

BAZI KAYA BİRİMLERİNİN SERTLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE DİĞER MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİ

HARDNESS DETERMINATION OF SOME ROCK UNITS AND THEIR RELATIONS WITH OTHER MATERIAL PROPERTIES

A. CEYLANOĞLU

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

E. ARPAZ

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

K. GÖRGÜLÜ

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

ÖZET : Sertlik, malzemelerin tanımlanması ve sınıflandırılmasında sıkça kullanılan önemli malzeme özelliklerinden biri olmuştur. Bu çalışma kapsamında, metal ve kaya sertliği belirleme yöntemleri incelenmiş ve kırk üç değişik kaya birimi üzerinde yedi farklı yöntem kullanılarak sertlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerek sertlik değerlerinin birbirleri gerekse sertlik ile bazı fiziksel ve mekanik özellikler arasında ilişkiler araştırılmıştır. Oldukça yüksek korelasyonla sonuçlanan ilişkiler elde edilmiştir.

ABSTRACT : Hardness has been one of the important material properties often used for the description and classification of materials. Within the scope of this study, metal and rock hardness determination methods have been investigated and hardness tests were carried out using seven different methods on forty-three rock units. Relations between hardness values with each other and also hardness and some physical and mechanical properties were analysed. Good relations with high correlations were obtained.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılan yada darbe (vuruş) yapan bir cisme karşı malzemenin direnci (tepkisi) olarak ifade edilmektedir. Sertlik, kolay belirlenebilirliği ile malzemelerin tanımlanması ve sınıflanmasında sıkça kullanılan önemli malzeme özelliklerinden biri olmuştur. Kaya birimlerinin de tanımlanmasında ve göreceli sınıflandırılmasında (birbirleriyle karşılaştırılması) sertlik yaygın bir şekilde kullanılmakta ve diğer malzeme özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Diğer yandan, kaya ve metal etkileşiminin sözkonusu olduğu delme, ripperleme, kazı-yükleme, nakliyat, kırma, öğütme gibi temel madencilik işlemlerinde kaya birimlerinin sertlikleri gözönüne alınan parametreler arasında yer almaktadır. Fiziksel bir birimi olmayan malzemenin sertliği; sertlik ölçüm aletinin tasarımına, uygulanmasına ve malzemenin kendisine bağlı olmaktadır. Malzeme türüne göre literatürde çeşitli sertlik belirleme yöntemleri (Brinell, Vickers, Rockwell, Schmidt, Shore, Mohs) bulunmaktadır.

Bu çalışmada, 7 farklı sertlik belirleme yöntemi kullanılarak 43 değişik kaya biriminin sertlikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca yapılan regresyon analizi sonucunda gerek sertlik değerlerinin birbirleri

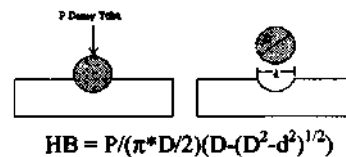
arasında gerekse sertlik ve diğer malzeme özellikleri arasında oldukça iyi korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler elde edilmiştir.

2. SERTLİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1. Metal Sertliği Belirleme Yöntemleri

2.1.1. Brinell Sertlik Belirleme Yöntemi

Brinell yöntemiyle sertlik ölçümünde, batıcı uç olarak sert çelik bilya veya sert metaller için sert metal karbür kullanılmaktadır. D çapındaki bilya, P yüküyle sertliği ölçülecek numunenin üzerine uygulanması sonucu buyanın numune üzerinde oluşturduğu küresel izin çapı (d) ölçülerek numunenin sertliği (HB) belirlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Brinell sertlik belirleme yöntemi.

Yük seçimi, K sabiti(Tablo 1) ve bilya çat göre yapılmaktadır ve 5 değişik malzeme grubu standartlaştırılmıştır(Weisbach, 1998).

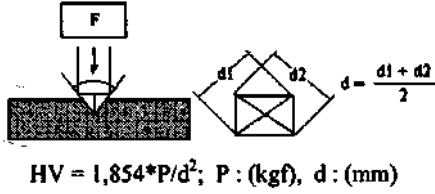
Tablo 1. K sabiti değerleri(İpek, 1996).

Malzeme Cinsi	K Değeri
Demir esaslı metaller	30
Bakır ve bakır alaşımları	10
Alüminyum ve alaşımları	5
Kurşun, kalay gibi hafif metaller	1

$$P \text{ (kgf)} = K * D'' \text{ (mm)}$$

2.1.2. Vickers Sertlik Belirleme Yöntemi

Bu yöntemde ölçümler çelik bilya yerine kare tabanlı ve 136° tepe açılı bir elmas piramit uç kullanılarak yapılmaktadır. Bu ucun 1.96-980 N (0.2 kg-100 kg) arasında (standart yükler 5, 10, 20, 30, 50, 100 kg olmak üzere) yük uygulanmasıyla numuneye batırılması sonucu oluşan izin diyagonal boyutları ölçülmekte ve bunların ortalaması kullanılarak Vickers sertlik değeri (HV) belirlenmektedir(Şekil 2).



Şekil 2. Vickers sertlik belirleme yöntemi.

Bu yöntemde iz çapı Brinell yönteminden daha ufak olmakta, numunenin kontrol yüzeyi daha ince parlatılması gerekmektedir. Bu işlem yapılırken numunenin ısınarak mikro yapıda değişime uğramaması önem taşımaktadır. Numunenin kontrol yüzeyi, basınç yüzeyine dik olarak yerleştirildikten sonra, yükleme sabit hızla, darbesiz olarak 10-15 sn sürdürülmektedir. Diyagonaller arasındaki fark %5'den fazla olursa, bu deneyi tekrar etmek gerekmektedir. İnce parçaların sertlik ölçümünde 1.96-49 N (0.2-5 Kg) yük aralığı önerilmektedir.

2.1.3. Rockwell Sertlik Belirleme Yöntemi

Brinell ve Vickers sertlik ölçme yöntemlerinde elde edilen izin alanı önemli olurken, en yaygın kullanıma sahip olan Rockwell sertlik ölçme yönteminde ise izin derinliğine bağlı olarak 0-100 arasında belirlenen sayı sertlik değeri olarak kabul

simgeienmeKiedirvi'ao.c : r *
kademisiyle numuneye bastırılmaktadır.

1. *Ön yükleme* : Yüzey etkilerini telafi etmek için
2. *Esas yükleme* : 4-8 sn. darbesiz olarak

Tablo 2. Rockwell sertlik tipleri (İpek, 1996).

Rockwell Tipi	Batıcı Uç	Yük (N)
A	Elmas Koni	590
B	Çelik Bilya (1.588 mm)	980
C	Elmas Koni	1470
D	Elmas Koni	980
E	Çelik Bilya (3.175 mm)	980
F	Çelik Bilya (1.588 mm)	590
G	Çelik Bilya (1.588 mm)	1470
H	Çelik Bilya (3.175 mm)	590
K	Çelik Bilya (3.175 mm)	1470
L	Çelik Bilya (0.650 mm)	590
M	Çelik Bilya (0.650 mm)	980
P	Çelik Bilya (0.650 mm)	1470
R	Çelik Bilya (12.70 mm)	590
S	Çelik Bilya (12.70 mm)	980
V	Çelik Bilya (12.70 mm)	1470

Net iz derinliği, ön yüklemedeki iz derinliği ile esas yükleme kaldırıldıktan sonra elde edilen iz derinlikleri arasındaki fark olmakta, Rockwell sertliği ise bu farkla ters orantılı olmaktadır. Skalada 1-100 arasındaki her bir Rockwell birimi (2 |i) bir batma derinliğine karşılık gelmekte olup maksimum iz derinliği 200 μ (0.2 mm) olmaktadır.

$$\text{Rockwell Sertliği} = 100 - \text{iz derinliği}(\mu) / 2$$

2.2. Kaya Birimlerinin Sertliğini Belirleme Yöntemleri

2.2.1. Schmidt Çekici

0-100 arasında bir skalaya sahip olan Schmidt çekici ile kaya birimlerinin sertlikleri yerinde ve/veya laboratuvarında oldukça kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Çekiç kaya test yüzeyine dik tutularak, pistonuna çekiç vuruş yapana kadar yük uygulanmakta ve ölçөгindeki değeri okunmaktadır. Aynı noktada 5 değeri alınmakta ve en yüksek değeri o nokta için kaydedilmektedir. En az 20 değişik noktada seri ölçümler yapılmakta ve seçilen en yüksek 10 değerin ortalaması o kaya birimi için Schmidt sertliğini belirlemektedir(Poole ve Farmer, 1980).

2.2.2. Shore Scleroscope

Kaya, metal ve plastik sertliği belirlemede kullanılan bu aletin de Schmidt çekicinde olduğu gibi bir skalası (0-140) bulunmaktadır. Test yüzeyine dikey olarak belirli bir yükseklikten bırakılan elmas uçlu çekicinin (0.03 inch çapında) (malzeme türüne göre çekici tipi ve çekicinin bırakıldığı yükseklik değişmektedir) vurma sonucu ölçekte yükseldiği yer sertlik değeri olarak alınmaktadır (Ceylanoğlu, 1996).

2.2.3. Mohs Sertliği

Kaya birimlerinin Mohs sertliği 1-10 arasında değişmekte ve belirli minerallerin sertlikleri (Talk, 1; Jips, 2; Kalsit, 3; Fluorit, 4; Apatit, 5; Ortoklas, 6; Kuvars, 7; Topaz, 8; Korendon, 9; Elmas, 10) ile temsil edilmektedir.

3. ÇALIŞILAN KAYA BİRİMLERİ

Bu araştırmada çalışılan kaya birimleri, C.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü'nde yürütülen iki farklı projeden sağlanmıştır (Ceylanoğlu vd., 1998; Ceylanoğlu, Özkan vd., 1998). "Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cilalama Koşullarını Belirleme Çalışmaları" adlı TÜBİTAK-MİSAG Projesi kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışması sonucunda yüksek rezervli değişik mermer birimlerini temsil ve karakterize eden blok numuneler ve "Divriği YNK-3 No'lu İstihsal Kuyusunda Karşılaşılacak Kayaçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Mühendislik Sınıflaması Çalışmaları" adlı Döner Sermaye Projesi kapsamında sondaj karotları Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekanik Laboratuvarı'na getirilmiştir (Tablo 3).

Temsili mermer blok numuneleri, kaya mekaniği laboratuvarında önce blok kesme makinası kullanılarak karot alma makinasına uygun bloklar haline getirilmiştir. Daha sonra, düzeltilen bu bloklardan değişik çap ve ebatlarda karot numuneler, karot alma makinası ile alınmıştır. Sivas-Divriği Demir Madenleri İşletmesi'nde açılması düşünülen 3 No'lu istihsal kuyusu ve kırıcı dairesinde karşılaşılabilecek kayaçların gerek kazı çalışmaları gerekse kullanım sırasında davranışlarını önceden belirleyebilmek amacıyla Yertaş - Özdoğan Ortak Girişimi tarafından kuyu ekseninin 15 m yakınında 264 m derinliğinde [0 (1366) - 264 (1102)] bir adet sondaj yapılmıştır. Sondajın 54. metresine (1312) kadar karot alınmadığı belirtilmiştir. Değişik manevra boylarında (1-4 m) yapılan sondajın

karotları (210 m) üzerinde yapılan jeoteknik loğlama çalışmaları sonucunda 56 jeoteknik litolojik birimin olduğu belirlenmiştir. Ancak bu çalışma kapsamında, deneylerde kullanılmak üzere 36 adet kaya biriminden karot numuneler alınabilmiştir. Gerek mermer birimlerinden gerekse sondajdan alınan karot numuneler kesme ve parlatma makinasında düzeltilerek Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (ISRM) standartlarının öngördüğü şekilde deneylere hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3. Kaya birimlerinin alındığı yerler.

<i>Mermer Blok Numuneleri</i>			
Kaya Birimi		Bölge	Numunenin Alındığı Kuruluş
Kodu	Adı		
1	Afyon Şeker	Afyon	AKÜN İnş. Ve San.Tic Ltd.Şti.
2	Afyon Gök	Afyon	AKÜN İnş. ve San.Tic Ltd Şti.
3	Muğla Beyaz	Muğla	AKÜN İnş. ve San.Tic.Ltd Şti.
4	Yıldız Siyah	Sivas	Emmioğlu Mermer Ltd Şti.
5	Zile Bej	Tokat-Amasya	Emmioğlu Mermer Ltd Şti.
6	Akköy Bej	Bilecik	Hartas AŞ.
7	San Traverten	Sivas	Ak Mermer AŞ.
<i>Divriği YNK-3 No 'lu Kuyuya Ait Karot Numuneleri</i>			
Kaya Birimi		Derinlik (m)	Numunenin Alındığı Kuruluş
Kodu	Adı		
8-21	Serpantin	54.00-118.20	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
22-23	Ultramafit	118.20-128.75	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
24	Siyenit	128.75-134.20	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
25	Serpantin	134.20-135.00	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
26	Ultramafit	135.00-140.50	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
27-32	Siyenit	140.50-233.35	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
33-35	Serpantin	233.35-236.15	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
36-37	Siyenit	236.15-245.00	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
38	Ultramafit - Proksenit	245.00-245.87	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
39	Siyenit	245.87-248.80	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
40	Serpantin	248.80-249.70	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi
41-43	Siyenit	249.70-264.15	Yertaş-Özdoğan Ortak Girişimi

Kaya birimlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, hazırlanmış olan bu numuneler üzerinde aşağıda verilen deneyler ISRM standartlarına (ISRM, 1981) uygun olarak yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları Tablo 4'de sunulmaktadır.

- Yoğunluk ve nem oranı belirleme
- Gözeneklilik belirleme
- Suda dağılma dayanımı
- Darbe dayanımı
- Dolaylı çekme dayanımı
- Eğilme (bükülme) dayanımı
- Nokta yükleme dayanımı
- Tek eksenli basınç dayanımı
- Uç eksenli basınç dayanımı
- Tek eksenli deformabilite

Tablo 4. Kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları.

Özellikler	Tabii Yoğunluk	Etkili Gözeneklilik	Nem Oranı	Suya Dayanım İndeksi	Darbe Dayanımı	Dolaylı Çekme Dayanımı	Eğilme (Bükülme) Dayanımı	Nokia Yüğü Day. (s<30))	Tek Eks. Basınç Dayanımı	Kohezyon	İşsel Sürtünme Açısı (Derece)	Elastisite Modülü	Poisson Oran
Kaya Birimi Kodu	(gr/cm ³)	(%)	(%)	(102K%)	(kgf.cm ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(Derece)	(GPa)	
1	2.708 (20)	0.191 (D)	0.096 (D)	99.48 (D)	10.19 ±4.77 (10)	5.93 ±1.89 (11)	27.24 (3)	6.78 ±0.78 (12)	66.44 ±7.54 (9)	25.93 (6)	32.85 (6)	35.16 (2)	0.265 (2)
2	2.697 (21)	0.077 (D)	0.076 (D)	99.31 (D)	4.61 ±1.90 (10)	5.02 ±1.44 (12)	13.72 (2)	5.44 ±0.98 (12)	49.74 ±4.48 (10)	17.32 (6)	35.06 (6)	34.70 (3)	0.289 (3)
3	2.709 (22)	0.120 (D)	0.105 (D)	99.18 (D)	9.14±4.19 (10)	6.56 ±1.56 (14)	21.06 (2)	5.69±1.10 (12)	61.14±11.60 (10)	25.82 (6)	33.22 (6)	28.79 (2)	0.256 (2)
4	2.700 (21)	0.039 (D)	0.116 (D)	99.64 (D)	3.74 ±2.06 (10)	6.82 ±1.93 (12)	11.91 (3)	5.93 ±0.86 (12)	68.34 ±14.86 (9)	26.17 (6)	43.82 (6)	35.81 (2)	0.273 (2)
5	2.693 (15)	0.115 (D)	0.109 (D)	99.75 (D)	3.44 ±2.39 (8)	7.27±1.13 (12)	13.86 (3)	5.65 ±0.79 (12)	91.60 ±14.54 (5)	19.84 (6)	49.73 (6)	35.37 (D)	0.316 (D)
6	2.689 (11)	0.152 (D)	0.153 (D)	99.62 (1)	3.22 ±2.32 (10)	5.97 ±2.11 (8)	12.27 (2)	5.76 ±1.23 (11)	52.82 ±15.58 (5)	16.60 (6)	48.58 (6)	33.84 (2)	0.288 (2)
7	2.411 (26)	5.555 (D)	0.329 (D)	99.32 (1)	9.15±2.14 (1)	5.18 ±0.78 (8)	6.998 (?)... ..	5.72 ±0.78 (10)	37.80 ±1.30 (4)	19.16 (D)	26.14 (3)	29.55 (1,1)...	0.292 (D)
37	2.567 (3)	0.21 (D)	0.705 (D)	99.55 (2)	2,96 ±1.77 (5)	27,1 ±5.50 (8)	18,84 (D)	7,63 ±4.32 (13)	113.2 ±49.97 (6)	12,59 (4)	41,63 (4)	27,21 (D)	0,2356 (D)
38	2.561 (3)	4.71 (D)	0.256 (D)	98.10 (D)	16,77 (D)	16,77 (D)	16,77 (D)	5,63 ±2.01 (12)	19,20 ±7.86 (2)	19,20 ±7.86 (2)	19,20 ±7.86 (2)	20,55 (D)	0,184 (D)
39	2.581 (3)	0.86 (D)	0.607 (D)	99.06 (D)	3,55 ±1.28 (3)	26,8 ±2.51 (5)	- (5)	10,1 ±3.12 (13)	110,5 ±26.92 (3)	- (3)	- (3)	35,43 (D)	0,2664 (D)
40	2.584 (3)	13.28 (D)	2.321 (D)	97.96 (D)	- (D)	- (D)	- (D)	6,66 ± 2.87 (13)	- (D)	- (D)	- (D)	- (D)	- (D)
41	2.632 (3)	0.99 (D)	0.207 (D)	99.25 (D)	- (D)	21,7 ±6.98 (4)	- (D)	9,71 ±3.72 (13)	74,71 ±6.50 (3)	15,13 (3)	60,94 (3)	25,13 (D)	0,335 (D)
42	2.635 (3)	0.29 (D)	0.133 (D)	99.65 (2)	4,98 ±1.44 (6)	18,2 ±6.27 (9)	- (D)	13,6 ±4.21 (13)	79,94 + 36.01 (6)	14,81 (4)	60,81 (4)	35,69 (D)	0,2772 (D)
43	2.660 (3)	0.12 (D)	0.206 (D)	- (D)	7,86 ±2.11 (6)	24,3 ± 4.85 (10)	- (D)	11,3 ±2.09 (13)	135,5 ±40.72 (6)	18,77 (5)	62,66 (5)	37,72 (D)	0,2458 (D)

Gerçekleştirilen deney sayıları.

Tablo 5. Sertlik belirleme deney sonuçları.

Deneyler Kaya Birimi Kodu	Schmidt Sertliği	Shore Sertliği C2 Model	****Equo Tip Sertlik Ölçme Cihazı (Standart D Tipi Dijital)			****Statik Sertlik (Rockwell Sertliği)		*** Mohs Sertliği
			Shore Sert.	Vickers Sert.	Brinell Sert.	*B Skalası	**C Skalası	
1	57.20 ± 1.03 (20)	59.88 ± 3.96 (34)	48.67 ± 3.44 (30)	361.53 ± 27.11 (17)	351.65 ± 32.11 (17)	72.40 ± 7.95 (32)	17.87 ± 4.78 (6)	3 (1)
2	57.90 ± 0.88 (20)	52.91 ± 4.40 (32)	47.27 ± 5.35 (26)	349.71 ± 35.42 (17)	341.63 ± 44.95 (19)	57.10 ± 8.46 (22)	8.30 ± 5.72 (4)	3 (1)
3	56.10 ± 1.73 (20)	59.17 ± 5.53 (35)	51.21 ± 5.29 (32)	362.79 ± 48.68 (19)	348.67 ± 42.60 (18)	71.18 ± 14.99 (32)	17.83 ± 3.18 (4)	3 (1)
4	59.80 ± 1.03 (20)	74.53 ± 4.04 (32)	65.20 ± 4.69 (34)	501.48 ± 55.16 (25)	471.44 ± 50.16 (23)	102.77 ± 8.27 (24)	38.59 ± 7.77 (8)	3 (1)
5	61.00 ± 0.82 (20)	69.88 ± 3.75 (32)	58.87 ± 4.57 (27)	450.56 ± 35.45 (16)	429.00 ± 29.53 (16)	95.37 ± 11.05 (24)	34.13 ± 7.83 (8)	3 (1)
6	60.40 ± 1.78 (20)	73.65 ± 3.28 (34)	57.33 ± 5.48 (30)	445.61 ± 47.59 (18)	406.50 ± 64.43 (18)	104.97 ± 7.87 (16)	41.01 ± 6.53 (8)	3.4 < 4 (1)
7	47.10 ± 2.13 (20)	51.70 ± 6.33 (40)	43.43 ± 3.28 (16)	340.36 ± 31.21 (11)	316.46 ± 47.48 (11)	44.74 ± 12.67 (14)	-	3 (1)
37	46.1 ± 4.280 (30)	96.2 ± 6.1608 (50)	58,6 ± 11.041 (10)	498,2 ± 95.874 (10)	484,0 ± 55.703 (6)	126,7 ± 0.889 (3)	22,4 ± 14.931 (3)	-
38	40.9 ± 3.984 (30)	49.8 ± 7.8287 (50)	-	-	-	-	-	-
39	48.7 ± 2.626 (30)	97.8 ± 5.5538 (50)	63,8 ± 8.887 (10)	487,5 ± 116.97 (10)	525,1 ± 48.678 (6)	126,4 ± 0.985 (3)	18,8 ± 2.103 (3)	-
40	40.0 ± 1.632 (12)	-	-	-	-	-	-	-
41	53.8 ± 3.190 (30)	72.1 ± 5.4864 (50)	42,5 ± 6.801 (6)	251,9 ± 30.921 (10)	326,7 ± 64.149 (6)	119,7 ± 1.955 (3)	-	-
42	59.1 ± 1.663 (30)	100.0 ± 6.7987 (50)	64,5 ± 5.305 (10)	517,4 ± 85.662 (10)	524,3 ± 54.174 (8)	125,4 ± 2.558 (3)	31,7 ± 17.457 (3)	-
43	56.9 ± 3.212 (30)	95.0 ± 4.1633 (50)	53,5 ± 5.077 (10)	425,8 ± 80.197 (10)	493,3 ± 47.910 (8)	124,5 ± 5.227 (3)	40,0 ± 25.865 (3)	-

* Çelik bilya, Çap 1/16 inç, Yük 100 kg, Skalanın en üst değeri 100'dür.

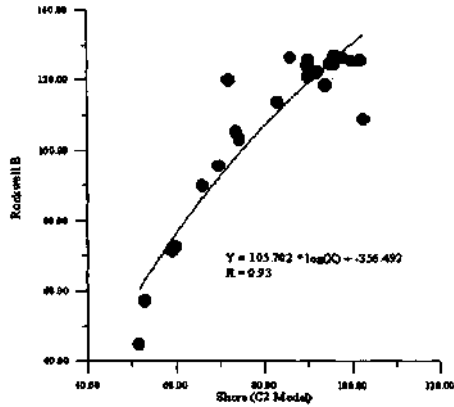
** Elmas uç, Yük 150 kg.

*** Mohs sertliği analizi O.D.T.Ü. Jeoloji-Jeofizik Araştırma Merkezi'ne yaptırılmıştır.

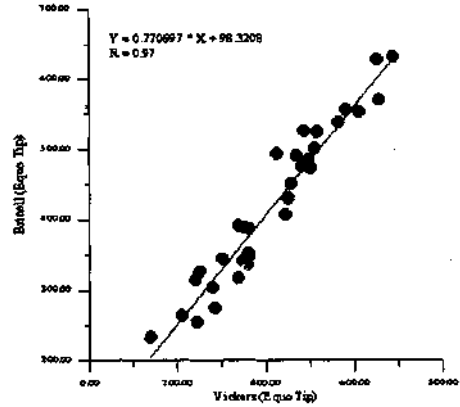
**** C. Ü. Sivas Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Bölümü Metalürji Laboratuvarı'nda yapılmıştır.
Gerçekleştirilen deney sayıları parantez içinde verilmektedir.

Tablo 6. Regresyon analizi sonuçları.

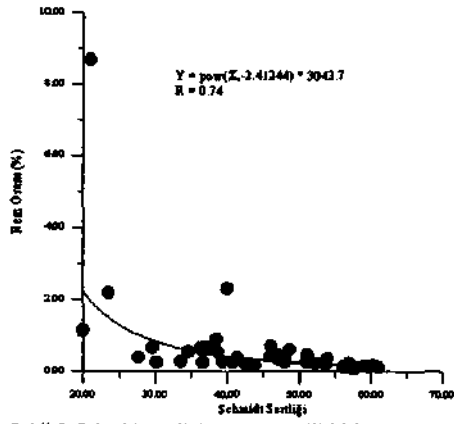
<i>Kaya Sertliği Belirleme Yöntemleri ve Metal Sertliği Belirleme Yöntemleri Arasındaki İlişkiler</i>				
Sıra No	Kaya Sertliği Belirleme Yöntemi (X)	Metal Sertliği Belirleme Yöntemi (Y)	Denklem	Korelasyon Katsayısı, r
1	Shore Kaya	Brinell	$Y = \exp(0.0124328 * X) * 161.158$	0.87
2	Shore Kaya	Rockwell B	$Y = 105.702 * \log(X) + -356.492$	0.93
3	Shore Kaya	Shore Metal	$Y = \exp(0.0075 * X) * 30.5965$	0.71
4	Shore Kaya	Vickers	$Y = 5.5044 * X + 15.6704$	0.74
<i>Metal Sertliği Belirleme Yöntemleri Arasındaki İlişkiler</i>				
Metal Sertliği Belirleme Yöntemi (X)	Metal Sertliği Belirleme Yöntemi (Y)	Denklem	Korelasyon Katsayısı, r	
5	Shore Metal	Brinell	$Y = 490.986 * \log(X) + -1527.18$	0.89
6	Brinell	Rockwell B	$Y = 0.154946 * X + 37.1675$	0.67
7	Shore Metal	Vickers	$Y = 626.169 * \log(X) + -2065.84$	0.91
8	Vickers	Brinell	$Y = 0.770697 * X + 98.3208$	0.97
<i>Kaya Sertliği Belirleme Yöntemleri ve Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler</i>				
Kaya Sertliği Belirleme Yöntemi (X)	Diğer Malzeme Özellikleri (Y)	Denklem	Korelasyon Katsayısı, r	
9	Schmidt	Nem Oranı	$Y = X^{2.41244} * 3043.7$	0.74
10	Schmidt	Etkili Porosité	$Y = \exp(-0.101383 * X) * 83.7902$	0.68
11	Shore Kaya	Nokta Yükleme Day.	$Y = 0.113085 * X + -1.15724$	0.67
12	Shore Kaya	Tek Eks. Basınç Day.	$Y = X^{1.411779} * 0.157261$	0.67
13	Shore Kaya	İçsel Sürtünme Açısı	$Y = X^{0.938435} * 0.790069$	0.81
<i>Metal Sertliği Belirleme Yöntemleri ile Diğer Malzeme Özellikleri Arasındaki İlişkiler</i>				
Metal Sertliği Belirleme Yöntemi (X)	Diğer Malzeme Özellikleri (Y)	Denklem	Korelasyon Katsayısı, r	
14	Shore Metal	Darbe Dayanımı	$Y = X^{2.48237} * 102000$	0.81
15	Vickers	Darbe Dayanımı	$Y = -11.4701 * \log(X) + 75.2748$	0.74
16	Brinell	İçsel Sürtünme Açısı	$Y = X^{0.839323} * 0.283846$	0.68
17	Rockwell B	İçsel Sürtünme Açısı	$Y = X^{0.762093} * 1.42694$	0.89



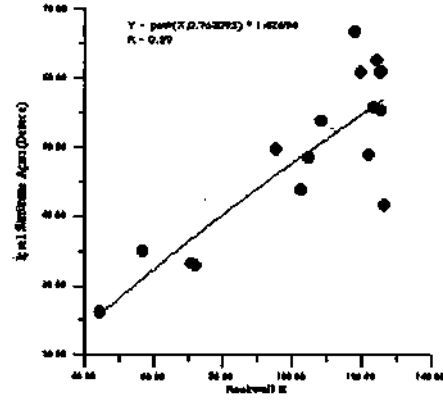
Şekil 3. Shore (C2 Model)-Rockwell B ilişkisi.



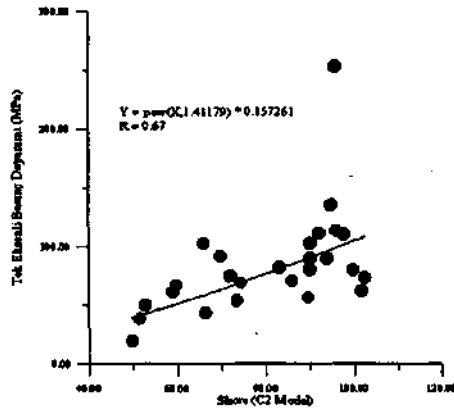
Şekil 4. Vickers (Equo Tip) - Brinell (Equo Tip) ilişkisi.



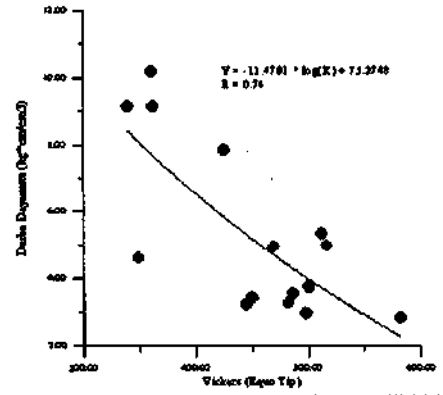
Şekil 5. Schmidt sertliği - nem oranı ilişkisi.



Şekil 7. Rockwell B - içsel sürtünme açısı ilişkisi.



Şekil 6. Shore (C2 Model) - tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 8. Vickers (EQUO Tip) - darbe dayanımı ilişkisi.

4. SERTLİK BELİRLEME DENEYLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaya birimlerinin bazı malzeme özelliklerini belirleme deneylerinden sonra standartlara uygun sayıda aşağıda verilen sertlik belirleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 5'de sertlik belirleme deneylerinin sonuçları verilmiştir.

- i. Schmidt sertliği
- ii. Shore sertliği
- iii. Vickers sertliği
- iv. Brinell sertliği
- v. Rockwell sertliği
- vi. Mohs sertliği

Kaya birimlerinin bazı malzeme özellikleri (Tablo 4) ile sertlik belirleme deneyleri sonucunda elde edilen sertlik değerleri (Tablo 5) Grapher V.1.29 paket programı kullanılarak ilişkilendirilmiş ve oldukça anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkilerden kabul edilebilir korelasyon katsayısı ($r > 0.67$) değerlerine sahip olanlara ait ilişkiler Tablo 6'da sunulmuştur. Ayrıca bu ilişkilerin bazıları Şekil 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de de verilmiştir.

5. SONUÇ

Bu araştırma kapsamında öncelikle kaya sertliği ve metal sertliği belirleme yöntemleri incelenmiştir. İki farklı proje kapsamında elde edilen kırk üç değişik kaya biriminin bazı malzeme özellikleri ve yedi farklı sertlik belirleme yöntemi kullanılarak kaya birimlerinin sertlikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Gerek sertlik değerlerinin birbirleri gerekse sertlik değerleri ve malzeme özellikleri arasında ilişkiler araştırılmıştır. Regrasyon analizi sonucunda oldukça yüksek korelasyon veren ilişkiler elde edilmiştir. Değişik türdeki kaya birimlerinde de benzer çalışmaların yapılarak ilişkilerin geliştirilmesinde yarar görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı laboratuvar sarf malzemeleri ile destekledikleri için TÜBİTAK ve Yertaş-Özdoğan A.Ş.'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Ceylanoğlu, A. 1996. *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*. ISBN: 975-7631-33-7, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 60 s.

Ceylanoğlu, A., Görgülü, K., Arpaz, A., Durtürk, S. 1998. *Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aş İndir ma-Cilalama Koşullarını Belirleme Çalışmaları*. TÜBİTAK Birinci Gelişme Raporu, C.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, 10 s.

Ceylanoğlu, A., Özkan, İ., vd. 1998. *Divriği YNK-3 No 'lu İstihsal Kuyusunda Karşılaşılabilecek Kayaçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Mühendislik Sınıflaması Çalışmaları*. C.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı, Nihai Rapor, Sivas, 204 s.

ISRM. 1981. *Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods*. International Society for Rock Mechanics, 211 p.

İpek, R. 1996. *Makina Teknikerliği Malzeme Teknolojisi Laboratuvar Deney FÖyü*. C.Ü. Sivas Meslek Yüksekokulu, Sivas, 60 s.

Poole, R.W. ve Farmer, I.W. 1980. *Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing*. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 17: 167-171.

Weissbach, W. 1998. *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. Çevirenler: Anık, S., Anık, E.S. ve Vural, M. ISBN 975-511-077-1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 348 s.