyonlu-drenajlı makaslama deneyleri yapılarak pasa malzemesinin makaslama dayanımı özellikleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerinde ASTM (1994a) standartları esas alınmıştır.

### a) Fiziksel ve indeks özellikler

Tane boyu dağılım analizleri, ıslak elek ve hidrometre analizi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta marn bloklarından oluşan pasa malzemesinin zamanla üstüne yığılan yeni malzemelerin ağırlığı, iş makinası trafiğine bağlı yükler ve atmosferik koşullarla dağılması sonucu ince tane miktarında artış olmaktadır. Elek analizlerinde standart eleklerde kullanılması mümkün olmayan büyük çaplı bloklar kullanılmamıştır. Beş farklı yerden elde edilmiş örselenmiş örnekler üzerinde gerçekleştirilen tane boyu dağılım analizlerinin sonuçlarına göre elde edilmiş eğriler ve tane boyu yüzdeleri Şekil 6'da ve Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 6. Pasa malzemesi örneklerinin tane boyu dağılım eğrileri.

Figure 6. Grain size distribution curves of the samples from the spoil material

Çizelge 1. Pasa malzemesinin içerdiği tane boyu yüzdeleri.

Table 1. Grain size percentages of the spoil material.

Örnek No.	Tane boyu			
	KİL (%)	SİLT (%)	KUM (%)	ÇAKIL (%)
S1	18	58	9	15
S2	21	46	21	12
S3	8	30	32	30
S4	7	20	43	30
S5	5	22	40	33

Çizelge 1'den görülebileceği gibi, pasa malzemesi %47 ince ve %53 iri tane içermektedir. Pasa malzemesi örneklerinden belirlenmiş olan ortalama özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve su içeriği değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu

sonuçlara göre, laboratuvarında belirlenen birim hacim ağırlık değerleri arazide örnek alımı sırasında uygulanan nemlendirme nedeniyle yerinde tayin edilen değerlere göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Pasa malzemesi örneklerinin

Çizelge 2. Pasa malzemesi için belirlenen özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve su içeriği değerleri.

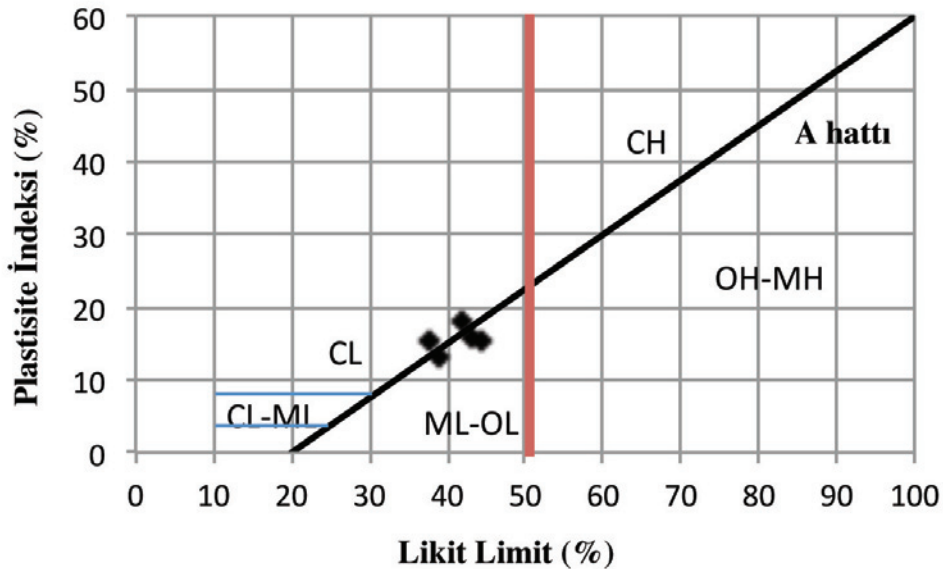
Table 2. Specific gravity, unit weight and water content values of the spoil material.

Özgül ağırlık	Birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Su içeriği (%)
2.65	15	21

Atterberg Limitleri, sırasıyla likit limit (LL) = % 41.1, plastik limit (PL) = % 25.6 ve plastisite indeksi (PI) = % 15.6 olarak belirlenmiştir.

Farklı çalışmalarda da (Ulusay vd., 1995a; Jeldes vd., 2013) marn, kireçtaşı ve kıltaşı gibi birimlerinden oluşan pasa yığınları için benzer PI değerleri (12-15 (Ulusay vd., 1995a) ve 18.6 (Jeldes vd., 2013)) belirlenmiştir. Pasa malzemesi için belirlenmiş olan tane boyu dağılımı ve Atterberg Limitleri dikkate alınarak, Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması'na (ASTM, 1994b) göre malzemenin mühendislik sınıflaması yapılmıştır. Söz konusu sınıflama, yaklaşık eşit oranlarda iri

ve ince tane içeren pasa malzemesinin zemin sınıfının iri ve ince tanelerin sınıflarının birlikte değerlendirilmesiyle, ince tane yüzdesi iri taneye oranla daha fazla olan örnekler için ise plastisite abağından yararlanılarak elde edilmiştir. Beş adet örnekten ikisinin killi kum-düşük plastisiteli silt (SC-ML), diğerlerinin ise killi kum-düşük plastisiteli kil (SC-CL), düşük plastisiteli kil (CL) ve düşük plastisiteli silt-düşük plastisiteli organik zemin (ML-OL) zemin sınıflarında yer aldıkları belirlenmiştir. Pasa malzemesinin ince taneli kısmını temsil eden örneklerin plastisite abağı üzerindeki dağılımları Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Pasa malzemesinin ince taneli kısmını temsil eden örneklerin plastisite abağı üzerindeki dağılımları.

Figure 7. The distribution of the fine-grained samples of the spoil material on the plasticity chart.

### b) Pasa malzemesinin makaslama dayanımı

Şev duraylılık analizleri için başlıca girdi parametresi olan makaslama dayanımı özellikleri, araziden alınan örnek üzerinde yapılan makaslama deneyleriyle tayin edilmiştir. Ulusay vd. (1994), pasanın değişik tane boyutlarına sahip zemin niteliğinde bir malzeme olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada da pasa malzemesinin % 47 ince ve % 53 iri tane boyutundan oluşan bir tane boyu bileşimine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle pasa malzemesinin makaslama dayanımı özelliklerinin belirlenmesi amacı ile zemin makaslama deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde ince çeperli tüpler ve 10\*10\*3 cm boyutlarındaki metal kesici kalıplar kullanılarak hazırlanmış olan örselenmemiş örnekler kullanılmıştır. Konsolidasyonlu-drenajlı deney yöntemiyle gerçekleştirilen makaslama deneylerinde, her biri en az 3 örnekten oluşan toplam 7 deney seti kullanılmıştır. İri tanelerin yoğun olarak bulunduğu pasa malzemesi için makaslama

deneyleri 0.21 mm/dk'lık makaslama hızıyla yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları Çizelge 3'te, yenilme zarfları ise Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 3 ve Şekil 8'den görülebileceği gibi pasa malzemesine ait makaslama deney sonuçları doğrusal yenilme zarfına uyum göstermiş ve bu nedenle analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmıştır.

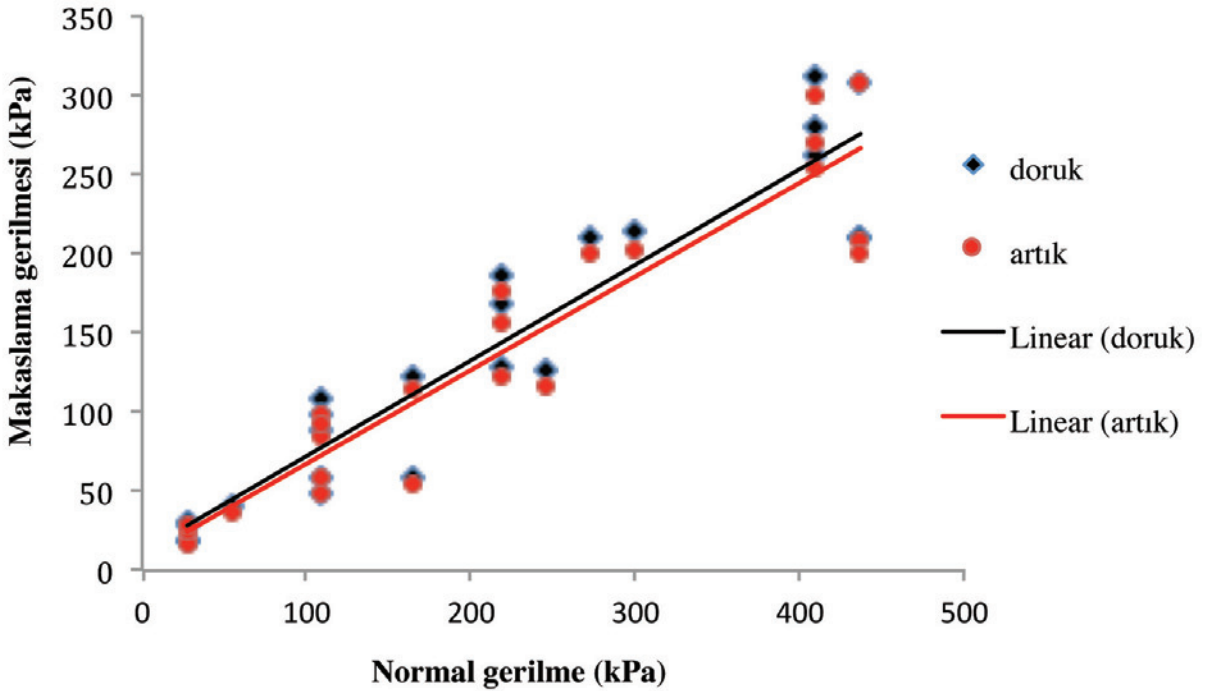
Ulusay vd. (1994) Muğla-Yatağan'da bulunan ve büyük ölçüde aynı malzemeden oluşan pasa yığınları için bu çalışmadaki sonuçlara çok yakın değerler ( $c_r = 8.9$  kPa ve  $\phi_r = 33^\circ$  ve  $c_p = 12$  kPa ve  $\phi_p = 34.3^\circ$ ) belirlemişlerdir. Marn ve kireçtaşı birimlerinden oluşan pasa yığınları için Kaşmer ve Ulusay (2006) ile pasayı oluşturan kaya türünün belirtilmediği Colorado'daki pasa yığınları için ise Stormont ve Farfan (2005) tarafından yakın sonuçlar (sırasıyla  $c_r = 5$  kPa ve  $\phi_r = 37^\circ$  ile  $c_r = 6-10$  kPa ve  $\phi_r = 24-33^\circ$ ) elde etmişlerdir.

Çizelge 3. Konsolidasyonlu-drenajlı zemin makaslama deneylerinden belirlenmiş yenilme zarflarına göre örneklerin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları (f) ile yenilme zarflarının korelasyon katsayıları (r).

Table 3. Cohesion (c), internal friction angle (f) and correlation coefficient (r) of the failure envelope for the test specimens determined by consolidated-drained shear box tests.

Örnek seti	Doruk Makaslama			Artık makaslama		
	$c_p$ (kPa)	$f_p$ (derece)	r	$c_r$ (kPa)	$f_r$ (derece)	r
1	5.7	37.4	0.997	5.6	36.2	0.997
2	32.7	27.6	0.937	21.9	27.8	0.934
3	10	33.5	0.988	3.5	34	0.987
4	12.2	24.4	0.966	10.5	23.9	0.969
5	24.5	23.5	0.949	19.1	23.9	0.963
6	14.8	34.1	0.998	12.9	32.6	0.999
7	8.4	35	0.996	1.3	34.1	0.997
<b>Genelleştirilmiş yenilme zarfi</b>	<b>12.1</b>	<b>31.2</b>	<b>0.94</b>	<b>8.6</b>	<b>30.6</b>	<b>0.94</b>





Şekil 8. Pasa malzemesi için tüm makaslama deneylerinin sonuçları esas alınarak belirlenmiş doruk ve artık makaslama koşullarını temsil eden genelleştirilmiş doğrusal yenilme zarfları.

Figure 8. Generalised linear peak and residual failure envelopes determined by the direct shear tests for the spoil material.

## DURAYSIZLIĞA UĞRAMIŞ PASA YIĞINLARININ GERİYE DÖNÜK ANALİZİ

Pasa malzemesinin kazı, döküm sahasına nakliye ve yığılma süreçlerinde oldukça yüksek düzeyde örselenmeye maruz kalması, atmosferik etkiler ve yağış gibi faktörlerle dağılıp ufalanması ve kısmen de ayrışması söz konusu olup, bu süreçlere bağlı olarak gelişen deformasyonlar sonucunda, malzemede örnekleme öncesi örselenme söz konusu olmaktadır. Büyük ölçüde aynı malzemeden oluşan pasa yığını duraysızlıkları için yapılmış geriye dönük analizlerin sonucunda da duraysızlık anında artık

makaslama dayanımının etkin olduğu Ulusay vd. (1994) tarafından vurgulanmıştır. Ulusay vd. (1995a), Ulusay vd. (1995b), Kaşmer vd. (2006) gibi bazı çalışmalarda da farklı birimlerden oluşmuş pasa yığınları için duraysızlık esnasında artık makaslama dayanımı özelliklerinin geçerli olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da pasa malzemesinin duraysızlık anında etkin olan makaslama özelliklerinin tayini amacıyla geriye dönük analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Yaylık tepe güneyindeki pasa yığnında daha önceki yıllarda gelişmiş bir duraysızlık (Şekil 9) için iki farklı doğrultuda arazi ölçümleriyle hazırlanmış kayma kesitleri boyunca geriye dönük analizler yapılmıştır.

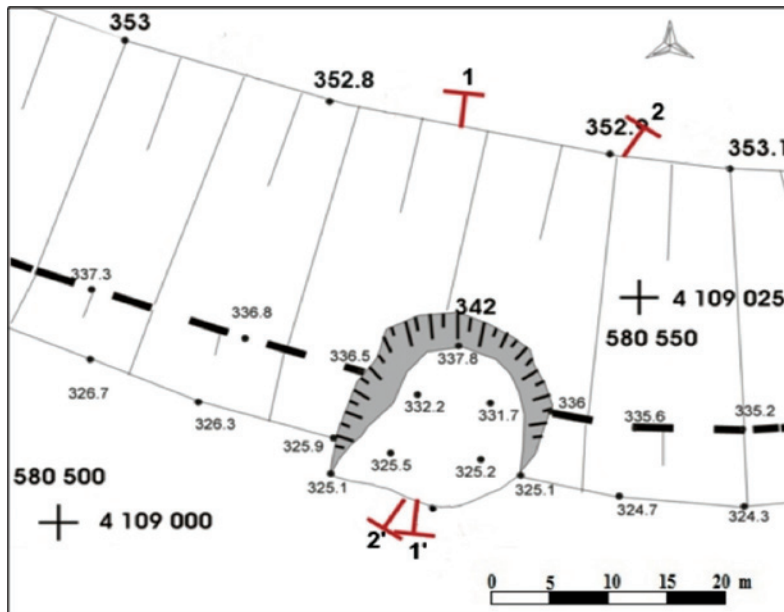


Şekil 9. Geriye dönük analizi yapılan pasa şevi duraysızlığı.

Figure 9. The spoil slope instability for which back analysis was performed.

Geriye dönük analizlerde kullanılan ve döküm sahasında yapılmış topoğrafik ölçümlere

göre çizilmiş 1/500 ölçekli duraysızlık planı ve analiz kesit doğrultuları Şekil 10'da verilmiştir.



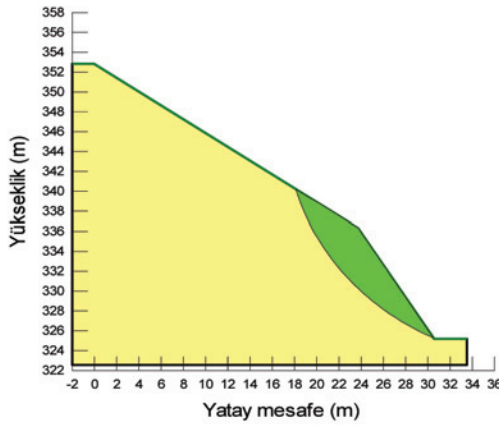
Şekil 10. Yaylık Tepe güneyindeki pasa şevinde meydana gelmiş eski duraysızlığın planı.

Figure 10. The plan view of the old slope instability in the south of the Yaylık Tepe site.

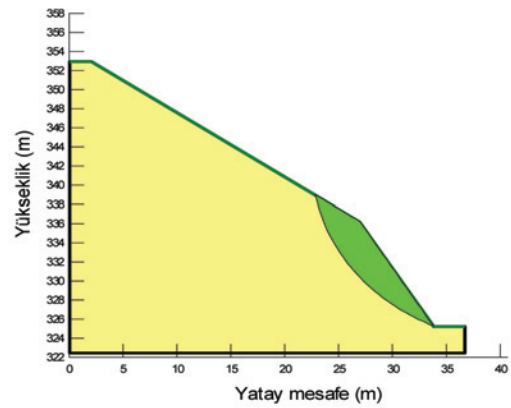
Dairesel kayma türünde gelişmiş olan duraysızlık için arazide gözlenen kayma yüzeyi geometrisi esas alınarak Şekil 11’de kayma yüzeylerinin de gösterildiği 2 farklı duraysızlık kesiti için limit denge ( $F = 1$ ) koşulunu sağlayan  $c$  ve  $\Phi$  çiftleri belirlenmiş ve bunlara ait zarflar ise Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12’den görülebileceği gibi, zarfların kesişme bölgeleri laboratuvarında tayin edilmiş

olan artık makaslama dayanımı özelliklerinin değişim aralığı içinde yer almaktadır. Geriye dönük analizler sonucunda belirlenen zarfların kesişme konumlarının artık makaslama dayanımı parametreleriyle uyum içerisinde olması göz önünde bulundurularak, bundan sonraki bölümlerde verilen tasarıma yönelik duraylılık analizlerinde pası malzemesinin artık makaslama dayanım özellikleri kullanılmıştır.

Kesit 1

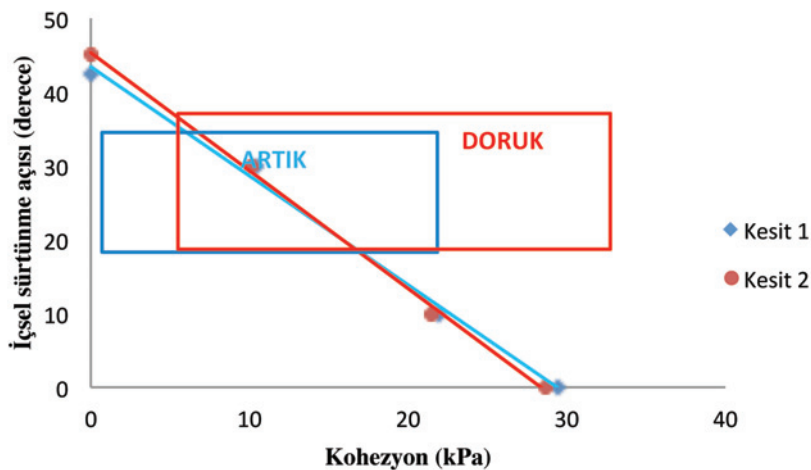


Kesit 2



Şekil 11. Geriye dönük analizlerde kullanılan duraysız şev kesitlerinde tanımlanan kayma kütleleri.

Figure 11. The sliding mass of the slope sections used in the back analyses.



Şekil 12. Geriye dönük analiz sonuçları ile laboratuvarında belirlenen makaslama dayanım parametreleri aralığının karşılaştırılması.

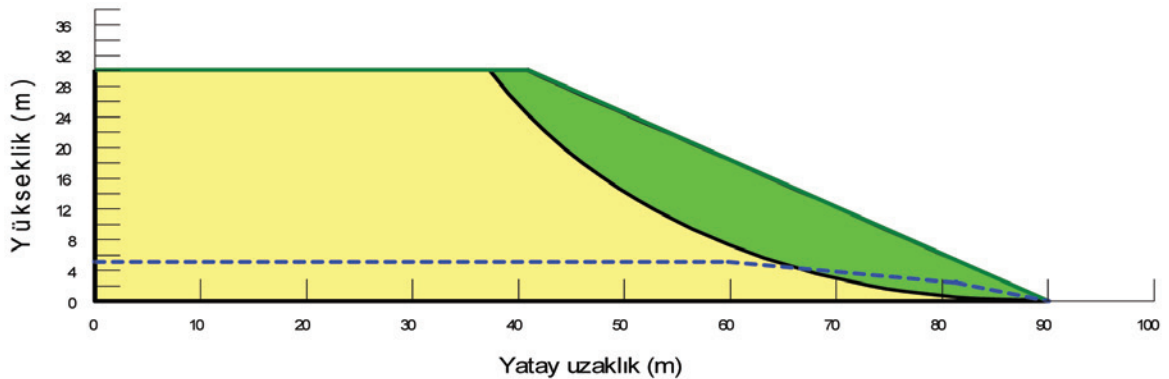
Figure 12. The comparison of the back analysis results and the range of shear strength parameters determined in the laboratory.

## PASA YIĞINLARININ TASARIMIYLA İLGİLİ ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

Çalışma sahasındaki pasa yığınlarının güvenli ve ekonomik şekilde tasarımı amacıyla limit denge analiz yöntemi kullanılarak şev duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki pasa yığınlarının Sekköy formasyonuna ait marn-kireçtaşı birimlerinden oluşan sert bir taban üzerine yığılmış olması nedeniyle, daha önce gelişmiş olan duraysızlıkların dairesel türde ve tabandan bağımsız olarak geliştiği gözlenmiştir. Bu nedenle sert kaya taban üzerine dökülmüş olan pasa yığınlarının duraylılık analizlerinde duraysızlık modeli tabandan bağımsız olarak düşünülmüştür. Sert taban üzerine yığılmış pasalardaki duraysızlık modeli farklı çalışmalarda da (Ulusay vd., 1994; Ulusay vd., 1995a; Ulusay vd., 1995b) dairesel türde ve tabandan bağımsız olarak belirlenmiştir. Daha önce Sekköy formasyonuna ait pasa malzemeleri için Yatağan-Eskihisar linyit açık işletmesinde Ulusay vd. (1994) tarafından yapılan çalışmalarda gerçekleştirilen sondajlar

ve açılan gözlem çukurlarında herhangi bir serbest su yüzeyine rastlanılmamış olup, bu çalışmada da şevlerin topuk bölgelerinde açılan sığ derinlikli gözlem çukurlarında suya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte Ulusay vd., (1995a) şiddetli yağış dönemlerinde yağış sularının sızması sonucu pasalar içinde sığ da olsa bir su varlığının gelişebileceğini ifade etmiştir. Bradfield vd., (2013) bu güne değin pasa yığınları için gerçekleştirilmiş olan çalışmalar değerlendirildiğinde pasa yığınları içinde en yüksek 3-5 m düzeyinde ve topuğa doğru alçalan bir su tablasının mümkün olabileceğini ifade etmiştir. Dolayısıyla pasa malzemesi içerisinde oldukça sığ bir serbest su yüzeyinin gelişmesi ihtimali de şev duraylılık analizlerinde dikkate alınmıştır. Su tablalı analizlerde Bradfield vd., (2013) tarafından vurgulanan topuğa doğru alçalan 5 metrelik olası en yüksek su tablası profili dikkate alınmıştır (Şekil 13).

Analizlerde örnekleme çukurları kullanılarak yerinde tayin edilmiş olan birim hacim ağırlık değeri ( $13.8 \text{ kN/m}^3$ ) kullanılmıştır. İlk aşamada tek basamaklı şev geometrisi için



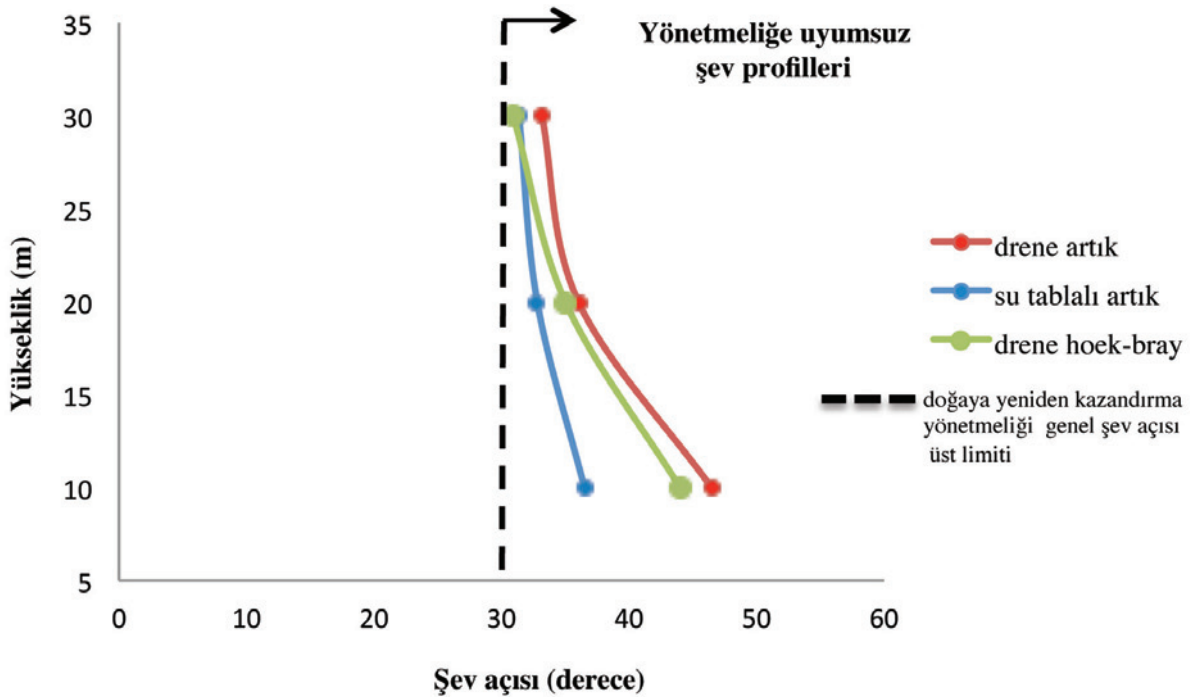
Şekil 13. 30 m yüksekliğindeki su tablası içeren şev kesiti.

Figure 13. 30 m height slope section with the groundwater table.

farklı yükseklik ve genel şev açılarının dikkate alındığı analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında pasa yığınları için ortalama 34-35°'lik bir döküm açısı söz konusudur. Çok basamaklı şev tasarımlarında çalışma sahasında gözlenen pasa yükseklik değer aralığını içerecek şekilde üç farklı genel şev yüksekliği için 35°'lik basamak şev açısı değeri kullanılarak doğaya yeniden kazandırma yönetmeliğindeki ölçütlere uygun olarak basamak genişliği ve yüksekliği düzenlenmesi yapılmıştır.

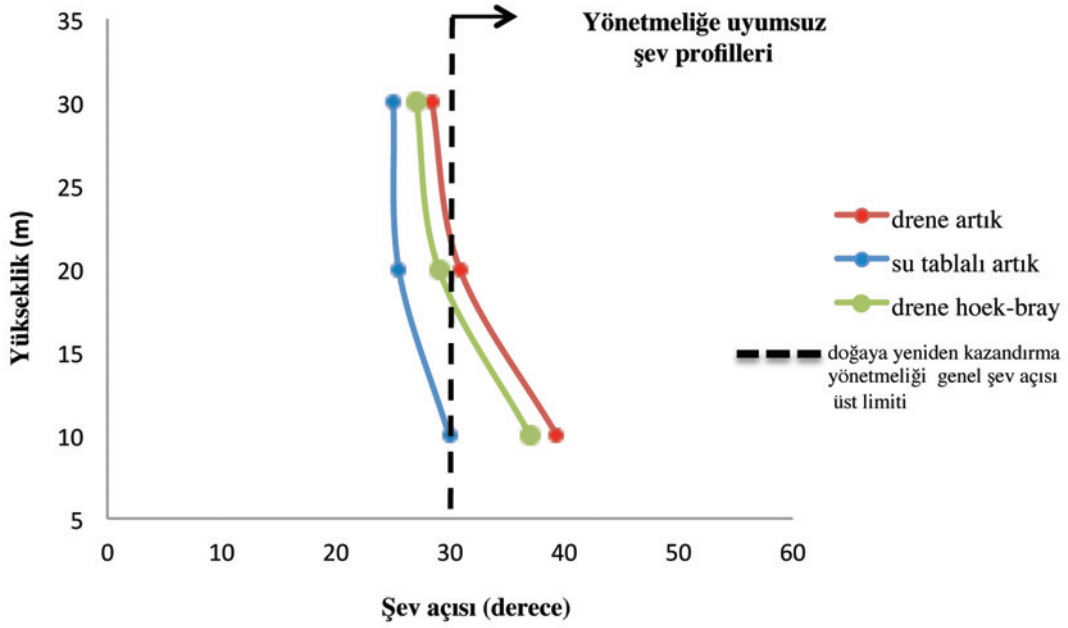
Duraylılık analizlerinde pasalar için değişik araştırmacılar tarafından (Huang, 1983; Marshall ve Lagather, 1979) önerilmiş olan güvenlik katsayısı değerleri ( $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$ )

kullanılmıştır. Analizlerde SLOPE/W(Geo-Slope International Ltd., 2004) yazılımı kullanılmıştır. Duraylılık analizleri 10, 20 ve 30 metrelik tek basamaklı genel şev yükseklik değerleri için gerçekleştirilmiş olup analizlerde dairesel kaymalar için de kullanılan Morgenstern ve Price (1965) yönteminden elde edilen sonuçlar esas alınmıştır. Ayrıca Hoek ve Bray (1977) tarafından geliştirilmiş olan dairesel kayma diyagramlarının kullanıldığı basit analiz yöntemi kullanılarak elde edilen duraylılık analiz sonuçları da alternatif olarak sunulmuştur. Şekil 14 ve 15'te doğaya yeniden kazandırma yönetmeliği üst sınırı kesikli çizgilerle ifade edilmiş ve analiz sonuçlarına göre belirlenmiş olan genel şev açısı ve yüksekliği arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 14.  $F = 1.3$  koşulu için genel şev açısı ve pasa yüksekliği arasındaki ilişkiler.

Figure 14. The relationships between the overall slope angle and the spoil height for  $F = 1.3$



Şekil 15.  $F = 1.5$  koşulu için genel şev açısı ve pasa yüksekliği arasındaki ilişkiler.

Figure 15. The relationships between the overall slope angle and the spoil height for  $F = 1.5$ .

Kesikli çizgilerle ifade edilen sınır değerinin sağında bulunan şev geometrileri yönetmeliğe uymamaktadır. Bu nedenle bu grafiklerde  $30^\circ$  üst sınırına kadar eğriler kullanılarak şev geometrileri belirlenirken eğrilerin  $30^\circ$ 'den daha büyük şev açılara karşılık gelen kısımları (kesikli çizginin sağına düşen kısım) doğaya yeniden kazandırma yönetmeliğine uyum göstermemekte ve yönetmelik gereği buralarda  $30^\circ$  üst sınırının kullanılması gerekmektedir. Şekil 14 ve 15'ten görülebileceği gibi Morgenstern ve Price (1965) ve Hoek ve Bray (1977) yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirlerine çok yakındır.

Çok basamaklı şev geometrilerinin oluşturulmasında, Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nde (2010) belirlenmiş olan basamak yüksekliğinin en fazla

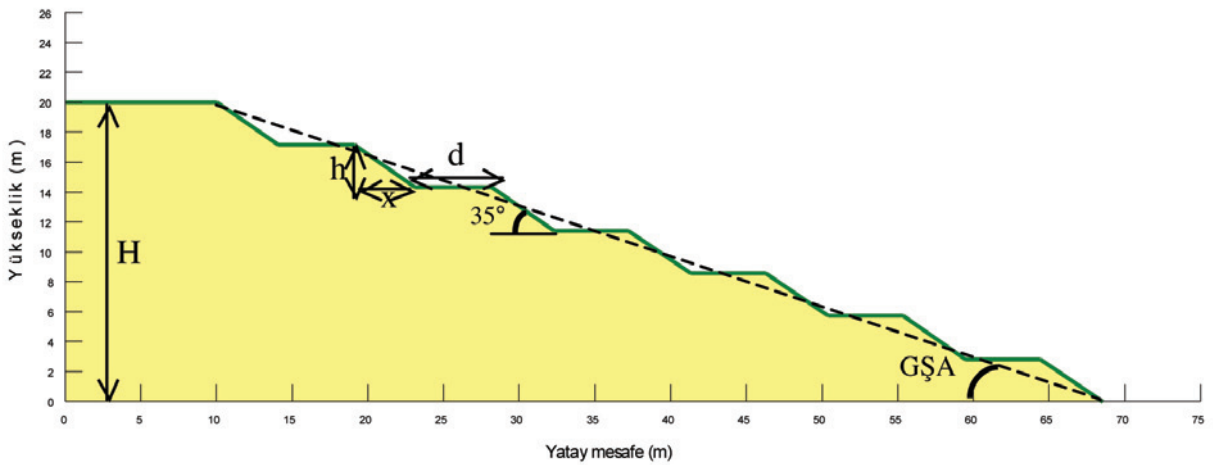
3 m ve basamak genişliğinin en az 5 m olacak şekilde düzenlenmesi hususundaki maddesi dikkate alınmıştır. Çalışma alanındaki pasaya ait döküm açısının  $35^\circ$  olması nedeniyle, çok basamaklı şev düzenlemelerindeki basamak şev açısı olarak bu değer dikkate alınmıştır. 10, 20 ve 30 metrelik şev yükseklikleri için yapılan çok basamaklı şev düzenlemeleriyle ilgili olarak kullanılan değişkenler Çizelge 4'te verilmiş olup, 3 farklı şev yüksekliği için gerçekleştirilen çok basamaklı şev düzenlemeleri için elde edilen genel şev açısı değerleri  $19^\circ$  civarındadır. Bu değer, tek basamaklı şev düzenlemeleri için  $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$  durumları için elde edilen genel şev açısı değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. 20 metrelik yükseklik için öngörülen çok basamaklı şev düzenlemesi örnek olarak Şekil 16'da verilmiştir.

Çizelge 4. Çok basamaklı şev düzenlemeleri ile ilgili olarak kullanılan değişkenler ve güvenlik katsayısı değerleri.

Table 4. Variables used for multi-bench slope designs and factor of safety values.

H (m)	n (adet)	h (m)	x (m)	d (m)	BŞA (°)	GŞA (°)	F	F <sub>su tabanlı</sub>
10	4	2.5	3.6	5	35	18.8	2.97	2.16
20	7	2.86	4.08	5	35	2.23	1.92	
30	10	3	4.3	5	35	18.8	1.95	1.74

Burada; H: şev yüksekliği, d: basamak genişliği, h: basamak yüksekliği, x: basamağın yatay uzunluğu, BŞA: basamak şev açısı, GŞA: genel şev açısı ve n: basamak sayısıdır.



Şekil 16. 20 metrelik şev yüksekliği için çok basamaklı şev düzenlemesi ve kullanılan değişkenler.

Figure 16. Multi-bench slope design and the variables used for the 20 m slope height.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Yeniköy Linyitleri İşletmesi'nde (YLİ) yer alan Yaylık tepe pasa döküm sahasındaki pasa yığınları için geçerli olan duraysızlık türü ve pasa yığınlarının jeomekanik özellikleri araştırılmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda pasa malzemesinin geniş bir tane boyu aralığına sahip, düşük kohezyonlu ve düşük plastisiteli bir malzeme olduğu belirlenmiştir. Saha gözlemleri ve önceki

çalışmaların incelenmesi sonucu sert taban üzerine yığılmış pasalar için tabandan bağımsız ve dairesel duraysızlık türünün geçerli olduğu anlaşılmıştır. Geriye dönük analizler sonucunda pasa yığınlarında gelişen duraysızlıklar sırasında kayma yüzeyleri boyunca etkin olan makaslama dayanımı özelliklerinin pasa malzemesinin laboratuvarında tayin edilmiş olan artık dayanım değerleri ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Pasa yığınları için gerçekleştirilmiş olan şev duraylılık analizlerinde  $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$  güvenlik katsayısı

değerleri ve Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nde (2010) yer verilmiş olan hususlar dikkate alınmıştır.  $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$  güvenlik katsayıları esas alınarak yapılan tek basamaklı analizlerde, yönetmelikte ifade edilen genel şev açısı üst sınırını aşan değerler elde edilmiştir. Çok basamaklı analizlerde elde edilen genel şev açısı değerleri ise, tek basamaklı analizlerde aynı yükseklik değerlerinde  $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$  güvenlik katsayıları için elde edilenlere göre daha düşüktür. Diğer bir ifadeyle, çok basamaklı şev tasarımları için Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nde (2010) belirtilen kuralların esas alınması durumunda elde edilen güvenlik katsayıları tek basamaklı pasa şevi analizlerinde esas alınan  $F = 1.3$  ve  $F = 1.5$  güvenlik katsayısı değerlerinden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu yönetmeliğin pasa malzemesi için  $F = 1.5$  olarak belirlenmiş tasarımlara oranla daha güvenli tarafta kaldığını göstermektedir.

Daha güvenli şev tasarımının yanı sıra çeşitli sayısal sınırlamaların (tek basamaklı şevler için yüksek şev açısı sınır değerinin  $30^\circ$  ve çok basamaklı şevler için basamak yüksekliğinin en fazla 3 metre olması gibi) ifade edildiği Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği (2010) şev duraylılığı ile ilgili olarak farklı çalışma aşamalarında (örnekleme, laboratuvar deneyleri, duraylılık analizleri) yapılabilecek olası hatalı sonuç ve değerlendirmelerin önüne geçilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Ancak özellikle yüksek şev açıları ile güvenli bir şekilde oluşturulabilecek

sağlam zeminlerde söz konusu yönetmeliğin daha fazla hafriyat miktarına (dolayısıyla daha yüksek maliyete) karşılık gelen tasarım seçeneklerini üreteceği de gözden kaçırılmamalıdır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışmada, MTA Genel Müdürlüğü'nün "Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırılması: Yeniköy Linyitleri İşletmesi (YLİ) Yaylıktepe Sahası Örneği" adlı projenin (Demirbugan vd., 2013) fiziksel duraylılık ve iyileştirme bölümüne ait veriler kullanılmıştır. Yazar makalenin geliştirilmesinde değerli katkı ve önerilerinden dolayı Prof. Dr. Reşat Ulusay'a teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Apaydın, N., Ulusay, R., 1990. TKİ-GELİ Milas Sekköy Açık İşletmesi Jeoteknik Etüdü Sonuç Raporu. MTA Derleme No. 8955, 114 s (yayımlanmamış).
- ASTM, 1994a. Annual Book of ASTM Standards- Soil and Rock, Building Stones. Section-4, Construction, V. 04.08. ASTM Publication, 972 p.
- ASTM, 1994b. Standard classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). ASTM D2487, 206-215.
- Bradfield, L., Simmons, J., Fityus, S., 2013. Issues related to stability design of very high spoil dumps. 13<sup>th</sup> Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 376-386.
- Demirbugan, A., Karakul, H., Avcı, K., 2013. Maden Sahalarının Doğaya Yeniden Kazandırılması



- Yeniköy Linyitleri İşletmesi (YLİ) Yayıktepe Sahası Örneği. MTA Derleme No. 11618, 131 s (yayımlanmamış).
- Geo-Slope International Ltd., 2004. Slope/W software. Vers. 6.2, Calgary, Canada.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1977. Rock slope engineering. Institute of Mining and Metallurgy, London, 402 p.
- Huang, Y.H., 1983. Stability Analysis of Earth Slopes. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 305 p.
- Jeldes, I.A., Drumm, E.C., Schwartz, J.S., 2013. The low compaction grading technique on steep reclaimed slopes: Soil characterization and static slope stability. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31, 1261-1274.
- Kaşmer, Ö., Ulusay, R., 2006. Stability of spoil piles at two coal mines in Turkey: geotechnical characterization and design considerations. *Environmental and Engineering Geoscience*, 12 (4), 337-352.
- Kaşmer, Ö., Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 2006. Spoil pile instabilities with reference to a strip coal mine in Turkey: mechanisms and assessment of deformations. *Environmental Geology*, 49, 570-585.
- Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği. 2010. T.C. Resmi Gazete, 27471, 23 Ocak 2010.
- Marshall, R., Lagather, R.B., 1979. Design guidelines for coal refuse piles and water, sediment or slurry impoundments and impounding structures. US Department of of Labor, IR1109, 29 p.
- Morgenstern, N.R., Price, V.E., 1965. The analysis of the stability of general slip surface. *Geotechnique*, 15, 79-93.
- Stormont J.C., Farfan E., 2005. Stability evaluation of a mine waste pile. *Environmental and Engineering Geoscience*, 11 (1), 43-52.
- Ulusay, R., Yoleri, M.F., Çağlan, D., Arıkan, F., 1994. TKİ-GELİ Eskişehir (Yatağan-Muğla) Linyit Açık İşletmesi Pasa Yığınlarının Şev Stabilitesi ve Tasarımı. MTA Derleme No. 9685, 194 s (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F., Çağlan, D., 1995a. Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. *Engineering Geology*, 40, 77-101.
- Ulusay, R., Yoleri, M.F., Çağlan, D., Arıkan, F., 1995b. Design evaluations for spoil piles at a strip coal mine considering safety of the haul road. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 9, 133-140.
- Yiğitel, İ., 1978. Muğla-Milas kömürlü Neojeni Sekköy sektörü. jeoloji raporu, MTA Enerji Hammaddeleri Dairesi Raporu, 15 s. (yayımlanmamış).
- Yücel, Z., Özorun, B., Çekinmez, V., 1990. TKİ-GELİ Milas-Sekköy Bölgesi Ekizköy Açık Ocağı Jeoteknik Etüdü Sonuç Raporu. MTA Derleme No. 8954, 56 s (yayımlanmamış).



## Saraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması

*Investigation of Geological and Geomechanical Properties of the Saraftepe (Trabzon) Tephritic Sill*

**Hakan ERSOY<sup>1</sup>, Bülent YALÇINALP<sup>1</sup>, Ali Erden BABACAN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON

Geliş (received) : 17 Aralık (December) 2013  
Düzeltilme (revised) : 06 Şubat (February) 2014  
Kabul (accepted) : 20 Mart (March) 2014

### ÖZ

İşletme maliyetinin yüksek olması ve son yıllarda Çin, Hindistan gibi ülkelerden ülkemize çok ucuza sert taş girişi olması gibi sebepler, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde son 10 yılda granit, gabro ve bazalt gibi magmatik kayalara ait mermer ocaklarının tamamına yakınının kapanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, bölgede sert taş üretiminin teşvik edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla Trabzon ili sınırları içerisinde yer alan Saraftepe ocağı pilot bölge olarak seçilmiş, ocakta işletilen tefritlerin oluşum koşulları ve jeolojik özellikleri araştırılmıştır. Kalınlığı 25 ile 30 metre arasında değişen ve yaklaşık 750 metre boyunca yüzeylenme veren tefritler K70D/25KB duruşlu kireçtaşı, marn, kumtaşı ve tuf tabakaları arasına sil şeklinde yerleşmiştir. Silin tavandan tabana doğru anizotrop bir yapı sunması nedeniyle, farklı zonlardan temin edilen kayaç örnekleri üzerinde bir dizi laboratuvar deneyi yapılarak, tefritlerin jeomekanik özellikleri araştırılmıştır. Farklı bölgelerden alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 87-130 MPa, boyuna dalga hızı değerlerinin 5048-5642 m/s, yoğunluk değerlerinin 2.58-2.68 g/cm<sup>3</sup>, görünür porozite değerlerinin % 2.77-4.54 ve ağırlıkça su emme değerlerinin % 1.04-1.78 arasında değiştiği belirlenmiştir. Donma-çözünme deneyi sonrası ağırlık kaybı % 0.36, ıslanma-kuruma deneyi sonrası ağırlık kaybı % 0.22 olarak hesaplanan tefritlerin bu deneyler sonucunda dayanımlarında en fazla % 10 değer kaybı belirlenmiştir. Tüm bu özellikler düşünüldüğünde, çalışma konusu tefritlerin bölge ekonomisine önemli bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeomekanik, Mermer, Tefrit, Trabzon

**ABSTRACT**

*Almost all granite, gabbro and basalt quarries have been abandoned in the last ten years, especially in the eastern Black Sea Region because of high operation costs and cheap hard rock entrance to Turkey from the countries such as China and India. In the study, the Saraftepe hard rock quarry in the Trabzon City was selected as a pilot site for encouraging and developing the hard rock production in the region, and the formation condition and geological properties of the operated tephrites in the quarry were investigated. Thickness of the operating tephrite varies between 25 and 30 meters and it crops out along 750 meters. This tephrite sill intruded in the N70E/25NW directed limestone, marl, sandstone and tuff layers. Geomechanical properties of the tephrite samples were investigated and some laboratory tests were conducted on the rock samples obtained from different zones because there is an anisotropic structure from top to bottom in the sill. The result of the conducted tests on the rock samples obtained from the different zones show that their uniaxial compressive strength values are between 87 and 130 MPa, p-wave velocities are between 5048 and 5642 m/s, density values are between 2.58 and 2.68 g/cm<sup>3</sup>, apparent porosity values are between 2.77 and 4.54 % and water absorption by weight are between 1.04 and 1.78 %. The weight lost at the end of the freezing-thawing test and wetting-drying tests are 0.36 and 0.22 %, respectively. These test results shows there is % 10 strength loss at the end of the tests. Considering the all investigation results, the studied tephrite will contribute to the regional economy.*

**Key Words:** Geomechanics, Marble, Tephrite, Trabzon

**GİRİŞ**

Alp-Himalaya kuşağındaki Akdeniz ülkelerinden biri olan ülkemizde, çeşitli renk ve desenlerde mermer, kireçtaşı, traverten, oniks, konglomera, breş ve magmatik kökenli kayalar bulunmaktadır. Marmara ve Ege Bölgesi başta olmak üzere, ülkemizin her yerinde dünya pazarında beğeni kazanabilecek nitelikte doğal taş rezervleri mevcuttur (Yağız, 2010). Dünya doğal taş kaynaklarının 15.5 milyar m<sup>3</sup> (40.9 milyar ton) civarında olduğu tahmin edilmektedir ve Türkiye 5.1 milyar m<sup>3</sup> (13.9 milyar ton) doğal taş rezervi ile dünya üzerindeki toplam kaynağın % 33'üne sahiptir. Bununla birlikte ülkemizde son 10 yıl içerisinde karbonat bileşimli doğal

taş üretimi artarken, sert taş olarak nitelendirilen magmatik kökenli doğal taş üretimi neredeyse bitmiştir (Yılmaz vd., 2003). Bunun sebepleri, jeolojik ve morfolojik yapısı gereği sert taş üretim maliyetinin yüksekliği ve ülkeye çok daha ucuza sert taş girişinin olmasıdır.

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde başta granit olmak üzere önemli ölçüde doğal taş rezervleri bulunmaktadır (Ersoy vd., 2009; Özdemir, 2009). Türkiye'nin en büyük granit batolitinin bulunduğu bölgedeki doğal taş yataklarının çoğu magmatik kayalardan oluşmaktadır. Ancak doğal taş sektöründeki sorunun bölgeye de yansması nedeniyle, son 10 yıl içerisinde bölgede işletilmekte olan 10 adet magmatik

kökenli doğal taş ocağında işletme faaliyetleri son bulmuştur. Günümüzde bölgedeki doğal taş yataklarının % 80'ini karbonat kayaçlar, % 20'sini ise bazik tüfler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bölgede halen işletilmekte olan bir adet sert taş ocağı bulunmaktadır. Trabzon-Erzurum karayolu üzerinde ve Trabzon'un yaklaşık 10 km güneyinde yer alan ocakta bulunan volkanik sil (Şekil 1a), il merkezine çok yakın ve albenisi yüksek olması nedeniyle, geçmişten günümüze kadar il çevresinde birçok alanda kaldırım ve yol döşeme taşı olarak kullanılmaktadır. Tüm feldspatların %10'undan daha azı alkali feldspat ve %10'undan daha fazlası feldispatoid olan olivince fakir (% 10'dan az) bazanitlere tefrit adı verildiği için çalışma konusu silin tefrit olduğu anlaşılmıştır.

Bu çalışmada, kalınlığı 25 ile 30 metre arasında değişen, yaklaşık 750 metre boyunca yüzlek veren ve halen işletilmekte olan Saraftepe tefrit silinin jeolojisi ve jeoteknik özellikleri araştırılmış, bölgede sert taş üretiminin teşvik edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

## ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

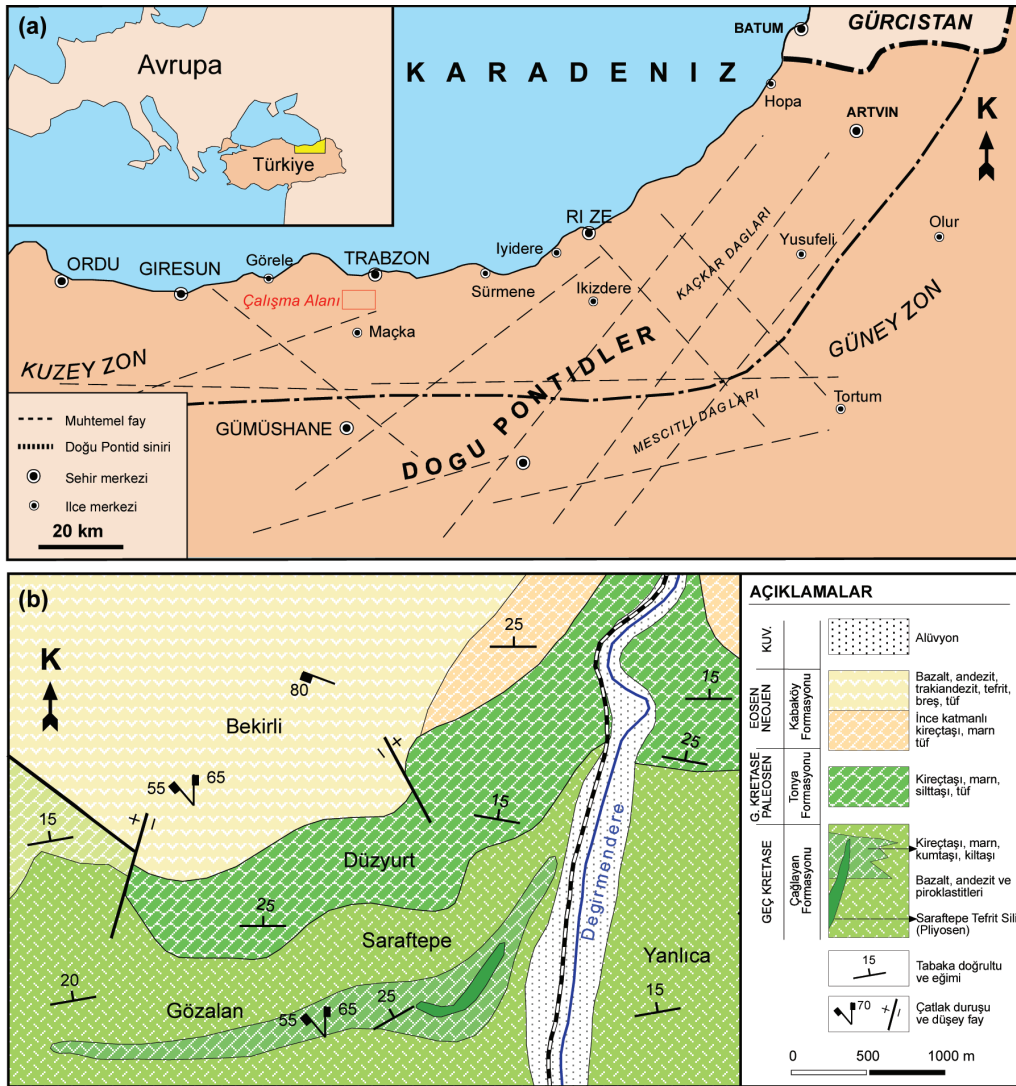
Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin, 1966; Okay ve Şahintürk, 1997). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayaçlarla karakteristikken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir.

Pontid tektonik birliğinin doğu kesiminin kuzey zonunda yer alan çalışma alanında en yaşlı birim Geç Kretase yaşlı Çağlayan formasyonudur (Güven, 1993). Bölgede geniş bir yayılıma sahip olan birim, genel olarak tortul ara katkılı bazalt, andezit ve piroklastitlerden oluşmaktadır (Şekil 1b). Çağlayan formasyonu içinde bulunan merccek şekilli tortul birimlere Trabzon ili, Çağlayan beldesinin yaklaşık 6 km kuzeyinde Gözalan Mahallesi'nde ve Saraftepe civarında rastlanmıştır. Kireçtaşı, marn, kumtaşı ve kilaşlarından oluşan tortulların alt ve üst sınırı volkaniklerle geçişli ve uyumludur. Çalışma konusu tefrit sili, K70D/25KB kumtaşı, kireçtaşı ve tüf tabakaları arasında sil şeklinde yerleşmiştir. Saraftepe tefrit silinin yaşı radyometrik yaş tayinleri ile Aydın (2003) tarafından 3 milyon yıl, Yücel vd. (2012) tarafından 5.8 milyon yıl olarak belirlenmiştir.

Çağlayan formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Tonya Formasyonu Geç Kretase-Paleosen yaşlıdır (Korkmaz, 1993). Birimi oluşturan kireçtaşı türbiditleri genel olarak beyaz, açık gri renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn araldanmasından oluşmuştur. Tane destekli kalsirüdit ve kalkarenitler formasyonun taban kesimini oluşturmaktadır. Üst seviyelere doğru tabaka kalınlığında belirgin bir azalma görülmektedir.

Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy formasyonu, kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru volkanik karakterde olan volkanotortul bir istiftir. Geç Kretase yaşlı birimler üzerine bir taban konglomerası ile açısal uyumsuzlukla gelen birim, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşmaktadır.

Ersoy, Yalçınalp, Babacan



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru (a) ve jeoloji haritası (b) (Ersoy, 2007).  
Figure 1. The location (a) and geological map of the study area (b) (Ersoy, 2007).

## SARAFTEPE TEFİRİT SİLİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

### Tefritlerin Jeolojisi ve Petrografik Özellikleri

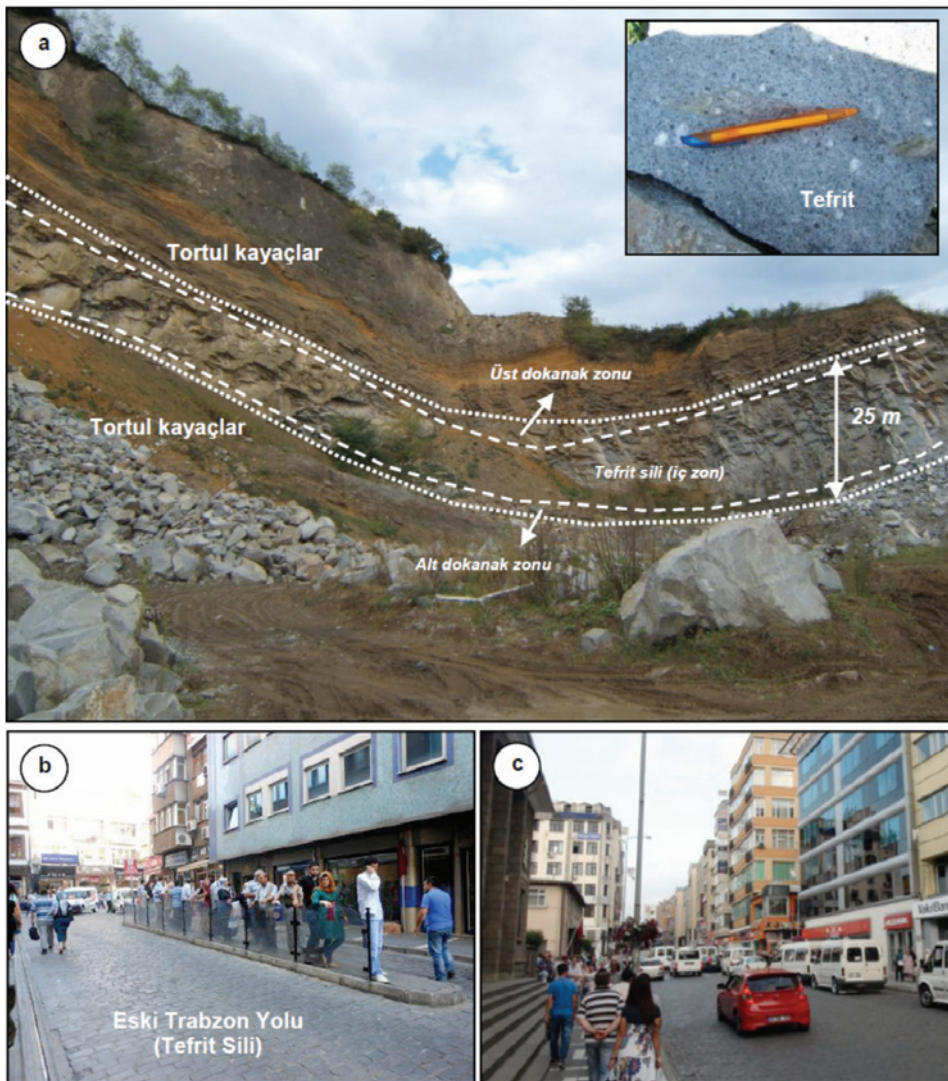
Trabzon-Erzurum karayolu üzerinde, Trabzon'un yaklaşık 10 km güneyinde yer alan sil, Çağlayan Formasyonu içerisinde yüzeylenme veren K70D/25KB duruşlu tortul bir mercek içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2a).

İnce orta tabakalı kırmızımsı mikritik kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, marn ve yer yer kalın tabakalı tüflerden oluşan tortul merceğin yaşı mikro fosil faunasına göre Kampaniyen olarak verilmiştir (Korkmaz ve Van, 1995). Aydın (2003), Aydın vd. (2008) ve Yücel vd. (2012) yapmış oldukları çalışmalarda Saraftepe tefrit silinin 3-5 milyon yıl yaşında olduğunu radyometrik yaş tayinleri

ile belirlemişlerdir. Bölgede genç volkanik faaliyetlere paralel olarak tefritler, Üst Kretase yaşlı Çağlayan formasyonu içerisinde mercek şeklinde bulunan ve yanal devamlılığı olmayan tortul birimler arasına sokulmuşlardır.

Sili oluşturan tefrit bileşimindeki volkanik kayacın her ne kadar homojen bir görünüş sunuyor olsa da, yerleşiminden kaynaklanan farklı bir

yapıya sahiptir. Bu yapı sili oluşturan kayacın belli düzlemler boyunca kolaylıkla kırılmasına sebep olmaktadır. Sağlam ancak kolay işlenebilir olması nedeniyle Saraftepe sili, Trabzon ili ve çevresinde birçok alanda kaldırım döşemesi olarak geçmişten günümüze kadar kullanılmıştır (Şekil 2b ve c) ve halen kullanımına devam edilmektedir.



Şekil 2. Çalışma konusu tefrit sili (a: taş ocağı, b: tefrit döşemeli eski Trabzon yolu).

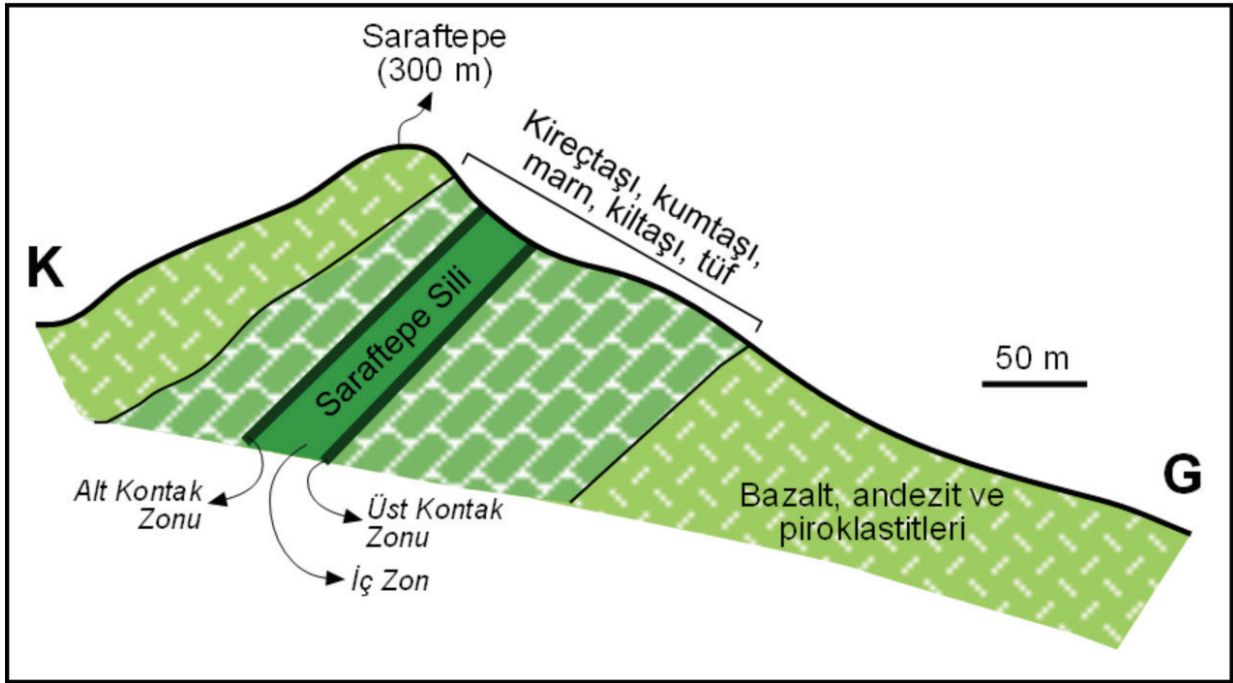
Figure 2. The studied tephrite sill (a: the stone quarry, b: the old Trabzon street paved with tephrite).

Ersoy, Yalçınalp, Babacan

Sil mineralojisi ve konumu göz önüne alınarak üç farklı zona ayrılmıştır. Bunlar alt dokanak zonu, üst dokanak zonu ve orta (iç) zondur. Bununla birlikte silin üst dokanağında uzunlukları birkaç metreye, kalınlıkları ise on santimetreye varan mikaca zengin merccekler bulunmaktadır. Haç şeklinde ikizlenmiş amfiboller alt ve üst dokanak zonlarının karakteristik mineralleridir. Yaklaşık kalınlığı 1 metreye ulaşan alt dokanak zonu keskin bir dokanak ile çevresindeki tortul kayalardan ayrılmıştır. 2 santimetreye varan amfiboller, flogopit ve ojit kristalleri gözle seçilebilmektedir. Koyu gri bir hamura sahip zon içerisinde, çapı 1 santimetreye varan ve içi kalsitle dolu gaz boşlukları bulunmaktadır. Bu nedenle bu zonda bulunan kayalar işletilmemektedir. Alt dokanak

zonu aşamalı olarak iç zona geçer. Çapı 5 santimetreye varan ojit kristallerinin gözleendiği bu zonda yer yer çevre kayaç ksenolitleri bulunmaktadır. Üst kontak zon keskin bir sınırla üstünde bulunan tüflerden ayrılmaktadır. Açık gri renkli hamur içerisinde haç ikizi gösteren amfiboller ve diğer zonlara göre modal olarak daha fazla bulunan flogopitler bu zonun karakteristik mineralidir. Bu zonda olivin gözlenememiştir. Yapılan K-Ar radyometrik yaş tayinine göre silin yerleşimi 3-5 milyon yıl önce olduğu (Pliyosen) belirtilmektedir (Aydın, 2003; Yücel vd., 2012).

Volkano-tortul bir istif olan Çağlayan formasyonu içerisindeki tortul tabakalar arasında yüzeylenme veren Tefrit Sili'ne ait tip kesit Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma konusu tefrit siline ait tip kesit (Aydın, 2003'ten değiştirilerek).  
Figure 3. The type-section of the studied tephrite sill (modified from Aydın, 2003).



### Tefritlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Bu çalışmada Trabzon-Maçka karayolu üzerinde ve Trabzon'a yaklaşık 7 km uzaklıkta bulunan Saraftepe'nin doğu yamacında bulunan ve halen işletilmekte olan tefritlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, bu özelliklerin ıslanma-kuruma, donma-çözünme süreçlerindeki değişimi incelenmiştir. Çalışmada, tefrit silinin iç zonlarından alınan kayaç bloklarından elde edilen silindirik numunelerin doğal su içeriği, birim hacim ağırlık, görünür porozite, ağırlıkça su emme, boyuna dalga hızı gibi fiziksel özellikleri ile tek eksenli basınç direnci gibi

mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte örnekler ıslanma-kuruma ve donma-çözünme deneylerine tabi tutularak, deney sonrası ağırlıklarındaki ve dayanımlarındaki değişimler incelenmiştir. Deneyler yapılırken ISRM (2007) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

Sili oluşturan tefrit bileşimindeki volkanik kayaç heterojen yapıda olduğu için silin eğim yönüne dik (A örnekleri) ve paralel (B örnekleri) yönlerde iki farklı hatta örnekler temin edilmiş, deneyler bu iki farklı grup için ayrı ayrı yorumlanmıştır (Tablo 1 ve Tablo 2).

Çizelge 1. Tefrit örneklerine ait deney sonuçları (akma yönüne dik örnekler).

Table 1. The test results of the tephrite samples (perpendicular to the lava flow direction).

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Wn (g)	Wd (g)	Wk (g)	Vp <sub>doğal</sub> (m/s)	w (%)	ASE (%)	d (g/cm <sup>3</sup> )	n (%)	UCS (MPa)	
A1	49.98	112.78	592.21	594.56	588.76	5611	0.59	0.99	2.68	2.62	120	
A2	49.98	124.33	652.92	656.38	647.72	5600	0.80	1.34	2.68	3.55	126	
A3	49.98	110.58	584.51	585.78	581.43	5790	0.53	0.75	2.69	2.01	104	
A4	49.98	127.50	669.05	672.22	665.05	5769	0.60	1.08	2.67	2.87	151	
A5	49.98	124.96	663.43	663.7	656.34	5629	1.08	1.12	2.71	3.00	88	
A6	49.98	99.57	522.89	525.41	519.95	5625	0.57	1.05	2.68	2.79	160	
A7	49.98	105.90	558.83	560.93	555.79	5663	0.55	0.92	2.69	2.47	150	
A8	49.98	110.31	582.41	584.27	579.63	5686	0.48	0.80	2.69	2.14	106	
A9	49.98	127.90	668.96	673.13	664.94	5561	0.60	1.23	2.67	3.26	153	
A10	49.98	128.95	671.75	675.73	666.75	5511	0.75	1.35	2.66	3.55	100	
A11	49.98	133.24	699.51	701.83	695.01	5575	0.65	0.98	2.68	2.61	108	
A12	49.98	111.63	584.44	587.21	581.01	5725	0.59	1.07	2.67	2.83	155	
A13	49.99	132.55	695.16	699.31	691.57	5593	0.52	1.12	2.67	2.98	163	
A14	49.98	118.44	622.57	626.23	619.17	5613	0.55	1.14	2.68	3.04	123	
A15	49.98	143.84	758.95	760.63	754.84	5708	0.54	0.77	2.69	2.05	108	
A16	49.98	126.36	663.24	666.03	659.6	5616	0.55	0.97	2.68	2.59	167	
<b>AÇIKLAMALAR</b>						<b>Mak.</b>	<b>5790</b>	<b>1.08</b>	<b>1.35</b>	<b>2.71</b>	<b>3.55</b>	<b>167</b>
Wn: doğal örnek ağırlığı, wd: doygun örnek ağırlığı, wk: kuru örnek ağırlığı, Vp: boyuna dalga hızı, w: doğal su içeriği, ASE: ağırlıkça su emme; d: yoğunluk, n: görünür porozite ve UCS: tek eksenli basınç direnci						<b>Min.</b>	<b>5511</b>	<b>0.48</b>	<b>0.75</b>	<b>2.66</b>	<b>2.01</b>	<b>88</b>
						<b>SS.</b>	<b>76</b>	<b>0.15</b>	<b>0.18</b>	<b>0.01</b>	<b>0.47</b>	<b>26</b>
						<b>Ort.</b>	<b>5642</b>	<b>0.62</b>	<b>1.04</b>	<b>2.68</b>	<b>2.77</b>	<b>130</b>

Ersoy, Yalçınalp, Babacan

Çizelge 2. Tefrit örneklerine ait laboratuvar deney sonuçları (akma yönüne paralel örnekler).  
Table 2. Laboratory test results of the tephrite samples (parallel to the lava flow direction).

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Wn (g)	Wd (g)	Wk (g)	Vp <sub>doğal</sub> (m/s)	w (%)	ASE (%)	BHA (g/cm <sup>3</sup> )	n (%)	UCS (MPa)	
B1	49.98	127.23	649.66	652.81	641.7	5110	1.24	1.73	2.60	4.45	81	
B2	49.98	123.99	630.98	634.41	623.41	5061	1.21	1.76	2.59	4.52	91	
B3	49.98	116.13	585.89	589.16	578.8	5006	1.22	1.79	2.57	4.55	92	
B4	49.98	129.43	656.01	659.3	647.71	5157	1.28	1.79	2.58	4.56	97	
B5	49.98	127.55	641.34	645.02	633.13	4982	1.30	1.88	2.56	4.75	99	
B6	49.98	111.84	563.5	567.71	556.95	4971	1.18	1.93	2.57	4.90	94	
B7	49.97	134.99	682.23	686.1	673.79	5075	1.25	1.83	2.58	4.65	91	
B8	49.98	127.47	649.38	652.57	641.59	5058	1.21	1.71	2.60	4.39	70	
B9	49.98	130.24	657.76	660.96	649.17	5128	1.32	1.82	2.57	4.61	92	
B10	49.93	115.29	591.68	594.56	585.32	5124	1.09	1.58	2.62	4.09	93	
B11	49.96	142.38	718.59	723.29	710.61	5122	1.12	1.78	2.57	4.54	78	
B12	49.98	146.91	742.98	748.33	735.58	5066	1.01	1.73	2.58	4.42	97	
B13	49.94	143.76	727.66	732.05	720.28	5044	1.02	1.63	2.58	4.18	95	
B14	49.95	148.01	736.69	743.23	729.07	4853	1.05	1.94	2.54	4.88	77	
B15	49.99	142.02	713.55	720.05	705.99	5036	1.07	1.99	2.56	5.04	59	
B16	49.98	146.91	742.68	747.47	735.22	5119	1.01	1.67	2.58	4.25	118	
B17	49.96	148.33	755.63	760.06	748.7	5097	0.93	1.52	2.60	3.91	105	
B18	49.98	147.16	740.65	747.4	732.85	4988	1.06	1.99	2.57	5.04	80	
B19	49.99	142.64	719.5	724.03	711.8	4953	1.08	1.72	2.57	4.37	61	
B20	49.98	140.44	705.56	711.16	697.37	4998	1.17	1.98	2.56	5.00	80	
B21	49.98	141.76	720.36	724.87	712.99	5063	1.03	1.67	2.59	4.27	85	
<b>AÇIKLAMALAR</b>						<b>Mak.</b>	<b>5157</b>	<b>1.32</b>	<b>1.99</b>	<b>2.62</b>	<b>5.04</b>	<b>118</b>
<i>Wn: doğal örnek ağırlığı, wd: doygun örnek ağırlığı, wk: kuru örnek ağırlığı, Vp: boyuna dalga hızı, w: su içeriği, ASE: ağırlıkça su emme; d: yoğunluk, n: görünür porozite ve UCS: tek eksenli basınç direnci</i>						<b>Min.</b>	<b>4853</b>	<b>0.93</b>	<b>1.52</b>	<b>2.54</b>	<b>3.91</b>	<b>59</b>
						<b>SS.</b>	<b>73</b>	<b>0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>0.02</b>	<b>0.31</b>	<b>14</b>
						<b>Ort.</b>	<b>5048</b>	<b>1.14</b>	<b>1.78</b>	<b>2.58</b>	<b>4.54</b>	<b>87</b>

Tablo 1 ve 2’de görüldüğü gibi tefrit siline dik olarak alınan örneklere ait ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 1.04, porozite değerleri % 2.77 ve boyuna dalga hızı değerleri 5642 m/sn ölçülürken, sile paralel örnekler için bu değerler

sırasıyla % 1.78, % 4.54 ve 5053 m/sn olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, sile dik örneklerin tek eksenli basınç dirençleri ortalama 130 MPa olarak ölçülürken, paralel örneklerde bu değer 87 MPa’ya kadar düşmüştür. Sile paralel örneklerde,

mineraller silindirik örneğin uzun eksenine paralel olarak yönlendirilmiş ve bu durum dayanımı azaltıcı yönde kendini göstermiştir.

Islanma-kuruma çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyde, ASTM (1992a) standartlarında verilen yöntem esas alınmış, donma-çözülme çevrimi koşullarında, aşınmaya karşı kayaçların duraylılığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyde ise ASTM (1992b) standartları kullanılmıştır. Deneyler yüksek dayanım değerlerine sahip örnek grubu

üzerinde gerçekleştirilmiştir. Islanma-kuruma deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 3'te, donma-çözülme deneyinin yapılması sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, ıslanma-kuruma sonrası ağırlık kaybı, sil akışına dik yönde alınmış örnekler için ortalama % 0.22, donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı ise aynı örnek grubu için ortalama % 0.36 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte her iki deney sonrası örneklerin tek eksenli basınç direncindeki azalmanın % 15'i geçmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3. Tefrit örneklerine ait ıslanma-kuruma deney sonuçları (akma yönüne dik).

Table 3. Wetting-drying test results of the tephrite samples (perpendicular to the lava flow direction).

Örnek No	Deney Öncesi Kuru Ağırlık (g)	Deney Sonu Kuru Ağırlık (g)	Islanma-Kuruma Sonrası Ağırlık Kaybı (g)	Islanma-Kuruma Sonrası Ağırlık Kaybı (%)
A1	367.42	366.27	1.15	0.31
A2	369.10	368.43	0.67	0.18
A3	375.94	375.18	0.76	0.20
A4	364.65	364.21	0.44	0.12
A5	375.93	375.48	0.45	0.12
A6	391.45	390.49	0.96	0.25
A7	351.20	349.95	1.25	0.36
A8	379.29	378.42	0.87	0.23
A9	386.87	385.85	1.02	0.26
A10	384.55	383.72	0.83	0.22
A11	367.51	366.86	0.65	0.18
A12	369.19	368.28	0.91	0.25
Islanma-kuruma Deneyi Sonrası Ağırlık Kaybı (%)				0.22
Deney Öncesi Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:				130 MPa
Deney Sonrası Ortalama Tek Eksenli Basınç Direnci:				112 MPa

Ersoy, Yalçınalp, Babacan

Çizelge 4. Tefrit örneklerine ait donma-çözülme deney sonuçları (akma yönüne dik).

Table 4. Freezing-thawing test results of the tephrite samples (perpendicular to the lava flow direction).

Örnek No	Deney Öncesi Kuru Ağırlık (g)	Deney Sonu Kuru Ağırlık (g)	Donma-Çözülme Sonrası Ağırlık Kaybı (g)	Donma-Çözülme Sonrası Ağırlık Kaybı (%)
A1	370.65	369.21	1.44	0.39
A2	365.44	363.89	1.55	0.42
A3	367.81	365.77	2.04	0.55
A4	374.52	374.11	0.41	0.11
A5	358.65	357.27	1.38	0.38
A6	347.18	346.14	1.04	0.30
Donma-Çözülme Deneyi Sonrası Ağırlık Kaybı (%)				0.36

## SONUÇLAR

Ülkemiz, dünya doğal taş potansiyelinin yaklaşık üçte birine sahip olmasına karşın, özellikle sert taş piyasasında önemli bir yer alamamıştır. Ülkemizde, 1980'li yılların başlarında sert taş üretimine yönelik faaliyetlerde bulunulsa da, Çin ve Hindistan gibi ülkelerden daha ucuza sert taş girişinin olması, 2000'li yıllara ulaşılmadan, mevcut ocakların tamamına yakınının kapatılmasına neden olmuştur. Bununla birlikte işletme ve pazarlama standartları belirlenirken doğal taşın işletilebilirliği; blok verme özelliği, cilalanma durumu ve albenisi ile ölçülmekte ancak hemen hemen hiçbir mermer işletmesinde kaya malzemesine ait indeks ve dayanım özellikleri dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle bu tür çalışmalar sadece bilimsel amaçlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada bölgede sert taş üretiminin teşvik edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla Trabzon merkez ilçe sınırları içerisinde bulunan

ve işletilmekte olan tefrit silinin oluşum koşulları ve jeolojik özellikleri araştırılmış, yaklaşık 30 m. kalınlığa 750 m. uzunluğa sahip ve kendi içinde heterojen bir yapı sunan silin farklı zonlarından alınan örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Sil akışına paralel ve dik yönde alınan silindirik karot örneklerinin sırasıyla tek eksenli basınç dirençleri 87 ve 130 MPa, boyuna dalga hızı değerleri 5048 ve 5642 m/s olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, yoğunluk değerlerinin 2.58 ve 2.68 g/cm<sup>3</sup>, görünür porozite değerlerinin % 2.77 ve 4.54, ağırlıkça su emme değerlerinin % 1.04 ve 1.78 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek dayanım ve en düşük porozite değerlerine sahip örneklerin silin akış doğrultusuna dik olan örnekler olduğu anlaşıldığından, bu örnekler üzerinde donma-çözünme ve ıslanma-kuruma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda ağırlık kaybı değerlerinin sırasıyla % 0.36 ve % 0.22 olduğu ve ıslanma-kuruma deneyi sonucunda tek eksenli basınç dayanımı değerinin

ise % 13 değer kaybettiği belirlenmiştir. Özellikle bu tür lav akıntılarında mineraller akma yönünde dizilir ve bu yönde mineral dizilimi mikro süreksizliklerin gelişmesine neden olur. Bu durum deney sonuçlarında da gözlenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde akma yönüne dik örneklerin porozite değerlerinin akma yönüne paralel örneklerin porozite değerlerinden düşük, tersine tek eksenli basınç ve boyuna dalga hızı değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle mevcut ocakta, tefritlerin bu özelliği dikkate alınarak bir ocak işletim tekniği uygulanmamaktadır. Bununla birlikte kaldırım döşeme işlemi sırasında ocaktan elde edilen bloklar düzensiz olarak döşenmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçların dikkate alınması, ocak verimini ve ocaktan elde edilen blokların dayanım süresini arttıracaktır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, bu çalışmanın bölge sert taş üretimi için bir ivme katacağı ve çalışma konusu tefritlerin bölge ekonomisine önemli bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere Vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 232 s. (yayımlanmamış).
- Aydın, F., Karlı, O., Chen, B., 2008. Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post-collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104, 249-266.
- Ersoy, H., 2007. Trabzon İli Katı Atıkları İçin Düzenli Depolama Yeri Seçimi Ve Önerilen Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 248 s. (yayımlanmamış)
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and geotechnical properties of kalecik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21<sup>st</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu. MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization testing and monitoring. Eds: Ulusay, R., Hudson J.A, 628 p.
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun tektonik birliklikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66, 23-34.
- Korkmaz, S., Van, A., 1995. Trabzon kıyı bölgesinin stratigrafisi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Özleri*, 107.
- Korkmaz, S., 1993. Stratigraphy of The Tonya-Düzköy (Southwest of Trabzon). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36-1, 151-158.
- Okay, A.I., Şahintürk, O., 1997. Geology of the eastern Pontides. Report of Regional and Petroleum

Ersoy, Yalçınalp, Babacan

Geology of the Black Sea and Surrounding Region, 68, 291– 311.

Özdemir, A., 2009. Kalecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 69 s. (yayımlanmamış).

Yağız, S., 2010. Geomechanical properties of construction stones quarried in South-western Turkey. Scientific Research and Essays, 5 (8), 750–757.

Yılmaz, A.O, Çavuşoğlu, İ., Alp, İ., Kaya, R., Vıçıl, M., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin doğaltaş potansiyeli ve doğaltaş işletmeciliği ile ilgili sorunlar. Türkiye IV. Mermer sempozyumu bildiriler kitabı, 435-448.

Yücel, C., Arslan, M., Temizel, İ., Abdioğlu, E. 2012. Trabzon-Giresun arasındaki Tersiyer alkalin volkanitlerinin petrokimyası ve Sr-Nd izotop jeokimyası, KD Türkiye. V. Jeokimya Sempozyumu, Denizli, 132-133.

## Basım Hatası

### *Erratum*

**Basım Hatası:** “Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini” Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 2013, Cilt 37, Sayı 2, sayfa 141-158

**Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA**

Yukarıdaki makalenin 153. sayfasındaki Şekil 8’in Türkçe açıklamasının düzeltilmiş şekli aşağıdaki gibidir.

Şekil 8:Kaynak sınıflandırmasını gösteren kesit, mavi: ölçülmüş kaynak, kırmızı: gösterilmiş kaynak (Snowden, 2000).

Yukarıdaki makalenin 155. sayfasındaki Şekil 9’da yer alan Mümkün, Muhtemel ve Görünür kelimeleri yerine sırasıyla çıkarsanmış, gösterilmiş ve ölçülmüş kelimeleri kullanılmalıdır.

**Erratum to:** Subsequent to publication of “Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting” Journal of Geological Engineering, 2013, Vol. 37, No. 2, page 141-158

**Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA**

In the above article on page 153, Turkish figure caption for Figure 8 should appear as follows:

Şekil 8:Kaynak sınıflandırmasını gösteren kesit, mavi: ölçülmüş kaynak, kırmızı: gösterilmiş kaynak (Snowden, 2000).

In the above article on page 155, figure caption for Figure 9, the terms of “mümkün, muhtemel and görünür” were used for the terms of inferred, indicated and measured, respectively. The corrected terms are “çıkarsanmış, gösterilmiş and ölçülmüş”.

# YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

## AMAÇ

### JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

• İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetererek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,

• Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,

• Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katılımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,

• Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,

• Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirme amaçlarına sahiptir.

## KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

- 1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper):** Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktarda ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

- 3- TEKNİK NOT (Technical Note):** Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note):** Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların önsonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.
- 5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply):** Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

## YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne **2 satır ağırlığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde \*.doc veya \*.docx formatında hazırlanarak e-posta ile** gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

## YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayın dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti"nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.



## YAZIM KURALLARI

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların** basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dize ederler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

### Metin Bölümü

- 1- **Metin;** A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıkla, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık;** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz;** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yazının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak **Anahtar Kelimeler ve Key Words** (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz verilmelidir.
- 4- Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir:
  - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
  - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
  - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
  - d) Abstract (key words eklenerek)
  - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
  - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
  - g) Tartışmalar
  - h) Sonuçlar ve Öneriler
  - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
  - j) Kaynaklar
- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:

**ÖZ**  
**ABSTRACT**  
**GİRİŞ**  
**ANA BAŞLIK**  
**Birinci Derece Alt Başlık**  
**İkinci derece alt başlık**  
**Üçüncü derece alt başlık**  
**TARTIŞMALAR**  
**SONUÇLAR VE ÖNERİLER**  
**KATKI BELİRTME**  
**KAYNAKLAR**

6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m<sup>3</sup> vb.) kullanılmalıdır.

7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

### Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.  
....Ford (1986) tarafından.....  
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)

- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayımlara metin içinde değinirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmamalıdır.  
....Doyuran vd.(1995)....  
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizini'nde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.  
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla değinilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

### Sürelili Yayınlar ve Bildiriler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. Environmental Geology, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Sürelili Yayın Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Şengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler, Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

### Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. Principles of Contaminant Hydrogeology (2<sup>nd</sup> Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

### Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

**NOT:** Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

### Eşitlikler ve Formüller

- a) Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b) Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c) Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I<sub>4</sub>, x<sup>2</sup> gibi).
- d) Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e) Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır (σ<sub>cmss=</sub>σ<sub>c</sub><sup>0.5</sup> gibi).

- f) Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "\*" işareti tercih edilmelidir ( $y=5 * 10^{-3}$  gibi).
- g) Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  veya  $CO^{-}$  gibi ifadeler yerine  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-}$  kullanılmalıdır.
- h) İzotop numaraları, "<sup>18</sup>O" şeklinde verilmelidir.

#### Çizelgeler

- a) Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranda daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b) Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dipnotlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c) Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d) Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e) Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

#### Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a) Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b) Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- c) Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d) Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e) Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f) Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g) Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

#### Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a) Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b) Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlüklerle neden olduğundan, çok gerekli durumlarda kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (\*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnota eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnota değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

#### YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

*JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin* "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

#### JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Hatay Sokak No: 21 Kocatepe/Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : topal@metu.edu.tr

#### AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.

## **İçindekiler / Contents**

### **Makaleler / Articles**

- 
- 1- **Tümay KADAKÇI KOCA, M. Yalçın KOCA**  
**Açık Ocak Albit İşletmesindeki Kaya Şevlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Duraylılık Değerlendirmesi**  
*Slope Stability Assessment of Rock Slopes in an Open Pit Albite Mine Using Finite Element Method (FEM)*
- 19- **Hasan KARAKUL**  
**Pasa Yığınları için Statik Koşullarda Şev Duraylılığının Araştırılmasının Önemi: Yeniköy Linyitleri İşletmesi Yaylıktepe Sahası Örneği**  
*Importance of the Investigation of Slope Stability for Spoil Piles under Static Conditions: A Case from Yaylıktepe Site, Yeniköy Lignite Enterprises*
- 39- **Hakan ERSOY, Bülent YALÇINALP, Ali Erden BABACAN**  
**Saraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması**  
*Investigation of Geological and Geomechanical Properties of the Saraftepe (Trabzon) Tephritic Sill*
- 51- **Yusuf Ziya ÖZKAN, Mehmet Ali AKBABA**  
**Basım Hatası: Örneklemeden Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini**  
*Erratum to: Step by Step Mineral Resource Estimation from Sampling to Reporting*