

KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Ramazan ÇOMAKLI (ORCID: 0000-0001-7392-6275)
Serkan ÇAYIRLI (ORCID: 0000-0003-3348-6601)*

Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Geliş / Received: 16.03.2017

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 27.04.2017

Kabul / Accepted: 27.04.2017

ÖZ

Kayaçların kırılabilirlik özellikleri endüstriyel boyutta oldukça önemli bir parametre olup farklı şekillerde belirlenebilmektedir. Kayaç içerisindeki mineral özelliklerinin kayaçların kırılabilirliklerine etkisi vardır ve bu çalışmada bu iki kavram arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu doğrultuda beş farklı kayaç numunesinin kırılabilirlik özellikleri; belirli bir boyuttaki numunelerin çeneli kırıcıda kırılıp, kırılan bu malzemelerden belirli elek açıklığının altında kalan miktarının hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Mineral özellikleri belirlenirken doku katsayısı yaklaşımı kullanılmış ve bu yaklaşımda minerallerin şekilsel özellikleri dikkate alınmıştır. Elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kayaçların kırılabilirlik indeksi (CI) ve tane boyutu (d_{50} , d_{80}) ile doku katsayısı (TC) değerleri arasında güçlü bir ilişki elde edilmiştir. Ayrıca, kayaçların sertliklerinin belirlenmesi amacı ile Schmidt sertlik değerleri (SH) belirlenmiş ve doku katsayısı değerleri ile arasındaki ilişki araştırılmış ve belirli bir ilişki olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doku katsayısı, kırılabilirlik indeksi, tane boyutu, sertlik

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SOME SHAPE PROPERTIES OF MINERALS WITHIN ROCK TEXTURES AND CRUSHABILITY OF ROCKS

ABSTRACT

The crushability properties of rocks are very important parameters in industrial scale and they can be determined by different methods. The mineral properties in the rock have effects on rock crushability and in this study; the relationship between mineral properties and rock crushability was investigated. According to this, the crushability properties of five different rock samples were determined by calculating the amount of material passing a given mesh opening, after the rock samples of a certain size were broken by using a jaw crusher. When the mineral properties were determined, the texture coefficient approach was used and the shape characteristics of the minerals were also taken into consideration. The obtained data from laboratory tests and image analysis of rocks were evaluated statistically and strong correlations between the crushability index (CI) of the rocks, particle size (d_{50} , d_{80}) and the values of the texture coefficients (TC) were found. In addition, Schmidt hardness (SH) tests were performed for determining the hardness values of the rocks and correlated with the texture coefficients and obtained a good relationship.

Keywords: Texture coefficient, crushability index, particle size, hardness

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2350; e-mail / e-posta: scayirli@ohu.edu.tr

KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

1. GİRİŞ

Büyük bloklar halinde elde edilen kayaçların endüstriyel anlamda kullanılabilmesi için boyutlarının küçültülmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda kayaçların kırılabilirlik özelliklerinin bilinmesi; doğru kırıcı seçimi ve tesis tasarımından enerji sarfiyatına ve maliyet hesaplamalarına kadar etki edebilen oldukça önemli bir parametredir.

Mineral özellikleri ile kayaçların kesilebilirlikleri arasındaki ilişki McFeat-Smith ve Fowell [1]'in çeşitli sedimanter kayaçlar kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada incelenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında, bazı dokusal, bileşimsel, fiziksel, mekanik kayaç özellikleri ve indeks değerleri ile laboratuvar özgül kesme enerjisi değerleri, keski aşınma oranı ve kazı ürününün tane boyu gibi keski performans parametrelerinin ilişkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, tane boyu ve tane şekli (yuvarlaklık ve küresellik) gibi dokusal kayaç özellikleri ile kuvars içeriği ve çimentolaşma tipi ve derecesi gibi bileşimsel kayaç özellikleri dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda, çimentolaşma katsayısı ve kuvars içeriği gibi bileşimsel kayaç özellikleri ile tek eksenli basma dayanımı, İngiliz Kömür İşletmeleri (NCB) tarafından geliştirilen koni delici indeksi ve Shore scleroscope sertliği gibi kayaç mühendislik özelliklerinin özgül kesme enerjisi ve keski tüketimi tahmininde etkin oldukları gözlenmiştir.

Mineralojik bileşimin de, kayaçların dayanım özelliklerini ve kesilebilirliklerini etkilediği bilinmektedir. Bu alanda en çok çalışılan parametre, kayacın kuvars içeriğidir. Fahy ve Guccione [2] ile Shakoov ve Bonelli [3] çalıştıkları kumtaşları için, kayaçların kuvars içeriği ile tek eksenli basma dayanımı arasında belirgin bir ilişki bulmuşlardır. Tuğrul ve Zarif [4], granitler üzerinde yaptıkları çalışmada, kayacın kuvars içeriği arttıkça, dayanım özelliklerinin de arttığını bildirmişlerdir.

Laboratuvarda gerçekleştirilen delinebilirlik çalışmaları sonucunda Howarth ve Rowlands [5] tarafından doku katsayısı (texture coefficient) olarak isimlendirilen bir model geliştirilmiştir. Bu model, kayaçların dokusal yapılarının, kayacın yük altında çatlaklanmasına karşı fiziksel bir engel oluşturduğu gerçeğinden hareket edilerek geliştirilmiştir. Önerilen model, kayacın mineralojik-petrografik incelenmesi sonucunda, tane şekli, tane yönelmesi, tanelerin birbiri içine girişim yapma derecesi ve paketlenme yoğunluğu gibi kayaç dokusu parametrelerini dikkate alarak bir kayaç doku katsayısı eşitliği üretmeye dayanmaktadır. Doku katsayısı modelinin, delinebilirlik çalışmaları sırasında, ilerleme hızı ile iyi bir korelasyon verdiği görülmüştür [6-7]. Bununla birlikte, laboratuvarda yapılan bazı delinebilirlik deneyleri sonucunda elde edilen ilerleme hızı değerleri ile doku katsayısı değerleri arasında beklenenin tersine bir ilişki bulunduğu da rapor edilmiştir [8]. Bu çalışmada kullanılan kumtaşı, iri taneli ve paketlenme yoğunluğu yüksek olduğu için yüksek bir doku katsayısı değerine sahip olmasına rağmen yüksek doku katsayılı bir kayaç için beklenenin tam aksine yüksek bir hızla delinmiştir. Bu durum doku katsayısının kayaçların mekanik veya delinebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde tek başına yeterli olamayacağıyla açıklanmıştır. Çünkü doku katsayısı hesaplamasında kayaç çimentolanma derecesi, sertliği ve aşındırıcı özellikleri değerlendirilmemektedir.

Farklı kayaç türlerinin kırılabilirlik ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Kahraman ve Toraman [9] yaptıkları çalışmada dört adet metamorfik, dört adet magmatik ve 3 adet sedimanter kökenli kayacın CI değerleri, gözeneklilik değerleri, yoğunluk değerleri ve Los Angeles aşınma miktarları arasında anlamlı ilişkiler elde etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Toraman ve ark. [10] kayaçların CI değerleri ile darbe dayanım indeksleri arasında ters doğrusal bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca deneylerde kayaç gözenekliliğinin ve yoğunluğunun sonuçlar üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer çalışmada ise Kahraman ve ark. [11] yirmi dört adet değişik kayacın (sedimanter, magmatik ve metamorfik) tek eksenli basınç dayanımı (UCS), dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı (BTS) ve kırılabilirlikleri ile CI değerleri arasında ki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Deneyler sonucunda CI değerinden basınç dayanımı (UCS), Brezilya gerilme direnci (BTS) ve kırılabilirliklerin tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada; 5 farklı kayaç numunesinin doku katsayısı değerleri, kırılabilirlik indeksleri, tane boyutu ve Schmidt sertlik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak istatistiksel analiz yöntemleri yardımıyla kayaçların doku katsayısı ile kırılabilirlik indeksleri, tane boyutu ve sertlik değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında ülkemizin değişik bölgelerinden temin edilen 5 farklı kayaç numunesi kullanılmıştır. Bu kayaçların deneylere hazır hale getirilmesi ve test edilmesi Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden

R. ÇOMAKLI, S. ÇAYIRLI

Mühendisliği Laboratuvarlarında (Maden İşletme ve Cevher Hazırlama Laboratuvarları) bulunan ekipmanlarla gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan kayalar balyoz yardımıyla kırılarak çeneli kırıcının ağız açıklığına uygun boyutlara indirgenmiştir. Kırma deneyleri laboratuvar tipi çeneli kırıcıda (Vommak Makine) gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kırılma testi için kayalar kademeli olarak çeneli kırıcıda kırılmış, kırıcının çıkış açıklığına (9,8-6,2 mm) uygun olarak -20 + 12,5 mm dar tane boyutuna hazır hale getirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Kayaların kırılmasında kullanılan laboratuvar tipi çeneli kırıcı



Şekil 2. -20 + 12,5 mm dar tane boyutuna kırılmış kayalar (a: grana diorit, Aksaray, b: mermer, Afyon, c: bazalt, Niğde/Bor, d: granit, Kırşehir, e: bazalt, Ankara)

2.2. Metot

2.2.1. Kırılabilirlik İndeksinin (CI) Belirlenmesi

Kırılabilirlik indeks deneyi, kayacın kırıcıda maruz kaldığı kuvvetler sonucu kırılmaya karşı gösterdiği direncin dolaylı ölçülmesini belirleyen bir deney yöntemidir [10]. Öncelikle kırıcıda kırılan kayalar 20 mm ile

KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

12,5 mm dar tane boyutuna 500 g olacak şekilde sınıflandırılmıştır. -20 + 12,5 mm dar tane boyutuna hazırlanmış kayaçlar sabit ağız (46,8-35,7 mm) ve çıkış (9,8-6,2 mm) açıklığında tutulan çeneli kırıcıda kırılmıştır. Ardından kırılan malzeme 9,5 mm boyutundaki elekten elenerek terazide tartılmıştır. Elek altındaki malzeme ilk ağırlığa bölünerek kırılabilirlik indeks değeri (CI) bulunmuştur [9-11].

-20 + 12,5 mm dar tane boyutuna hazırlanmış kayaçlar çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, kırılan malzeme 9,5 mm boyutundaki elekten elenerek kırılabilirlik indeks değerleri hesap edilmiştir. Tablo 1' de kayaçların kırılabilirlik indeks değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Kayaçların kırılabilirlik indeks değerleri

Numune	Grano Diorit (Aksaray)	Mermer (Afyon)	Bazalt (Niğde/Bor)	Granit (Kırşehir)	Bazalt (Ankara)
CI	42,90	36,58	29,53	65,01	74,42

2.2.2. Tane Boyutunun (d_{50} , d_{80}) Belirlenmesi

Elek analizi, farklı büyüklükteki tanelerden oluşan kırılmış ve/veya öğütülmüş malzemenin “Tane Boyu Dağılımı” nı saptamak için yapılmaktadır. Boyut dağılımı, bir numunede tanelerin boyutları ile miktarları arasındaki ilişkidir. Bir numunenin boyut dağılımı, bu numunede hangi boyutta ne kadar miktar malzeme bulunduğunu gösterir. -20 + 12,5 mm dar tane boyutuna hazırlanmış kayaçlar sabit ağız (46,8 – 35,7 mm) ve çıkış (9,8 – 6,2 mm) açıklığında tutulan çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analizinden elden edilen veriler ile kümülatif elek altı değerleri hesaplanmış ve kümülatif elek altı grafiği çizilmiştir. Kümülatif elek altı grafiğinden ise d_{50} (kırılmış malzemenin ağırlıkça %50' sinin geçtiği boyut) ve d_{80} (kırılmış malzemenin ağırlıkça %80'in geçtiği boyut) değerleri hesap edilmiştir.

-20 + 12,5 mm dar tane boyutuna hazırlanmış kayaçlar çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, elek analizine tabi tutulmuştur. Kırma işlemine tabi tutulan kayaçların tane boyu analizleri 20 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,7 mm, 4,75 mm, 3,35 mm, 2,36 mm, 1,7 mm, 1,18 mm, 0,850 mm, 0,600 mm, 0,425 mm elekler (İngiliz BS 410) kullanılarak sarsıntılı elek makinası (Endecotts-Octagon 200) yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 3). Hesap edilen kümülatif elek altı değerlerinden d_{50} (kırılmış malzemenin ağırlıkça %50'sinin geçtiği boyut) ve d_{80} (kırılmış malzemenin ağırlıkça %80'ninin geçtiği boyut) boyutları elde edilmiştir. Kayaçların kümülatif elek altı grafikleri Şekilde 4'te gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde kırma sonucunda bazalt (Ankara) numunesinden en ince boyutlu tanelerin elde edildiği, Bor bazalt numunesinden ise en iri boyutlu dağılımın elde edildiği görülmektedir. Başka bir deyişle kırılma işlemine en fazla dayanım gösteren Bor bazalt numunesidir.



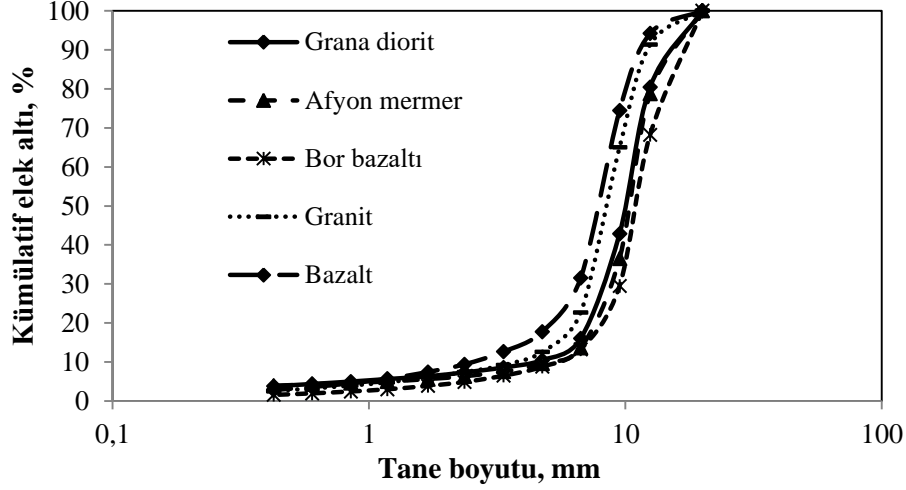
Şekil 3. Sarsıntılı elek makinası ve kullanılan elekler

2.2.3. Doku Katsayısının (TC) Belirlenmesi

Doku katsayısı; kayaçların dokusal özellikleri, kayaç içerisindeki tanelerin, tane şekil özelliklerinin ve kayaç matrisi özelliklerinin birlikte düşünülmesi sonucu ortaya çıkan bir kavramdır. Kayacın dokusal özellikleri değerlendirilirken, kayaç içerisindeki tanelerin geometrik özellikleri ve tane ile matris arasındaki ilişkilerin iyi

R. ÇOMAKLI, S. ÇAYIRLI

analiz edilmesi gerekmektedir. Şöyle ki; kayaç içerisindeki her bir tanenin alanı, çevresi, uzunluğu, genişliği ve açısı doku katsayısı için önemli olduğu gibi tane ile matriks arasındaki ilişki de önemlidir. Tane ile matriks arasındaki ilişki de toplam tane alanı ile matriks alanı değerlerinin sayısallaştırılmasıyla ifade edilebilir [5, 6].



Şekil 4. Kayaçların kümülatif elek altı grafikleri

Kayaçların dokusal özelliklerinin sayısallaştırılarak belirlenmesi için Howarth ve Rowlands [5] tarafından doku katsayısı (Texture Coefficient) değeri önerilmiştir. Doku katsayısı değeri ile kayaçların dokusal özelliklerini sayısallaştırmak mümkün olmuştur (Eşitlik 1). Doku katsayısı değeri hesaplanırken kayaç içerisindeki tanelerin her birinin şekilsel özellikleri (uzunluk, çevre, alan gibi) ayrı ayrı incelenmekte ve en son sayısal bir değer elde edilmektedir. Doku katsayısının belirlenmesi için kayaca ait ince kesit numunelerinden mikroskop altında alınan görüntüler kullanılmakta ve bu görüntüler bilgisayar programları yardımıyla analiz edilmektedir. Görüntü analizi sonucunda tanelerin ve matriksin yapısına bağlı olarak kayaç için bir doku katsayısı değeri hesaplanmaktadır.

$$TC = AW \left[\left(\frac{N_0}{N_0+N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left(\frac{N_1}{N_0+N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right] \quad (1)$$

Burada; TC, doku katsayısı; AW, tane yığılma aralığı; AR, tüm tanelerin uzunluk genişlik oranlarının ortalaması; N₀, AR değeri 2'den küçük olan tane sayısı; N₁, AR değeri 2'den büyük olan tane sayısı; FF₀, AR değeri 2'den küçük olan tanelerin şekil faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması; AR₁: AR değeri 2'den büyük olan tanelerin AR değerinin aritmetik ortalaması; AF₁, açı faktörüdür.

AR değeri bir tanenin uzunluğunun (maksimum feret çapı), genişliğine (minimum feret çapı) oranı olarak hesaplanırken, tane yığılma ağırlığı (AW) ve şekil faktörü değerleri ise Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik 2' de verilen referans alanı doku katsayısı değerinin hesaplanması için belirlenen toplam alan değeri belirtmektedir.

$$AW = \frac{\sum Tane\ alanı}{Referans\ alan} \quad (2)$$

$$FF = \frac{4 \times \pi \times Tane\ alanı}{Tane\ çevresi^2} \quad (3)$$

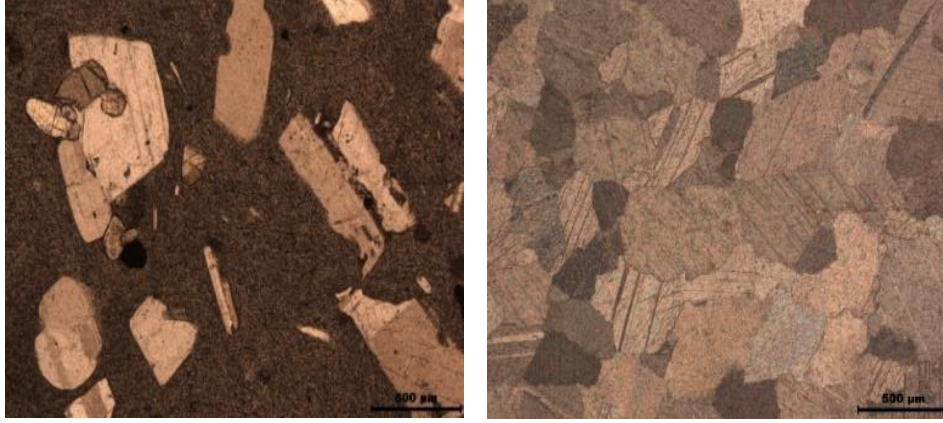
Bir tanenin açısı, en büyük feret çapının yatay eksenle yapmış olduğu açı olarak ifade edilir ve açı faktörü değeri (AF₁) sadece AR değeri 2' den büyük (AR > 2) olan sapmış taneler için hesaplanır. Açı faktörü değerinin hesaplanması için Eşitlik 4 kullanılır.

$$AF_1 = \sum_{i=1}^9 \left[\frac{x_i}{\frac{N \times (N-1)}{2}} \right] i \quad (4)$$

Burada; x_i, her sınıf için açısız fark sayısı; N, uzun tane sayısı; i: ağırlık sayısı ve sınıf numarasıdır.

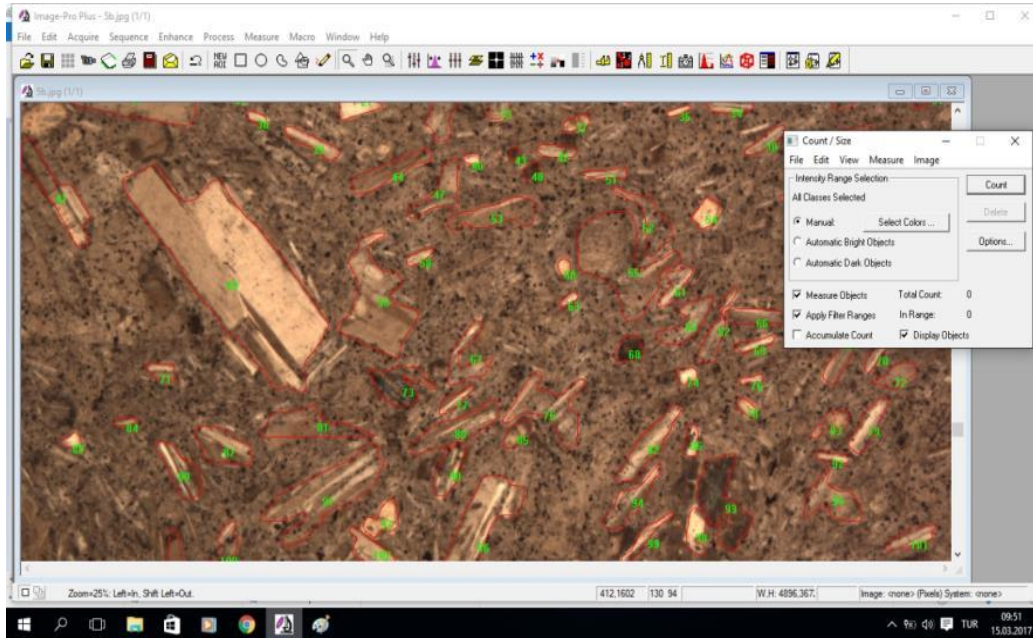
KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Doku katsayısı hesaplanırken öncelikle kayalardan ince kesit numuneleri alınmıştır (Şekil 5). İnce kesit numunelerinden mikroskoba entegre kamera yardımıyla alınan görüntüler Image Pro-Plus görüntü analizi programına aktarılmıştır.



Şekil 5. Granodiorit ve Afyon mermeri numunelerine ait ince kesit görüntüleri

Image Pro-Plus programına aktarılan görüntüler her bir kaya numunesi için analiz edilmiş, kayalar içerisindeki her bir tane için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 6). Hesaplamalar yapılırken her bir ince kesit görüntüsü üzerinde işaretlenen 500 mikronluk uzunluk referans ölçü olarak alınmış böylelikle tanelerin gerçek boyutları hesaplanmıştır. Afyon mermeri üzerinde yapılan görüntü analizlerinden birisine ait elde edilen veriler Tablo 2’de örnek olarak verilmiştir. Her bir kayaç numunesi için üç farklı görüntü üzerinde mineral boyutları belirlenmiştir. Mineral özellikleri belirlendikten sonra Eşitlik - 1 kullanılarak her bir kayaç numunesi için 3 farklı TC değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan farklı TC değerlerinin ortalaması alınmış ve her bir kayaç için bir TC değeri elde edilmiştir (Tablo 3). Kayaçlar için elde edilen TC, SH, d_{50} ve d_{80} ile CI değerleri Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 6. İnce kesit görüntüsü üzerinde Image Pro-Plus programında yardımıyla mineral tane özelliklerinin belirlenmesi

R. ÇOMAKLI, S. ÇAYIRLI

Tablo 2. Image Pro-Plus programı yardımıyla afyon mermeri numunesi üzerinde yapılan görüntü analiz sonuçları

	Aspect	Perimeter(micron)	Area (micron ²)	Feret (min)	Feret (max)
1	1,7345	0,8196	0,0309	0,1927	0,3218
2	1,8519	2,5859	0,3048	0,5062	0,9437
3	3,4063	2,0761	0,1222	0,2748	0,9018
4	1,5644	1,0532	0,0552	0,2280	0,3772
5	1,9854	11,2128	1,5459	1,3682	2,1965
6	1,4666	1,5685	0,1489	0,3515	0,5757
7	1,5190	6,7584	1,2217	1,3494	1,9814
8	2,2084	3,0169	0,4285	0,5324	1,1431
9	1,2510	2,4823	0,3495	0,6646	0,8202
10	2,1616	1,1948	0,0689	0,2183	0,4360
11	1,7863	2,4567	0,3013	0,5230	0,9580
12	2,1135	1,6185	0,0705	0,2667	0,6349
13	3,4684	0,7362	0,0230	0,0978	0,3122
14	5,3625	0,6169	0,0117	0,0565	0,2850

Tablo 3. Görüntü analizleri sonucunda hesaplanan TC değerleri.

Numune	Analiz No	TC	TC _{ort.}	Std. Sapma
Grano diorit	1	1,96	1,86	0,09
	2	1,83		
	3	1,78		
Mermer	1	1,69	1,75	0,07
	2	1,82		
	3	1,75		
Bazalt (Bor)	1	2,18	2,16	0,03
	2	2,12		
	3	2,17		
Granit	1	1,26	1,29	0,04
	2	1,34		
	3	1,28		
Bazalt (Ankara)	1	0,48	0,50	0,05
	2	0,56		
	3	0,47		

Tablo 4. Deneysel çalışmaların sonuçları

Sample No	CI	d80	d50	TC	SH
1	42,90	12,47	10,07	1,86	57,6
3	36,58	12,94	10,45	1,75	50,1
5	29,53	15,28	11,09	2,16	47,1
9	65,01	11,21	8,51	1,29	65,1
10	74,42	10,35	7,90	0,50	63,9

2.2.4. Schmidt Sertlik (SH) Değerinin Belirlenmesi

Kayaçların sertliklerinin belirlenmesi amacıyla 5 farklı kayaç numunesi üzerinde Schmidt çekici kullanılarak deneyleri yapılmıştır. Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini amacıyla yapılır. Bu çekiç silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden

KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

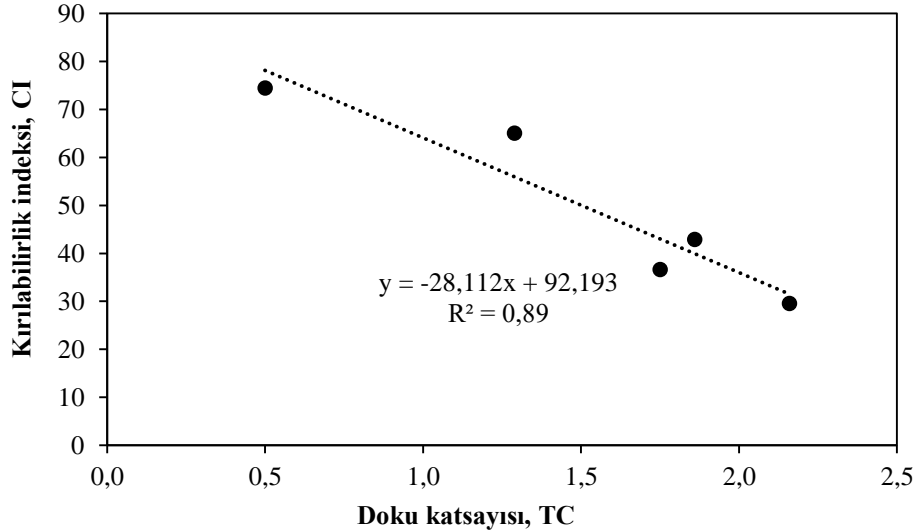
oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır ve zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur böylece Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Deneyler blok numuneler üzerinde L-9 tipi geri tepmeli çekiç kullanılarak yapılmıştır. Deney standartlarına olarak blok numune üzerinde 10 farklı noktada okuma yapılmış ve üç set olarak tekrarlanmıştır [15].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Beş farklı kayaç numunesi için yapılan laboratuvar çalışmaları ve görüntü analizi işlemleri sonucunda elde edilen veriler arasındaki ilişkiler istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. İstatistiksel analiz yöntemi olarak doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

3.1. Kırılabilirlik ile Doku Katsayısı Arasındaki İlişki

Kayaçları oluşturan tanelerin ve matrisin kayaçların kırılabilirlik özellikleri üzerine etkisini doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu iki değer arasındaki ilişki Şekil 7’de verilmiş olup yüksek bir korelasyon katsayısı elde edildiği görülmektedir. Şekil 7 incelendiğinde doku katsayısı değeri arttıkça kayaçların kırılabilirlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kayaçların kırılabilirlik değerleri ile doku katsayısı arasında önceki çalışmalara bakıldığında bir karşılaştırma yapılmamıştır. Buna karşın kayaçların mekanik özellikleri ile doku katsayısı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır [7, 14-16]. Bu araştırmalar sonucunda kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değeri ve dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerleri arttıkça doku katsayısı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Tek eksenli ve dolaylı çekme dayanımı değerleri arttıkça kayaçların kırılabilirlik özelliklerinin arttığı da araştırmacılar tarafından belirlenmiştir [17, 18]. Bu doğrultuda bu çalışma sonucunda elde edilen ilişkinin önceki çalışmalarla tutarlı olduğu görülmektedir.

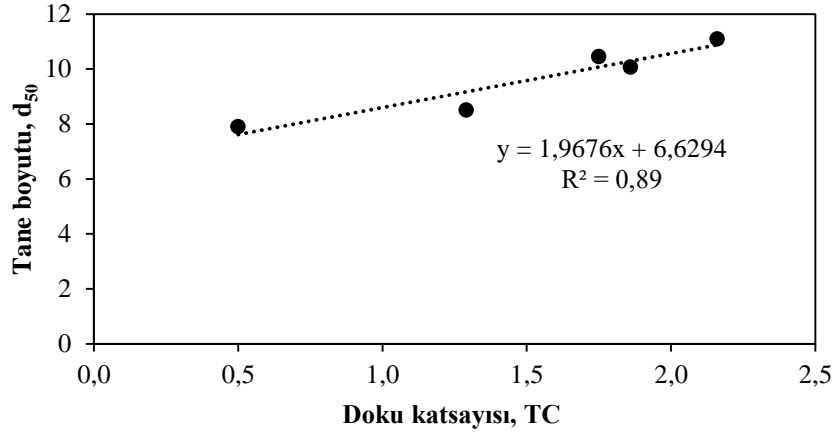


Şekil 7. Doku katsayısı ile kayaç kırılabilirlik indeksi arasındaki ilişki

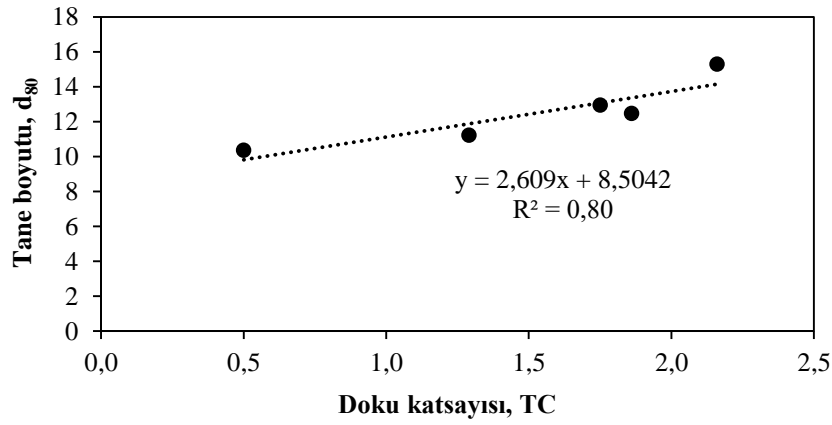
3.2. Tane Boyutu ile Doku Katsayısı Arasındaki İlişki

Belirlenen boyutlarda hazırlanan numunelerin çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra elenmesi sonucunda oluşan yeni tane boyutu dağılımını temsil eden d_{50} ve d_{80} tane boyut değerleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkiyi doğrusal regresyon analizi yöntemi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda elde edilen ilişkiler Şekil 8 ve 9’da verilmiştir. Şekil 8 ve 9 incelendiğinde doku katsayısının artmasıyla d_{50} ve d_{80} tane boyut değerlerinin arttığı ve aralarında yüksek korelasyonlu ilişkilerin elde edildiği görülmektedir. Tane boyut dağılımının kayaçların kırılabilirliği ile doğrudan ilişkili olduğundan elde edilen bu sonuçlar da doku katsayısı ile kayaç kırılabilirlik değerleri arasındaki ilişkiyi doğrulamaktadır.

R. ÇOMAKLI, S. ÇAYIRLI



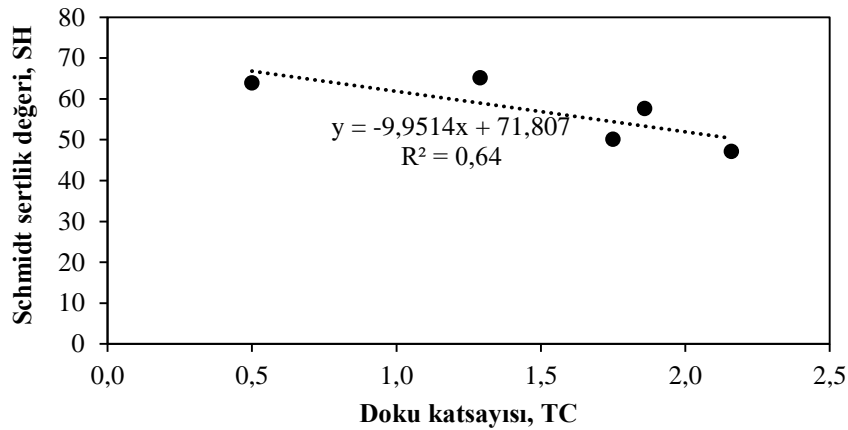
Şekil 8. Doku katsayısı ile d₅₀ değeri arasındaki ilişki



Şekil 9. Doku katsayısı ile d₈₀ değeri arasındaki ilişki

3.3. Schmidt Sertlik Değeri ile Doku Katsayısı Arasındaki İlişki

Elde edilen Schmidt sertliği değerleri ile kayaçların doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak analiz edilmiş ve bu ilişki Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde sertlik değerleri ile doku katsayısı arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki elde edilememiştir. Bu durumun kayaçların sertliğinde tane şekil ve dağılımı kadar kayacı oluşturan matrisin de etkili olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Doku katsayısı ile Schmidt sertlik değeri arasındaki ilişki

*KAYAÇ DOKULARINDAKİ MİNERALLERİN BAZI ŞEKİL ÖZELLİKLERİ İLE KAYAÇ KIRILABİLİRLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ***4. SONUÇLAR**

Kayaç içerisindeki tanelerin şekil özelliklerinin şüphesiz ki kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi vardır. Doku katsayısı kavramı ise kayaç içerisindeki bu tanelerin şekilsel özelliklerinin sayısal olarak belirlenebilmesinde kullanılan bir yaklaşım olup birçok araştırmacı tarafından kayaçların fiziksel mekanik özellikleri ile ilişkisi araştırılmıştır. Daha önce yapılan bu çalışmalarda kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri ve kesilebilirlikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır [12-14]. Yapılan bu çalışmada ise kayaçların kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişki ilk kez incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma kapsamında öncelikle 5 farklı kayaç numunesinin doku katsayısı (TC) değerleri, kırılabilirlik indeksleri (CI), tane boyutu (d_{50} ve d_{80}) değerleri belirlenmiştir. Bunun yanında kayaçların sertlik değerlerinin tanımlanması için de Schmidt sertlik değerleri (SH) elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerin istatistiksel analizleri sonucunda; kayaçların doku katsayısı değeri arttıkça kırılabilirlik indekslerinin düştüğü görülmüştür. Kırılan malzemeler için yapılan elek analizi sonuçlarında elde edilen tane boyutu (d_{50} ve d_{80}) dağılım değerlerinin ise doku katsayısı değeri ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Schmidt çekici test sonuçlarına bakıldığında ise sertlik değerleri ile kayaçların kırılabilirlikleri arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Şöyle ki; daha sert kayaçların kırılabilirliklerinin da yüksek çıktığı görülmüştür. Ancak doku katsayısı ile Schmidt çekici değerleri arasındaki ilişkiye bakıldığında ise kayaçların sertliğine bağlı olarak doku katsayısı değişiminin daha az ilişkili olduğu görülmüştür. Bu da kayaçların sertlik değerlerinin değerlendirilmesi sırasında kayacı oluşturan matrisin göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir.

Önceki çalışmalarda daha çok kayaçların doku katsayısı ile fiziksel mekanik değerleri veya kazılabilirlik, delinebilirlik gibi özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu kapsamda literatüre ilk kez kayaç kırılabilirlik özellikleri ile doku katsayısı değerleri arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışma kazandırılmış olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] MCFEAT-SMITH, I., FOWELL, R.J., "Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machine", Proceeding of a Conference on Rock Engineering, 582-602. Newcastle Upon Tyne, UK, 1977.
- [2] FAHY, M.P., GUCCIONE, M.J., "Estimating Strength of Sandstone Using Petrography Thin - Section Data", Bulletin of Association of Engineering Geology, 16, 467-485, 1979.
- [3] SHAKOOR, A., BONELLI, R.E., "Relationship Between Petrography Characteristics, Engineering Index Properties and Mechanical Properties of Selected Sandstones", Bulletin of Association of Engineering Geology, 28, 55-71, 1991.
- [4] TUGRUL, A., ZARIF, I.H., "Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rocks from Turkey", Engineering Geology, 51, 303-317, 1999.
- [5] HOWARTH, D.F., ROWLANDS, J.C., "Quantitative Assessment of Rock Texture and Correlation with Drillability and Strength Properties", Rock Mechanics and Rock Engineering, 20, 57-85, 1987.
- [6] HOWARTH, D.F., ROWLANDS, J.C., "Development of an Index to Quantify Rock Texture for Qualitative Assessment of Intact Rock Properties", Geotechnical Testing Journal, 9, 169-179, 1986.
- [7] AZZONI, A., BAILO, F., RODENA, E., ZANINETTI, A., "Assessment of Texture Coefficient for Different Rock Types and Correlation with Uniaxial Compressive Strength and Rock Weathering", Rock Mechanics and Rock Engineering, 29, 39-46, 1996.
- [8] ERSOY, A., WALLER, M.D., "Textural Characterization of Rocks", Engineering Geology, 39, 123-136, 1995.
- [9] KAHRAMAN, S., TORAMAN, O. Y., "Predicting The Los Angeles Abrasion Loss of Rock Aggregates from Crushability Index", Bulletin of Materials Science, 31, 173-177, 2008.
- [10] TORAMAN, O. Y., KAHRAMAN S., CAYIRLI, S., "Predicting the Crushability of Rocks from the Impact Strength Index", Minerals Engineering, 23, 752-754, 2010.
- [11] KAHRAMAN, S., TORAMAN, O. Y., CAYIRLI, S., "Predicting the Strength and Brittleness of Rocks from a Crushability Index", Bulletin of Engineering Geology and the Environment (in print), 2017.
- [12] ÖZTÜRK, C. A., NASUF, E., "Kayaç Dokusal Özelliklerinin Sınıflandırılması ve Kaya Mühendisliği Uygulamaları" İTÜ Mühendislik Dergisi, 6, 69-80, 2007.
- [13] TİRYAKİ, B., DİKMEN, A. Ç., KADIOĞLU, Y. K., ÖZBİLGİN, D., TİRYAKİ, N., BÖLÜKBAŞI, N., "Kayaç Kesmede Keski Performansının Tahmini için Doku Katsayısı Yaklaşımının Kullanılabilirliği" Madencilik, 42, 27-43, 2003.

R. ÇOMAKLI, S. ÇAYIRLI

- [14] GÜNAYDIN, S., “Kayaçların Doku Katsayıları ile Fiziko – Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” Isparta Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [15] ULUSAY, R., HUDSON, J.A. (EDS.), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring”, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 2007.
- [16] ONODERA, T.F., ASOKA KUMARA, H.M., “Relation Between Texture and Mechanical Properties of Crystalline Rocks” Bull. Assoc. Eng. Geol., 22, 173-177, 1980.
- [17] OZTURK, C.A., NASUF, E., “Strength Classification of Rock Material Based on Textural Properties”, Tunneling and Underground Space Technology, 37, 45-54, 2013.
- [18] ALTINDAG, R., “The Role of Brittleness on the Analysis of Percussive Drilling Performance”, Proceedings of the 5th Turkish National Rock Mechanics Symposium, 105–112. Isparta, Turkey, 2000.
- [19] PROTODYAKONOV, M.M., “Mechanical Properties and Drillability of Rocks”, Proceedings of the 5th Symposium on Rock Mechanics, 103–118. Oxford, UK, 1962.