

## Farklı Ayrışma Derecesine Sahip Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Özellikleri: Gümüşhane Granitoyidi Örneği, Gümüşhane, KD Türkiye

*Excavatability Properties of Rock Masses Having Different Weathering Degrees: An Example of Gümüşhane Granitoid, Gümüşhane, NE Turkey*

Selçuk ALEMDAĞ<sup>1</sup>, Ayberk KAYA<sup>1</sup>, Zülfü GÜROCAK<sup>2</sup>, Serhat DAĞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Geliş (received) : 08 Haziran (June) 2011  
Düzeltilme (revised) : 24 Haziran (June) 2011  
Kabul (accepted) : 28 Haziran (June) 2011

### ÖZ

Kayaların kazılabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılacak çalışmalar kazı maliyeti açısından mühendislik projelerinin uygulanabilirliğine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, Gümüşhane ve yakın yöresinde yüzeylenen Erken Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi'nin kazılabilirlik özellikleri incelenmiştir. İlk olarak, dört farklı alan seçilmiş ve bu alanlardaki kaya kütleleri ISRM tanımlama kriterleri esas alınarak ayrışma derecelerine göre gruplandırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1, 2 ve 3 numaralı alanlardaki kaya kütlelerinin orta derecede ayrışmış, 4 numaralı alandaki kaya kütlelerinin ise ileri derecede ayrışmış kaya sınıfında olduğu tespit edilmiştir. İkinci aşamada, eklemlerin mühendislik özellikleri ve kaya malzemesinin jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonraki aşamada ise kaya kütlelerinin RMR<sub>99</sub>, Q ve GSI değerleri belirlenmiş ve kazılabilirlik açısından sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflamalara göre, orta derecede ayrışmış kaya kütleleri "sökülebilir", ileri derecede ayrışmış kaya kütleleri ise "kazılabilir" özelliktedir. İnceleme alanlarında yapılan kazı çalışmalarında orta derecede ayrışmış kaya kütlelerinin hidrolik kırıcı kullanılarak söküldüğü, ileri derecede ayrışmış kaya kütlelerinin ise kepçe kullanılarak kazıldığı tespit edilmiştir. Son aşamada ise bulunan sonuçlar ile uygulanan kazı yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazı yöntemleri, yerinde yapılan kazı çalışmaları ile tamamen örtüşmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ayrışma derecesi, Gümüşhane granitoyidi, Kazılabilirlik sınıflama sistemleri.

### ABSTRACT

*The studies to determine the excavatability properties of rocks contribute to the applicability of the engineering project in terms of the cost of excavation. In this study, excavatability properties of Early Carboniferous aged Gümüşhane Granitoid outcropped in the residential area of Gümüşhane were*

*examined. Firstly, four different areas were selected and the rock masses were grouped according to their degree of weathering based on the description criteria of ISRM. As a result of these studies, the rock masses in field-1, field-2 and field-3 were determined as moderately weathered. The weathering degree of rock mass in field-4 was highly weathered. In the second stage, properties of discontinuities and geomechanical parameters of intact rock material were determined. In the next stage,  $RMR_{89}$ ,  $Q$  and  $GSI$  values of rock masses were determined and the rock masses were classified using the excavatability classification systems. Moderately and highly weathered rock masses were classified to be in ripping and digging categories, respectively. It was determined that the moderately weathered rock masses were ripped by using hydraulic breaker and the highly weathered rock masses were digged by using face shovel. In the final stage, the data obtained from these studies and the excavation works in the selected areas were compared. According to the results, the excavation methods suggested by Tsiambaos and Saroglou (2009) are completely compatible with in-situ excavation works.*

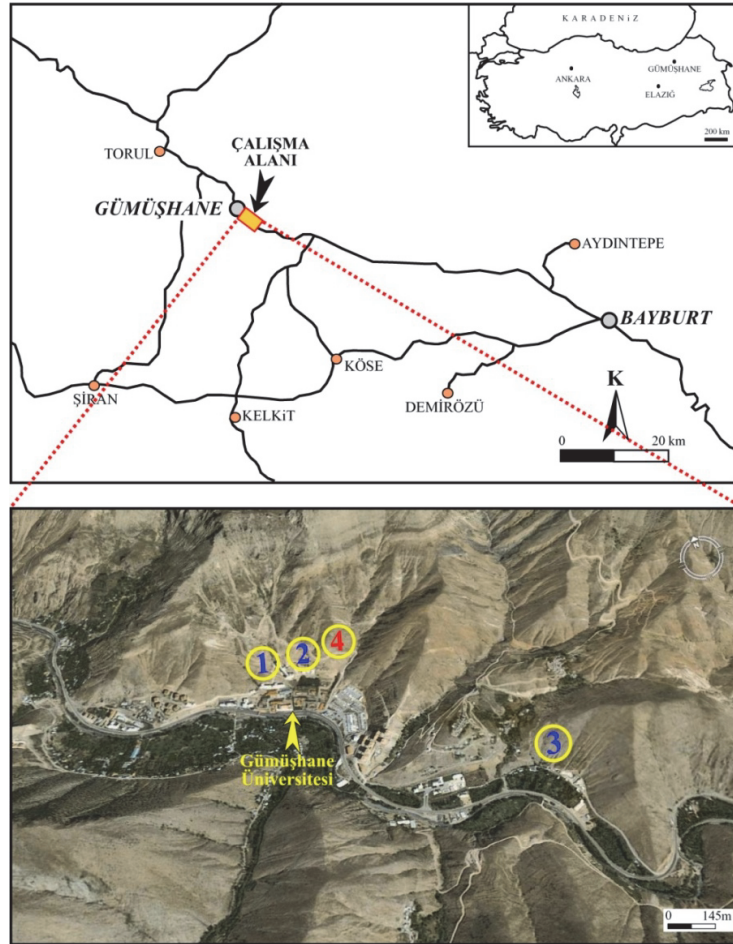
**Key Words:** Degree of weathering, Gümüşhane granitoid, Excavatability classification systems.

## GİRİŞ

Kazılabilirlik, kayaçların buldukları yerden kazı ekipmanları ile ne ölçüde koparılabilirliklerinin, sökülebilirlik ise kayaların riperli dozer ile ne ölçüde sökülerek parçalanabileceğinin göreceli ifadesidir (Ceylanoğlu vd., 2007). Gürocak vd. (2008) kayaçların kazılabilirliğinde ayrıştırma, kaya malzemesinin dayanımı ve süreksizlik aralığının etken rol oynadığını vurgulamıştır. Mühendislik yapılarının inşa edileceği kaya kütlelerinde uygulanacak kazı yönteminin ve kazıda kullanılacak ekipmanın gerçekçi bir şekilde belirlenmesi kazı maliyetini en aza indirmektedir (Kaya vd., 2011). Bu nedenle, kaya kütlelerinin kazılabilirliği konusunda birçok araştırmacı (Franklin vd., 1971; Atkinson, 1971; Bailey, 1975; Weaver, 1975; Kirsten, 1982; Abdullatif ve Cruden, 1983; Scoble ve Müftüoğlu, 1984; Singh vd., 1986; Smith, 1986; Bozdağ, 1988; Paşamehmetoğlu vd., 1988; Karpuz, 1990; Pettifer ve Fookes, 1994; Tsiambaos ve

Saroglou, 2009) kaya kütle ve malzeme özelliklerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı görgül kazılabilirlik ve sökülebilirlik sınıflamaları önermişlerdir.

Bu çalışmada, Gümüşhane ve yakın yöresinde geniş bir yayılım gösteren Erken Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi'nin kazılabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesinde ve Akçakale Köyü mevkinde yüzeylenen Gümüşhane Granitoyidi'nin belirlenen dört farklı lokasyondaki (Şekil 1) kaya kütle ve malzeme özellikleri araştırılmış ve bu kaya kütleleri Franklin vd. (1971), Kirsten (1982), Abdullatif ve Cruden (1983), Pettifer ve Fookes (1994), ve Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Kazılabilirlik sınıflama sistemlerine göre belirlenen kazı yöntemlerinin, arazide yapılan kazı yöntemleriyle benzerlik gösterip göstermediği araştırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

## MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanlarındaki Gümüşhane Granitoidi'nin kaya kütle ve malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında kaya kütleleri ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine uygun olarak ayrışma derecesine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan kaya kütlelerinin içerdiği eklemlerin mühendislik özellikleri ise ISRM

(1981) tarafından önerilen hat etüdü yöntemi ile belirlenmiştir (Şekil 2).

Ayrıca, orta ve ileri derecede ayrılmış kaya kütlelerinde yapılan kazılar sırasında sağlam durumda olan kaya blokları seçilmiş ve çalışmanın amacına uygun olacak şekilde bu bloklardan hazırlanan örnekler üzerinde ISRM (1981, 1985) tarafından önerilen yöntemlere göre tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 2. 2 Numaralı alandaki kaya şevinde yapılan hat etüdü çalışması.

Figure 2. Scanline survey on the rock slope face at location-2.

## ÇALIŞMA ALANININ VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin (Ketin, 1966) güney zonunda yer almaktadır. Doğu Pontidler'in Liyas öncesi temeli, iki farklı yaştaki kaya topluluğu tarafından temsil edilmektedir. Pulur Metamorfileri olarak da bilinen Erken Karbonifer yaşlı metamorfite, kıtasal kökenli kayalardan okyanusal kökenli olanlara kadar çok geniş bir aralıkta değişen metamorfik kayaçlar içermektedir. Kurtoğlu Metamorfileri bu kayaçların daha kuzeyde yüzeyleyen eşleniği durumundadır (Topuz vd., 2007). Paleozoyik temel içerisinde yer alan ikinci büyük kaya topluluğunu ise kıtasal kabuk kökenli, granodiyorit ve granit yanında dasitik-riyolitik porfirler de içeren Erken-Geç Karbonifer yaşlı Köse ve Gümüşhane Granitoyidi gibi magmatik kütleler oluşturmaktadır. Bu çalışmanın da

konusunu oluşturan Gümüşhane Granitoyidi, güney sınırı boyunca Kurtoğlu Metamorfileri'ni kesmekte ve uyumsuz olarak çoğunlukla volkano-klastiklerden meydana gelen Erken Jura yaşlı Şenköy formasyonu tarafından örtülmektedir (Kandemir, 2004). İnceleme alanlarında yüzeylenen Gümüşhane Granitoyidi yer yer tamamen ayrılmış olup, yoğun eklemler içermektedir. Eklemler yapısı, pembe rengi ve ayrılmış görünümüyle arazide kolayca ayırt edilebilir özelliktedir (Şekil 2).

## ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYA KÜTLELERİNİN AYRIŞMA DERECESESİ

Kaya kütlelerinin yüzey ve yüzeye yakın kesimlerinde ayrışma, daha derinlerde ise hidrotermal suların etkisi ile alterasyon gelişebilir. ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma derecesi sınıflaması arazi çalışması sırasında kolaylıkla belirlenebilen görsel bir sınıflamadır

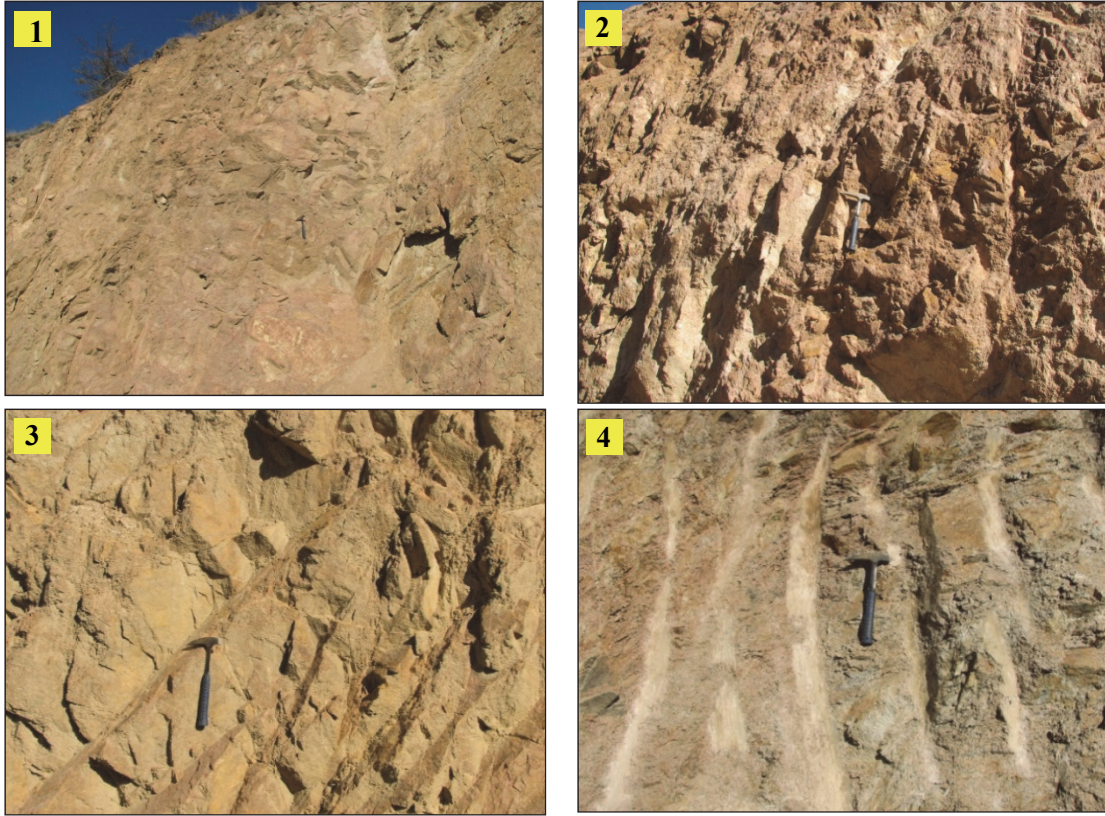
(Çizelge 1). Bu sınıflamaya göre çalışma alanındaki kaya kütlelerinin orta (1, 2 ve 3

numaralı alanlar) ve ileri (4 numaralı alan) derecede ayrışma gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3).

Çizelge 1. Çalışma alanındaki kaya kütlelerinin ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma derecesi tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.

Table 1. Evaluation of the rock masses in the study area according to criteria of ISRM (1981) degree of weathering description.

Tanımlama Ölçütü	Ayrışma Derecesi	Tanım	Çalışma Alanı
Kayanın ayrıştığına ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana eklem yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlemlenebilir.	I	Ayrışmamış (Taze)	
Kaya malzemesi ve eklem yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Ayrışma nedeni ile tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	II	Az Ayrışmış	
Kayanın yarısından daha az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmıştır. Kaya; taze ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	III	Orta Derecede Ayrışmış	1, 2, 3
Kayanın yarısından daha fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrışmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze ya da renk değişimine uğramış olup ya bir eklem kütle ya da çekirdek taşı halindedir.	IV	İleri Derecede Ayrışmış	4
Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrışmış veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	V	Tamamen Ayrışmış	
Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte zemin taşınmamıştır.	VI	Artık Zemin	



Şekil 3. Orta (1, 2, 3) ve ileri (4) derecede ayrılmış kaya kütlelerinin arazideki görünümü.

Figure 3. Field view of the moderately (1, 2, 3) and highly (4) weathered rock masses.

### KAYA MALZEMESİNE AİT MEKANİK ÖZELLİKLER

Arazi çalışmaları kapsamında orta ve ileri derecede ayrılmış granitoidlerden derlenen granit bloklarından laboratuvarında örnekler hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde ISRM (1981, 1985) tarafından önerilen yöntemlere göre tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait sonuçların istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; orta derecede ayrılmış granit örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı değerleri 29.14 - 58.11 MPa arasında, nokta yükü dayanım indeksi değerleri ise 1.96 - 4.36 MPa arasında değişmektedir. İleri derecede ayrılmış granit örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 22.36 - 33.63 MPa arasında, nokta yükü dayanım indeksi değerlerinin ise 0.76 - 1.73 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Granit örneklerine ait mekanik özelliklerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Table 2. Statistical evaluation of the mechanical properties of the granite samples.

Mekanik Özellikler	Orta Derecede Ayrışmış Granit	İleri Derecede Ayrışmış Granit
	<i>Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (<math>I_{S(50)}</math> - MPa)</i>	
Deney sayısı	24	7
En az	1.96	0.76
En Çok	4.36	1.73
Ortalama	2.54	1.17
Standart Sapma	$\pm 0.56$	$\pm 0.36$
	<i>Tek Eksenli Basınç Dayanımı (<math>\sigma</math> - MPa)</i>	
Deney sayısı	13	11
En az	29.14	22.36
En Çok	58.11	33.63
Ortalama	42.54	27.45
Standart Sapma	$\pm 9.65$	$\pm 3.93$

## EKLEMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanlarındaki kaya kütlelerinin içerdiği eklemelerin mühendislik özellikleri ISRM (1981) tanımlama ölçütlerine göre belirlenmiştir. Orta ve ileri derecede ayrışmış granitoidlerdeki eklemelerin özelliklerini belirlemek için kaya özelliğini tam olarak kaybetmemiş yerler belirlenerek buralarda ölçümler yapılmıştır. Kaya kütlelerindeki şev aynalarında birbirine dik yönde ölçümler yapılarak eklem sıklığı ( $\lambda$ ) değerleri belirlenmiştir. Kaya kütlelerinde sistematik eklemelerin yanı sıra düzensiz eklemelerin de gelişmiş olması nedeniyle Kaya Kalite Göstergesi'ni (RQD) belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen eklem sıklığı ( $\lambda$ ) değerinin kullanıldığı 1 numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (1)$$

Burada; RQD: Kaya Kalite Göstergesi,  $\lambda$ : 1 metredeki eklem sayısıdır.

Kaya kütlelerine ait Hacimsel Eklem Sayısı'nın ( $J_v$ ) belirlenmesinde Palmström (2005) tarafından önerilen 2 numaralı eşitlikten faydalanılmıştır.

$$J_v = \frac{110 - RQD}{2.5} \quad (2)$$

Burada; RQD: Kaya Kalite Göstergesi,  $J_v$ : 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğundaki eklem sayısıdır.

İnceleme alanındaki kaya kütlelerine ait RQD,  $J_v$  değerleri ve eklemelerin mühendislik özellikleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Alemdağ, Kaya, Gürocağ ve Dağ

Çizelge 3. İncelenen kaya kütlelerine ait RQD, Jv değerleri ve eklemlerin mühendislik özellikleri.

Table 3. RQD, Jv values and engineering properties of discontinuities in the studied rock masses.

Özellikler	Orta Derecede Ayrışmış Granitoyid	İleri Derecede Ayrışmış Granitoyid
Eklem sıklığı ( $\lambda$ )	11	14
RQD (%)	70	59
Hacimsel eklem sayısı (Jv, eklem/m <sup>3</sup> )	16	20
Eklem takım sayısı	4	4
Eklem aralığı (m)	0.38	0.22
Eklem devamlılığı (m)	0.85	0.44
Eklem yüzeylerinin dalgalılığı ve pürüzlülüğü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü
Eklem açıklığı (mm)	1-8 mm (Ort.: 2.6 mm)	1-5 mm (Ort.: 1.5 mm)
Eklem dolgusunun türü	Kalsit dolgulu	Kil ve kayaç parçaları ile dolgulu
Eklem yüzeyinin ayrışma derecesi	Orta derecede ayrışmış	İleri derecede ayrışmış
Eklem yüzeylerindeki su durumu	Eklem yüzeyleri kuru	Eklem yüzeylerinde damlama mevcut

Orta derecede ayrışmış granitoyidlerdeki eklemlerin orta derecede aralıklı, çok düşük devamlı, dalgalı pürüzlü, orta derecede geniş ve kalsit dolgulu olduğu, ileri derecede ayrışmış granitoyidlerdeki eklemlerin ise orta derecede aralıklı, çok düşük devamlı, dalgalı pürüzlü, açık ve kil-kayaç parçaları ile dolgulu olduğu belirlenmiştir. Orta ve ileri derecede ayrışmış granitoyidlere ait ortalama RQD değerleri sırasıyla %70 ve 59, hacimsel eklem sayısı değerleri ise 16 ve 20 eklem/m<sup>3</sup>'tür.

### KAYA KÜTLELERİNİN KAYA KÜTLE SINIFLAMA SİSTEMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler yardımıyla kaya kütleleri RMR<sub>89</sub> (Bieniawski, 1989) ve Q (Barton vd., 1994) kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmış ve GSI (Sönmez ve Ulusay, 2002) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara ait ortalama değerler Çizelge 4'te sunulmuştur.



Çizelge 4. İncelenen kaya kütlelerinin RMR<sub>89</sub>, Q ve GSI sistemlerine göre değerlendirilmesi.

Table 4. Evaluation of the studied rock masses according to RMR<sub>89</sub>, Q and GSI systems.

<b>Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri</b>	<b>Orta Derecede Ayrışmış Granitoid</b>	<b>İleri Derecede Ayrışmış Granitoid</b>
Temel RMR <sub>89</sub>	55.4 Orta kaya	37.1 Zayıf kaya
Q	1.87 Zayıf kaya	0.26 Çok zayıf kaya
GSI	39 Bloklu/Örselenmiş	28 Bloklu/Örselenmiş

RMR<sub>89</sub>, Q ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre orta derecede ayrışmış granitoidler sırasıyla “Orta kaya”, “Zayıf kaya” ve “Bloklu/Örselenmiş”, ileri derecede ayrışmış granitoidler ise sırasıyla “Zayıf kaya”, “Çok zayıf kaya” ve “Bloklu/Örselenmiş” sınıfındadır.

#### **KAYA KÜTLELERİNİN KAZILABİLİRLİK SINIFLAMA SİSTEMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ**

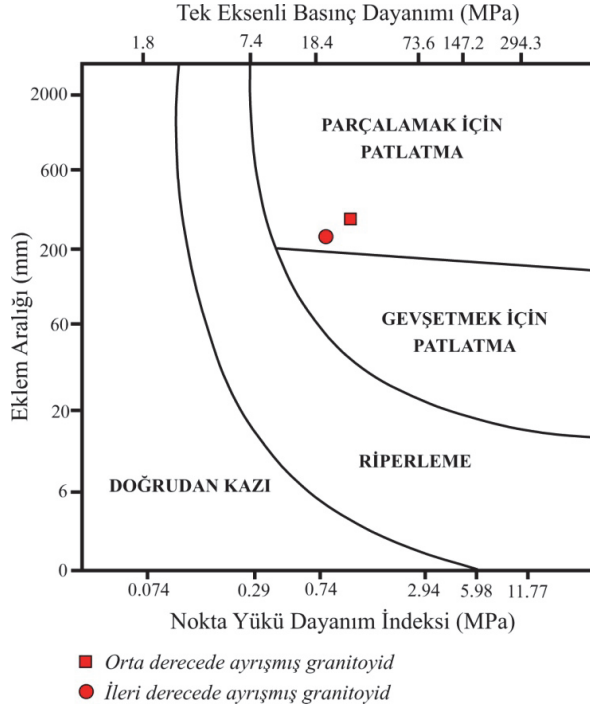
İnceleme alanlarındaki kaya kütlelerinin kazılabilirliğinin değerlendirilmesinde Franklin vd. (1971), Kirsten (1982), Abdullatif ve Cruden (1983), Pettifer ve Fookes (1994) ve Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen sınıflama sistemlerinden yararlanılmıştır.

Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde kazı sınıfını belirlemek için girdi parametresi olarak eklem aralığı ve tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma$ ) veya nokta yükü dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ ) değerleri kullanılmaktadır. Franklin vd. (1971) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre orta ve ileri derecede ayrışmış granitoidler “Parçalamak için patlatma” sınıfındadır (Şekil 4).

Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde kazı sınıfını belirlemek için, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ( $M_s$ , MPa), Göreceli Yer Yapı Sayısı ( $J_s$ , kaya malzemesi için 1 alınır), RQD, Eklem Takım Sayısı ( $J_n$ ), Eklem Pürüzlülük Sayısı ( $J_r$ ) ve Eklem Yüzeyi Alterasyon Sayısı ( $J_a$ ) kullanılmaktadır. Kayaçların bu jeomekanik özelliklerinden yararlanılarak Kazılabilirlik İndeksi (N) değerleri belirlenmiş ve kaya kütleleri kazılabilirlik açısından değerlendirilmiştir. Kazılabilirlik İndeksi değeri 3 numaralı eşitlikten belirlenmiştir.

$$N = M_s \left[ \frac{RQD}{J_n} \right] J_s \left[ \frac{J_r}{J_a} \right] \quad (3)$$

Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde kullanılan girdi parametrelerine ait değerler ve tanımlamalar Çizelge 5’te verilmiştir. Önerilen sınıflandırmaya göre orta derecede ayrışmış granitoidler “Çok zor sökülebilir”, ileri derecede ayrışmış granitoidler ise “Zor sökülebilir” sınıfındadır. (Çizelge 6).



Şekil 4. İncelenen kaya kütlelerinin Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.

Figure 4. Evaluation of the studied rock masses according to excavatability classification system suggested by Franklin et al. (1971).

Çizelge 5. Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik indeksinin (N) belirlenmesinde kullanılan girdi parametreleri.

Table 5. The parameters used in excavatability index (N) suggested by Kirsten (1982).

	Orta Derecede Ayrıışmış Granitoyid	İleri Derecede Ayrıışmış Granitoyid
Kaya kalite göstergesi ( %RQD)	70	59
Eklem takım sayısı ( $J_n$ )	15	15
Eklem pürüzlülük sayısı ( $J_r$ )	3	2
Eklem yüzeyi alterasyon sayısı ( $J_a$ )	0.75	3
Tek eksenli basınç dayanımı ( $M_s$ , MPa)	42.54	27.45
Göreceli yer yapı sayısı ( $J_s$ )	1	1
Blok boyutu ( $RQD/J_n$ )	4.67	3.93
Bloklar arası kayma direnci ( $J_r/J_a$ )	4	0.67
Kazılabilirlik İndeksi (N)	<b>794.65</b>	<b>72.28</b>

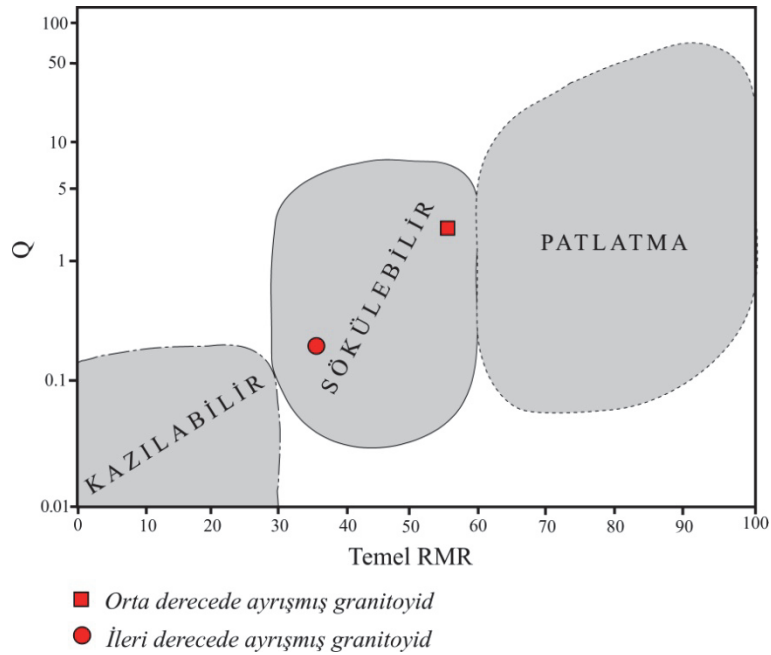
Çizelge 6. İncelenen kaya kütlelerinin Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.

Table 6. Evaluation of the studied rock masses according to excavatability classification system suggested by Kirsten (1982).

Kazılabilirlik derecesi	Toplam puan	Orta Derecede Ayrışmış Granitoyid	İleri Derecede Ayrışmış Granitoyid
Patlatma	$N > 10000$		
Oldukça zor sökülebilir / patlatma	$1000 < N < 1000$		
Çok zor sökülebilir	$100 < N < 1000$	794.65	
Zor sökülebilir	$10 < N < 100$		72.28
Kolay sökülebilir	$1 < N < 10$		

Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde kazı sınıfını belirlemek için temel  $RMR_{89}$  ve  $Q$  değerleri kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma

sistemine göre inceleme alanlarındaki orta ve ileri derecede ayrışmış granitoidler “Sökülebilir” özelliktedir (Şekil 5).



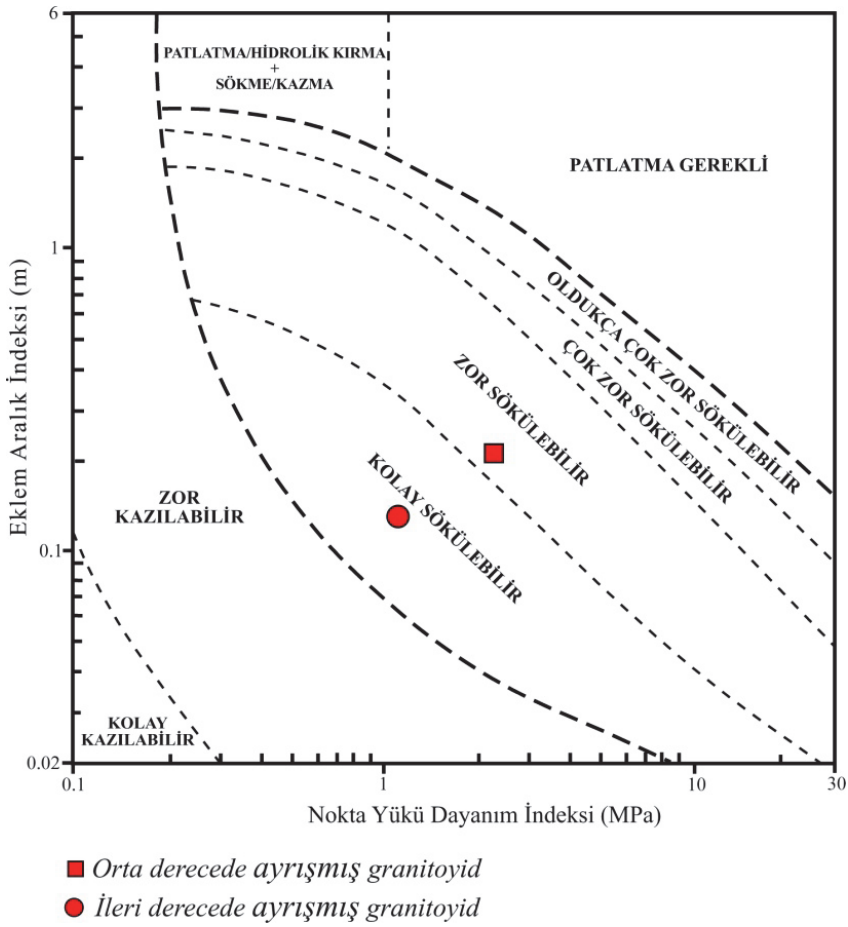
Şekil 5. İncelenen kaya kütlelerinin Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.

Figure 5. Evaluation of the studied rock masses according to excavatability classification system suggested by Abdullatif and Cruden (1983).

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak eklem aralık indeksi ( $I_f$ ) ve nokta yükü dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ ) değerleri kullanılmaktadır. Eklem aralık indeksi ( $I_f$ ), hacimsel çatlak sayısından ( $J_v$ ) yararlanılarak, 4 numaralı eşitlikten belirlenmiştir.

$$I_f = \frac{3}{J_v} \quad (4)$$

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre orta derecede ayrılmış granitoidler “Zor sökülebilir”, ileri derecede ayrılmış granitoidler ise “Kolay sökülebilir” kaya sınıfındadır (Şekil 6).

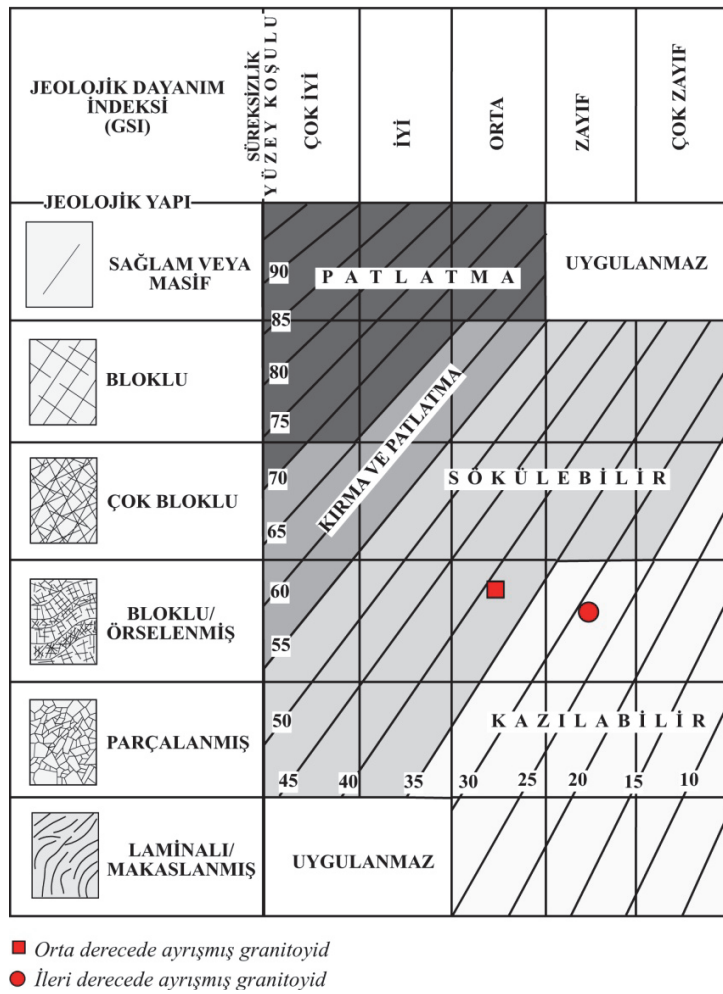


Şekil 6. İncelenen kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.

Figure 6. Evaluation of the studied rock masses according to excavatability classification system suggested by Pettifer and Fookes (1994).

Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde girdi parametresi olarak Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) ve Nokta Yüklü Dayanım İndeksi ( $I_{s(50)}$ ) değerleri kullanılmakta olup,  $I_{s(50)} \geq 3$  MPa ve  $I_{s(50)} < 3$  MPa koşuluna göre kaya kütlelerini kazılabilirlik açısından değerlendirmek için iki farklı GSI abağı kullanılmıştır. Orta ve ileri

derecede ayrılmış granitoidlerin kazı sınıfını belirlemek için  $I_{s(50)} < 3$  MPa koşuluna göre önerilmiş GSI abağından yararlanılmıştır. Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre orta derecede ayrılmış granitoidler “Sökülebilir”, ileri derecede ayrılmış granitoidler ise “Kazılabilir” kaya sınıfındadır (Şekil 7).



Şekil 7. İncelenen kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi ( $I_{s(50)} < 3$  MPa).

Figure 7. Evaluation of the studied rock masses according to excavatability classification system suggested by Tsiambaos and Saroglou (2009) ( $I_{s(50)} < 3$  MPa).

### ÖNERİLEN KAZI YÖNTEMLERİ İLE ARAZİDE UYGULANAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Orta ve ileri derecede ayrışmış granitoidler, kazılabilirlik sınıflama sistemlerine göre belirlenen kazı yöntemlerinin uygulanabilirliğini belirlemek için inceleme alanlarında yapılan kazı çalışmalarıyla karşılaştırılmışlardır. Kazı

çalışmalarında orta derecede ayrışmış kaya kütleleri hidrolik kırıcı kullanılarak sökülümüş (Şekil 8a), ileri derecede ayrışmış kaya kütleleri ise kepeçe kullanılarak kazılmıştır (Şekil 8b). Yapılan analizler sonucunda, sadece Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemiyle belirlenen kazı yöntemlerinin arazide uygulanan kazı yöntemleriyle birebir örtüştüğü belirlenmiştir.



Şekil 8. (a) 1 numaralı alandaki orta derecede, ve (b) 4 numaralı alandaki ileri derecede ayrışmış kaya kütlelerinde yapılan kazı çalışmaları.

Figure 8. (a) In-situ excavation works on the (a) moderately weathered rock masses at location-1 and (b) highly weathered rock masses at location-4.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, Gümüşhane iline bağlı Akçakale köyü mevkinde ve Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesinde seçilen dört farklı alanda yüzeylenen orta ve ileri derecede ayrılmış Gümüşhane Granitoidi'nin kazılabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, uygulamada yaygın olarak kullanılan kazılabilirlik sınıflama sistemleri kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmış ve bulunan sonuçlar, yerinde yapılan kazı yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1) Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre orta ve ileri derecede ayrılmış granitoidler "Parçalamak için patlatma" sınıfındadır.

2) Kirsten (1982) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre orta derecede ayrılmış granitoidler "Çok zor sökülebilir", ileri derecede ayrılmış granitoidler ise "Zor sökülebilir" sınıfına girmektedir.

3) Abdullatif ve Cruden (1983) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre orta ve ileri derecede ayrılmış granitoidlerin "Sökülebilir" özellikte olduğu belirlenmiştir.

4) Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre orta derecede ayrılmış granitoidlerin "Zor sökülebilir", ileri derecede ayrılmış granitoidlerin ise "Kolay sökülebilir" sınıfına girdiği saptanmıştır.

5) Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre orta derecede ayrılmış granitoidler "Sökülebilir", ileri derecede ayrılmış granitoidler ise "Kazılabilir" kaya sınıfındadır.

6) İnceleme alanında yapılan kazı çalışmalarında orta derecede ayrılmış granitoidlerin hidrolik kırıcı kullanılarak söküldüğü, ileri derecede ayrılmış kaya kütlelerinin ise kepçe kullanılarak kazıldığı tespit edilmiştir.

7) Orta derecede ayrılmış granitoidler için Kirsten (1982), Pettifer ve Fookes (1994), Abdullatif ve Cruden (2009) tarafından önerilen kazı sınıflarının uygulanan kazı yöntemleri ile tam olarak örtüştüğü, ileri derecede ayrılmış granitoidler için ise uyuşmadığı belirlenmiştir.

8) Orta ve ileri derecede ayrılmış granitoidler için Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazı sınıfı arazide uygulanan kazı yöntemleri ile tamamen örtüşmektedir.

9) Yapılan değerlendirmeler sonucunda, yüzey kazılarında kazı sınıfını belirlemede en iyi sonuç veren parametrelerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Nokta Yüku Dayanım İndeksi ( $I_{s(50)}$ ) ve kaya kütlelerinin Ayrışma Derecesi (W) olduğu sonucuna varılmıştır.

10) İncelenen kazılabilirlik sınıflama sistemleri içinde yalnızca Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen sınıflama sisteminin yüzey kazılarında uygulanabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abdullatif, O.M., Cruden, D.M., 1983. The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 28, 183-187.
- Atkinson, T., 1971. Selection of open-pit excavating and loading equipment. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A101-129.

- Bailey, A.D., 1975. Rock types and seismic velocities versus rippability. Highway Geology Symposium, Proceedings, 26, 135-142.
- Barton, N., Grimstad, E., 1994. The Q-System following twenty years of application in NTM support selection. 43rd Geomechanic Colloquy, Felsbau, Salzburg, 6 (94), 428-436.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, 238 p.
- Bozdağ, T., 1988. Indirect rippability assessment of coal measure rocks. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 86 s (yayımlanmamış).
- Ceylanoğlu, A., Gül, Y., Akın A., 2007. Kazılabilirlik ve riperebilirlik sınıflama sistemlerinin incelenmesi ve yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi. Madencilik Dergisi, 46 (2), 13-26.
- Franklin, J.A., Broch, E., Walton, G., 1971. Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A1-9.
- Gürocak, Z., Alemdağ, S., Zaman, M.M., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapıkaya dam site, Turkey. Engineering Geology, 96, 17-27.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22 (2), 53-60.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve yakın yöresindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'nun çökel özellikleri ve birikim koşulları. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 272 s (yayımlanmamış).
- Karpuz, C., 1990. A classification system for excavation of surface coal measures. Mining Science and Technology, 11, 157-163.
- Kaya, A., Bulut, F., Alemdağ, S., 2011. Applicability of excavatability classification systems in underground excavations: A case study. Scientific Research and Essays, 6 (25), 5331-5341.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 66, 20-34.
- Kirsten, H.A.D., 1982. A classification system for excavation in natural materials. The Civil Engineering in South Africa, 24, 293-308.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 362-377.
- Paşamehmetoğlu, A.G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin, A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Toper, Z., Dinçer, T., 1988. TKİ dekapaj ihale panoları için makina parkı seçimi, maliyet analizi ve birim maliyetin (TL/m<sup>3</sup>) saptanması, Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi. Nihai Rapor, ODTÜ, Cilt 1, 150 s (yayımlanmamış).
- Pettifer, G.S., Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. Quarterly Journal of Engineering Geology, 27, 145-164.
- Priest, S.D., Hudson, J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 135-148.
- Scoble, M.J., Müftüoğlu, Y.V., 1984. Derivation of a



- diggability index for surface mine equipment selection. *Mining Science and Technology*, 1, 305-322.
- Singh, R.N., Denby, B., Eğretli, İ., Pathan, A.G., 1986. Assessment of ground rippability in opencast mining operations. *University of Nottingham Mining Department Magazine*, 38, 21-34.
- Smith, H.J., 1986. Estimating rippability of rock mass classification. *The 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Proceedings, University of Alabama*, 443-448.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 26, 77-99.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A., Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex, Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 96, 861–873.
- Tsiambaos, G., Saroglou, H., 2009. Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). *Bulletin of Engineering Geology and the Environmental*, 69 (1),13-27.
- Weaver, J.M., 1975. Geological factors significant in the assessment of rippability. *The Civil Engineering in South Africa*, 17 (12), 313-3

Alemdağ, Kaya, Gürocak ve Dağ