

Mermerlerin Anizotropik Karakteristiğinin Shore Sertliği Üzerine Etkisi

A Güney & R Altındağ
SDU Muh Mim Fak Maden Muh Bol İsparta

Y Kıbcı
A KU Mühendislik Fakültesi Afyon

ÖZET Kayaçların anizotropik karakteristikleri mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada mermerlerin anizotropik karakteristiklerinin Shore sertliği (SH) üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamdaki deneyler 9 farklı mermer türü üzerinde yapılmıştır. Mermer örneklerinden hazırlanan kübik numuneler üzerinde X-Y-Z uzayında XY, YZ ve XZ düzlemlerinde SH ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kayaçların mineralojik yapısının yanı sıra ve birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, ultrasonik hız geçirgenliği ve porozite gibi bazı fiziksel özelliklerinin de SH değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT Anisotropic characteristics of rocks play a significant role in determining their mechanical properties. Therefore, in this study the goal has been to investigate the influence of marble anisotropy on Shore Hardness (SH). Experimental studies were performed on 9 specific marble types. Shore hardness measurements were carried out on cubical marble samples cut out of these marble types on XY, YZ and XZ planes of X-Y-Z space. In conclusion, in addition to the effects of mineralogical structure, effects of certain physical properties of rocks such as unit weight in volume, water absorption in weight, ultrasonic velocity and porosity on the SH values were investigated.

1. GİRİŞ

Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde yönlenmeye bağlı olarak görülen değişimler anizotropi olarak tanımlanmaktadır. Metamorfik ve sedimentary kayaçlarda görülen anizotropik karakteristikler genellikle kayaç içerisindeki klivaj, foliasyon, şistozite, eklemler, tabakalanma ve mikroçatlakların varlığından dolayı ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, kayaçların mineral yapısı, özellikle mineral yönlenmesi ve anizotropik karakteristikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla bir çok araştırmalar yapılmıştır (Wenk, 1985, Wenk and Christie, 1991, Bunge et al, 1994, Barla, 1974, Amadei, 1983).

Bu çalışmada, kayaçların anizotropik karakteristikleri X, Y ve Z yönlerinde SH ölçümleri ile belirlenerek bu değerlerle kayaçların diğer fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık (BHA), ağırlıkça su emme (ASE) ve ultrasonik hız (V_p) ve

porozite (P)) arasındaki ilişkileri belirleyebilmek amacıyla istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Mineralojik inceleme

SH ölçümleri yapılan kübik kayaç numunelerinin X,Y,Z yönlerindeki XY, YZ ve XZ düzlemlerinden ince kesit örnekleri alınmış ve mineralojik tanımlamaları Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2 Kayaçların Fiziksel Özellikleri

Bu çalışma kapsamında seçilen kayaçların birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, ultrasonik hız geçirgenliği ve porozite deneyleri TS 699 (1987) ve ISRM (1981) standartlarına göre belirlenmiştir. Belirlenen bu özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2.1. Ultrasonik Hız Deneyi

Ultrasonik hız ölçümlerinde Pundit cihazı kullanılmıştır. V_p hızları kübik numunelerin XY, YZ, XZ düzlemlerinde (Şekil 1) ölçülmüş ve kayaca ait V_p değerleri 3 yönde ölçülen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

2.2.2. Shore Sertliği Deneyi

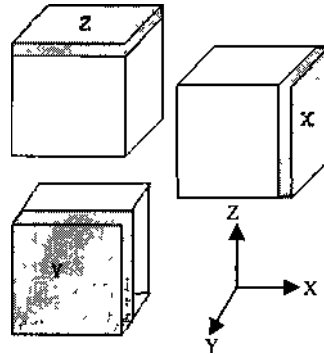
Kayaçların fiziksel özelliklerinden biri olan SH temel olarak kayacın mineralojisinden, çimentolaşma durumundan (bağlayıcı madde), matrix tipinden ve elastisitesinden etkilenmektedir. SH, tane boyutu 0,2 mm'den büyük kayaçlar için sert minerallerin yüzdesinin hızlı ölçümünü ortaya koymak için kullanılabilir ve kayaç mineralojisi ile direkt ilişkisi bulunmaktadır (McFeat-Smith,1977).

SH ölçümü için araştırmacılar tarafından farklı deney boyutları önerilmektedir (Misra, 1972; ISRM, 1981; Rabia ve Brook, 1979; Altındag, 2002). Altındag (2002), 54,75 mm çaplı karotlar üzerinde yaptığı SH ölçümlerinde, SH değerlerinin numune hacminin 80 cm³'den daha büyük numunelerde değişmediğini belirlemiş ve minimum numune hacminin 80 cm³ olması gerektiğini önermiştir. Bu çalışmada ise 9 farklı kayaç örneğinden alınan 5cmx5cmx5cm boyutlu ($V=125$ cm³) kübik numuneler hazırlanmıştır. SH ölçümlerinde C-2 tipi Shore Sceleroscope'u kullanılmıştır. SH ölçümleri, bu numuneler üzerinde ISRM (1981)'de belirtilen ölçüm prensibine göre yapılmıştır. Elde edilen SH ölçümlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'de verilmiştir.

Kayacı oluşturan minerallerin 3 farklı yönde (X,Y,Z) farklı özellikler gösterebileceği bilinmektedir. Dolayısıyla, deney numunesi olarak seçilen bir kayaç örneğini oluşturan mineraller hazırlanan numunenin X,Y,Z yönlerinde de farklı özellikler göstermesi doğaldır. Dolayısıyla, her 3 yönde de ölçülen SH sertliği değerleri de mineral yapısına göre farklılıklar gösterecektir.

ISRM (1981)'e göre SH ölçümü için hazırlanacak olan numunenin boyutları 10 cm² alanında ve 1 cm kalınlığında olması gerekmektedir. Böyle bir numunede sadece bir yönde (10 cm² alan

üzerindeki yüzeyde) ölçüm alınabilmektedir. Seçilen kayaç örneği tabakalaşma özelliği göstermeyen mağmatik veya metamorfik bir kayaç ise ve kesilen numunenin arazide hangi yönde olduğunu da belirlenememesi durumunda farklı araştırmacılar tarafından aynı bölgeden alınan farklı numuneler veya aynı araştırmacı tarafından alınan farklı numuneler üzerinde yapılacak SH ölçümleri de doğal olarak farklılıklar gösterecektir. Bu durumda o kayaca ait SH değerini hangi ölçüm değerinin temsil edeceğinin belirlenebilmesi gerekir. Aynı zamanda, ölçülen SH değerlerin hangi yüzeye ait olduğunu bilmesi kazı ve delme çalışmaları açısından faydalı olacaktır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu belirsizliklere cevap bulunamamıştır. Yapılan çalışmalarda izlenen metod ISRM (1981) standardı ise böyle bir numuneden ancak bir yönde ölçüm alınabilmektedir. Bu ölçüm değeri de 3 farklı yöndeki sertlik değerini yansıtmamaktadır. Bir kayacın SH değerinin belirlenebilmesi için 3 farklı yönde (X,Y,Z) ölçümler yapılmalı ve değerlendirmelerde bunların aritmetik ortalamaları dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, ölçülen SH değerleri X,Y,Z yönlerinde (XY, YZ ve XZ düzlemlerinde) belirlenmiş ve aritmetik ortalamaları ile standart sapmaları Çizelge 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Kübik numuneler üzerinde SH ölçümü yapılan yüzeyler

2.3. Anizotropik Değerlendirme

Kayaçlar oluşumu itibarıyla heterojen bir yapı ve anizotropik özellik taşıyabilirler. Bu iki özellik de mühendislik uygulamalarında dikkate alınması gereken parametrelerdir. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri, kendilerini oluşturan minerallerin ve bağlayıcı dokuların özellikleriyle

ilintilidir. Gerek mineral ve gerekse bağlayıcı malzeme X,Y,Z yönlerinde farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Dolayısıyla, oluşturdukları kayaç da X,Y,Z yönlerinde (XY, YZ ve XZ düzlemlerinde)

farklı özellikler sergilemektedir. Malzemenin farklı yönlerde farklı özellikler göstermesi anizotropi olarak tanımlandığına göre kayaçların anizotropik durumlarının da belirlenmesi gerekir.

Çizelge 1. Kayaçların mineralojik tanımlamaları

Kayaç No	Mineralojik Tanımı
1	Kataklastik doku gösteren kayaç, tane boyutu farklı kalsit minerallerinden ibarettir. Bazı kesimlerde poligonal kalsitler 5 mu - 60 m μ i arasında değişen boyutlardadır. Farklı boyutlardaki kalsit mineralleri yer yer bantlar oluşturur. Kalsit tane boyutu bazı bantlarda iri (yaklaşık 2 mm), diğer kesimlerde çok küçük (yaklaşık 0.2 mm) kadardır. Yönlü basınçlar nedeniyle tanelerde zaman zaman ufalanma (kataklastik doku) görülmektedir. Sensit, klorit, limonit ve hematit kayaç içinde izlenebilmektedir.
2	Mükemmel granoblastik doku gösterir. Yer yer çatlaklıdır. Gelişi güzel gelişmiş çatlaklarda çatlak içleri limonitleşme sonucu sarı - kırmızı bir renk kazanmıştır. Kayaç içinde epidotlaşma yoğun olarak izlenmektedir. Farklı boyuttaki kalsit minerallerinin boyutları 5 m μ i. - 70 m μ x. arasında değişmektedir. Muskovit, serisit, opak mineral (limonit, hematit) incekesitte yer yer görülmektedir.
3	Kayaçta, bazı kesimlerde, yer yer pelletlerin etrafını saran 0.1 mu - 5mu arasında çatlak ve kılıf içinde kripto kristalin kalsitler yer alır. Alg ve Fusulina sp. Kavkaları içine yerleşmiş kripto kristalin kalsitler bulunur. Kripto kristalin kalsit mineralleri mikrofossil kavkaları içinde görülmektedir. Kalsite, limonit mineralleri de eşlik eder. Hematit, iri kalsit mineralleri etrafında mineral sınırlar boyunca kalsiti saran kılıflar oluşturmaktadır. Bol fosilli ve pizolitik dokudadır. Bazı kesimler çok kırıklı ve birbirini kesen çatlaklar (yaklaşık 4 mm) bir hat boyunca süreklilik arz eder. Bu çatlaklar mikrokristalin, ikincil kalsit mineralleriyle dolmuştur.
4	Farklı boyuttaki kalsit minerallerinin boyutları 7 mu - 80 mu arasında değişmektedir. Kayaç içerisinde yer yer muskovit, serisit ve opak mineral (limonit, hematit) görülmektedir. Granoblastik bir doku sergilemektedir.
5	Kayaç ana bileşeni kalsit olup, çatlak dolgularında yoğun limonitleşme izlenir. Kalsit mineralleri birbirine oldukça düzensiz sınırlar boyunca kenetlenmiştir. Yönlü basınçların etkisiyle polisentetik kayma ikizleri oluşmuştur. Mikro çatlaklar boyunca ikincil (sekonder) olarak oluşan karbonat mineralleri yoğun olarak izlenir. Kalsit ikizleri 5 mu, - 45 m μ i boyutlanndadır. Çatlaklarda düzenli bir gelişme yoktur. Boşluklu ve mikritik dokulu kayaçta çok az kuvars da görülmektedir. Kayaç bazı kesimlerde masif bir yapı kazanır. Tane boyutları 0.1 mu - 10 m μ i arasındadır.
6	Kayaç içerisinde mikro çatlaklar boyunca ikincil olarak karbonat mineralleri görülmektedir. Kalsit ikizlenmeleri 5 mu - 60 mu arasında değişmektedir. Boşluklu ve mikritik bir doku sergilemektedir.
7	2.5 mu boyutunda mikro süreksizlikler bazı kesimlerde devamlı (kesiksiz) bir doğrultuda kalsit dolgulu ve limonitle sıvanmış (demiroksit boyamalı) durumdadır. Çatlak içinde ve yer yer serpilmiş durumda 1mu - 3 mu boyutunda kuvars tanecikleri bulunmaktadır. Örnek genel anlamda mono mineralik olup tümüyle kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Minerallerde yönelme yoktur. Kayaç % 95 'in üzerinde primer poligonal kalsitten (15 mu - 85 mu arası) meydana gelmiştir. Kalsit mineralleri mükemmel dilinimlidir. Kayaç içinde limonitleşme ve hematitleşmenin yanı sıra, tane boyutu 2 mu - 75 m μ i boyutunda çok az homblend, epidot, klorit, muskovit, serisit bulunmaktadır. Kısmen epidotlaşma görülür. Granoblastik dokulu kayaç, bazı kesimlerde ince sarı renkli damarlar içerir. Bazı kesimlerde kalsit boyutları 5 mu - 70 mu arasında değişebilmektedir.
8	Kayaç, kripto kristalin kalsit minerallerinin yer yer yıkılıp gitmesiyle, bunların yerine mezo ve makro kristalin kalsit mineralleri oluşmuştur. Ana bileşen olan, iri taneli kalsitin yanı sıra kuvars, kil, ve klorit kayaç içinde görülür. Limonitleşme de izlenmektedir. Kayaç içinde çok az da olsa mikro fosil bulunur.
9	Çok iri, mükemmel dilinimli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kayaçta dominant minerali (Yaklaşık % 97) kalsittir. Kayaç içinde 1 m μ x - 2 m μ i boyutunda çok az kuvars, epidot, serisit bulunmaktadır. Poligonal kalsit minerallerini yaklaşık 30° açıyla diyagonal olarak kesen ve kayaç kesitinde sürekli izlenemeyen, kripto kristalin kalsit dolgulu mikro süreksizlikler görülür. Yönlü basınçtan dolayı poligonal kalsitlerin dilinim düzlemlerinde de çatlak oluşmasının yanı sıra, basınç ikizlenmeleri de izlenir. Basınç etkisini işaret eden bu polisentetik kalsit ikizlerinin mükemmel gelişimi kayaya ayn bir dokusal özellik kazandırmıştır. Kayaç içinde, çatlaklar boyunca kloritleşme, epidotlaşma (Pistaşist) ve limonitleşme görülür. Çok iri kalsit mineralleri birbiriyle son derece düzenli sınırlar boyunca kenetlenmiştir.

Çizelge 2. Kayaçların fiziksel özellikleri

Kayaç No.	Kayaç Türü	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	SH(ort)	Vp(ort) (km/s)
1	Mermer	27,1 ±0,1	0,10±0,04	0,27±0,09	49,02	6,21
2	Mermer	27,3±0,2	0,16±0,06	0,43±0,17	52,15	5,91
3	Bej (Kireçtaşı)	26,8±0,1	0,34±0,10	0,91 ±0,28	58,92	5,89
4	Mermer	27,1 ±0,1	0,09±0,02	0,25±0,05	51,5	6,14
5	Traverten	25,2±0,5	1,64±0,30	4,13±0,67	34,18	5,22
6	Traverten	25,6±0,4	0,76±0,18	1,94±0,42	45,16	5,77
7	Mermer	27,1 ±0,0	0,08±0,02	0,20±0,06	45,32	6,24
8	Killi Kireçtaşı	22,6±0,3	5,17±0,49	11,68±1,01	24,56	4,54
9	Mermer	27,0±0,0	0,11±0,01	0,29±0,02	36,1	5,23

Çizelge 3. Numunelerin X,Y,Z yönlerine göre SH, SH(ort) ve SH_k değerleri.

Kayaç No.	Yön	SH	SH(ort)	SH _k
1	XYZ	45,53±3,95	49,02	0,9956
	YXZ	51,95±3,65		
	ZXY	49,58±4,03		
2	XYZ	55,3±4,05	52,15	0,9966
	YXZ	51,95±3,72		
	ZXY	49,20±4,53		
3	XYZ	59,5±2,5	58,92	0,9998
	YXZ	59,16±2,19		
	ZXY	58,10±4,58		
4	XYZ	52,35±4,06	51,50	0,9997
	YXZ	50,70±2,41		
	ZXY	51,45±2,70		
5	XYZ	35,72±4,16	34,18	0,9975
	YXZ	32,53±4,30		
	ZXY	34,28±5,26		
6	XYZ	44,28±6,07	45,16	0,9997
	YXZ	45,80±4,41		
	ZXY	45,40±3,84		
7	XYZ	44,70±2,32	45,32	0,9996
	YXZ	45,42±1,98		
	ZXY	45,83±2,36		
8	XYZ	21,0±4,82	24,56	0,9793
	YXZ	27,95±3,19		
	ZXY	24,72±3,59		
9	XYZ	33,26±6,02	36,10	0,9800
	YXZ	32,84±2,22		
	ZXY	42,21 ±2,42		

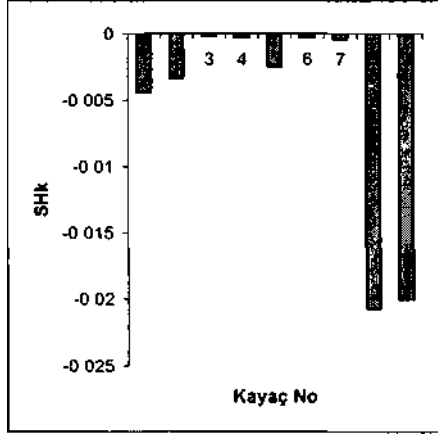
Bu çalışma kapsamında, X,Y,Z yönlerinde ölçülen SH değerlerinin farklılıklar gösterdiği belirlenmiş ve incelenen kayaçların SH değerlerine bağlı anizotropik katsayıları (SH[^]) Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir. Eşitlikteki SH(ort) değeri X,Y,Z yönünde ölçülen SH ölçümlerinin aritmetik ortalamasıdır. XY_sH, YZ_sH ve XZ_sH ise sırasıyla, X,Y,Z yönlerinde alınan SH ölçümlerinin aritmetik ortalamalarıdır. Homojen ve izotropik özellik gösteren malzemeler için SH_k = 1 olacaktır. Kayaçlar heterojen ve anizotrop özellik gösteren malzemeler olarak bilindiğinden, SH[^] * 1 olacaktır. Bu değer 1'e yaklaşması anizotropinin azaldığını, 1'den uzaklaşması ise anizotropik özelliğinin arttığını ifade etmektedir.

$$SH_k = \frac{SH_{xy}}{SH(ort)} * \frac{SH_{yz}}{SH(ort)} * \frac{SH_{xz}}{SH(ort)} \quad (1)$$

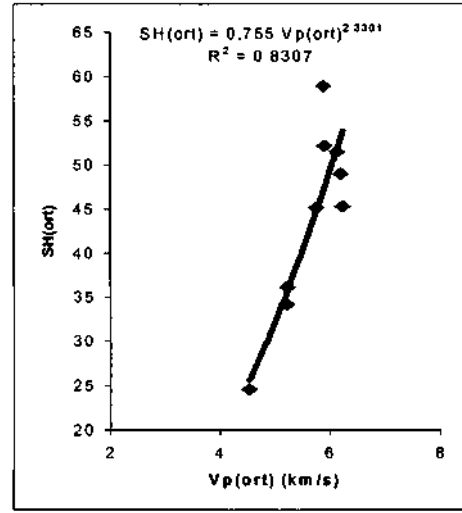
Bu çalışma kapsamında ele alınan kayaçlara ait hesaplanan SH[^] değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

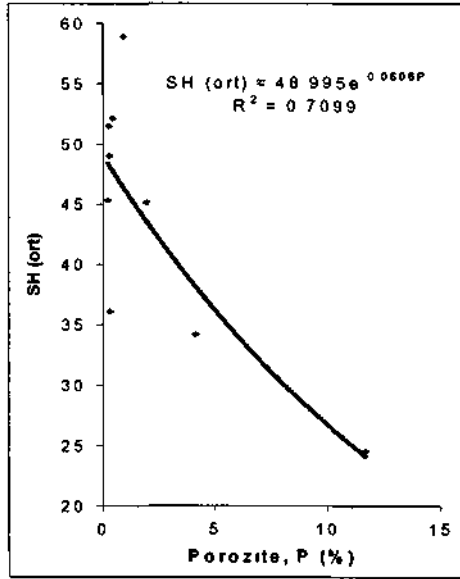
Kayaçların SH(ort) değerleri ile P, BHA, ASE ve Vp(ort) değerleri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak irdelenmiştir. Söz konusu ilişkilerin grafikleri Şekil 3-7' de verilmiş ve ilişki denklemleri de Çizelge 4'de sunulmuştur.



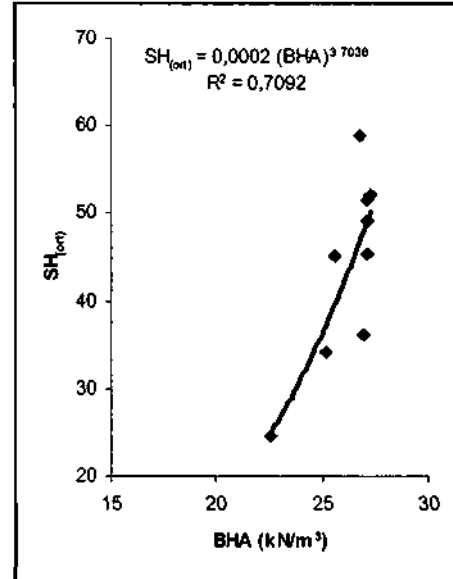
Şekil 2 Numunelerin SH değerlerine göre anizotropi (SH[^]) durumu



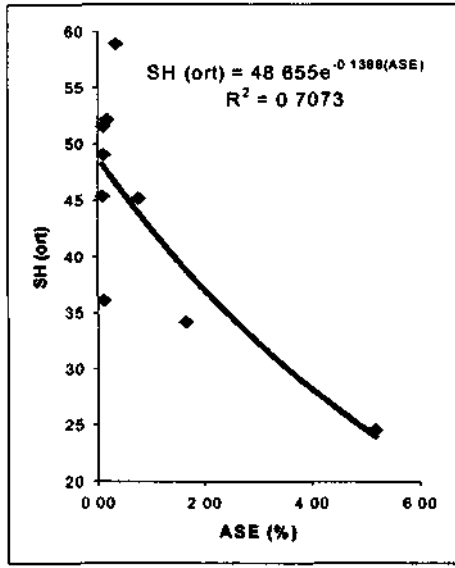
Şekil 4 X,Y,Z yönlerinde ölçüm alınan numunelenn ortalama SH(ort) ve ultrasonik hız (Vp(ort)) arasındaki ilişki



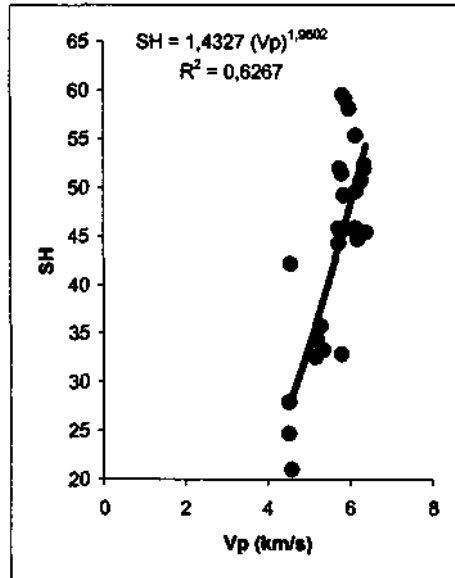
Şekil 3 Porozite ile SH(ort) arasındaki ilişki



Şekil 5 Birim hacim ağırlık ile SH(ort) arasındaki ilişki



Şekil 6. Ağırlıkça su emme ve SH(ort) arasındaki ilişki.



Şekil 7. Ölçüm yapılan tüm yüzeylere ait SH ve Vp arasındaki ilişki

Çizelge 4. Elde edilen istatistiksel ilişkilerin denklemleri

İlişki Denklemleri	Korelasyon Katsayısı (r)	
$SH (ort) = 48,995 e^{-0,1388(ASE)}$	0,84	Şekil 3
$SH (ort) = 0,755 V_p^{0,91}$	0,91	Şekil 4
$SH (ort) = 0,0002(BHA)^{1,9802}$	0,84	Şekil 5
$SH (ort) = 48,655 e^{-0,1388(ASE)}$	0,84	Şekil 6
$SH = 1,4327 (V_p)^{1,9802}$	0,79	Şekil 7

Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde;

- Kayaçların porozite değerleri arttıkça SH(ort) değerleri azalmaktadır (Şekil 3). Dar aralıktaki porozite değerlerine sahip kayaçlar, birbirlerinden farklı SH değerleri gösterebilirler. Bu durumda ilişki eğilimini ortaya koymak için genel değerlendirmeyi (çok farklı poroziteye sahip kayaçları) dikkate almak daha doğru olacaktır.
- SH (ort) ve V_p (ort) değerleri arasında $r = 0,91$ korelasyon katsayılı bir ilişki mevcuttur (Şekil 4). Aynı şekilde, ölçüm alınan tüm yüzeyler bazında dikkate alındığında da SH ile V_p arasında $r = 0,79$ korelasyon katsayılı bir ilişkinin var olduğu görülmüştür (Şekil 7).
- Birim hacim ağırlık değerleri ile SH(ort) arasında da $r = 0,84$ (Şekil 5) korelasyon katsayılı bir ilişki elde edilmiştir.
- Ağırlıkça su emme değeri arttıkça SH(ort) değerinde bir azalma gözlenmektedir. Bu ilişkinin korelasyon katsayısı $r = 0,84$ (Şekil 6) olarak belirlenmiştir.
- Anizotropik karakteristik en fazla 8 nolu kayaçta ve en az da 3 nolu kayaçta gözlenmektedir (Şekil 2). Kayaçların incekesitlerinin polarizan mikroskop incelemesinde, "örneklerin SH değerlerine göre anizotropi (SHk) durumu" na bakıldığında önemli bir dokusal ilişki ortaya çıkmaktadır. Özellikle kriptokristalin dokulu, diğer bir deyişle tane boyutu küçük olan minerallerin oluşturduğu kayaç dokularında anizotropi düşük görülmektedir. Şekil 2 'de görüleceği üzere, 8

ve 9 nolu örneklerin mineralojik kompozisyonlarını tümüne yakın kısmını ını taneli kalsit kristalleri oluşturmaktadır. Bu kayaçların anizotropileri de yüksek görülmektedir. Anizotropiyi etkileyen önemli diğer bir dokusal özellik ise, çatlaklar ve bunların dolgu maddeleridir. Çatlak ve dolgu ne kadar çok olursa kayacın anizotropisi de azalmaktadır.

Kısaca, kripto kristalin bir kayacın içerisinde ne kadar değişik boyutlarda çatlak ve bunları dolduran sekonder mineral kripto kristalin, kalsit, kuvars vb.) varsa, anizotropi de o derece etkilenmektedir. Anizotropisi düşük, 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu kayaçların dokusal özelliklerinde bu durum gözlenmektedir. Bu kayaçlarda, sekonder karbonat, silis, epidot, klorit vb. mineraller de görülmektedir. Anizotropisi yüksek olan kayaçlarda da kristal boyutu iri ve homojen, çatlak dolgusu ve sekonder mineral oluşumu da nispeten azdır.

Bugüne kadar ISRM (1981) standardına uygun olarak yapılan çalışmalarda, numuneden ancak bir yönde ölçüm alınabilmektedir. Bu ölçüm değeri de numunenin 3 farklı yöndeki sertlik değerini, dolayısıyla anizotropinin etkisini yansıtmamaktadır. Bir kayacın SH değerinin daha sağlıklı belirlenebilmesi ve diğer deney sonuçları ile karşılaştırılmalarında daha doğru ele alınabilmesi için numunelerin X,Y,Z yönlerinde de SH ölçümleri yapılmalı ve buna göre numune boyutları seçilmelidir. SH değeri olarak; X,Y,Z yönlerindeki SH değerlerinin aritmetik ortalaması dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., 2002. *Effects of specimen volume and temperature on measurements of Shore hardness*, Technical Note, Rock Mech. Rock Engng.,35(2),109-113.
- Amadei, B., 1983. *Rock Anisotropy and the Theory of Stress Measurements*, Springer, Berlin.

Barla, G., 1974. *Rock anisotropy; theory and laboratory testing*. International Centre for Mechanical Sciences, Courses & Lectures 165, pp. 131-169.

Bunge, H.J., Siegesmund, S., Skrotzki, W. and Weber, K., 1994. *Textures of Geological Materials*, DGM

ISRM, 1981: *Commission on standardisation laboratory and field results, Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks*, Int. J. Rock Mech. Min. Geomech. Abstr., 15,89-97.

McFeat-Smith, I., Rock property testing for the assessment of tunnelling machine performance, Tunnels and Tunnelling, March, 29-33.

Misra B., 1972: *Correlation of rock properties with machine performance*, Ph.D. Thesis, University of Leeds.

Rabia, H., Brook, N., 1979: *The Shore Hardness of Rock*, Technical Note, Int. J. Rock Mech. Min. Geomech. Abstr., 16, 335-336.

TS 699, 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Wenk, H.R., 1985. *Preferred Orientation in deformed Metals and Rocks: An Introduction to Modern Texture Analysis*, Academic Press, Orlande.

Wenk, H.-R. and Christie, J.M., 1991. *Comments on the interpretation of deformation textures in rocks*. Journal of Structural Geology 13, pp. 1091-1110