

Mağmatik Kayaçların Kırılgenlık İndekslerinin Değerlendirilmesi

Murat YILMAZ*, Selman ER, Sinem ERİŞİŞ, Atiye TUĞRUL

¹İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320,
İstanbul

(Alınış / Received: 07.08.2016, Kabul / Accepted: 28.11.2016,
Online Yayınlanma / Published Online: 09.01.2017)

Anahtar Kelimeler
Kırılgenlık, Mağmatik
kayaçlar,
Fiziko-mekanik
deneyler

Özet: Kaya mekaniğinde kaya malzemesinin bir davranışı olarak tanımlanan kırılgenlık, günümüzde kazılabilirlik, aşındırıcılık, malzeme olarak kullanılabilirlik vb. konularının anlaşılmasında önemli veriler sağlamaktadır. Kırılgenlık genellikle kayaçların dayanım özellikleri yardımıyla bulunabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınmış mağmatik kayaçların kırılgenlık özelliklerini fiziksel ve mekanik özellikleri ile karşılaştırmaktır. Bunun için öncelikle mağmatik kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile kırılgenlık indeksi arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak, mağmatik kayaçlar ile B3-B4 kırılgenlık indeksleri arasında özellikle dayanım açısından anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Kayaçlar petrografik olarak granitik kayaçlar ve bazaltik kayaçlar olarak ayrıldığında ise granitik kayaçların bazaltik kayaçlara göre daha yüksek korelasyon katsayısı değerleri verdiği saptanmıştır.

Assessment of Brittleness Index of Magmatic Rocks

Keywords
Brittleness, Magmatic
rocks, Physico-
mechanical tests

Abstract: Brittleness which defined as a behavior of rock material in rock mechanics, have provided important parameters for understanding excavability, abrasivity, usability as material, etc. at the present times. Brittleness have generally calculated by the help of strength properties of rocks. The aim of this study is to compare the brittleness properties of magmatic rocks obtained from different parts of the Turkey and with their physical and mechanical properties. Therefore, petrographic, physical and mechanical properties of magmatic rocks were firstly determined. Then, relations between parameters obtained from experimental studies and brittleness indices are examined with regression analysis. As a result, especially in terms of strength were determined meaningful relationship between

brittleness indexes and igneous rocks with B3-B4. When the rocks were divided into granitic rocks and basaltic rocks according to their petrographic properties, granitic rocks were given higher correlation coefficient values than basaltic rocks.

*Sorumlu yazar: yilmazm@istanbul.edu.tr

1. Giriş

Kırılma, kayacın hem mekanik hem de malzeme özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden biri olarak, birçok araştırmacıyı bu konu üzerinde çalışmaya yöneltmiştir. Kırılma, kazılabilirlik, aşındırıcılık, malzeme olarak kullanılabilirlik vb. kayaçların kullanım/davranış özelliğini etkilemektedir.

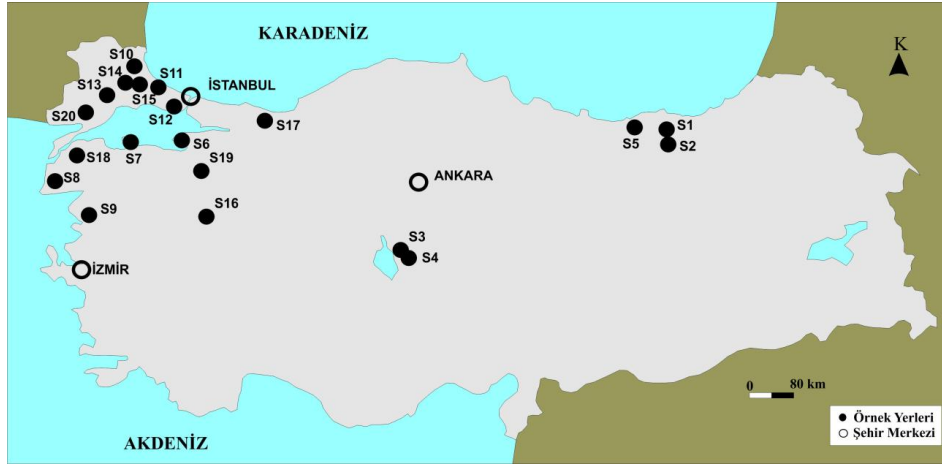
Bugüne kadar yapılan çalışmalara rağmen kayacın kırılma özelliğini doğrudan ölçecek bir test metodu mevcut değildir. Bu nedenle kırılma, birçok araştırmacı [1, 2, 3, 4, 5] tarafından önerilmiş farklı ampirik yöntemler ile genellikle kayacın dayanımının veya elastik özelliklerinin [6] bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Jarvie ve diğ. [7] ile Wang ve Gale [8] bunlardan farklı olarak, kırılma özelliği kayacın mineralojik özellikleri ile ilişkilendirerek, minerallerin bileşimlerine ve minerallerin kendi elastik özelliklerine dayalı kırılma indeksleri önermişlerdir. Guo ve diğ. [9] kırılma indekslerinin kayacın mineralojik ve jeomekanik özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğunu ifade etmiş ve yeni kırılma indeksleri geliştirmişlerdir. Herwanger ve diğ. [10] ise, kırılma indeksinin, mineralojik bileşim, elastik davranış ve dayanım özelliğinin bir kombinasyonu olduğunu göstermişler ve bunların doğrultusunda kırılma indeksi için asıl önemli faktörün kayacın litolojisi olduğu sonucuna varmışlardır.

Bu araştırma kapsamında; Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan farklı doku ve bileşime sahip magmatik kayaçların kırılma özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmanın yapıldığı inceleme alanları Tekirdağ, Edirne, Kütahya, Düzce, Bursa, Çanakkale, Giresun, Kırklareli, İzmir, Aksaray, Yalova ve Balıkesir bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada kullanılan örneklerinin alındığı yerler ve kodları Çizelge 1'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. İnceleme kapsamında öncelikle, kullanılan magmatik kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; ağırlıkça su emme, kuru birim hacim ağırlık, efektif porozite, tek eksenli basınç, dolaylı çekme, nokta yükleme ve P dalga hızı deneyleri (P dalga) yapılmıştır. Kayaçların basınç ve dolaylı çekme dayanımları dikkate alınarak geliştirilmiş olan B1, B2, B3 ve B4 kırılma indeksleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar basit regresyon yöntemiyle karşılaştırılmıştır

2. Materyal ve Metot

2.1. Mineralojik ve petrografik özellikler

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan magmatik kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla ince kesitler hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kayaçların alındığı bölgelerin yer bulduru haritası.

2.2. Fiziksel ve mekanik özellikler

Bu çalışmada kullanılan örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini bulmak için, arazi çalışmaları kapsamında toplanan iri bloklar laboratuvar ortamına getirilmiş ve bloklardan karotiyer yardımı ile BX çapında standartlara uygun karot örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan karotlar üzerinde birim hacim ağırlık, toplam porozite, ağırlıkça su emme, nokta yükleme, P- dalga hızı, dolaylı çekme ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler, ISRM [12] ve [13] 'de belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

2.3. Kırılma indeksi özellikleri

Mağmatik kayaçların kırılma özellikleri literatür de oldukça yaygın kullanılan tek eksenli basınç ve çekme dayanımı arasındaki ilişkiler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kırılma indeksi özellikleri şunlardır:

$$B1 = \sigma_c / \sigma_t \quad \text{Hucka ve Das [1]} \quad (1)$$

$$B2 = (\sigma_c - \sigma_t) / (\sigma_c + \sigma_t) \quad \text{Das ve Hucka [2]} \quad (2)$$

$$B3 = (\sigma_c \times \sigma_t) / 2 \quad \text{Altındağ [3]} \quad (3)$$

$$B4 = [(\sigma_c - 1 \times \sigma_t)]^{0.72} \quad \text{Yaralı ve Soyer [5]} \quad (4)$$

Burada; σ_c tek eksenli basınç dayanımını, σ_t çekme dayanımını ifade etmektedir. Yukarıda belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmış kırılma indeksleri Çizelge 3'de sunulmuştur.

3. Bulgular

Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile B1, B2, B3 ve B4 kırılma indeksi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma metodu olarak basit regresyon yöntemi

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan örneklerin mineralojik ve petrografik özellikleri.

Örnek No	Alındığı Bölge	Mineral bileşimi	Doku	Ayrışma/Hidrotermal alterasyon	Kayaç adı *
S1	Giresun/Asarcık	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, biyotit, amfibol, zirkon ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Kuvars monzonit
S2	Giresun/Asarcık	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, amfibol, biyotit, piroksen ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Monzodiyorit
S3	Aksaray/Yaylak	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, biyotit, zirkon ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granit
S4	Aksaray/Sipahi	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, biyotit, muskovit ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granit
S5	Giresun/Bulancak	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, hornblend, biyotit, epidot, zirkon, titanit, klorit ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granodiyorit
S6	Yalova/Fıstıklı	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, amfibol,	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granodiyorit
S7	Balıkesir/Erdek	Plajiyoklas,ortaklas,kuvars, biyotit	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granit
S8	Çanakkale/Kestanbol	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, biyotit, titanit hornblend ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Kuvars monzonit
S9	İzmir/Kozak	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, biyotit, hornblend, zirkon, sfen, apatit ve opak mineral	Holokristalin	Hidrotermal alterasyon	Granodiyorit
S10	Kırklareli/Balaban	Plajiyoklas, ortaklas, kuvars, hornblend, biyotit, epidot, sfen, titanit, muskovit, klorit ve opak mineral	Kataklastik	Kataklastik deformasyon	Metagranit
S11	Tekirdağ/Saray	Plajiyoklas,ortaklas,kuvars,amfibol	Milonitik	Kataklastik deformasyon	Amfibollü Granit
S12	İstanbul/Tepecik	Plajiyoklas,ortaklas,kuvars, biyotit, muskovit,klorit opak mineral	Holokristalin	Kataklastik deformasyon	Metagranit
S13	Tekirdağ/Osmancık öy	Olivin, plajiyoklas, piroksen, opak min.	Holokristalin porfirik	Silisleşme	Bazalt
S14	Tekirdağ/Muratlı	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak min.	Holokristalin Porfirik	Talklaşma (olivin)	Bazalt / Diyabaz
S15	Tekirdağ/Osmancık öy	Olivin, plajiyoklas, opak min.	Hipokristalin porfirik	Kloritleşme, silisleşme	Olivin Bazalt
S16	Kütahya	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak min.	Holokristalin porfirik	Karbonatlaşma, killeşme, talklaşma	Olivin Bazalt
S17	Düzce	Plajiyoklas, piroksen(ojit), opak min.	Holohyalin porfirik	-	Bazalt
S18	Çanakkale/Biga	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak min.	Hipidiyomorf porfirik	Hidrotermal alterasyon, karbonatlaşma (piroksen),çözünme (plajiyoklas)	Bazalt
S19	Bursa/İznik	Plajiyoklas, piroksen, opak min.	Hipohyalin porfirik	-	Bazalt
S20	Edirne/Keşan	Piroksen, plajiyolas, biyotit, opak min.	Holokristalin porfirik	Kloritleşme	Mafik Damar Kayacı

* LeBas ve diğ. [11]'a göre sınıflandırılmıştır.

seçilmiştir. Yapılan regresyon analizleri sonucunda “r” korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise, Kalaycı [14] tarafından önerilen korelasyon katsayısına göre

hazırlanmış çizelgeye yorumlanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan örneklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Örnek no	Birim ağırlık (kN/m ³)	Efektif porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)	P dalga hızı (m/sn)	Nokta yük dayanımı (MPa)	Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
S1	26.6	0.62	0.32	4401	4.87	16.5	131
S2	26.5	1.40	0.56	4204	5.17	15.6	128
S3	26.9	0.56	0.23	5177	5.52	20.3	144
S4	27.0	0.47	0.19	5355	6.32	21.3	155
S5	26.8	0.72	0.38	4476	4.92	15.8	131
S6	26.6	0.49	0.37	4712	5.42	19.3	138
S7	27.0	0.45	0.12	5322	6.82	22.7	177
S8	26.7	0.59	0.29	4790	5.33	18.8	138
S9	26.4	0.80	0.38	4177	4.60	14.6	118
S10	26.5	0.94	0.49	4309	4.81	14.7	123
S11	26.5	0.92	0.47	4051	4.49	13.8	119
S12	26.5	1.20	0.46	4323	4.65	14.6	119
S13	28.7	0.53	0.19	6331	10.4	32.5	274
S14	28.5	0.82	0.30	6159	9.70	26.3	249
S15	28.1	1.72	0.65	5834	9.75	19.4	208
S16	27.1	1.14	0.45	5632	8.60	24.4	218
S17	26.3	0.14	0.06	5776	8.35	20.8	192
S18	26.5	0.33	0.14	5674	8.45	20.1	190
S19	26.1	0.46	0.18	5458	7.50	18.2	188
S20	27.9	2.05	0.77	5732	5.10	17.1	146

Çalışma kapsamında kullanılan örnekler Çizelge 1’de görüldüğü gibi ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır. Buna göre S1-S12 kodlu örnekler granitik kayaçlar, S13-S20 kodlu örnekler ise bazaltik kayaçtır. Mağmatik kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile B1 ve B2 kırılma indeksi değerleri arasında yapılan karşılaştırmada, “çok zayıf-zayıf” ilişki olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Buna karşın, B3 ve B4 kırılma indeksi değerleri ile fiziksel ve mekanik deney sonuçları arasında “orta-çok yüksek” ilişki belirlenmiştir (Çizelge 5). Bunun dışında, nokta yük dayanımı ve P dalga hızı ile B3 kırılma indeksi arasında sırasıyla 0.80 ve 0.70, B4 kırılma indeksi arasında ise sırasıyla, 0.83 ve 0.75 korelasyon katsayısına sahip doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 2a-d).

Fiziko-mekanik özellikler ile granitik ve bazaltik kayaçların kırılma indeksi özellikleri karşılaştırıldığında, granitik kayaçların bazaltik kayaçlara göre daha iyi ilişki verdiği belirlenmiştir (Çizelge 6). Ayrıca, mağmatik kayaçların B3-B4 kırılma indeksi ile kuru birim hacim ağırlığı, efektif porozite ve ağırlıkça su emme arasında “orta” ilişki bulunmuşken (Çizelge 5), granitik kayaçların aynı kırılma indeksleri ile arasında “orta-yüksek”, bazaltik kayaçların ise “zayıf-çok zayıf” ilişki belirlenmiştir (Çizelge 6).

Granitik ve bazaltik kayaçların P dalga, nokta yükleme, tek eksenli ve dolaylı çekme B3-B4 kırılma indeksleri ile karşılaştırıldığında, mağmatik kayaçların genelinde olduğu gibi “orta-çok yüksek” ilişki belirlenmiştir (Çizelge

5 ve 6). Buna karşın, aynı mekanik özellikler B1 ve B2 kırılgenlık indeksleri karşılaştırıldığında, mağmatik kayaçların genelinde olduğu gibi “çok zayıf-zayıf” ilişki belirlenmiştir (Çizelge 5 ve 6).

Çizelge 3. Hesaplanan kırılgenlık indeksleri.

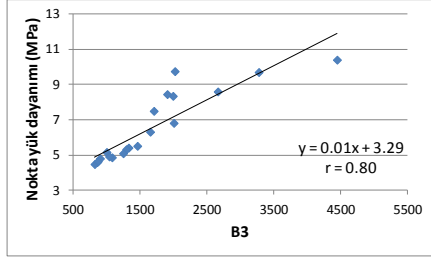
Örnek no	B1	B2	B3	B4
S1	7.96	0.78	1081.76	251.95
S2	8.20	0.78	1001.04	238.27
S3	7.07	0.75	1461.36	312.87
S4	7.27	0.76	1653.31	341.94
S5	8.28	0.78	1039.96	244.90
S6	7.11	0.75	1329.90	292.34
S7	7.80	0.77	2006.20	393.05
S8	7.29	0.76	1295.94	286.95
S9	8.03	0.78	859.22	213.45
S10	8.31	0.79	902.95	221.22
S11	8.59	0.79	821.28	206.62
S12	8.10	0.78	870.68	215.50
S13	8.42	0.79	4450.52	697.59
S14	9.49	0.81	3278.04	559.74
S15	10.70	0.83	2022.34	395.33
S16	8.93	0.80	2665.92	482.34
S17	9.23	0.80	1993.84	391.31
S18	9.45	0.81	1908.29	379.15
S19	10.33	0.82	1707.65	350.00
S20	8.58	0.79	1249.22	279.46

Çizelge 4. Korelasyon katsayısına göre ilişki kuvveti [14].

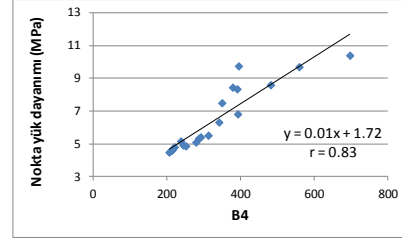
r	İlişki kuvveti
0.00-0.25	Çok zayıf
0.26-0.49	Zayıf
0.50-0.69	Orta
0.70-0.89	Yüksek
0.90-1.0	Çok yüksek

4. Tartışma ve Sonuç

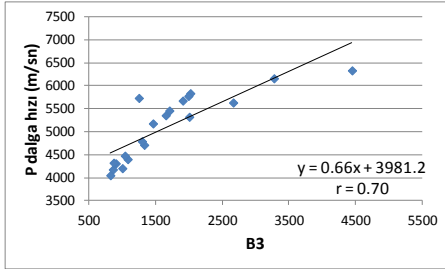
Kayaçların kırılgenlıklarının belirlenmesi için birçok araştırmacı tarafından farklı kırılgenlık indeks formülleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada literatürdeki çeşitli kırılgenlık indekleri ile mağmatik kayaçlar arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; literatür de yaygınca kullanılan B1 ve B2 kırılgenlık indekleri ile mağmatik kayaçlar arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Ancak B3 ve B4 kırılgenlık indekleri ile mağmatik kayaçlar arasında özellikle dayanım açısından oldukça anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında petrografik çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle mağmatik kayaçlar granitik ve bazaltik kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır. Ancak her iki kayaç grubunun oluşum yönünden farklı ortamları temsil ettiklerinden mineral içeriği açısından ortak bir noktaya getirilememiştir. Bu farklılık nedeniyle kırılgenlık indeks değerleri ile mineral içerikleri arasında korelasyon katsayısı araştırması bu çalışmada yapılamamıştır. Ancak mağmatik kayaçlar granitik ve bazaltik kayaçlar olarak sınıflandırıldıktan sonra yapılan değerlendirmelerde; özellikle granitik kayaçların B3-B4 kırılgenlık indekleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasında daha kuvvetli ilişkiler belirlenmiştir. Bu farklı sonuçların elde edilmesinde kayaçların mineralojik, petrografik, doku, ayrışma vb. gibi özelliklerin etkili olduğu düşünülmektedir. Yazarlar bundan sonraki çalışmalarda araştırmacıların kayaçların kırılgenlık indeksi ile fiziko-mekanik özellikleri araştırırken detaylı mineralojik, petrografik, doku, ayrışma vb. gibi özellikler üzerinde durmalarını önermektedir.



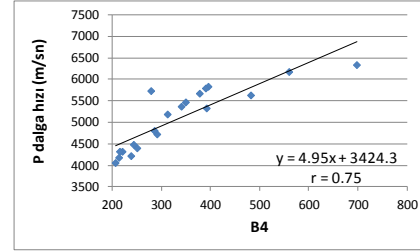
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. Mağmatik kayaçlar için, nokta yük dayanımı ve P dalgası hızı ile B3-B4 kırılma indeksleri arasındaki ilişki a) nokta yük dayanımı ile B3 arasındaki ilişki, b) nokta yük dayanımı ile B4 arasındaki ilişki, c) P dalgası hızı ile B3 arasındaki ilişki, d) P dalgası hızı ile B4 arasındaki ilişki.

Çizelge 5. Fiziksel ve mekanik özellikler ile mağmatik kayaçların kırılma indeksleri arasında belirlenen korelasyon katsayıları.

	Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Efektif porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)	P dalgası hızı (m/sn)	Nokta yük dayanımı (MPa)	Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basıç dayanımı (MPa)
B1	0.05	-0.29	-0.31	0.22	0.39	0.02	0.28
B2	0.04	-0.26	-0.28	0.20	0.36	0.01	0.27
B3	0.53	-0.47	-0.51	0.70	0.80	0.94	0.93
B4	0.51	-0.51	-0.56	0.75	0.83	0.94	0.95

Çizelge 6. Fiziksel ve mekanik özellikler ile granitik ve bazaltik kayaçların kırılabilirlik indeksleri arasında belirlenen korelasyon katsayıları.

	Kayaç grubu	Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Efektif porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)	P dalga hızı (m/sn)	Nokta yük dayanımı (MPa)	Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
B1	GRANİTİK	0.27	-0.44	-0.42	0.59	0.33	0.62	0.29
	BAZALTİK	0.08	0.00	0.00	0.15	0.03	0.23	0.02
B2	GRANİTİK	0.26	-0.44	-0.41	0.58	0.32	0.61	0.28
	BAZALTİK	0.10	0.00	0.00	0.17	0.03	0.24	0.02
B3	GRANİTİK	0.76	-0.50	-0.78	0.90	0.96	0.96	0.98
	BAZALTİK	0.37	-0.10	-0.11	0.71	0.60	0.98	0.93
B4	GRANİTİK	0.76	-0.51	-0.79	0.91	0.95	0.97	0.97
	BAZALTİK	0.35	-0.10	-0.12	0.69	0.63	0.98	0.95

Kaynakça

- [1] Hucka, V., ve Das, B. 1974. Brittleness determination of rocks by different methods. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 11 (10), 389-392. Pergamon/Wangler, T. P. 2008. RF Linear Accelerators. 2nd, completely revised and enlarged edition. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 450s.
- [2] Das, B., ve Hucka, V. 1975. Laboratory investigation of penetration properties of the complete coal series. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 12 (7), 213-217. Pergamon.
- [3] Altindag, R. 2002. The evaluation of rock brittleness concept on rotary blast hole drills. *Journal-South African Institute of Mining and Metallurgy*, 102(1), 61-66.
- [4] Yagiz, S., 2009. Assesment of brittleness using rock strength and density with punch penetration test, *Tunneling and Underground Space Technology article*, 24 (1), 64-77.
- [5] Yarali, O., ve Soyer, E. 2011. The effect of mechanical rock properties and brittleness on drillability. *Sci Res Essays*, 6(5), 1077-1088.
- [6] Rickman, R., Mullen, M., Petre, E., Grieser, B., and Kundert, D., 2008. A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett Shale: SPE annual technical conference and exhibition, Denver, Colorado, SPE 115258.
- [7] Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. E., and Pollastro, R. M. , 2007. Unconventional shale-gas systems: the Mississippian Barnett Shale of North-Central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment: *AAPG Bulletin*, 91, 475 - 499.
- [8] Wang, F.P. ve Gale, J. F. W., 2009. Screening criteria for shale-gas systems: *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 59, 779-7.
- [9] Guo, Z., Li, X., Liu, C., Feng X., Shen, Y., 2013. A shale rock physics model for analysis of brittleness index, mineralogy and porosity in the Barnett Shale. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10 (2).
- [10] Herwanger, J. V. , Bottrill, A. D., Mildren S.D., 2015. Uses and Abuses of the Brittleness Index With Applications to Hydraulic

- Stimulation, Unconventional
Resources Technology
Conference, Texas (USA), 20-22
Temmuz.
- [11] LeBas, M.J. and Streckeisen, A.L.,
1991, The IUGS Systematics of
Igneous Rocks, *Journal of the
Geological Society*, 148, 825-833.
- [12] ISRM, B. E. 1981. Suggested
methods: rock characterization,
testing and monitoring. *ISRM
Commission on Testing Methods.
Pergamon, Oxford.*
- [13] ISRM, Ulusay, R., & Hudson, J. A.
2007. The complete ISRM
suggested methods for rock
characterization, testing and
monitoring: 1974–
2006. Commission on testing
methods. International Society of
Rock Mechanics. Compilation
arranged by the ISRM Turkish
National Group, Ankara,
Turkey, 628.
- [14] Kalaycı, Ş., 2010. SPSS Uygulamalı
çok değişkenli istatistik
teknikleri, Asil Yayınevi, Ankara,
426.