

## KİREÇTAŞLARININ AŞINMA DİRENÇLERİNİN ENDEKS ÖZELLİKLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ

**Hüseyin Suha AKSOY (ORCID: 0000-0003-0564-457X)\***

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye*

*Geliş / Received: 12.09.2017  
Kabul / Accepted: 04.12.2017*

### ÖZ

İnşaat mühendisleri, yapı malzemesi olarak kullandıkları kayaç malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini bilmek zorundadır. Özellikle yol kaplamalarında kullanılan yapı malzemesinin aşınma direncinin tespiti, hava alanları, limanlar, otoyollar gibi yüksek aşınmanın gerçekleştiği yerlerde büyük önem taşımaktadır. Kayaçların aşınma oranının belirlenmesi için genellikle Los Angeles aşınma deneyi yapılmaktadır. Ancak Los Angeles aşınma deneyi yapılması zaman alan, pahalı bir deneydir. Yapılan çalışmada kayaçların Los Angeles Kayıplarının basit laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, beş kireçtaşı kayaç numunesi kullanılmıştır. Bu numunelerin birim hacim ağırlıkları ( $\gamma_n$ ), poroziteleri ( $n$ ), hacimce su emme yüzdeleri ( $S_n$ ), schmidt sertlikleri ( $N_L$ ), P ve S dalgası hızları ( $v_p, v_s$ ), serbest basınç dayanımları (UCS) ve aşınma yüzdeleri ( $LA_{500}$ ) tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında regresyon analizleri yapılarak deney sonuçlarına çok yakın sonuçlar veren ( $R^2=0,99$ ) eşitlikler elde edilmiştir. Bütün deney sonuçlarını kullanmadan sadece endeks deneylerinin sonuçlarını kullanarak yapılan regresyon analizinin sonucunda elde edilen determinasyon katsayısı ise  $R^2=0,96$  olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kireçtaşı, fiziksel özellikler, Schmidt sertliği, Los Angeles aşınma deneyi, regresyon analizi

## DETERMINATION OF ABRASION LOSS OF LIMESTONES USING INDEX TESTS

### ABSTRACT

Civil engineers should know physical and mechanical properties of stone material which is used as construction material. Determination of abrasion loss is very important at design of pavements of airports, highways harbors etc. The Los Angeles (L.A.) abrasion test is a common test method used to indicate aggregate abrasion characteristics. However Los Angeles test is a time consuming and expensive test. In this work, abrasion loss of stone samples is determined using only simple laboratory tests. For this purpose, 5 different limestone samples are used. Densities ( $\gamma_n$ ), porosities ( $n$ ), water absorption ratios by volume ( $S_n$ ), Schmidt rebound values ( $N_L$ ), P and S wave velocities ( $v_p, v_s$ ), Unconfined compression strengths (UCS) and abrasion loss percentages ( $LA_{500}$ ) of all samples are determined. Statistical analyses are conducted by using these values. High determination coefficient ( $R^2=0.99$ ) is obtained by using all test results. However, using the results of index tests, determination coefficient is calculated as ( $R^2=0.96$ ).

**Keywords:** Limestone, physical properties, Schmidt hardness, Los Angeles abrasion test, regression analysis

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 424 237 00 00; e-mail / e-mail: saksoy@firat.edu.tr

H.S. AKSOY

## 1. GİRİŞ

Kayaçlar inşaat sektörünün her alanında kullanılan bir malzemedir (beton içerisinde agrega, istinat duvarı ve kağır yapı imalatlarında, barajlarda dolgu malzemesi, riprap, yol imalatlarında temel malzemesi, asfaltlarda mıcır vb.). Mühendislik alanında önemli bir malzeme kaynağı olan kayaçların aşınma dayanımlarının tespiti büyük önem teşkil etmektedir. Aşınma dayanımlarının tespiti için Los Angeles Deneyi, Böhme aşınma deneyi, geniş diskli aşındırma deneyi gibi deneyler kullanılsa da özellikle agregaların aşınma direncinin belirlenmesi için sadece Los Angeles deneyi yapılmaktadır. Los Angeles deneyi büyük miktarda agrega gerektiren, pahalı ve yapılması zor bir deneydir. Bu nedenle Los Angeles deneyi sonuçlarının tahmin edilebilmesi hız ve ekonomi anlamında getirilerinin olacağı açıktır. Mühendislerin her kayaç numunesi için aşınma deneyi yaptırılmaları; teknik ekip ve ekipman, zaman ve finansal bütçeye bağlıdır. Bu üç parametreden tasarruf etmek mühendislik açısından çok önemlidir.

Kayaçların endeks özellikleri yardımıyla aşınma dirençlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalara literatürde az sayıda rastlanmaktadır. Ancak bu çalışmalarda önerilen bağıntıların çok yaklaşık olmadıkları hata paylarının yüksek olduğu görülmüştür. Yılmaz ve ark. [1] farklı ocaklardan alınmış 8 granit numunesinin mineralojik özellikleriyle aşınma dirençleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Granit numunelerin içerdikleri kuvars, feldispat mineralleri miktarıyla aşınma direnci ile ilişkiler kuran yazarlar  $R^2=0,82$  civarında determinasyon katsayıları elde etmişlerdir. Yazarlar granit numunelerin yüzey sertliklerini belirlemiş ve yüzey sertlik derecesi ile aşınma yüzdesi oranları arasında ise  $R^2=0,85$  civarında bir determinasyon katsayısı elde etmişlerdir. Kıbrıs'tan temin edilmiş iki farklı taşın fiziksel özelliklerini belirleyen Eren ve Bahalı [2] bu numunelerin aşınma dirençlerini, modifiye aşınma cihazında ve Los Angeles deneyi ile belirlemişlerdir. Andezit kayaçlar üzerine çalışan Tercan ve Özçelik [3] 108 adet kayaç numunesi üzerinde endeks deneyleriyle fiziksel özelliklerini ve yüzey sertliklerini belirlemişlerdir. Yazarlar numunelerin aşınma dirençlerini Böhme ve Los Angeles deneylerini kullanarak belirlemişlerdir. Aşınma direnci ile fiziksel özellikler arasında  $R^2=0,85$  olan ilişkiler elde etmişlerdir. Yavuz ve ark. [4], 12 adet ticari taş (mermer, traverten ve kireçtaşı) fiziksel ve mekanik özelliklerini belirledikten sonra Bu numunelerin aşınma dirençlerini Böhme aşınma deneyi ile belirlemişlerdir. Aşınma hızı ile Birim hacim ağırlığı, porozite, p dalgası hızı, serbest basınç dayanımı, Schmidt sertliği ve çekme dayanımı arasındaki ilişkileri inceleyen yazarlar, özellikle çekme dayanımı, birim hacim ağırlığı yüzey sertliği parametreleri ile aşınma hızı arasında  $R^2=0,76$  civarında korelasyonlar elde etmişlerdir. İki granit ve iki mermer kayacın aşınma direncini inceleyen MacGregor ve Chiu [5], aşınmanın kayacın yüzey sertliğinin logaritması ile doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı ocaklardan temin edilen kayaçlardan numuneler alınmış ve bu numunelerin fiziksel özellikleri, yüzey sertlikleri ultrasonik ses hızı ile serbest basınç dayanımı ve Los Angeles aşınma kayıpları belirlenmiştir. Los Angeles kayıplarının tahmini için deney sonuçlarından yararlanılarak eşitlikler elde edilmiştir. Sadece fiziksel özelliklerin ve yüzey sertliklerinin kullanıldığı istatistiksel analizlerde determinasyon katsayısı  $R^2=0,96$  olan bir eşitlik elde edilebilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Tablo 1'de ayrıntılı olarak hangi bölgeden temin edildiği jeolojik sınıfı, ticari adı verilmiş olan 5 farklı kireçtaşı kullanılmıştır. Toplam 54 adet kayaç numunesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlıkları, görünür poroziteleri, toplam poroziteleri, hacimce su emme oranları TS 699 [6], TS EN 13755 [7], standartlarına göre ve numunelerin aşınma kayıpları TS EN 14157 [8] standardına göre tespit edilmiştir. Şekil 1'de deneylerde kullanılan kayaç numunelerinin bazıları görülmektedir.

**Tablo 1.** Numunenin ticari adı ve temin edildiği yer

KAYAÇ	Ticari Adı	Lokasyonu	Jeolojik Sınıfı
Kireç Taşı-1	Oniks	Ağrı	Sedimanter
Kireç Taşı-2	Muğla Beyazı	Muğla	Sedimanter (mermer)
Kireç Taşı-3	Traverten	Elazığ	Sedimanter (traverten)
Kireç Taşı-4	Emprador	Adıyaman	Sedimanter
Kireç Taşı-5	Sunta	Elazığ	Sedimanter

*KİREÇTAŞLARININ AŞINMA DİRENÇLERİNİN ENDEKS ÖZELLİKLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ*

**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan numuneler

Schmidt sertlik dayanımı tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan indeks testlerden birisidir. Schmidt sertlik dayanımı ilk olarak beton sertliğini test etmek için 1948 yılında geliştirilmiştir. 1960'lı yıllardan itibaren de kayaçların yüzey sertliğini ve tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemek için kullanılmaya başlanılmıştır. Deneysel için 0,735 Nm'lik darbe enerjisine sahip L tipi Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır. Schmidt sertlik dayanımı için, Schmidt sertlik çekici numunelere üç farklı noktadan, her noktaya beş vuruş olacak şekilde vurulmuş ve Schmidt sertlik değerleri ölçülmüştür. Her noktadan elde edilen en büyük değerlerin ortalaması alınarak numunelerin Schmidt sertlikleri tespit edilmiştir [9].

Ultrasonik dalgalar mühendislik, tıp, fizik, kimya, uzaklık ölçme, su altı tarama gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 19. yy.'nın sonlarında piezoelektrik üreteçlerin bulunmasıyla ultrasonik hız uygulamaları yaygınlaşmaya başlanmıştır. 1929 yılından itibaren malzemelerin tahribatsız muayeneleri için de kullanılmaktadır. Kayaç içerisinden geçirilen P ve S dalgalarının yayılma hızlarından faydalanılarak çeşitli kaya türlerinin dokusal özellikleri [10], mineral yönelmesi [11], kırık ve çatlaklar [12], porozite [13], geçirgenlik [14], anizotropi [15], yüzey sertliği [16], yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı ve Young modülü [17] konuları hakkında bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ultrasonik hız deneyi hava kurusu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için kaya numuneleri üzerinde duyarlı ölçümler yapabilen Proceq (Schwerzenbach, İsviçre) marka Pundit Lab Plus model test cihazı kullanılmıştır. Deneyde P (basınç) ve S (kayma) dalgalarının yayılma sürelerini ölçmek için farklı transduserler kullanılmıştır. Numune boylarının, cihazın göstergesinden okunan P dalgalarının ve elde edilen grafikler yardımıyla belirlenen S dalgalarının yayılma sürelerine bölünmesiyle P ve S dalgalarının yayılma hızları tespit edilmiştir. Ultrasonik hız deneyi ISRM standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [18]. Şekil 2'de Proceq PunditPlus deney aleti ve kayaçların ultrasonik hızlarının ölçümü görülmektedir.



**Şekil 2.** Proceq Pundit Plus deney aleti ve kayaçların ultrasonik hızlarının ölçümü.

Tek eksenli basınç dayanımı, üzerine uygulanan basınç yüküne karşı kayaçların kırılmadan hemen önceki dayanma yeteneği şeklinde ifade edilmektedir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanım deneyleri TS EN 1926 [19] standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyi gerçekleştirmek için 3000 kN yüklem kapasiteli ELE marka (Bedfordshire, İngiltere) ADR AUTO 3000 model otomatik kontrollü pres kullanılmıştır.

Los Angeles (Darbeli aşınma deneyi) TS EN 1097-2 [20] standardına uygun olarak A sınıfına göre yapılmış ve kayaçların aşınma oranları belirlenmiştir. Kayaçların 500 devir sonundaki aşınma oranları hesaplanmıştır. Şekil 3'de Los Angeles deney aleti ve deney sonunda elenerek aşınma kayıpları belirlenen numuneler görülmektedir.

H.S. AKSOY



Şekil 3. Los Angeles deney aleti ve deney sonrası numuneler

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Laboratuvar çalışmalarından elde edilen; birim hacim ağırlıklar ( $\gamma_n$ ), poroziteler ( $n$ ), hacimce su emme yüzdeleri ( $S_n$ ), schmidt sertlikleri ( $N_L$ ), P ve S dalgası hızları ( $v_p, v_s$ ), serbest basınç dayanımları (UCS) ve aşınma yüzdeleri ( $LA_{500}$ ) Tablo2’de özetlenmiştir. Numunelere ait tanımsal istatistik parametreler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kayaç numunelerine ait deneysel sonuçlar

Numune Adı	( $\gamma_n$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	$n$	$S_n$	$N_L$	$v_p$ (m/sn)	$v_s$ (m/sn)	UCS (kg/cm <sup>2</sup> )	Los Angeles Kaybı $LA_{500}$ (%)
K1-1	2,632	0,00391	1,0306	45,00	5539,3	2952,0	10,72	38,9
K1-2	2,609	0,00725	1,8817	49,33	5191,5	2772,0	10,92	38,8
K1-3	2,663	0,00249	0,6657	46,00	5809,5	3088,0	13,37	39,0
K1-4	2,594	0,00383	0,9934	42,67	5539,3	2900,0	7,14	39,2
K2-1	2,681	0,00270	0,7225	41,33	5935,8	2762,7	9,62	32,0
K2-2	2,674	0,00187	0,5009	40,00	5943,9	2696,3	8,78	32,1
K2-3	2,682	0,00136	0,3658	38,67	5351,3	2414,8	7,06	31,9
K2-4	2,672	0,00103	0,2744	44,00	5222,9	2417,2	8,12	31,9
K3-1	2,346	0,02279	5,3073	47,00	4868,7	2563,0	4,79	29,2
K3-2	2,351	0,02231	5,2021	36,67	4759,6	4759,6	4,89	28,9
K3-3	2,318	0,02382	5,4813	37,33	4605,8	4605,8	4,88	29,0
K4-1	2,647	0,01023	2,7038	46,67	5904,8	3159,2	8,02	30,1
K4-2	2,663	0,00968	2,5748	40,00	5563,8	2874,0	7,38	30,1
K4-3	2,607	0,00968	2,5209	44,67	6000	3210,0	6,61	29,9
K5-1	2,514	0,02119	5,2934	38,00	4778,9	2549,0	9,83	45,1
K5-2	2,522	0,02089	5,2374	40,00	5060,6	2723,0	9,10	45,1
K5-3	2,509	0,02052	5,1163	44,00	4909,1	2627,0	10,36	44,9
K5-4	2,520	0,02111	5,2840	42,00	5483,2	2837,0	11,30	45,0

İstatistiksel analizde doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), porozite ( $n$ ), hacimce su emme yüzdesi ( $S_n$ ), Schmidt çekici ölçümleri ( $N_L$ ), basınç dalgası hızı ( $v_p$ ), kayma dalgası hızı ( $v_s$ ), serbest bas. dayanımı (UCS) parametreleri kullanılarak Los Angeles deneyi sonucunda oluşan kayıpların belirlenebilmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Ancak bu şekilde yapılan analiz sonucunda, bazı değişkenlerin katsayılarının küçük olmasından dolayı analizler

**KİREÇTAŞLARININ AŞINMA DİRENÇLERİNİN ENDEKS ÖZELLİKLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**

bu değişkenler olmadan tekrarlanmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan lineer regresyon analizinde elde edilen en iyi determinasyon katsayısı  $R^2 = 0,99$ ’dur. Bu analizde yedi değişken kullanılmıştır. Değişken sayısı azaltıldıkça determinasyon katsayısı düşmüş ve hatalar artmıştır.

Bu çalışmanın amacı, laboratuvarında en az uğraşı ile kayaların Los Angeles deneyi kayıplarının belirlenmesi olduğundan, yukarıda bahsi geçen 7 değişkenin tümünün, ( $LA_{500}$ ) değerinin belirlenmesi için kullanılması yerine Los Angeles deneyinin yapılması daha ekonomik olacaktır. Bu nedenle daha az değişken kullanılarak tahminin iyileştirilmesi için, üstel ve logaritmik fonksiyonlar kullanılarak yapılan tahminler en iyi korelasyonu vereceğinden, yapılmış lineer regresyon analizi sonuçlarından Model 5’te kullanılan değişkenler ile yeni analizler yapılmış ve kayacın doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), porozitesi ( $n$ ), hacimce su emme yüzdesi ( $S_n$ ) ve Schmidt test çekici ölçümleri ( $N_L$ ) kullanılarak (1) eşitliği belirlenmiştir. Bu ifade kullanılarak yapılan analizde  $R^2=0,96$  olarak elde edilmiştir. (1) eşitliği kullanılarak yapılan analizde tahminin ortalama hatası %2,8 olmuştur. Deneylerden elde edilen ve tahmin edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 4 ve 5’te görülmektedir. İstatistiksel analizlerin toplu sonuçları Tablo 4’te ve (1) eşitliğinde kullanılacak değişkenlere ait katsayılar ise Tablo 5’te görülmektedir.

Tablo 3’te numunelerin tanımsal istatistik parametreleri görülmektedir. Şekil 4’te ise deney verilerine ait frekans histogramları verilmiştir.

**Tablo 3.** Numunelerin tanımsal istatistik parametreleri

	$(\gamma_n)$ (g/cm <sup>3</sup> )	<b>n</b> (x1000)	$S_n$ (%)	$N_L$	$v_p$ (km/sn)	$v_s$ (km/sn)	UCS (kg/cm <sup>2</sup> )	$LA_{500}$ (%)
<b>Ort.</b>	2,567	11,481	2,842	42,408	5,359	2,995	8,492	35,617
<b>Min.</b>	2,318	1,025	0,274	36,670	4,606	2,415	4,056	28,900
<b>Maks.</b>	2,682	23,822	5,481	49,330	6,000	4,760	13,370	45,100
<b>Stn. Sapma</b>	0,121	8,939	2,125	3,661	0,457	0,655	2,637	6,306
<b>Çarpıklık</b>	-1,062	0,235	0,161	0,119	-0,106	2,118	-0,218	0,504
<b>Basıklık</b>	-0,030	-1,830	-1,865	-0,932	-1,301	4,012	-0,756	-1,431

**Tablo 4.** Yapılan istatistiksel analizlerin toplu sonuçları

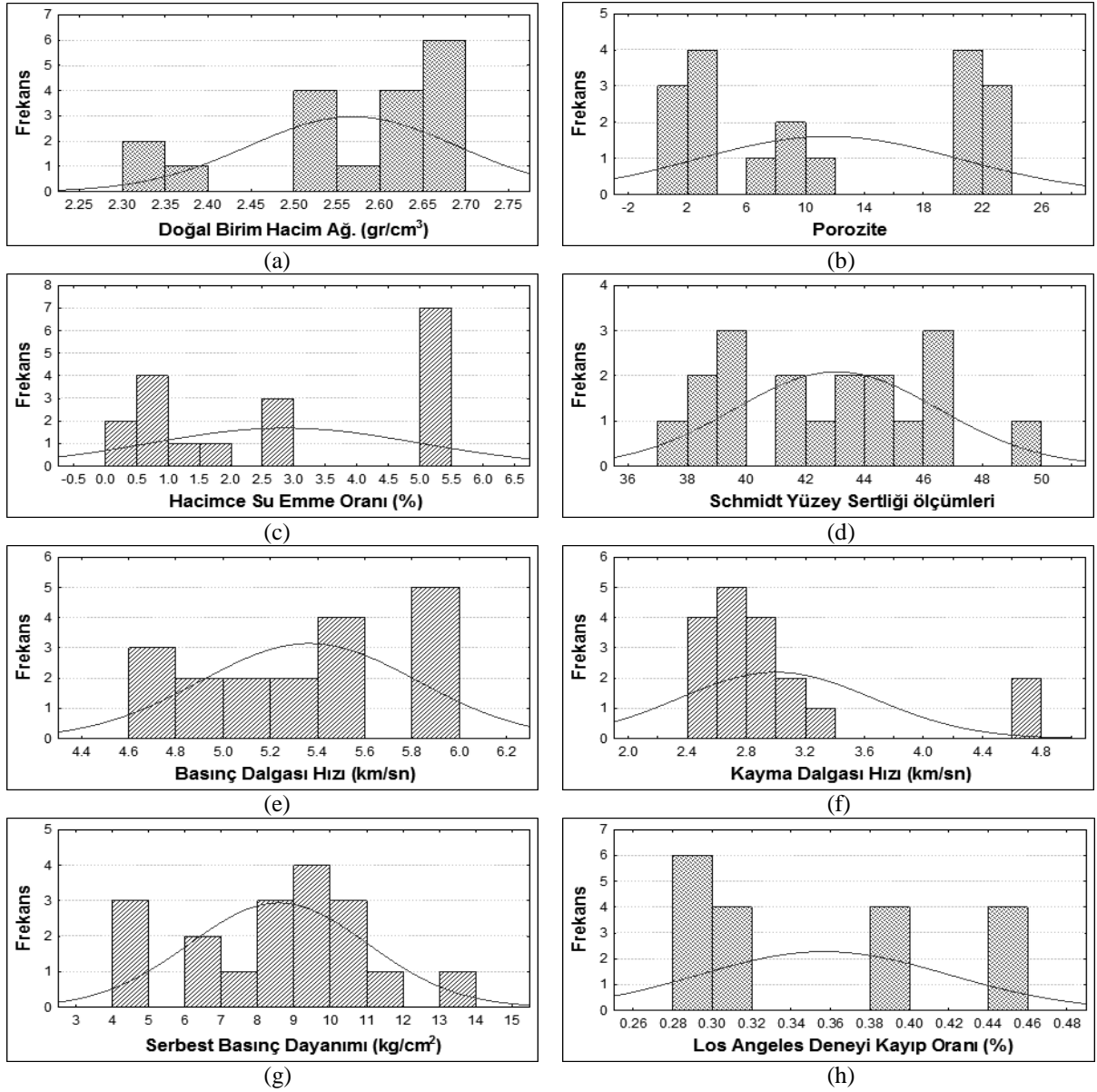
	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>	<b>Model 4</b>	<b>Model 5</b>	<b>Model 6</b>	<b>Model 7</b>
$(\gamma_n)$	-74,662	-198,957	-141,877	-147,317	-163,305	-63,714	-227,654
<b>n</b>	12,476	-40,299	-15,545	-15,736	-43,473	-	-60,557
$S_n$	-52,551	142,400	59,201	59,866	134,834	1,629	214,888
$N_L$	-1,682	-7,171	3,880	-0,848	-9,480	7,075	-10,351
$v_p$	-0,038	-	-4,139	-3,110	-	-0,0724	-
$v_s$	-0,400	-	-3,382	-3,627	-	-0,2719	-
<b>UCS</b>	1,334	1,197	2,037	2,067	-	2,331	-
<b>Sabit</b>	234,718	712,587	359,135	470,643	686,823	13,949	860,782
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,90
<b>Tahminin Ortalama Hatası</b>	0,01576	0,02091	0,02770	0,02942	0,02841	0,03280	0,04716

**Tablo 5.** Değişkenlere ait katsayılar

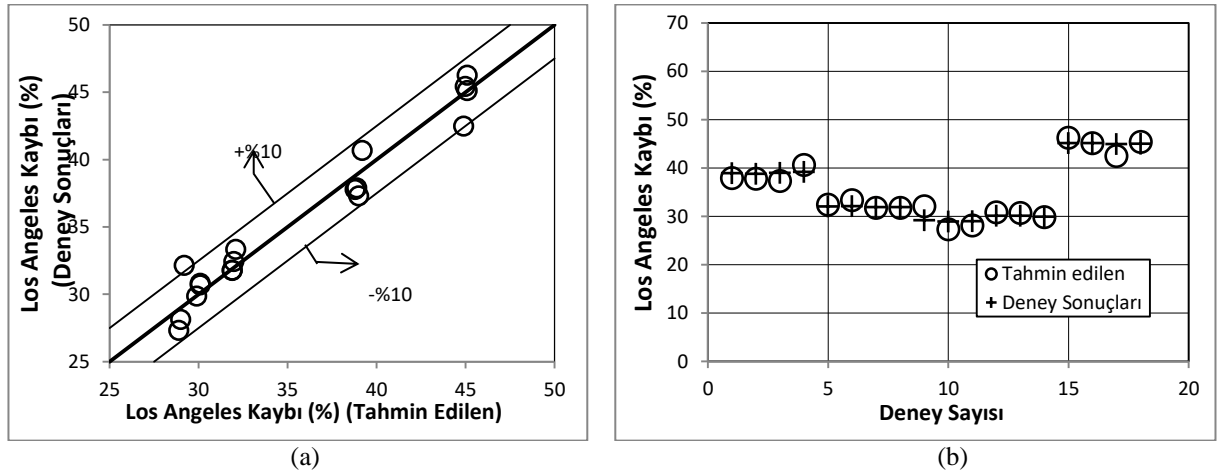
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
-163,305	-43,473	0,332	134,834	13,332	-9,480	0,115	686,823

$$LA_{500} = A \cdot \gamma_n + B \cdot n + C \cdot n^2 + D \cdot S_n + E \cdot \ln(S_n) + F \cdot N_L + G \cdot N_L^2 + H \tag{1}$$

H.S. AKSOY



Şekil 4. (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h) Deney sonuçlarına ait frekans histogramları



Şekil 5. (a), (b) Deney verilerinin tahmin edilen veriler ile karşılaştırılması

*KİREÇTAŞLARININ AŞINMA DİRENÇLERİNİN ENDEKS ÖZELLİKLERİ YARDIMIYLA BELİRLENMESİ***4. SONUÇLAR**

Kayaçların endeks ve Los Angeles deney sonuçlarını içeren, 18 adet deneyden oluşan bir veri tabanı kullanılarak, Los Angeles kaybının belirlenmesi için, istatistiksel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizlerle, kayaçların endeks özellikleri kullanılarak, kayaçların Los Angeles kaybını  $R^2=0.99$  yaklaşıklıkla belirlemenin mümkün olacağı sonucuna varılmıştır. Çok sayıda farklı deney sonuçlarının kullanıldığı bu analizlerde yüksek yaklaşıklık sağlanmış olsa da daha kolay yapılabilecek ve daha az sayıdaki deneylerin sonuçlarından yola çıkılarak başka bağıntılar elde edilmiş ve determinasyon katsayısı ( $R^2=0.96$ ) olarak elde edilmiştir.

Analizler göstermiştir ki, Los Angeles kaybının yeterli yaklaşımla hesaplanabilmesi için; doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), porozite ( $n$ ), hacimce su emme yüzdesi ( $S_n$ ) ve Schmidt test çekici ölçümleri ( $N_L$ ) yeterli olmaktadır. Her laboratuvarında kolayca yapılabilecek bu deneyleri kullanılarak; kayaçların Los Angeles deneyi kaybının tahmin edilebilmesi, inşaat mühendislerine, proje hazırlama aşamasında zaman ve maddi kazanımlar sağlayacaktır.

**KAYNAKLAR**

- [1] YILMAZ, N.G., GOKTAN, R.M., ONARGAN, T., “Correlative Relations Between Three-Body Abrasion Wear Resistance and Petrographic Properties of Selected Granites Used as Floor Coverings”, *Wear*, 372, 197-207, 2017.
- [2] EREN, Ö., BAHALI, M., “Some Engineering Properties of Natural Building Cut Stones of Cyprus”, *Construction and Building Materials*, 19(3), 213-222, 2005.
- [3] TERCAN, A.E., OZCELIK, Y., “Canonical Ridge Correlation of Mechanical and Engineering Index Properties”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(1), 58-65, 2006.
- [4] YAVUZ, H., UGUR, I., DEMIRDAG, S., “Abrasion Resistance of Carbonate Rocks Used in Dimension Stone Industry and Correlations Between Abrasion and Rock Properties”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45(2), 260-267, 2008.
- [5] MACGREGOR, I.D., CHIU, K.Y., “Porosity and Wear Resistance in Stone Flooring Tiles”, *Journal of testing and evaluation*, 28(3), 149-154, 2000.
- [6] TS 699, Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2009.
- [7] TS EN 13755, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [8] TS EN 14157, Doğal Taşlar - Aşınma Direncinin Tayini, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2005.
- [9] POOLE, R.W., FARMER, I.W., “Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 17(3), 167-171, 1980.
- [10] BURILICHEV, D.E. IVANKINA, T.I. KLIMA, K. LOCAJICEK, T. NIKITIN, A.N. PROS, Z., “Investigation of Rock Samples by Neutron Diffraction and Ultrasonic Sounding”, *Physica B*, 276, 837-838, 2000.
- [11] WEISS, T., SIEGESMUND, S., RASOLOFOSAON, P.N., “The Relationship between Deterioration, Fabric, Velocity and Porosity Constraint”, *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Venice, Italy, 215-223, 2000.
- [12] BOADU, F. K. , “Fractured Rock Mass Characterization Parameters and Seismic Properties: Analytical Studies”, *Journal of Applied Geophysics*, 37(1), 1-19, 1997.
- [13] CHANG, C., ZOBACK, M. D., KHAKSAR, A., “Empirical Relations between Rock Strength and Physical Properties in Sedimentary Rocks”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 51(3), 223-237, 2006.
- [14] BENSON, P., SCHUBNEL, A., VINCIGUERRA, S., TROVATO, C., MEREDITH, P., YOUNG, R.P., “Modeling the Permeability Evolution of Microcracked Rocks from Elastic Wave Velocity Inversion at Elevated Isostatic Pressure”, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B4), 2006.
- [15] STANCHITS, S., VINCIGUERRA, S., DRESEN, G., “Ultrasonic Velocities, Acoustic Emission Characteristics and Crack Damage of Basalt and Granite”, *Pure and Applied Geophysics*, 163(5-6), 975-994, 2006.
- [16] KAHRAMAN, S., “A Correlation between P-Wave Velocity, Number of Joints and Schmidt Hammer Rebound Number”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38(5), 729-733, 2001.

*H.S. AKSOY*

- [17] YASAR, E., ERDOGAN, Y., “Correlating Sound Velocity with the Density, Compressive Strength And Young's Modulus of Carbonate Rocks”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41(5), 871-875, 2004.
- [18] BROWN, E.T., “ISRM Suggested Methods. Rock Characterization Testing and Monitoring”, London: Royal School of Mines, 1981.
- [19] TS EN 1926, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [20] TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2010.