

**BAZI KAYA BİRİMLERİNİN NOKTA YÜKLEME DAYANIMLARI VE
DİĞER MALZEME ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİLERİ**

Yavuz GÜL, Atilla CEYLANOĞLU
C.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışma kapsamında, değişik kaya birimlerinin nokta yükleme dayanımlarının incelenmesi ve diğer malzeme özellikleri ile ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda nokta yükleme dayanımı ile bazı fiziksel ve mekanik özellikler arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir.*

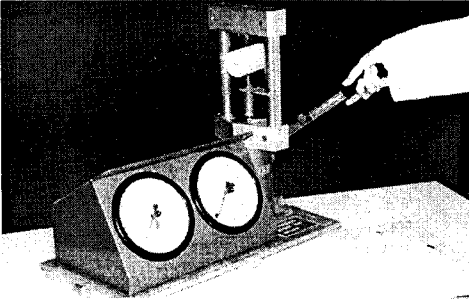
**POINT LOAD STRENGTH OF SOME ROCK UNITS AND THEIR
RELATIONS WITH OTHER MATERIAL PROPERTIES**

ABSTRACT : *Within the scope of this study, it was aimed to investigate point load strengths of different rock units and to relate with other material properties. Good relations with high correlations were obtained between point load strength and some physical and mechanical properties.*

1. GİRİŞ

Nokta yükleme dayanımı, kolay belirlenebilirliği ile kaya birimlerinin tanımlanması ve sınıflandırılmasında sıkça kullanılan önemli malzeme özelliklerinden biri olmuştur.

Nokta yükleme dayanımı deneyi iki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneğinin yük altında kırılma esasına dayanmaktadır. Bu deney sonucunda iki konik uç (platen) arasına sıkıştırılan kayaç örneğinin yenilme yükü ve boyutları kullanılarak, nokta yükleme dayanımı indeksi hesaplanmaktadır (ISRM, 1985). Nokta yükleme deney aletinin taşınabilir olması, deneylerin hem laboratuvarda hem de arazi koşullarında yapılabilmesini sağlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Nokta yükleme deney aleti (ELE, 1993)

Maliyeti düşük bir deney olması ve hızlı sonuç alınabilmesi nedeniyle, bu yöntem jeoteknik karot loglamasında ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca nokta yükleme dayanım indeksinden kaya malzemesinin tek eksenli basınç ve çekme dayanımları yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada, değişik kaya birimlerinin nokta yükleme dayanımları ortaya konulmuş ve diğer malzeme özellikleri (fiziksel ve mekanik) arasında ilişki geliştirmek amacıyla basit regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda nokta yükleme dayanımı ile malzeme özellikleri arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkilerin olduğu görülmüştür.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN KAYA BİRİMLERİ

Bu çalışmada kullanılan değişik kaya birimlerine ait arazi ve laboratuvar deney sonuçları, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bugüne kadar yapılmış bazı çalışmalardan sağlanmıştır (Ceylanoğlu, 1995; Ceylanoğlu vd., 1996; Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; Ceylanoğlu vd., 1999; Gül, 2006; Karakuş, 2007). Arazi çalışmaları, jeoteknik tanımı (renk, ayrışma derecesi, süreksizlik sistemleri ve özellikleri), Schmidt çekici testini, nokta yükleme testini ve kaya birimlerinin sismik hızlarının ölçümünü içermektedir. Söz konusu çalışmalarda, kaya malzemesinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için araziden getirilen temsili blok numunelerden alınan karotlar üzerinde Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM) öngördüğü standartlara uyularak (ISRM, 1981) aşağıda sıralanan deneylerin yapıldığı belirtilmektedir. Bu çalışmalarda, kaya kütle özelliklerini belirlemeye yönelik olarak bazı araştırmacılar tarafından yapılan arazi ölçüm sonuçları Çizelge 1'

Çizelge 1. Değişik Kaya Birimlerine Ait Arazi Ölçüm Sonuçları (¹Ceylanoğlu, 1995; ²Ceylanoğlu vd., 1996; ³Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; ⁴Ceylanoğlu vd., 1999; ⁵Gül, 2006; ⁶Karakuş, 2007).

İşletme	Kaya Birimi	Schmidt Çekici Sertliği	Nokta Yükleme Dayanımı Is(50) (kg/cm ²)	Sismik Hız (m/sn)
Sivas Divriği Demir Açık İşletmesi	³ Manyetit	52.5	70.65	651
	³ Siyenit	62.1	148.55	752
	³ Serpantinit	49.9	50.80	718
	³ Silisli Kalker	59.0	181.31	2450
Barit Maden Türk A.Ş. Sivas- Ulaş Sölestit Açık İşletmesi	¹ Jips	33.6	19.67	1826
	¹ Üst Seviye Sölestit	38.4	7.95	1359
	¹ Anhidrit	36.56	73.42	2426
	¹ Alt Seviye Sölestit	38.4	4.69	970
Kangal Kömür Açık İşletmesi	⁵ Kireçtaşı	56.3	46.71	1006
	⁵ Killi Kireçtaşı	35.8	27.76	814
Eskişehir Karaburhan Krom Açık Ocağı	² Krom	36.0	26.61	2035
	² Dunit (Tabantaşı)	46.7	21.21	2320
Akün İnş. ve San. Tic. Tic. Ltd. Şti. Muğla	⁴ Muğla Beyaz	56.1	58.02	-
	⁴ Afyon Şeker	57.2	69.13	-
	⁴ Afyon Gök	57.9	55.47	-
Hartaş A.Ş. Bilecik	⁴ Akköy Bej	60.4	58.73	-
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Tokat-Amasya	⁴ ZileBej	61.0	57.61	-
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Sivas	⁴ Yıldız Siyah	59.8	60.46	-
Ak Mermer A.Ş. Sivas	⁴ Sarı Traverten	47.1	58.32	-
ART Mermercilik Diyarbakır	⁶ Karacadağ Bazalt	62.87	137.86	5740
	⁶ Siverek Bazalt	56.33	129.40	5480
	⁶ Silvan Bazalt	54.6	123.89	5390
	⁶ Devegeçidi Bazalt	50.6	112.27	5370
Ber-Oner Mermer Bayburt	⁶ Bayburt Oniks	53.69	65.56	6810
Dimer Mermer Diyarbakır	⁶ Hani Bej	56.07	54.04	5980
	⁶ Hazro Pempe	52.87	47.41	5920
Ber-Oner Mermer Kayseri	⁶ Marone Traverten	50.3	40.48	5570
	⁶ Tanbay Traverten	44.27	37.32	5330
Gün Mermer Bitlis	⁶ Bitlis Traverten	40.4	26.00	3970

de, kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları ise Çizelge 2' de verilmektedir.

- i. Birim ağırlık belirleme
- ii. Nem oranı belirleme
- iii. Suda dağılma dayanımı
- iv. Darbe dayanımı
- v. Dolaylı çekme dayanımı
- vi. Tek eksenli basınç dayanımı
- vii. Üç eksenli basınç dayanımı
- viii. Tek eksenli deformabilite

3. REGRESYON ANALİZİ VE DEĞERLENDİRME

ISRM'nin (1981) tek eksenli basınç dayanımına göre zayıf kayaktan sağlam kayaca kadar oldukça geniş bir dayanım aralığında bulunan 29 değişik kaya biriminin tek eksenli basınç dayanımları 93.41 kg/cm^2 ile 1567.81 kg/cm^2 arasında değişmektedir. Benzer şekilde nokta yükleme dayanımı değerlerinin ise 4.69 kg/cm^2 ile 181.31 kg/cm^2 arasında olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, nokta yükleme dayanımı ile diğer arazi ve laboratuvar deney sonuçları arasında istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır. Çizelge 1'de verilen kaya birimlerinin nokta yükleme dayanımı değerleri ile Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilen kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları (Mineral tane yoğunluğu, tabii birim ağırlık, kuru birim ağırlık, toplam porozite, nem oranı, dolaylı çekme dayanımı, darbe dayanımı, suda dağılma dayanımı indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, kohezyon, içsel sürtünme, Shore sertliği, Schmidt çekici sertliği, elastisite modülü, Poisson oranı ve sismik hız) arasında ilişkiler geliştirmek amacı ile

basit regresyon analizleri yapılmıştır. Microsoft Excel programı kullanılarak birebir basit regresyon (doğrusal, üssel, eksponansiyel ve logaritmik fonksiyon yaklaşımları) analizleri yapılmıştır. Bu regresyon analizleri sonucunda, nokta yükleme dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı, suda dağılma dayanımı indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, kohezyon, elastisite modülü, Shore sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında anlamlı ve kabul edilebilir korelasyon katsayılı ($r \geq 0.70$) ilişkiler elde edilmiştir (Çizelge 3). Beklendiği gibi en yüksek korelasyon katsayılı ilişki tek eksenli basınç dayanımında elde edilmiştir. Ayrıca nokta yükleme dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı, suda dağılma dayanımı indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, kohezyon, elastisite modülü, Shore sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında en yüksek korelasyon katsayısı ile sonuçlanan ilişkiler sırasıyla Şekil 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de de verilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde bugüne kadar yapılmış bazı çalışmalar arasında yer alan (Ceylanoğlu, 1995; Ceylanoğlu vd., 1996; Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; Ceylanoğlu vd., 1999; Gül, 2006; Karakuş, 2007) ve nokta yükleme dayanımı indeksi 0.46 kg/cm^2 ile 148.55 kg/cm^2 arasında değişen 29 farklı kaya birimine ait arazi ve laboratuvar deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Bu sonuçlar kullanılarak kaya birimlerinin nokta

Çizelge 2. Değişik Kaya Birimlerine Ait Kaya Mekanik Laboratuvar Deney Sonuçları (Ceylanoğlu, 1995; Ceylanoğlu vd., 1996; Ceylanoğlu ve Durutürk, 1996; Ceylanoğlu vd., 1999; Gül, 2006; Karakuş, 2007).

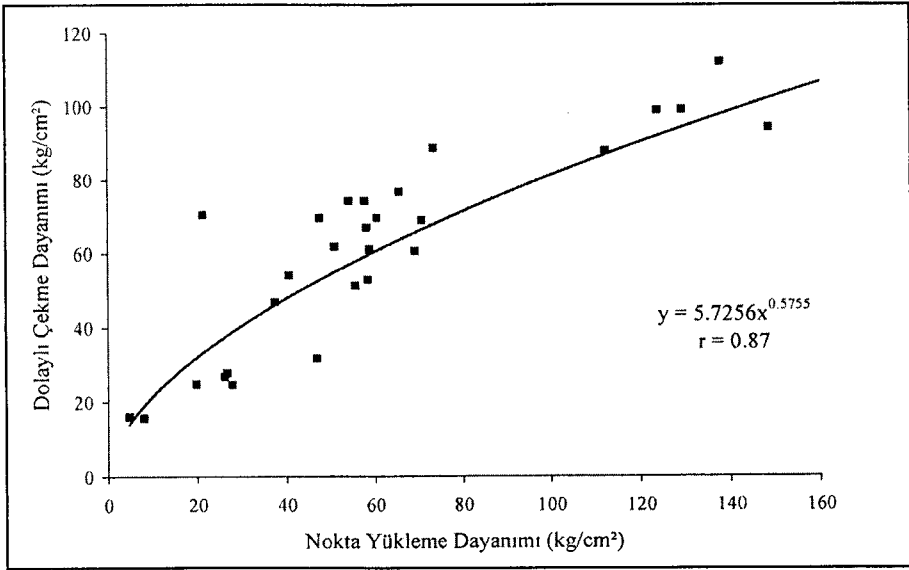
İşletme	Kaya Birimi	Mineral Tane Yoğunluğu (gr/cm ³)	Tabii Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Toplam Porozite %	Nem Oranı %	Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm ²)	Darbe Dayanımı kgf.cm/cm ³	Suda Dağılma Dayanımı İndeksi (Id-2) (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Kohezyon (kg/cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Shore Sertliği	Elastisite Modülü (Et, GPa)	Poisson Oranı (ν ₁)
Sivas Divriği Demir Açık İşletmesi	Manyetit	4.769	4.674	2.223	0.136	68.84	-	-	786.19	263.25	22.4	84.8	53.495	0.382
	Siyenit	2.704	2.671	2.33	0.173	93.91	-	-	1146.87	182.019	54.8	105	58.715	0.437
	Serpantin	2.923	2.867	2.155	0.222	61.69	-	-	530.93	168.528	25.2	50	38.283	0.265
	Sililişli Kalker	2.697	-	0.1	68.73	12.987	99.53	647.72	239.43	39.37	-	38.42	0.324	
Barit Maden Türk A.Ş. Sivas- Ulaş Sölestit Açık İşletmesi	Jips	2.96	2.3	32.43	14.26	24.74	-	-	149.33	40.717	32.8	27.5	23.035	0.179
	Üst Seviye Sölestit	-	3.567	-	1.9	15.7	5.71	87.38	192.11	117.88	29.34	-	3.9	0.339
	Anhidrit	-	2.764	-	3.1	88.51	3.92	98.17	658.23	151.02	44.84	-	53.86	0.292
	Alt Seviye Sölestit	-	2.609	-	5	16.01	8.39	90.56	93.41	9.28	31.05	-	3.9	0.339
Kangal Kömür Açık İşletmesi Eskişehir	Kireçtaşı Killi	2.67	2.421	11.948	1.218	31.66	-	-	347.36	75.204	43.2	66.4	36.002	0.229
	Kireçtaşı	2.63	2.382	13.042	3.777	24.65	-	-	176.64	37.495	44	46	30.195	0.183
Karaburhan Krom Açık Ocağı	Krom Dunit (Tabantaşı)	-	2.819	-	2.01	27.74	3.915	97.88	360.16	125.43	35.38	42.5	12.5	0.413
		-	2.366	-	4.17	70.46	5.693	99.4	450.41	95.65	41.6	50.7	12.64	0.337
Akün İnş. Ve San. Tic. Ltd. Şti. Muğla Hartaş A.Ş. Bilecik	Muğla Beyaz	2.711	2.709	0.19	0.105	66.89	9.14	99.18	623.45	263.29	33.22	59.17	28.79	0.256
	Afyon Şeker	2.725	2.708	0.734	0.096	60.46	10.19	99.48	677.5	264.41	32.85	59.88	35.16	0.265
	Afyon Gök	2.709	2.697	0.509	0.076	51.18	4.61	99.31	507.2	176.61	35.06	52.91	34.7	0.289
	Akköy Bej	2.694	2.689	0.327	0.153	60.87	3.22	99.62	538.61	169.27	48.58	73.65	33.84	0.288
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Tokat-Amasya	ZileBej	2.695	2.693	0.195	0.109	74.13	3.44	99.75	934	202.31	49.73	69.88	35.37	0.316

Bazı Kaya Birimlerinin Nokta Yıkılma Dayanımları ve Diğer Malzeme Özellikleri ile İlişkileri

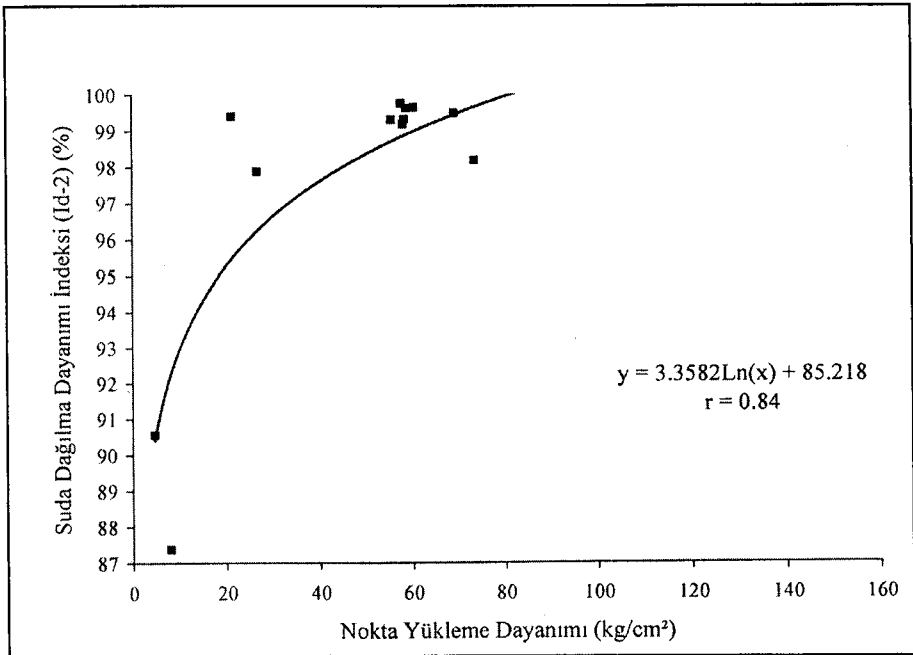
İşletme	Kaya Birimi	Mineral Tane Yoğunluğu (gr/cm ³)	Tabii Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Toplam Porozite %	Nem Oranı %	Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm ²)	Darbe Dayanımı kgf.cm/cm ³	Suda Dağılma Dayanımı İndeksi (Id-2) (%)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Kohezyon (kg/cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Shore Sertliği	Elastisite Modülü (Et . GPa)	Poisson Oranı (u ₁)
Emmioğlu Mermer Ltd. Şti. Sivas	Yıldız Siyah	2.708	2.7	0.417	0.116	69.54	3.74	99.64	696.87	266.85	43.82	74.53	35.81	0.273
Ak Mermer A.Ş. Sivas	Sarı Traverten	2.676	2.411	10.19	0.329	52.82	9.15	99.32	385.45	195.37	26.14	51.7	29.55	0.292
ART Mermercilik Diyarbakır	Karacadağ Bazalt Siverek Bazalt Silvan Bazalt Devegeçidi Bazalt	2.72	2.7	0.919	0.19	111.76	11.797	-	1567.81	352.61	48.96	86.3	147.53	0.49
		2.71	2.682	1.292	0.202	98.81	10.81	-	1439.63	417.57	41.91	84.2	94.16	0.31
		2.704	2.676	1.516	0.39	98.6	9.117	-	1269.24	302.44	46.59	75.1	64.68	0.19
		2.695	2.66	1.744	0.457	87.59	8.132	-	921.92	192.31	51.09	67.6	61.09	0.183
Ber-Oner Mermer Bayburt	Bayburt Oniks	2.682	2.676	0.261	0.035	76.58	3.427	-	749.49	193.64	50.52	57.6	59.21	0.13
Dimer Mermer Diyarbakır	Hani Bej Hazro Pempe	2.676	2.639	1.606	0.21	74.09	4.778	-	737.15	303.77	42.83	59.5	56.77	0.302
		2.655	2.622	1.506	0.253	69.54	3.283	-	686.47	245.24	36.13	56.1	64.86	0.18
Ber-Oner Mermer Kayseri	Marone Traverten Tanbay Traverten	2.481	2.382	4.797	0.842	53.94	2.861	-	524.13	90.34	44.2	52.7	50.39	0.32
		2.473	2.342	6.146	0.907	46.8	2.328	-	369.44	189.25	23.64	52	54.38	0.296
Gün Mermer Bitlis	Bitlis Traverten	2.43	2.318	5.556	1.059	26.71	1.981	-	286.43	60.36	33.21	45.3	11.85	0.11

Çizelge 3. Regresyon analizi sonuçları.

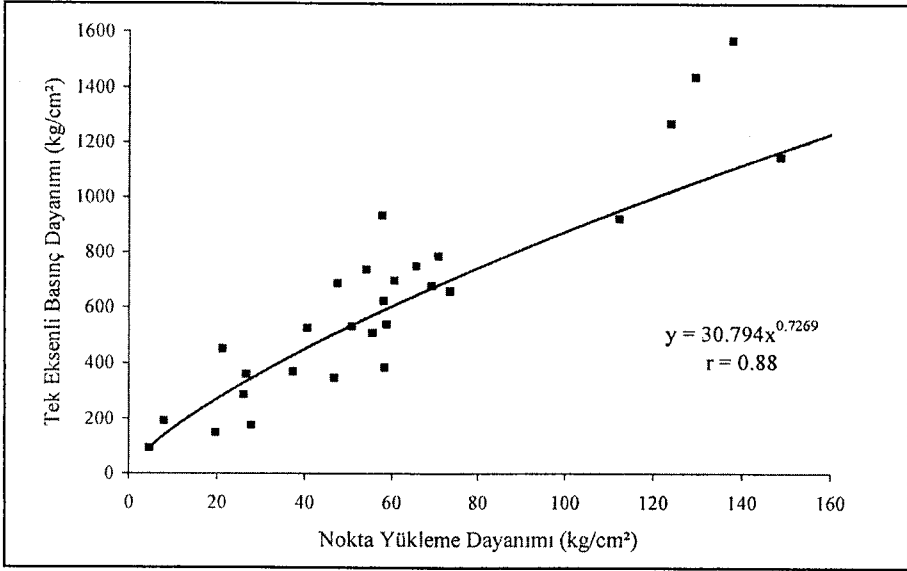
Bağımlı Değişken (Y)	Fonksiyon Türü	Eşitlik X: Nokta Yükleme Dayanımı (kg/cm ²)	Korelasyon Katsayısı (r)
Dolaylı Çekme Dayanımı, kg/cm ²	Doğrusal	$y = 0.4623x + 31.308$	0.77
	Logaritmik	$y = 26.504 \cdot \ln(x) - 42.439$	0.83
	Üssel	$y = 5.7256x^{0.5755}$	0.87
	Ekspansiyonel	$y = 30.49e^{0.0089x}$	0.72
Suda Dağılıma Dayanımı İndeksi (Id-2) (%)	Doğrusal	$y = 0.0466x + 95.006$	0.52
	Logaritmik	$y = 3.3582 \cdot \ln(x) + 85.218$	0.84
	Üssel	$y = 85.499x^{0.0357}$	0.83
	Ekspansiyonel	$y = 94.872e^{0.0005x}$	0.52
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Doğrusal	$y = 6.7344x + 201.8$	0.80
	Logaritmik	$y = 356.76 \cdot \ln(x) - 757.84$	0.79
	Üssel	$y = 30.794x^{0.7269}$	0.88
	Ekspansiyonel	$y = 248.27e^{0.0117x}$	0.76
Kohezyon (kg/cm ²)	Doğrusal	$y = 1.4854x + 90.068$	0.66
	Logaritmik	$y = 86.907 \cdot \ln(x) - 153.71$	0.72
	Üssel	$y = 7.2488x^{0.775}$	0.79
	Ekspansiyonel	$y = 72.837e^{0.0112x}$	0.61
Elastisite Modülü (Et , GPA)	Doğrusal	$y = 0.4328x + 15.629$	0.66
	Logaritmik	$y = 24.147 \cdot \ln(x) - 50.812$	0.69
	Üssel	$y = 1.1545x^{0.8656}$	0.87
	Ekspansiyonel	$y = 15.32e^{0.0124x}$	0.66
Shore Sertliği	Doğrusal	$y = 0.3835x + 37.438$	0.84
	Logaritmik	$y = 25.432 \cdot \ln(x) - 39.905$	0.85
	Üssel	$y = 10.978x^{0.423}$	0.86
	Ekspansiyonel	$y = 40.572e^{0.0061x}$	0.80
Schmidt Çekici Sertliği	Doğrusal	$y = 0.1298x + 42.203$	0.63
	Logaritmik	$y = 7.782 \cdot \ln(x) + 20.166$	0.70
	Üssel	$y = 26.198x^{0.164}$	0.69
	Ekspansiyonel	$y = 41.794e^{0.0027x}$	0.62



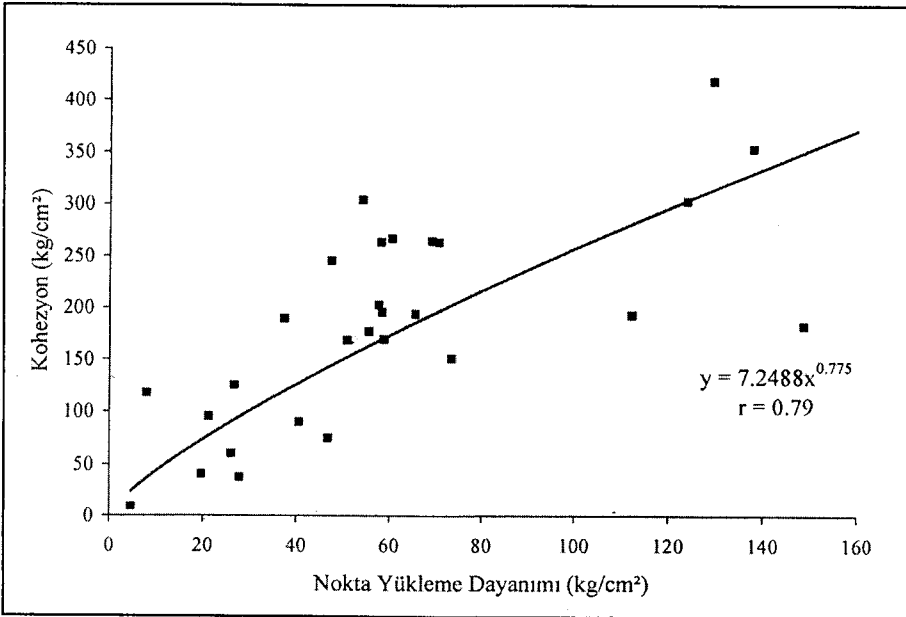
Şekil 2. Nokta yükleme dayanımı - dolaylı çekme dayanımı ilişkisi.



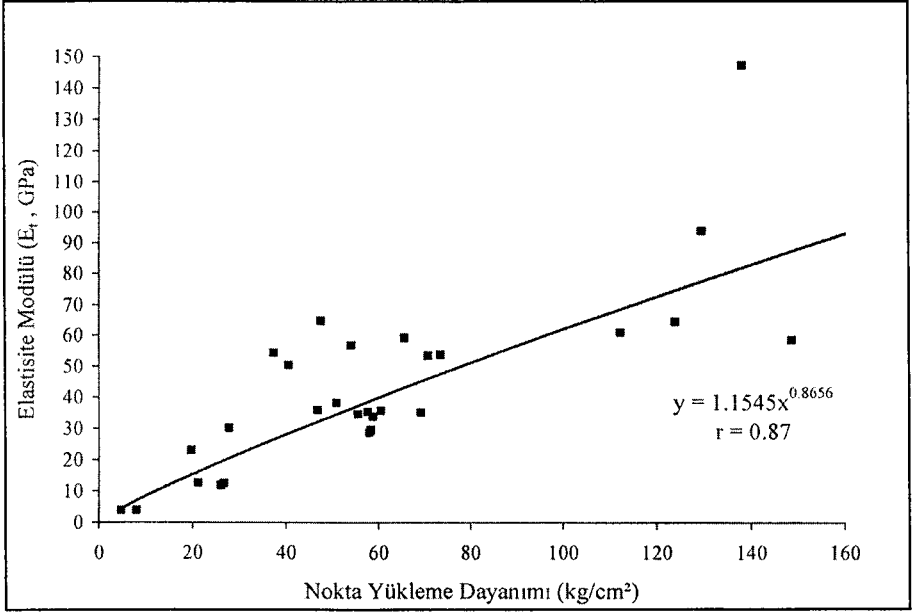
Şekil 3. Nokta yükleme dayanımı - suda dağılım dayanımı indeksi ilişkisi.



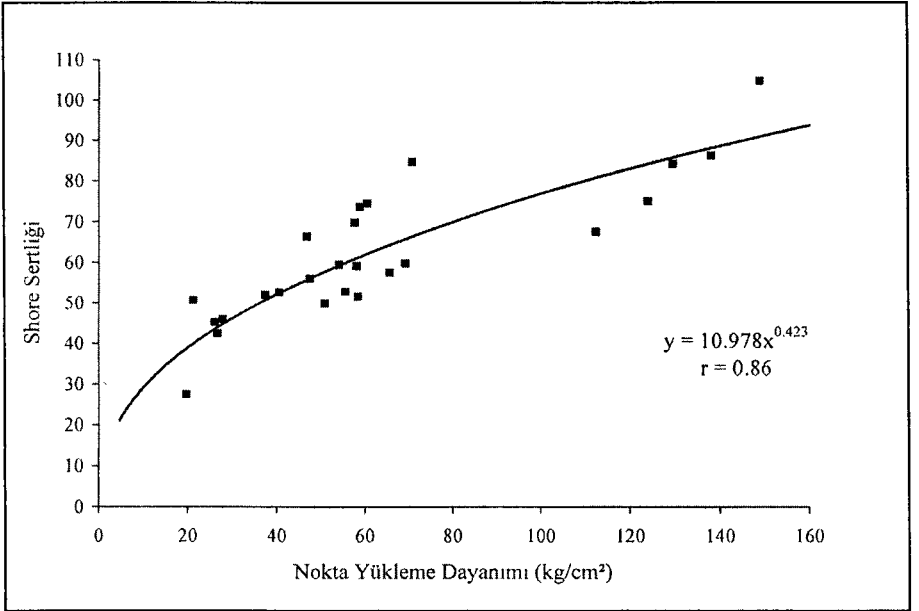
Şekil 4. Nokta yükleme dayanımı - tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi.



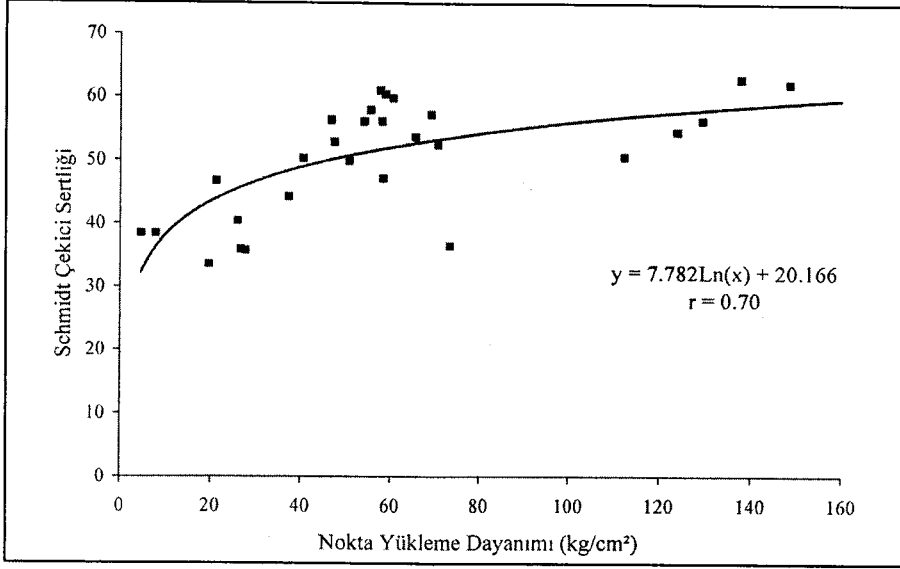
Şekil 5. Nokta yükleme dayanımı - kohezyon ilişkisi.



Şekil 6. Nokta yükleme dayanımı - elastisite modülü ilişkisi.



Şekil 7. Nokta yükleme dayanımı - Shore sertliği ilişkisi.



Şekil 8. Nokta yükleme dayanımı - Schmidt çekici sertliği ilişkisi.

yükleme dayanımı değerleri ile diğer kaya mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçları arasında ilişkiler geliştirmek amacı ile basit regresyon analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu regresyon analizleri sonucunda, nokta yükleme dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı, suda dağılma dayanımı indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, kohezyon, elastisite modülü, Shore sertliği ve Schmidt çekici sertliği arasında anlamlı ve oldukça yüksek korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 2-8). Nokta yükleme dayanımı değeri kullanılarak diğer bazı önemli malzeme özelliklerinin tahmin edilebileceği bu ilişkilerin, değişik türdeki kaya birimlerinde yapılacak ölçümlerle geliştirilmesinde yarar görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

Ceylanoğlu, A., 1995, Sivas-Ulaş

Sölestit Cevheri ve Yankayaçlarının Bazı Malzeme/Kütle Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Madencilik, Cilt 24, Sayı 4, s. 11-19.

Ceylanoğlu A., Kahrıman, A., Durutürk, Y., Uysal, Ö., Gül, Y., 1996, Eskişehir Karaburhan Krom Açık Ocağı Kaya Birimlerinin Kazılabilirlik Sınıflaması ve Örtül Kazı Birim Maliyet Analizi, Madencilik, Cilt 25, Sayı 3, s. 3-15.

Ceylanoğlu, A., Durutürk, Y.S., 1996, Divriği Demir Açık Ocağı (A-Kafa) Kaya Birimlerinin Kazılabilirlik Açısından Değerlendirilmesi, Yerbilimleri/Geosound, Sayı 29, s. 235-246.

Ceylanoğlu, A., Görgülü, K., Arpaz, E., Durutürk, Y.S., 1999, Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cilalama Koşullarını Belirleme Çalışmaları, TÜBİTAK-MİSAG, Proje

No:108, Cumhuriyet Üniversitesi, 252 s.

ELE, 1993, *Civil and Environmental Engineering Test Equipment : 9th Edition Catalogue*, Hartfordshire, England, 394 s.

Gül, Y., 2006, *Bazı Açık İşletmelerdeki Değişik Kaya Birimlerinin Taşıma Kapasitelerinin Araştırılması ve Kayaç Özellikleri İle İlişkilendirilmesi*, Doktora Tezi, C.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., 209 s., Sivas.

ISRM, 1981, *Rock Charecterization Testing and Monitoring: ISRM Suggested Methods*, International Society for Rock Mechanics, 211 s.

ISRM, 1985, *Suggested Method for Determining Point Load Strength*, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22(2), s. 51-60.

Karakuş, A., 2007, *Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Plaka Kesme Koşullarının Araştırılması ve Mermer Malzeme Özellikleri İle İlişkilendirilmesi*, Doktora Tezi, C.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., 227 s., Sivas.