



Orijinal Araştırma / Original Research

## Kaya kütle makaslama dayanımının geri analiz yöntemi ile belirlenmesi: Bir vaka analizi

### Determination of rock mass shear strength through back analysis method: A case study

Ogün Ozan Varol<sup>a,\*</sup>, Mustafa Ayhan<sup>b,\*\*</sup>, Mutluhan Akın<sup>c,d,\*\*\*</sup><sup>a</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye<sup>b</sup> Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye<sup>c</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye<sup>d</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Kapadokya Jeolojik Miras ve Kaya Oyma Yapıları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Nevşehir, Türkiye

Geliş - Received: 3 Mart - March 2021 • Kabul - Accepted: 31 Mayıs - May 2021

## ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Avnik (Bingöl) demir açık ocak işletmesinde meydana gelen şev duraysızlıkları incelenmiştir. Duraysızlıklar; ileri derecede kırıklı, çatlaklı, fillit ve şist birimlerinde meydana gelmiştir. Limit denge analiz yöntemi ile geri analizler yapılmış ve duraysız şevlerin makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Limit denge yöntemi ile makaslama dayanım parametreleri belirlenirken Hoek – Brown yenilme ölçütü kullanılmıştır. Geri analizler neticesinde elde edilen GSI değerleri (35 - 32) ile arazi çalışmalarından elde edilen GSI değerleri (41 - 35) birbirleri ile uyumludur. Geri analizler neticesinde fillit ve şist birimleri için Hoek – Brown parametreleri sırası ile mb: 0,147 ve 0,173, s: 3,305x10<sup>-5</sup> ve 8,566x10<sup>-5</sup>, a: 0,516 ve 0,511 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar sözcük:** Geri analiz, Limit denge analizi, Hoek-Brown yenilme ölçütü, Açık ocak işletmesi, Şev duraylılığı.

## A B S T R A C T

In this study, the slope failures were investigated in Avnik (Bingöl) iron open – pit mine. The slope instabilities occurred in highly weathered phyllite and schist units. The back analyses were carried out considering the limit equilibrium method and the shear strength parameters. While determining shear strength parameters via limit equilibrium method Hoek – Brown failure criterion was used. The GSI values (35 – 32) obtained by back analyses and GSI values (41 – 35) determined by field survey are compatible with each other. Hoek – Brown parameters for phyllite and schist units, which were obtained by back analyses are mb: 0.147 and 0.173, s: 3.305x10<sup>-5</sup> and 8,566x10<sup>-5</sup>, a: 0.516 and 0.511 respectively.

**Keywords:** Back analysis, Limit equilibrium method, Hoek – Brown failure criterion, Open pit, Slope stability.

## Giriş

Açık ocak maden işletmelerinde şev geometrisi dikkat edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Şev tasarımı yapılırken ocak jeolojisini göz önünde bulundurarak şev açıları belirlenmelidir. Şevlerin dik veya dike yakın açılarla açılması her ne kadar dekapaj maliyetlerini azaltacak olsa da şev duraylılığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Özdoğan ve Deliormanlı, 2015).

Açık ocak maden işletmelerinde uzun süreli duraylılığın sağlanması için ocak gelişimine bağlı olarak şev duraylılık analizlerinin yapılması gerekmektedir (Fredj vd., 2020). Şevlerde oluşabilecek duraysızlıklar iş sağlığı ve güvenliği açısından büyük sorunlara yol

çababilmektedir (Zebarjadi Dana vd., 2018). Kaya ve zeminlerde meydana gelen yenilmelerin sebepleri geniş çaplı in-situ testler ile açıklanabilmektedir. Yenilme mekanizmasını anlamak ve yenilen kütleden veri elde ederek kaya kütlelerinin jeoteknik özelliklerini belirleme işlemine geri analiz adı verilmektedir (Erguler vd., 2020; Sharifzadeh vd., 2010).

Tektonizmaya uğramış ve aşırı kırıklı çatlaklı kaya kütlelerinden fiziko-mekanik özellikleri belirlemek ve kaya kütle sınıflaması yapmak için standartlara uygun numuneler almak oldukça zordur (Erguler vd., 2020). Bu sebeple literatürde araştırmacılar tarafından çeşitli kaya kütle sınıflandırma yöntemleri önerilmiştir. Bieniawski (1989) tarafından önerilen kaya kütle değerlendirmesi

\*Corresponding author/Sorumlu yazar: ogunozanvarol@yyu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-3546-3086>\*\* mayhan@dicle.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-4631-8842>\*\*\* mutluhanakin@nevsehir.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-5752-6949>

(RMR) yöntemi, Barton vd. (1974) tarafından önerilen Q sınıflama sistemi ve Hoek – Brown görgül yenilme ölçütü (Hoek vd., 2002) kaya kütle özelliklerini belirlemede araştırmacılar tarafından en sık kullanılan yöntemlerdir.

Şev duraylılığı analizlerinde çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlardan en sık kullanılanı limit denge analizleri ve nümerik yöntemlerdir. Kaya kütlelerinde meydana gelen yenilmeler süreksizlik kontrollü yenilmeler ve süreksizlik kontrollü olmayan yenilmeler olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Süreksizlik kontrollü yenilmeler sert kaya koşullarında meydana gelirken süreksizlik kontrollü olmayan yenilmeler ileri derecede kırıklı çatlaklı ve ileri derecede ayrılmış kaya kütlelerinde meydana gelmektedir (Öge, 2017).

Şev duraysızlıklarında yapılan geri analizler kaya kütlesi makaslama dayanımı hakkında önemli veriler sağlamaktadır (Hamamah vd., 2004; Öge, 2017). Limit denge yöntemi ile yapılan geri analizlerde, yenilme anındaki kaya kütesinin makaslama dayanım parametreleri, yenilme yüzeyi üzerinde bulunan tüm noktalar için hesaplanmaktadır (Akbulut, 2012). Bu yöntem, kaya kütlelerinde meydana gelen yenilmeleri tanımlamasına rağmen kaya kütlelerinde meydana gelen yenilmelerde doğrusal yenilme zarfı kaya kütesinin makaslama dayanımını tam olarak ifade edememektedir. Bu yüzden kaya kütlelerinde meydana gelen yenilmeler hesaplanırken Mohr – Coulomb yöntemi çok tercih edilen bir yenilme ölçütü değildir (Dong-ping vd., 2016; Kusumawardani vd., 2016; Wei vd., 2020) Kaya kütlelerinde meydana gelen yenilmelerde araştırmacılar tarafından Hoek – Brown (Hoek vd., 2002) yenilme ölçütü daha çok tercih edilmektedir (Akn, 2013; Cai vd., 2007; Sonmez ve Ulusay, 1999).

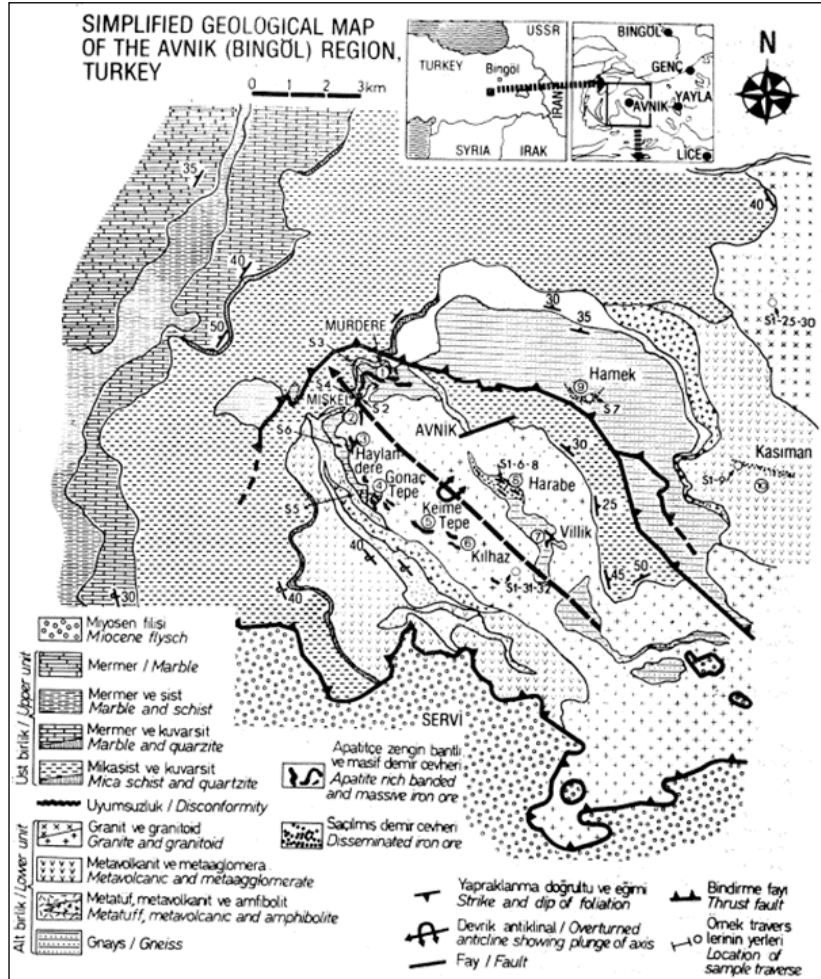
Bu çalışma kapsamında, Avnik (Bingöl) demir açık ocak işletmesinde 1523 m – 1359 m kotları ve 1428 m – 1384 m kotları arasında meydana gelen şev duraysızlıkları incelenmiştir. Yapılan geri analizler ile kaya kütlelerinin makaslama dayanım parametreleri ortaya konulmuştur. Ayrıca arazi çalışmaları sonucunda elde edilen GSI ve RMR değerleri geri analizler neticesinde elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

## 1. Çalışma alanı jeolojisi

Avnik (Bingöl) yöresinde Bitlis Masifi'nin metavolkanit, granitoid, mikaşist ve mermerleri yüzeylenmektedir (Şekil 1). Metamorfitlerin güney kısmında Kretase yaşlı melanaj zonu, kuzey kısmında ise Tersiyer yaşlı volkanitler yer almaktadır. Avnik bölgesinin en yaşlı birimi  $454 \pm 13$  Ma ile metavolkanitlerdir (Çelebi, 2012).

Yapılan arazi çalışmalarında, açık ocağı da içine alan çalışma alanının oldukça karmaşık ve tektonizmaya uğramış bir yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 2). Yapılan süreksizlik hat etütlerinde kaya kütlelerinde gözlenen süreksizlik aralıkları yaklaşık olarak şist için yaklaşık 2 cm fillit için ise yaklaşık 6 cm olarak ölçülmüştür. Tel profilometre ölçümlerine göre süreksizlik yüzeyleri “düz” olarak saptanmıştır. Öte yandan, özellikle şist biriminde süreksizliklerin yüzeylerinin oldukça kaygan bir özellik sergilediği belirlenmiştir.

Avnik açık ocak işletmesinde şist ve fillit kaya kütlesi aşırı kırıklı çatlaklı ve yer yer ileri derecede ayrılmış olduğundan, süreksizlik kontrollü yenilmeler beklenmemektedir. Bu tür kaya kütlelerinde yenilmeler genellikle dairesele yakın yenilme düzlemleri ile temsil edilebilmektedir (Akn, 2013; Özdemir ve Delikanlı, 2009).



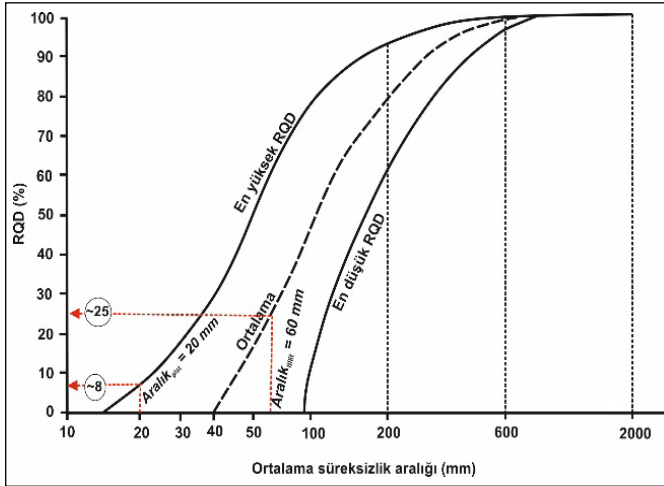
Şekil 1. Avnik bölgesi jeolojisi (Erdoğan (1982); Helvacı (1984)'den alınmıştır)



Şekil 2. Sürsüzlikler tarafından parçalanmış şev malzemesi (şist)

## 2. Kaya kütle özelliklerinin RMR yöntemiyle belirlenmesi

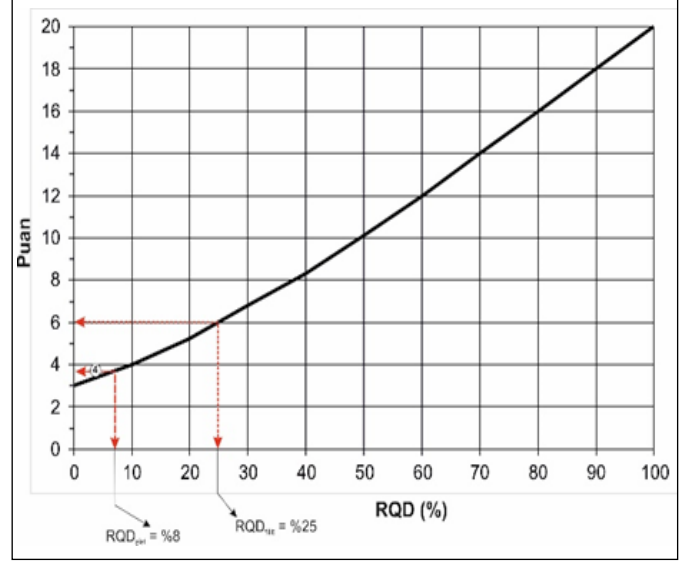
Arazi çalışmaları neticesinde fillit ve şist birimi için RMR puanlaması yapılmıştır. Çalışma sahası çok fazla metamorfizmaya maruz kaldığından, sahadan RQD belirlemek için uygun karotlar alınamamış RQD değerleri arazide belirlenen sürsüzlik aralığı değerleri yardımıyla belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, RQD değerini saptamak için sürsüzlik hat eütleri neticesinde ölçülen sürsüzlik aralığı değeri referans alınmış ve RQD değeri saptanmıştır (Şekil 3).



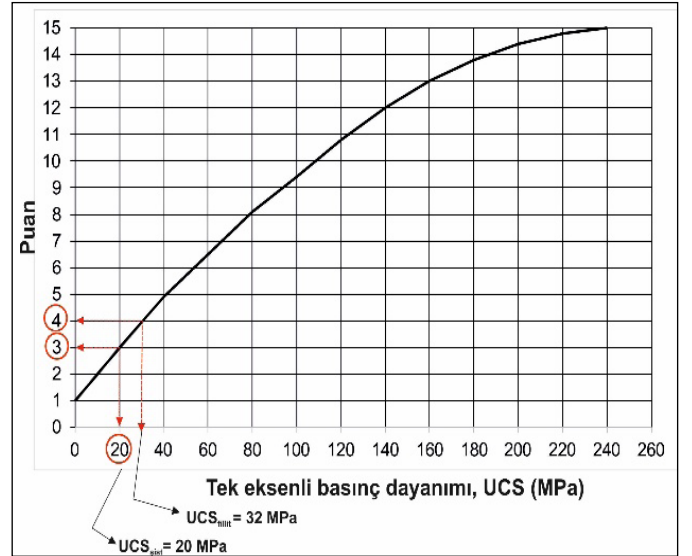
Şekil 3. Sürsüzlik aralığı - RQD ilişkisi

Belirlenen RQD değeri için RMR puanı belirlenmiş ve yapılan puanlama Şekil 4'te gösterilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ve sürsüzlik aralığı ölçümlerinin RMR puanlamaları Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Yapılan puanlamalar neticesinde elde edilen nihai RMR değeri ve kaya sınıflaması ise Çizelge 1'de sunulmuştur.

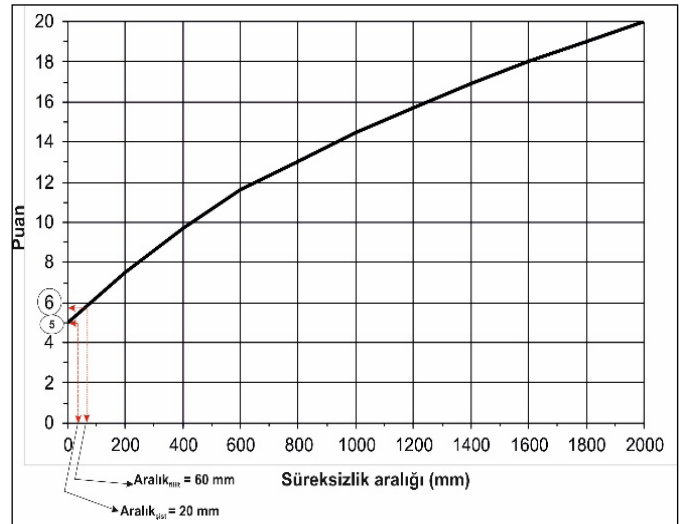
Gerçekleştirilen RMR puanlaması sonucunda Çizelge 1'den de görüleceği üzere inceleme alanındaki fillit ve şist biriminin RMR puanları sırasıyla 45 ve 40 olarak tespit edilmiştir. Buna göre, fillit biriminin orta, şist biriminin ise zayıf kaya kalitesinde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. RQD değeri için RMR puanı



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı için RMR puanı

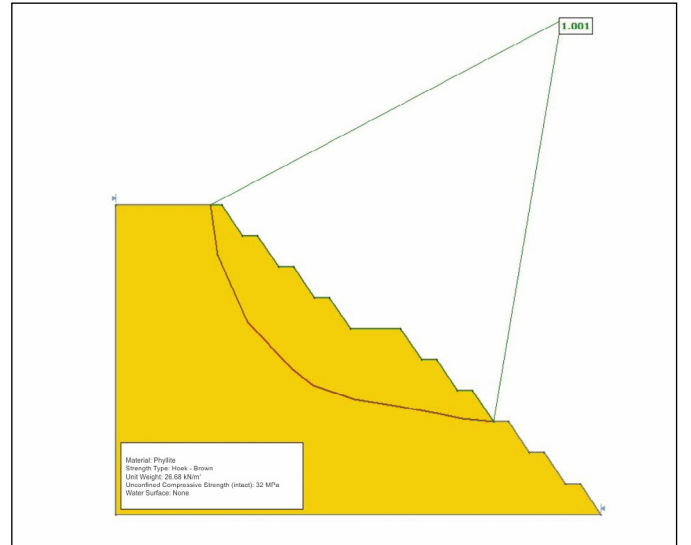
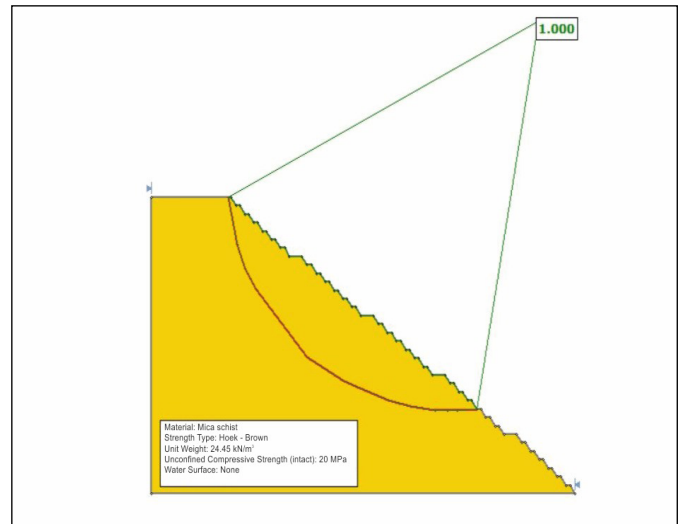


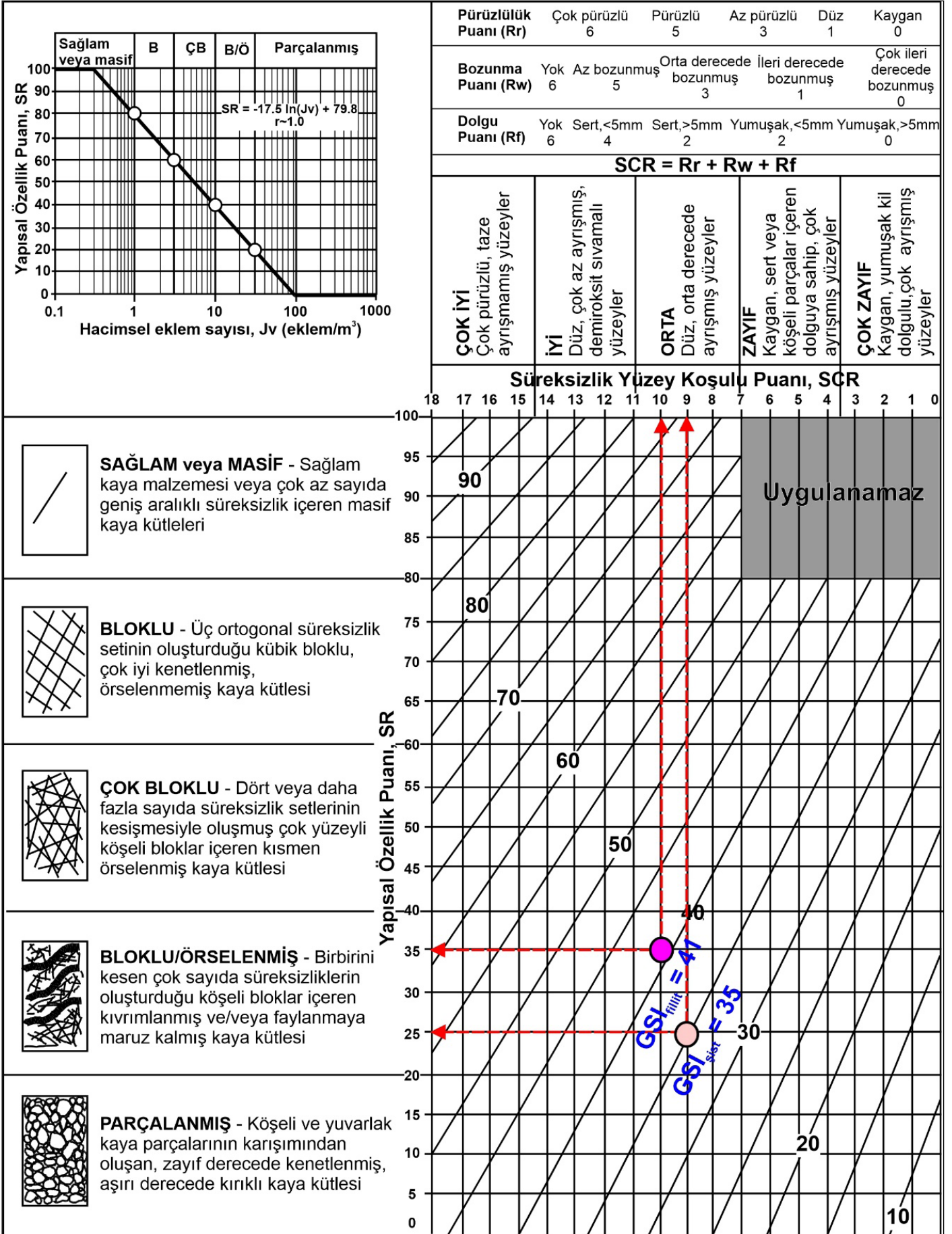
Şekil 6. Sürsüzlik aralığı için RMR puanı



**Çizelge 1.** Fillit ve şist birimleri RMR puanları

	Fillit		Şist	
	Değer	RMR Puanı	Değer	RMR Puanı
1 Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	32	4	20	3
2 Kayaç kalite göstergesi (RQD) (%)	25	6	8	4
3 Süreksizlik aralığı (mm)	60	6	20	5
4. Süreksizlik Özellikleri	Devamlılık (m)	>20	>20	0
	Açıklık (mm)	0.1-1.0	0.1-1.0	4
	Pürüzlülük	Düz	Kaygan	0
	Dolgu	Yok	Yok	6
5 Yeraltı suyu durumu	Bozunma	Orta derecede	Orta derecede	3
	Kuru	15	Kuru	15
	Temel RMR puanı	45		40
	Kaya Sınıfı	Orta Kaya	Zayıf Kaya	

**Şekil 8.** Taç noktası 1523 m topuk noktası 1359 m olan şev duraysızlığı (şist)**Şekil 9.** Fillit biriminin yenilme öncesi şev geometrisi**Şekil 7.** Taç noktası 1428 m topuk noktası 1384 m olan şev duraysızlığı (fillit)**Şekil 10.** Şist biriminin yenilme öncesi şev geometrisi



Şekil 11. Fillit ve şist birimleri için arazi verileri dikkate alınarak kantitatif GSI abağı ile belirlenen GSI değerleri (Sonmez ve Ulusay, 2002)

Geri analiz yöntemi ile makaslama dayanımının tespitinde, güvenlik katsayısını 1 veren içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri tahmin edilmektedir. Bu geri analiz yöntemi zemin özelliği gösteren yapılar da uygulanmasına rağmen benzer yöntemin ileri derecede ayrışmaya uğrayan zayıf kayalarda da uygulanabilir olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Cai vd., 2007; Kang vd., 2017; Sharifzadeh vd., 2010).

Bu çalışmada, kaya kütle dayanımının kestiriminde yukarıda belirtilen yöntem alternatif olarak Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerlerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla, kayma yüzeylerinin makaslama dayanımları belirlenirken normal gerilme ( $\sigma$ ) değeri kullanılarak Hoek – Brown yenilme ölçütünde bulunan materyal sabitleri ( $m$  ve  $s$ ) GSI veya RMR'ın bir fonksiyonu olarak hesaplanır (Akin, 2013). Homojen ve izotropik kaya kütleleri için Hoek – Brown yenilme ölçütü eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} * \left[ m_b * \left( \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} \right) + s \right]^{0.5} \quad (1)$$

Burada;

$\sigma'_1$  ve  $\sigma'_3$  kayma yüzeyinin maksimum ve minimum efektif gerilmeleri

$\sigma_{ci}$  sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı

$m_b$  ve  $s$  materyal sabitidir.

$m_b$  ve  $s$  değerleri eşitlik 2 ve eşitlik 3 kullanılarak hesaplanabilir.

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \quad (2)$$

$$\sigma = \exp[(GSI - 100) / (9 - 3D)] \quad (3)$$

Burada;

$m$  sağlam kayanın materyal sabiti

$D$  örselenme faktörüdür.

Aşırı ayrışmış ve tektonizmaya uğramış kaya kütlelerinden laboratuvar deneyleri için standartlara uygun karotlar almak oldukça zordur. Bu gibi durumlarda GSI ve RMR değerlerine in – situ testler ile karar verilmesi gerekmektedir.

Hoek – Brown yenilme ölçütü kullanılarak yapılan geri analizlerde  $m$  ve  $s$  değerlerinin seçiminde yapılabilecek hataların engellenmesi için literatürde araştırmacılar tarafından farklı yöntemler geliştirilmiştir (Akin, 2013; Sonmez vd., 1998; Ünal vd., 1992). Bu çalışma kapsamında geri analizler yapılırken Sönmez vd. (1998) tarafından önerilen geri analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem beş aşamadan oluşmaktadır.

1. Eşitlik 3 kullanılarak farklı GSI değerleri için farklı materyal sabiti değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu GSI değerleri  $GSI_{(s)}$  olarak adlandırılır.

2. Limit denge analiz yazılımında Hoek – Brown yenilme ölçütü kullanılarak güvenlik katsayısını (GK) 1 yapan  $m_b$  değeri Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanır.

3.  $m_b$  sabiti değeri Eşitlik 2'de yerine konular ve yeni bir GSI değeri hesaplanır. Hesaplanan bu GSI değeri  $GSI_{(m)}$  olarak adlandırılır.

4. İlk üç adım tekrar edilerek farklı  $GSI_{(s)}$  –  $GSI_{(m)}$  çiftleri hesaplanır.

5.  $GSI_{(s)}$  –  $GSI_{(m)}$  grafiğine 45° açıyla bir doğru çizilir. Doğrunun kestiği nokta  $GSI_{RM}$  değeri olarak adlandırılır.

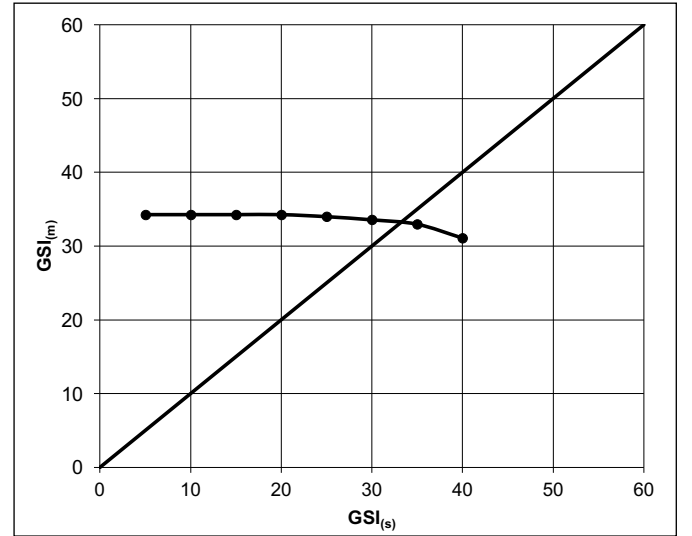
Fillit ve şist birimlerinin fiziko – mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan laboratuvar deneylerinde fillit kayacının tek eksenli basınç dayanımı 32 MPa, kuru birim hacim ağırlığı 26,68 kN/m<sup>3</sup>, şist kayacının tek eksenli basınç dayanımı 20 MPa, kuru birim hacim ağırlığı ise 24,45 kN/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Yapılan süreksizlik hat etütleri neticesinde elde edilen veriler ve Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen kantitatif GSI abağı kullanılarak arazi GSI değeri belirlenmiştir. GSI değerleri belirlenirken süreksizlik yüzey koşulu (SCR) ve yapısal özellik puanı (SR) değerlerinden yararlanılmıştır. SR değeri, hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) ile belirlenirken, SCR değeri ise profilometre ölçümleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, bozunma puanı ve dolgu puanlarının toplamı olarak belirlenmektedir.

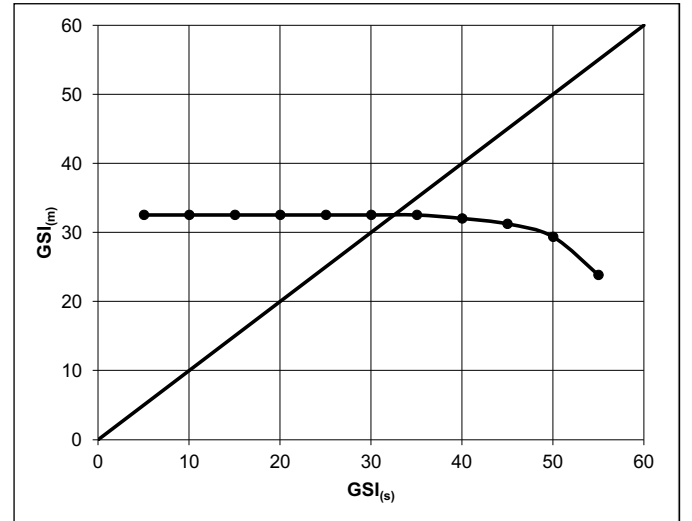
SR ve SCR hesaplamaları neticesinde fillit ve şist için GSI değerleri sırasıyla 41 ve 35 olarak hesaplanmıştır (Şekil 11).

Geri analizlerde kullanılacak  $m$  değeri Hoek vd. (2000) tarafından fillit için önerilen 8, şist için 10, örselenme faktörü ( $D$ ) ise 0.9 olarak seçilmiştir.

Yapılan geri analizler neticesinde Şekil 12'de görüldüğü üzere fillit biriminin GSIRM değeri 35, şist biriminin  $GSI_{RM}$  değeri 32 olarak hesaplanmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. Geri analizler neticesinde fillit için elde edilen  $GSI_{(s)}$  –  $GSI_{(m)}$  grafiği



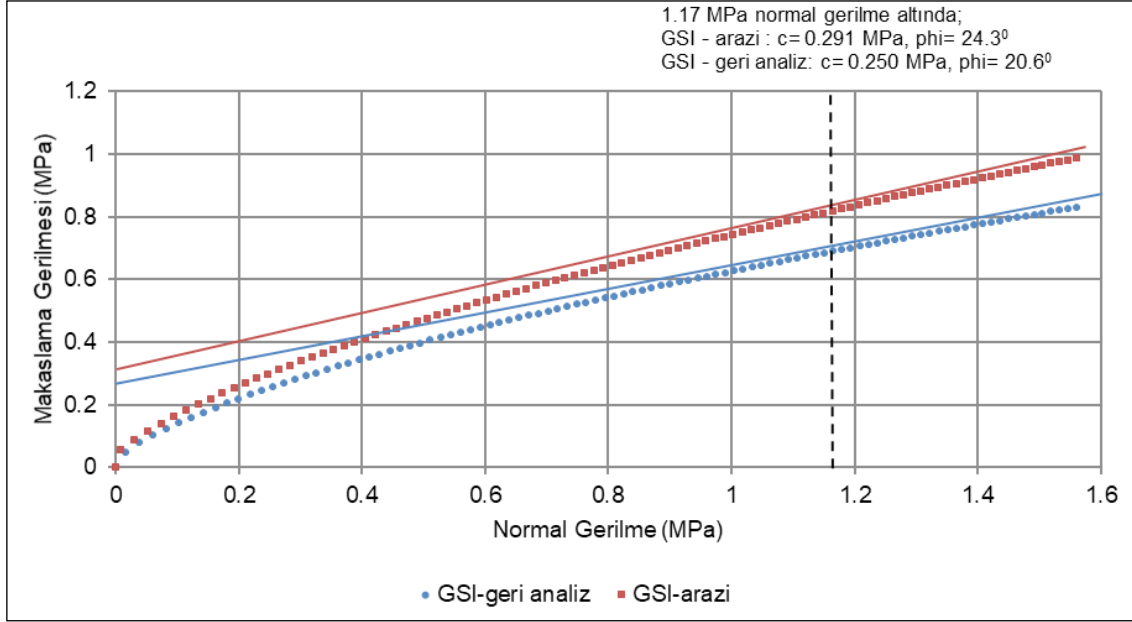
Şekil 13. Geri analizler neticesinde şist için elde edilen  $GSI_{(s)}$  –  $GSI_{(m)}$  grafiği

Fillit biriminde yenilme yüzeyine etkiyen normal gerilme altında, arazi değerlendirmeleri sonucunda elde edilen GSI (41) değerine göre ve geri analizler neticesinde elde edilen GSI (35) değerine göre eşitlik 1 ve eşitlik 2'de verilen formüller kullanılarak materyal sabitleri hesaplanmıştır (Çizelge 2). Şist biriminde ise normal gerilme koşulları altında arazi GSI değeri (35) ve geri

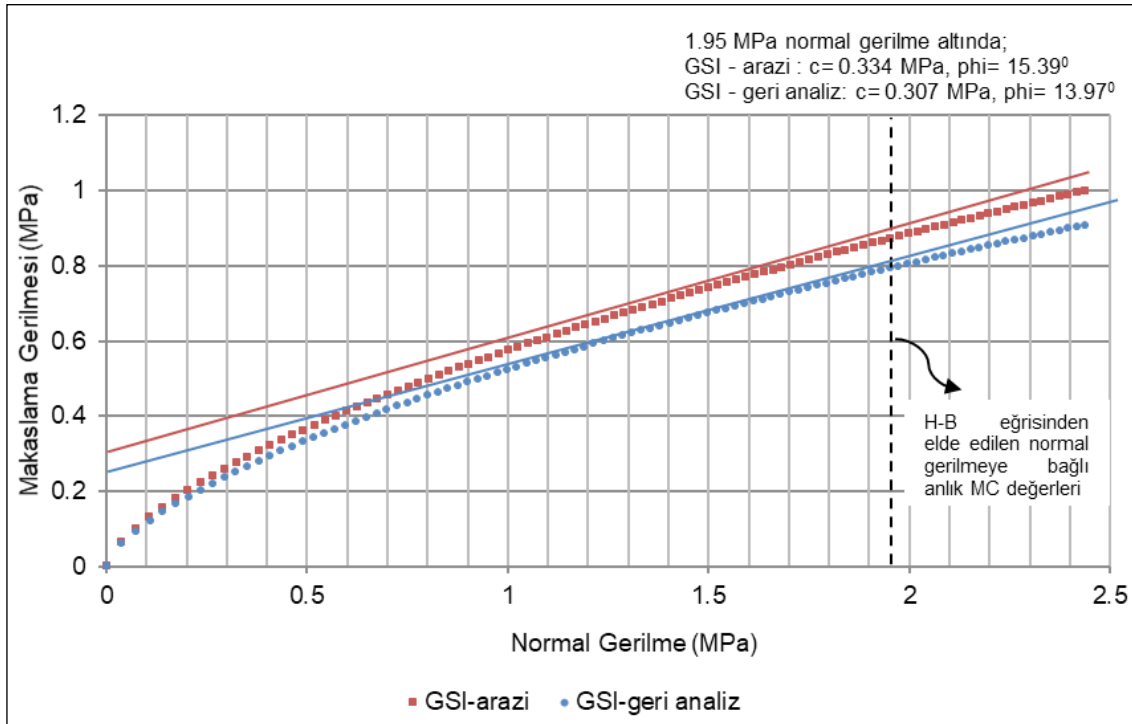


analizlerden elde edilen GSI (32) değerine göre [eşitlik 1](#) ve [eşitlik 2](#) kullanılarak materyal sabitleri belirlenmiştir ([Çizelge 3](#)). Yenilme yüzeyine etkiyen normal gerilme değerleri 1,17 MPa (fillit) ve 1,95 MPa (şist) olarak hesaplanmıştır. Normal gerilme değerleri, yenilme yüzeyi üzerindeki kaya kütlelerinin kalınlığına ve kaya malzemesinin birim hacim ağırlığına göre belirlenmiştir. Arazi ve

geri analiz GSI değerlerine göre iki farklı kaya birimi için çizilen Hoek – Brown yenilme zarfları [Şekil 14](#) ve [Şekil 15](#)'te gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere arazi çalışmaları ile geri analiz verileri sonucunda elde edilen makaslama dayanımları yakın değerler sunmaktadır.



**Şekil 14.** Fillit birimi için elde edilen Hoek – Brown yenilme zarfı



**Şekil 15.** Şist birimi için elde edilen Hoek – Brown yenilme zarfı

**Çizelge 2.** Fillit birimi arazi verileri ve geri analiz yöntemine göre ortaya konan kaya kütlesi dayanım parametreleri

Arazi Verilerine Göre Belirlenen Dayanım Parametreleri		Geri Analiz Yöntemiyle Belirlenen Dayanım Parametreleri	
GSI	41	GSI	35
$m_b$	0,147	$m_b$	0.121
s	$3,305 \times 10^{-5}$	s	$2,053 \times 10^{-5}$
a	0,516	a	0,520
c	0,291 MPa	c	0,250 MPa
$\phi$	24,3°	$\phi$	20,6°

**Çizelge 3.** Şist birimi arazi verileri ve geri analiz yöntemine göre ortaya konan kaya kütlesi dayanım parametreleri

Arazi Verilerine Göre Belirlenen Dayanım Parametreleri		Geri Analiz Yöntemiyle Belirlenen Dayanım Parametreleri	
GSI	35	GSI	32
$m_b$	0,173	$m_b$	0,117
s	$8,566 \times 10^{-5}$	s	$3,305 \times 10^{-5}$
a	0,511	a	0,515
c	0,334 MPa	c	0,307 MPa
$\phi$	15,39°	$\phi$	13,97°

## Sonuçlar

Yapılan bu çalışma kapsamında, Avnik (Bingöl) demir açık ocak işletmesinde meydana gelen iki ayrı şev duraysızlığı incelenmiştir. Aşırı kırıklı – çatlaklı ve metamorfizmaya uğramış birimler geri analiz yöntemi ile değerlendirilmiş ve kaya kütle makaslama dayanımı Hoek – Brown yenilme ölçütü kullanılarak ortaya konmuştur. Arazi çalışmaları neticesinde elde edilen GSI değerleri ile yapılan geri analizler sonucunda elde edilen GSI değerleri kullanılarak makaslama gerilmesi – normal gerilme grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere her iki birim için yapılan geri analizler ile arazi çalışmaları neticesinde elde edilen makaslama dayanım değerleri uyum içerisindedir.

Çalışmaya konu olan açık ocak işletmesinde üretim devam etmekte ve ocak derinleşmektedir. Geri analizlerden elde edilen kaya kütlesi dayanım parametreleri kullanılarak mevcut açık ocak işletmesinde yapılacak olan iki boyutlu (2B) ve/veya üç boyutlu (3B) şev duraylılığı analizleri ile açık ocak işletmesinin şevlerinin güvenlik katsayıları ortaya konulmalı ve gerekli görülen şevlerde iyileştirme işlemleri yapılmalıdır.

Unutulmamalıdır ki derinleşen açık ocak maden işletmelerinde şev duraylılığı konusu en büyük sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şevlerde duraylılık sorunları ortaya çıkmadan önlemler almak ve gerekli iyileştirme yöntemleri veya uygun şev geometrisi uygulanarak yenilmelerin engellenmesi, açık ocak işletmelerinde üretimin devam etmesi için hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple yenilmeye uğraması muhtemel şevlerdeki yer değiştirmelerin izleme sistemleri ile düzenli olarak takip edilmesi ve duraysız durumlar ortaya çıkmadan müdahale edilmesi de hem iş sağlığı güvenliği hem de işletmenin ekonomik kayıplara uğramaması açısından oldukça önemlidir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Ogün Ozan Varol'un doktora tezinin alt çalışması olarak üretilmiştir. Yazarlar, doktora çalışmasını MÜHENDİSLİK.20.004 numaralı proje ile destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne ve açık ocak maden sahasında çalışmamıza olanak sağlayan, arazi çalışmalarında destek olan tüm DİMİN A.Ş yetkililerine ve teknik elemanlarına teşekkürlerini sunarlar.

Yazarlar, dergi editörüne ve hakemlere yapmış oldukları yapıcı yorumlar ve katkılarından dolayı teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- Akbulut, İ. 2012. Slope Stability (2012. baskı). Ankara: General Directorate of Mineral Exploration.
- Akin, M. 2013. Slope stability problems and back analysis in heavily jointed rock mass: A Case study from Manisa, Turkey. Rock Mechanics and Rock Engineering, 46(2), 359–371.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock mechanics, 6(4), 189–236.
- Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons.
- Cai, M., Kaiser, P. K., Tasaka, Y., Minami, M. 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(2), 247–265.
- Çelebi, H. 2012. Türkiye Apatitli Manyetit Yatakları: Jeolojisi, Jeokimyası ve Ekonomik Potansiyeli. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22(1), 67–83.
- Dong-ping, D., Liang, L., Jian-feng, W., Lian-heng, Z. 2016. Limit equilibrium method for rock slope stability analysis by using the Generalized Hoek-Brown criterion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 89(June), 176–184.
- Erdoğan, B. 1982. Bitlis Masifi'nin Avnik (Bingöl) Yöresinde Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. EÜ Yerbilimleri Fakültesi, Doçentlik Tezi.
- Erguler, Z. A., Karakuş, H., Ediz, I. G., Şensöğüt, C. 2020. Assessment of design parameters and the slope stability analysis of weak clay-bearing rock masses and associated spoil piles at Tunçbilek basin. Arabian Journal of Geosciences, 13(1), 1–11.
- Fredj, M., Hafsaoui, A., Riheb, H., Boukarm, R., Saadoun, A. 2020. Back-analysis study on slope instability in an open pit mine (Algeria). Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020(2), 24–29.
- Hammah, R., Curran, H. J., Yacoub, T., Corkum, B. 2004. Stability analysis of rock slopes using the finite element method.
- Helvacı, C. 1984. Bitlis Masifi Avnik (Bingöl) Yöresindeki Zengin Demir Yataklarının Oluşumu. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 8(1), 11–15.
- Hoek, E., Carranza, C., Corkum, B. 2002. Hoek-brown failure criterion – 2002 edition. Narms-Tac, 1(1), 267–273.
- Hoek, E., Kaiser, P. K., Bawden, W. F. 2000. Support of underground excavations in hard rock. CRC Press.
- Kang, K. S., Hu, N. L., Sin, C. S., Rim, S. H., Han, E. C., Kim, C. N. 2017. Determination of the mechanical parameters of rock mass based on a GSI system and displacement back analysis. Journal of Geophysics and Engineering, 14(4), 939–948.
- Kusumawardani, R., Upomo, T. C., Faizal, M. 2016. Back-analysis of hoek-brown criterion: Rock slide case in Manado. International Journal of GEOMATE, 11(5), 2808–2814.
- Öge, İ. F. 2017. Investigation of design parameters of a failed soil slope by back analysis. Engineering Failure Analysis, 82(August), 266–279.
- Özdemir, A., Delikanlı, M. 2009. A geotechnical investigation of the retrogressive Yaka Landslide and the debris flow threatening the town of Yaka (Isparta, SW Turkey). Natural Hazards, 49(1), 113–136.



- Özdoğan, M. V., Deliormanlı, A. H. 2015. Açık Maden Ocaklarında Oluşan Şev Duraysızlıklarının İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin (TLS-LiDAR) Kullanımı. Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 14-17 Nisan 2015, Antalya, Türkiye ss. 393-400.
- Rocscience Inc. 2020. 2D Limit equilibrium slope stability analysis. Toronto, Ontario, Canada: Rocscience.
- Sharifzadeh, M., Sharifi, M., Delbari, S. M. 2010. Back analysis of an excavated slope failure in highly fractured rock mass: The case study of Kargar slope failure (Iran). *Environmental Earth Sciences*, 60(1), 183–192.
- Sonmez, H., Ulusay, R. 1999. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36(6), 743–760.
- Sonmez, H., Ulusay, R. 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26(1), 77–99.
- Sonmez, H., Ulusay, R., Gokceoglu, C. 1998. A practical procedure for the back analysis of slope failures in closely jointed rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 35(2), 219–233.
- Ünal, E., Özkan, İ., Ulusay, R. 1992. Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses. In *Rock Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses* (ss. 330–335). Thomas Telford Publishing.
- Wei, Y., Jiaxin, L., Zonghong, L., Wei, W., Xiaoyun, S. 2020. A strength reduction method based on the Generalized Hoek-Brown (GHB) criterion for rock slope stability analysis. *Computers and Geotechnics*, 117(September 2019), 103240.
- Zebarjadi Dana, H., Khaloo Kakaie, R., Rafiee, R. 2018. Effects of geometrical and geomechanical properties on slope stability of open-pit mines using 2D and 3D finite difference methods. *Journal of Mining and Environment*, 9(4), 941–957.

