

Karbonat Kayalarının Aşınma Dirençlerinin Geniş Disk Aşınma Deneyi ile Araştırılması

Sefer Beran Çelik

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070, Denizli
scelik@pau.edu.tr

(Geliş/Received: 28.12.2017; Kabul/Accepted: 25.01.2018)

Özet

Özellikle taban döşemesi olarak kullanılan doğal taşların kullanım ömrünü belirleyen en önemli özelliklerinden birisi aşınma direncidir. Aşınma direncinin belirlenmesi için önerilmiş farklı yöntemler mevcut olup, bu yöntemler genellikle zaman alıcı ve özel deney cihazlarıyla gerçekleştirilmektedir. Aşınma direncinin belirlenmesine yönelik olarak son yıllarda Avrupa ülkelerinde geliştirilmiş ve standartlaştırılmış olan Geniş Disk Aşınma Deneyi (GD) kısa deney süresi ve pratik kullanım özellikleri ile ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu deneysel çalışmada, Batı Anadolu'nun değişik bölgelerinden, inşaat ve yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan 11 farklı tür karbonat kayasının aşınma özellikleri Geniş Disk Aşınma Deneyi ile incelenmiştir. Çalışmanın ana amacı doğrultusunda incelenen ve traverten, kireçtaşı, dolomit ve mermer kaya türlerinin aşınma dirençleri ortaya konmuştur. Ayrıca, birim hacim ağırlık değerleri, görünür porozite değerleri, boyuna dalga hızları (V_p), GD aşınma değerleri ve tek eksenli sıkışma dayanımı (TSD) değerleri belirlenmiş ve elde edilen parametreler ile GD değerleri arasındaki ilişkiler incelenerek GD değerlerinin diğer parametrelerden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. GD değerleri ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler çoklu regresyon analizleri ile incelenmiş ve GD değerlerinin tahmini için eşitlikler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geniş disk aşınma deneyi, Doğal yapı taşı, Doğal taşlarda aşınma

Investigation of Abrasion Resistance of Carbonate Rocks by Wide Wheel Abrasion Test

Abstract

Abrasion resistance of natural stones is one of the most important characteristics which determines its service life when they are used as base floors. There are proposed methods for the determination of abrasion resistance, which often require long time and needed specific test equipment. In recent years, The Wide Wheel Abrasion Test (GD), developed and standardized in European countries for the determination of abrasion resistance of building stones, has been widely used for its short test duration and practical use. In this experimental study, the abrasion resistance of 11 different types of carbonate rocks from different regions of Western Anatolia which are widely used in the construction and building sectors have been investigated. Unit volume weight, apparent porosity values, longitudinal wave velocities (V_p), GD abrasion values and uniaxial compressive strength (TSD) values were determined and the relationships between the obtained parameters were investigated. The aim of this study to investigate the abrasion resistance of a total of 11 carbonate rock groups included travertine, limestone, dolomite and marble. The predictability of GD values from other parameters has also been investigated. Equations for the prediction of GD values by multiple regression analysis was proposed.

Key Words: Wide Wheel abrasion test, Natural building stone, abrasion resistance

1. Giriş

Kaya malzemelerin aşınma direnci en önemli mekanik parametrelerden birisi olup, mühendislik uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken bir değerdir. Doğal yapı taşı malzemesi olarak kullanılan kayalar için ise aşınma direnci taşın kullanım ömrünü belirleyen en önemli özelliklerden birisidir. Özellikle taban

kaplaması olarak kullanılması durumunda kayanın aşınma değerinin önemi daha belirginleşmektedir. Kayaların aşınabilirlikleri mineralojik bileşimleri tarafından kontrol edilmekle birlikte karbonat kayalar için ise aşınma direncinin daha çok taşın fiziksel ve mekanik özellikleri tarafından kontrol edildiği bilinmektedir. Özellikle kuvars, feldispat gibi

sert minerallere sahip kayalar daha yüksek aşınma direncine sahiptir.

Doğal taşların aşınma özelliklerinin belirlenmesine yönelik standartlar incelendiğinde Böhme aşınma deneyinin (BA) eski ve en yaygın deney olduğu görülmektedir. Ancak BA deneyi oldukça zahmetli ve uzun süren bir deney yöntemidir.

EN 14157 [1] standardında doğal taşların aşınma dirençlerinin belirlenmesine yönelik olarak üç tip deney yöntemi önerilmiştir. Bunlar, Böhme, Geniş disk ve Amsler-Laffon aşınma deneyi yöntemleridir. BA deney yöntemi daha eski bir yöntem olduğundan literatürde bu deney kullanılarak doğal taşların aşınma özelliklerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur [2-5].

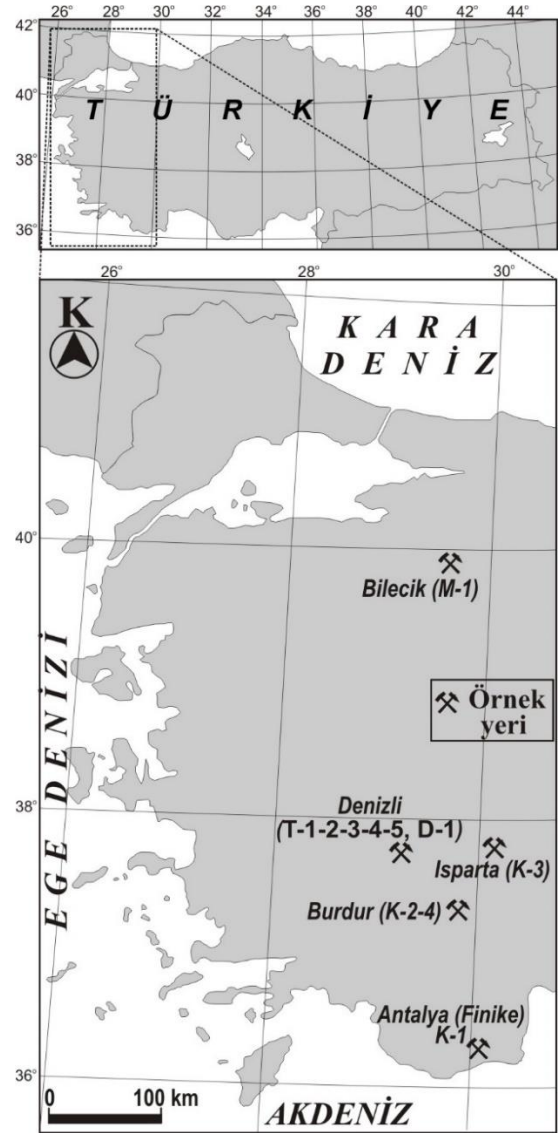
Bu çalışmanın da konusunu oluşturan GD deney yönteminde doğal taşların aşınma değeri dönen aşındırıcı diskin aşındırdığı mesafenin ilgili standartça belirlenmiş yöntemle ölçümü esasına dayanmakta ve aşınma değeri mm olarak belirtilmektedir. Amsler-Laffon aşınma deneyi BA deneyine benzer bir deney yöntemi olup düşey konumlu dönen aşındırıcı bir diskin kaya malzemesini aşındırması esasına dayanmaktadır [1].

GD deneyinin kullanımına ilişkin çalışmalar çok fazla değildir. Sahlin ve diğ. [6] taban kaplaması olarak kullanılan kireçtaşı ve kumtaşı örneklerinin GD değerlerini sırasıyla 13.5 ve 20.5 mm olarak belirlemişlerdir. Aynı çalışmada örneklerin suya doygun olduğu koşullarda bu değerlerin 14 ve 22 mm'ye yükseldiğini belirtmişlerdir. Karaca ve diğ. [7], BA ve GD aşınma değerlerini donma çözünme çevrimlerine bağlı olarak incelemiş ve bu deney yöntemleri ile mermer, kireçtaşı ve traverten örneklerinin aşınma değerlerinin belirlenebileceğini belirtmişlerdir. BA ve GD aşınma değerlerinin karşılaştırılması için de bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda yaygınlaşmaya başlayan GD değerlerinin hâlihazırda var olan BA değerlerinden tahmini amaçlanmıştır [8-10].

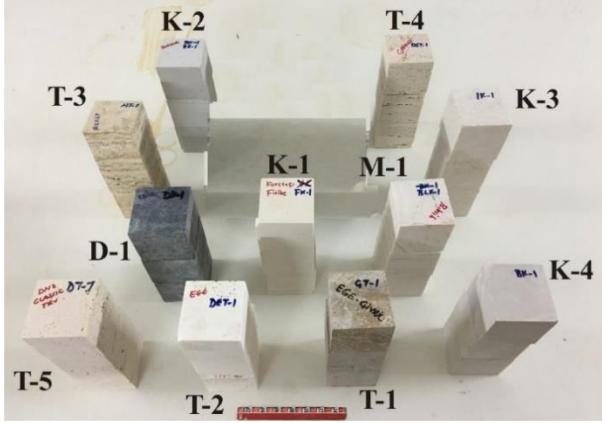
Bu çalışmanın ana amacı çalışılan 11 tür karbonat kayasının GD aşınma değerlerinin birim hacim ağırlık, görünür porozite, boyuna dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile karşılaştırmasını yapmak ve bu değerlerden GD değerlerini ampirik olarak tahmin etmektir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan örnekler 7*7*7 cm küp örnekler olarak hazırlanmıştır. Örnekler Batı Anadolu'da çeşitli bölgelerden temin edilmiştir (Şekil 1). Tablo 1'de örnek kodları, türleri ve alındığı bölgeler verilmiştir. EN 1926 [11] standardı doğrultusunda her kaya grubundan 3'er adet küp örnek hazırlanmıştır (Şekil 2). 11 tür karbonat kayasından hazırlanan 33 adet örnek üzerinde önce fiziksel deneyler, daha sonra GD ile tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel yöntemler kullanılarak tartışılmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan örneklerin alındığı yerler.



Şekil 2. Hazırlanan küp örneklerin görünüşleri.

Tablo 1. Örnek kodları, kaya türleri ve alındıkları bölgeler.

Örnek kodu	Kaya türü	Bölge (Ticari isim)
T-1	Traverten	Çivril-Denizli (Noçe)
T-2	Traverten	Kaklık-Denizli
T-3	Traverten	Akköy-Denizli (Sarı traverten)
T-4	Traverten	Kaklık-Denizli (Klasik)
T-5	Traverten	Kaklık-Denizli
K-1	Kireçtaşı	Finike-Antalya
K-2	Kireçtaşı	Burdur (Burdur bej)
K-3	Kireçtaşı	Isparta
K-4	Kireçtaşı	Karamanlı-Burdur (Burdur bej)
M-1	Mermer	Bilecik
D-1	Dolomit	Denizli

3. Fiziksel Özellikler

Her kaya örneğinin birim hacim ağırlık ve görünür porozite değerleri EN 1936 (2006) standardı doğrultusunda belirlenmiştir. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. İncelenen kaya gruplarının birim hacim ağırlık değerleri 23.54 – 27.53 arasında ve ortalama 25.23 kN/m³ olarak belirlenmiştir. İncelenen kaya türleri Anon [12]’a göre orta-yüksek birim hacim ağırlıklı kaya sınıfındadır. Görünür gözeneklilik açısından ise örnekler % 0.33 ile % 6.55 arasında, ortalama % 2.25 gözenekliliğe sahiptir. Ortalama değerler açısından Anon [12]’a göre düşük gözenekli kaya grubundadır.

Bu çalışma kapsamında, Pundit Lab [14] boyuna dalga hızı ölçüm cihazı kullanılarak örneklerin boyuna dalga iletim hızları (V_p) ölçülmüştür. V_p değerlerinin ölçümü tahribatsız deney yöntemleri arasında değerlendirilmekte olup, özellikle tek eksenli sıkışma dayanımı tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır [15-23]. Bu yöntemde, örneklerin bir ucundan diğer

ucuna ses dalgası geçiş süresi belirlenip geçiş yolu uzunluğunun geçiş zamanına bölünmesiyle boyuna dalga hızı belirlenmektedir. Her örnek için elde edilen hızlar Tablo 3’de verilmiştir.

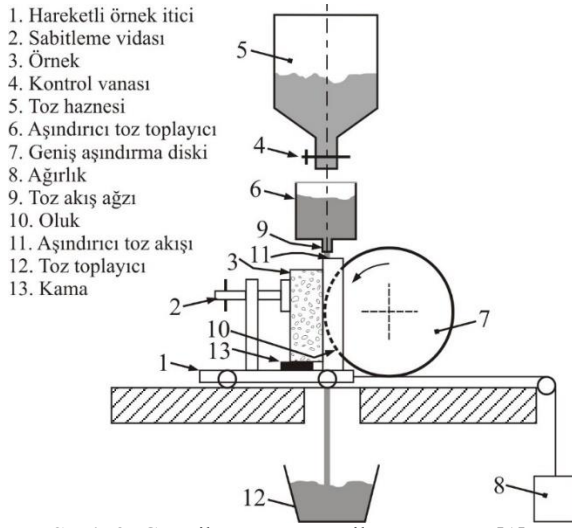
Tablo 2. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür porozite değerleri.

Kod	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)			Görünür porozite (%)		
	Min	Maks	Ort	Min	Maks	Ort
T-1	24.82	25.15	24.99	2.04	2.55	2.34
T-2	23.31	23.71	23.54	2.59	4.41	3.79
T-3	23.87	24.30	24.04	5.21	5.46	5.34
T-4	23.95	24.11	24.05	1.56	2.49	2.08
T-5	23.93	24.41	24.22	2.12	2.43	2.28
K-1	23.63	23.72	23.66	6.38	6.68	6.55
K-2	26.43	26.48	26.45	0.37	0.58	0.46
K-3	26.10	26.43	26.30	0.28	0.40	0.33
K-4	26.09	26.50	26.30	0.29	0.96	0.65
M-1	26.46	26.50	26.48	0.34	0.49	0.40
D-1	27.48	27.56	27.53	0.51	0.54	0.52

4. Geniş Disk Aşınma Deneyleri

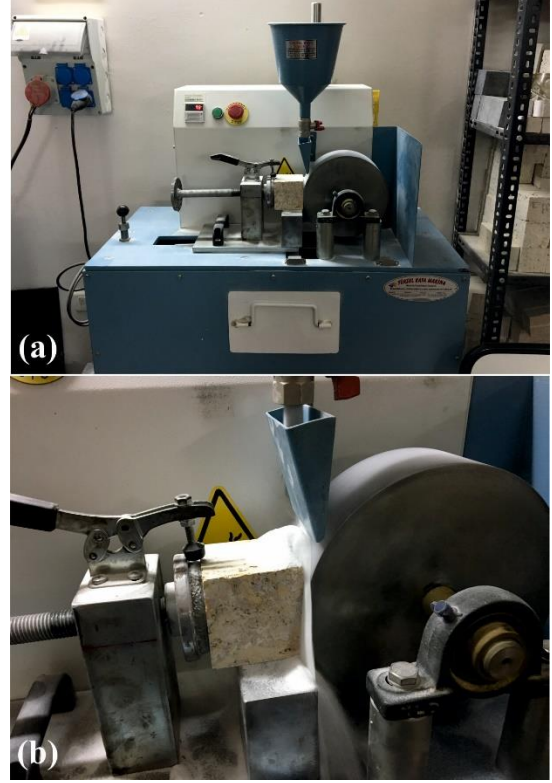
GD deneyleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan GD aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3, 4). Çalışma amacı doğrultusunda EN 14157 [1] standardına göre deneyler her gruba ait 3 örneğin 3’er yüzeyinde olmak üzere her örnek grubu için toplam 9 aşınma deneyi gerçekleştirilmiştir. GD aşınma deneyinde, 200 ± 1 mm çaplı ve 70 ± 1 mm genişlikli disk 75 devir yaparak örneği aşındırmaktadır. Aşındırma sırasında dönen disk ile örneğin temas alanı arasına sürekli aşındırıcı toz beslemesi yapılmaktadır (Şekil 4). Bu toz, ilgili standartça belirlenmiş beyaz alüminyum oksit tozudur. Deney sonunda aşınmış örneklerin aşındığı alan ölçülerek genişlik mm olarak belirlenir, bu değer GD aşınma değeri olarak kullanılır. Aşındırıcı toz kullanımı ilgili standartça belirlenmiş olup 3 deneyden fazla aynı tozun kullanılmaması önerilmektedir. GD deney cihazının kalibrasyonu için Bolonez mermeri önerilmektedir [1]. Kalibrasyon için cihazın bu mermer üzerinde 20.0 ± 0.5 mm aşındırma yapması gerekmektedir. Bu değerden farklı olarak elde edilen değerlerin düzeltilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Cihaz

kalibrasyonu Bolonez mermeri ile kontrol edilmiş ve ardından aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Marini ve diğ. [24], GD deneyinde aşındırıcı tozun en uygun kullanımı üzerine araştırmalar yapmış ve aynı tozun 40 kez kullanımdan sonra bile deney sonuçlarında bir değişiklik görülmediğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında her 3 deney sonrasında aşındırıcı toz yenisi ile değiştirilmiştir. Her deney sonunda aşınan kısmın sınırları mercek altında ince uçlu kalem kullanılarak çizilmiş ve aşınma değeri belirlenmiştir. Şekil 5’de T-3-1 örneğinin deney sonu görünümü verilmiştir. Örnek üzerinde aşınan yüzeyin sınırları gösterilmiştir.



Şekil 3. GD cihazının şematik görünümü [1].

Çobanoğlu ve Çelik [10], 32 kaya türü üzerinde yaptıkları çalışmada doğal taşların GD aşınma değerleri üzerine bir sınıflama önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında elde edilen GD aşınma değerleri bu sınıflama kapsamında değerlendirilmiştir. Tablo 4’de örnek türleri için elde edilmiş GD aşınma değerlerinin sınıfları toplu olarak verilmiştir. Traverten ve kireçtaşı gruplarının orta ve yüksek aşınabilir kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir. Denizli travertenleri içinde en yüksek dayanım özelliklerine sahip Çivril bölgesinde bulunan [32] ve ticari adı Noçe olarak bilinen travertenin, Isparta bölgesi ve Burdur-Karamanlı bölgesine ait kireçtaşı örneklerinin ve bunun yanında dolomit ve mermer kaya gruplarının düşük aşınabilir kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. GD cihazının görünümü (a), T-3-1 örneğinin deney görünümü (b).



Şekil 5. Geniş disk aşınma deneyi sonrası T-3-1 (Denizli Akköy sarı traverten) örneğinin görünümü.

5. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyleri

GD aşınma deneylerinden sonra tüm örneklerin TSD değerleri EN 1926 [11] standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. GD değerlerine bağlı aşınma sınıflandırması (Çobanoğlu ve Çelik [10]).

GD (mm)	Aşınma sınıfı	Kaya grupları
≤ 18	Düşük aşınabilir kaya	T-1, K-3, K-4, M-1, D-1
$18 < GD < 22$	Orta aşınabilir kaya	T-4, T-5, K-2
$GD \geq 22$	Yüksek aşınabilir kaya	T-2, T-3, K-1

TSD değerleri 2000 kN yüklemeye kapasiteli TSD cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre kaya örneklerinin TSD değerleri 28.13 ile 209.25 MPa arasında değişmektedir. Ortalama TSD değeri ise 91.24 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük dayanıma sahip grupların T-2 ve T-3 traverten grupları ve en yüksek değerler ise D-1 grubu dolomitler üzerinde elde edilmiştir. Bu değerler ISRM [25]'ye göre orta ile çok sağlam dayanımlı kaya grubu sınıflarındadır. Geniş bir aralıkta değişen TSD değerlerine sahip karbonat kayalarının deneye tabi tutulmasının daha güvenilir ve sağlam ilişkiler elde edilebilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

6. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Kaya malzemelerin farklı deney yöntemleri ile elde edilen aşınma dirençleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [26-31]. Bu çalışma kapsamında da Tablo 3'de verilen tüm deney sonuçları kullanılarak GD aşınma değerleri ile birim hacim ağırlık, görünür porozite, boyuna dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri arasındaki ilişkiler basit ve çoklu regresyon analizleri ile incelenmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde anlamlılık düzeyi % 95 olarak seçilmiştir.

Basit regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlara göre birim hacim ağırlık artışı ile GD değerlerinin üstel bir fonksiyona bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 6). Bu azalmayı temsil eden üstel fonksiyonun determinasyon katsayısı (R^2) 0.66 olarak elde edilmiştir. GD değerleri ile görünür gözeneklilik arasında ise pozitif doğrusal bir ilişki mevcuttur ve bu doğrusal ilişki için ise R^2 0.71 olarak elde edilmiştir (Şekil 7).

Kaya malzemelerinin dayanım özelliklerinin tahmininde çok yaygın olarak kullanılan ve tahribatsız deney yöntemi olarak da bilinen boyuna dalga hızlarının belirlendiği deneyde,

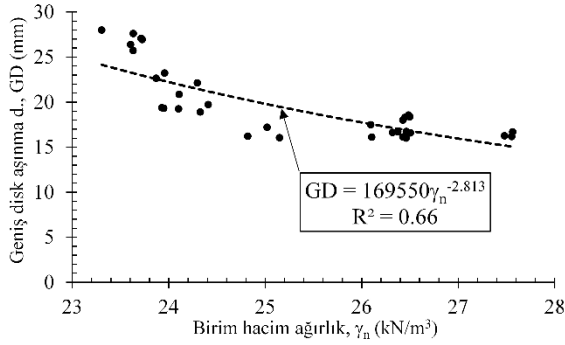
yüksek dayanımlı ve düşük gözenekli kayalarda daha yüksek değerlerde elde edildiği bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında da GD değerleri ile boyuna dalga hızları (V_p) arasında, hız artışı ile GD değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir. Elde edilen R^2 değeri bu iki parametre için en yüksek değerde ve 0.73 olarak belirlenmiştir (Şekil 8).

Tablo 3. Tüm örneklerle ait deney verileri.

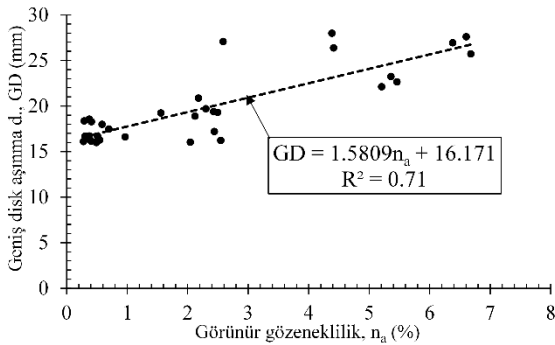
Kod	γ_n (kN/m^3)	n_a (%)	V_p (km/s)	TSD (MPa)	GD (mm)
T-1-1	25.15	2.04	6.277	98.84	16.03
T-1-2	24.82	2.55	6.287	91.81	16.21
T-1-3	25.02	2.44	6.263	114.00	17.19
T-2-1	23.60	4.41	5.260	33.18	26.37
T-2-2	23.31	4.38	5.417	33.71	27.99
T-2-3	23.71	2.59	5.536	30.83	27.06
T-3-1	23.87	5.46	5.234	50.01	22.63
T-3-2	23.96	5.36	4.867	28.13	23.22
T-3-3	24.30	5.21	5.240	67.18	22.11
T-4-1	23.95	2.49	5.301	46.24	19.29
T-4-2	24.10	1.56	5.604	55.82	19.24
T-4-3	24.11	2.18	5.644	58.41	20.85
T-5-1	24.41	2.30	6.107	76.21	19.70
T-5-2	24.33	2.12	5.939	75.16	18.90
T-5-3	23.93	2.43	5.886	84.91	19.38
K-1-1	23.63	6.68	4.213	49.74	25.71
K-1-2	23.63	6.60	4.475	49.72	27.61
K-1-3	23.72	6.38	4.402	52.90	26.94
K-2-1	26.48	0.37	6.541	148.54	18.54
K-2-2	26.43	0.58	6.592	125.32	17.98
K-2-3	26.45	0.41	7.201	159.85	18.29
K-3-1	26.10	0.28	6.657	107.08	16.10
K-3-2	26.43	0.40	6.610	73.53	16.13
K-3-3	26.37	0.30	6.637	92.12	16.69
K-4-1	26.32	0.96	6.190	112.46	16.61
K-4-2	26.50	0.29	6.731	112.54	18.36
K-4-3	26.09	0.70	6.235	78.47	17.47
M-1-1	26.46	0.37	6.584	85.24	16.72
M-1-2	26.46	0.49	6.763	110.75	15.99
M-1-3	26.50	0.34	6.614	145.83	16.58
D-1-1	27.55	0.51	7.085	159.36	16.17
D-1-2	27.48	0.54	7.091	193.83	16.26
D-1-3	27.56	0.51	7.074	209.25	16.68

(γ_n : Birim hacim ağırlık, n_a : Görünür gözeneklilik, V_p : Boyuna ses dalgası iletim hızı, TSD: Tek eksenli sıkışma dayanımı, GD: Geniş disk aşınma değeri)

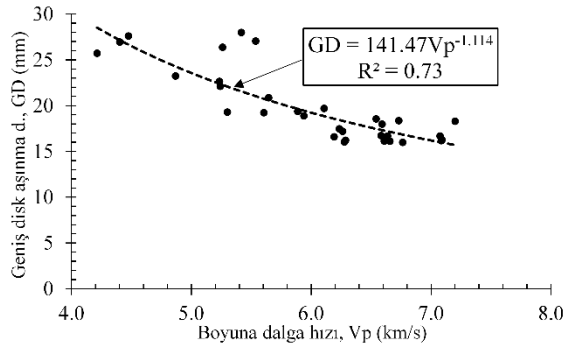
TSD ile GD değerleri arasındaki dağılım incelendiğinde ise dayanım artışı ile GD değerlerinin üstel olarak azaldığı gözlenmiştir (Şekil 9). Deney verileri incelendiğinde γ_n , n_a , V_p ve TSD değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bu durumun, GD değerleri ile diğer deney verileri arasında anlamlı ancak çok yüksek olmayan determinasyon katsayılarının elde edilmesinde büyük etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Örneklerin birim hacim ağırlığı ile GD değerleri arasındaki ilişki.

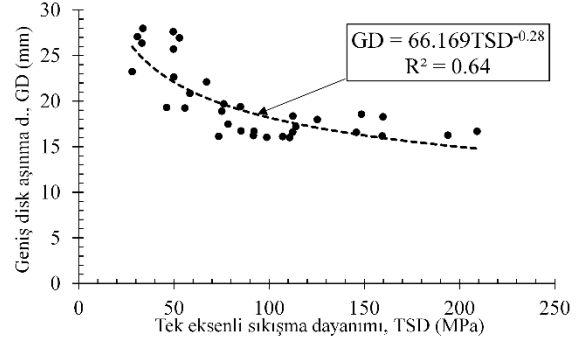


Şekil 7. Örneklerin görünür gözenekliliği ile GD değerlerinin dağılımı.



Şekil 8. Örnekler üzerinde elde edilen GD – V_p değerlerinin ilişkisi.

Basit regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlar GD ile diğer değişken parametreler arasındaki ilişkilerin orta-kuvvetli olduğunu göstermektedir. GD aşınma değerinin daha güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmesi için Tablo 3’de sunulmuş olan tüm veriler kullanılarak çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. Elde edilen TSD değerleri ile GD değerlerinin dağılımı.

Çoklu regresyon analizlerinde öncelikli olarak γ_n ve n_a değerlerinden GD değerlerinin tahmini (Eşitlik 1), daha sonrada γ_n , n_a ve V_p değerlerinden GD değerlerinin tahmini (Eşitlik 2) amaçlanmıştır. Çoklu regresyon analizlerinden elde edilmiş eşitlikler ilgili belirleme katsayıları (R^2) ile aşağıda verilmiştir.

$$GD = 1.12n_a - 0.86\gamma_n + 38.95 \quad (R^2 = 0.74) \quad (1)$$

$$GD = 0.8n_a - 0.57\gamma_n - 1.31V_p + 40.22 \quad (R^2 = 0.74) \quad (2)$$

Çoklu regresyon analizlerinden elde edilen Eşitlik 1 ve 2 ye ait R^2 değerleri, basit regresyon analizlerinden elde edilen R^2 değerleri ile karşılaştırıldığında, Çoklu regresyon analizlerine ait R^2 değerlerinin daha yüksek olduğu ve GD değerlerinin tahmin edilmesinde Eşitlik 1 ve 2 nin kullanılması durumunda daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceğini görmek mümkündür.

Bu çalışmada elde edilen diğer önemli bir bulgu GD cihazının kalibrasyonu için kullanılabilir farklı bir mermer türünün de belirlenmiş olmasıdır. Marini ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada Bolonez mermeri yerine Canaloni mermerinin kullanılabilirliğini önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise elde edilen aşınma değerleri incelenmiş ve cihaz kalibrasyonu için ülkemizden elde edilebilecek bir kayanın GD cihazının kalibrasyonunda

kullanılabilirliği araştırılmıştır. Denizli Kaklık bölgesinden elde edilmiş ve ortalama % 2 görünür gözenekliliğe sahip T-4 grubu Denizli klasik traverteninin ortalama GD değeri 19.79 mm'dir. Bu değer Bolonez mermerinin aşınma değeri ile aynıdır ve GD aşınma deneyinde Denizli klasik traverteninin de cihaz kalibrasyonunda kullanılabileceğini göstermektedir.

6. Sonuçlar

Bu deneysel çalışma kapsamında, Batı Anadolu'dan çeşitli bölgelerinden derlenmiş olan 11 tür traverten, kireçtaşı, mermer ve dolomit kaya gruplarının GD aşınma değerleri incelenmiştir. Örneklerin birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik değerleri sırası ile 23.54 – 27.53 kN/m³ ve % 0.33 - % 6.55 arasında değişmektedir. Boyuna dalga hızları ve tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ise sırası ile 4.213 – 7.201 km/s ile 28.13 – 209.25 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Geniş disk aşınma değerleri ise 15.99 – 27.99 mm arasındadır. Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda GD aşınma değerlerinin ekonomik ve pratik yöntemlerden tahmini için denklemler önerilmiştir. Bu çalışma ile ülkemizde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan geniş disk aşınma deneyi tanıtılmış ve 11 karbonat kayası için GD aşınma değerleri belirlenmiştir. Daha fazla karbonat kaya türü ve farklı türdeki kayalar üzerinde GD deneyleri yapılarak daha yaygın ilişkilerin geliştirilmesi önerilmektedir. Aşınma ve dayanım gibi mekanik özellikler üzerinde kaya anizotropisinin önemi büyüktür. Bu çalışma kapsamında incelenen örneklerin anizotropik özellikleri dikkate alınmamıştır. Yapılacak sonraki çalışmalarda kaya anizotropisinin aşınma değerleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmaların yapılması ayrıca önerilmektedir. Bu çalışmadan ortaya çıkan diğer önemli bir sonuç, Türkiye'deki araştırmacı ve uygulayıcıların GD aletinin kalibrasyonu için Bolonez mermeri yerine Denizli klasik travertenini kullanabilecek olmalarıdır.

7. Kaynaklar

1. EN 14157 (2004). Natural stones - Determination of abrasion resistance. European Standard, 19p.

2. Budinski, K.G., Ives, L.K. (2005). Measuring abrasion resistance with a fixed abrasive loop. *Wear*, **258**, 133–140.
3. Ersoy, A., Büyüksağış, S., Atıcı U. (2005). Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. *Wear*, **258** (9), 1422–1436.
4. S. Mezlini, S., Kapsa, P., Abry, J.C., Henon, C., Guillemenet J. (2006). Effect of indenter geometry and relationship between abrasive wear and hardness in early stage of repetitive sliding. *Wear*, **260**, 412–421.
5. Yavuz, H., Uğur, İ., Demirdağ, S. (2008). Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **45**, 260 – 267.
6. Sahlin, T., Starzec, K., Stigh, J., Schouenborg, B. (2001). Physical properties and durability of fresh and impregnated limestone and sandstone from central Sweden used for thin stone flooring and cladding. *9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 181 – 185.
7. Karaca, Z., Deliormanli, A.H., Elçi, H., Pamukcu, C. (2010). Effect of freeze-thaw process on the abrasion loss value of stones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **47**(7), 1207-1211.
8. Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., Alkaya, D. (2010). Correlation between wide wheel abrasion (capon) and Bohme abrasion test results for some carbonate rocks. *Sci Res Essays*, **5** (22), 3398-3404.
9. Karaca, Z., Güneş Yılmaz, N., Gökten, R.M. (2012). Considerations on the European Standard EN 14157 Test Methods: Abrasion Resistance of Natural Stones Used for Flooring in Buildings. *Rock Mech Rock Eng*, **45**, 103–111.
10. Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B. (2017). Assessments on the usability of Wide Wheel (Capon) test as reference abrasion test method for building stones. *Construction and Building Materials*, **151**, 319–330.
11. EN 1926 (2006). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength. *European Committee for Standardization*, 20p.
12. EN 1936 (2006). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity. *European Committee for Standardization*, 11p.
13. Anon (1979). Classification of rocks and soils for engineering geological mapping part I: Rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **19**, 364-371.
14. Proceq (2014). Pundit lab/Pundit lab+ ultrasonic instrument operating instructions. Proceq SA, 31p.
15. Yaşar, E., Erdoğan, E. (2004). Correlating sound velocity with the density, compressive strength and

- Young's modulus of carbonate rocks. *Int J Rock Mech Min*, **41**, 871–875.
16. Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A., Günaydın, O. (2005). A comparative Evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks. *Rock Mech Rock Eng*, **38** (4), 329-343.
17. Sharma, P.K., Singh, T.N. (2008). A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *B Eng Geol Environ*, **67**(1), 17-22.
18. Altındağ, R. (2012). Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, **112**, 229—237.
19. Karakul., H., Ulusay, R. (2013). Empirical correlations for predicting strength properties of rocks from P-wave velocity under different degrees of saturation. *Rock Mech Rock Eng*, **46**, 981-999.
20. Momeni, E., Nazir, R., Armaghani, D.J., Mohamad, E.T. (2015). Prediction of unconfined compressive strength of rocks: a review paper. *Jurnal Teknologi*, **77**(11), 43—50.
21. Selçuk, L., Nar, A. (2015). Prediction of uniaxial compressive strength of intact rocks using ultrasonic pulse velocity and rebound-hammer number. *Q J Eng Geol Hydroge* **49**(1), 67-75.
22. Madhubabu, N., Singh, P.K., Kainthola, A., Mahanta, B., Tripathy, A., Singh, T.N. (2016). Prediction of compressive strength and elastic modulus of carbonate rocks. *Measurement*, **88**, 202—213.
23. Azimian, A. (2017). Application of statistical methods for predicting uniaxial compressive strength of limestone rocks using nondestructive tests. *Acta Geotechnica*, **12**, 321—333.
24. Marini, P., Bellopede, R., Perino, L., De Regibus, C. (2011). Optimisation of an abrasion resistance test method on natural stones. *Bull Eng Geol Environ*, **70**, 133–138.
25. ISRM (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) Suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM, Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, 628p.
26. MacGregor, I.D., Chiu, K.Y. (2000). Porosity and wear resistance in Stone flooring tiles. *J Test Eval*, **28**, 149–54.
27. Kahraman, S., Günaydın O. (2007). Empirical methods to predict the abrasion resistance of rock aggregates. *Bull Eng Geol Environ*, **66**, 449–455.
28. Kahraman, S., Fener, M. (2008). Electrical resistivity measurements to predict abrasion resistance of rock aggregates. *Bull Mater Sci*, **31**(2), 179–184.
29. Yavuz, H., Uğur, İ., Demirdağ, S. (2008). Abrasion resistance of carbonate rocks used in dimension stone industry and correlations between abrasion and rock properties. *Int Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **45**, 260 – 267.
30. Yaralı, O. (2016). Kömür Çevre Kayaçları Dayanım Özelliklerinin Cerchar Aşınma İndeksine Olan Etkileri. *Yerbilimleri*, **37**(2), 179-192.
31. Ureel, S., Momayez, M. (2017). Simple Correlations between Rock Abrasion and Other significant Rock Properties for Rock Mass and Intact Quartzite. *Open Journal of Civil Engineering*, **7**, 194-207.
32. Çelik, S. B., Çobanoğlu, İ., Atatanır, L. (2014). General material properties of Denizli (SW Turkey) travertines as a building stone. *Bull Eng Geol Environ*, **73**, 825-838.