



## **Agrega Aşınma ve Dayanım Özelliklerinin Kaya Malzeme Deneyleriyle Tanımlanması ve Değerlendirilmesi**

*Identification and Evaluation of Aggregate Abrasion and Strength Properties by Using Rock Material Tests*

**İBRAHİM ÇOBANOĞLU<sup>1</sup>** ORCID 0000-0002-2747-6397

**SEFER BERAN ÇELİK<sup>1</sup>** ORCID 0000-0003-1850-5229

<sup>1</sup>*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli*

Geliş (received): 17/02/2022

Kabul (Accepted): 30/03/2022

### **ÖZ**

Agregaların kullanım alanlarının çoğalması, farklı litolojik özelliklere sahip kaya türlerinin de agregata olarak kullanılabilirliklerinin araştırılmasını gerektirmiştir. Agregalar için kullanım koşullarını belirlemeye yarayan teknik parametreler ancak deneysel çalışmalarla ortaya konulabilmektedir. Bu çalışmalar ise hem zaman ve hem de belirli bir maliyetin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Deney standartlarına uygun bir şekilde yapılmayan test çalışmaları tutarsız ve hatalı sonuçlar vermektedir. Bu durum, deney parametrelerinin korelatif olarak değerlendirilebilmesini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada, 10 farklı lokasyona ait karbonat kökenli kayalar ve bunlardan elde edilmiş agregata malzemeleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım (DD) değerlerinin kayaca ait diğer fiziksel ve mekanik parametrelerle olan ilişkileri araştırılmıştır. Bu iki parametre, kayacın birim hacim ağırlığı (KBHA) ve dikey aşınma değeri (DA) ile doğrudan ilişkili tanımlamalar yapılabilmesini sağlamaktadır. Bunun haricinde Los Angeles aşınma değeri (LAD) ile darbe dayanım (DD) değeri arasında oldukça tutarlı ilişkilerin olduğu da belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenmiş tek eksenli sıkışma dayanımı, Schmidt sertliği ve sonik hız değerleri ile Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri arasında korelatif ilişkilerin kurulabilmesi mümkün olmamıştır. Kaya malzeme ölçeğinde örnek boyutu büyüdüğünde elde edilen parametreler ile agregata ölçeğinde örnek boyutu küçüldüğünde elde edilen parametrelerin korelasyonunun zorlaştığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Agregata, Los Angeles aşınma deneyi, darbe dayanım deneyi, kireçtaşı, dolomit.

---

İbrahim ÇOBANOĞLU icobanoglu@pau.edu.tr

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

### **ABSTRACT**

*The increase in the usage areas of aggregates required the investigation of the usability of rock type aggregates with different lithological properties. Technical parameters for determining the conditions of use for aggregates can only be revealed through tests. However, these experimental studies cause to reveal of both time and a certain cost. Test studies that are not carried out in accordance with the related test standards give inconsistent and erroneous results. This situation brings to the fore the fact that the experimental parameters can be evaluated correlatively. In this study, aggregate materials prepared from carbonate rocks collected from 10 different locations were used. In this context, the correlations between Los Angeles abrasion (LAD) and impact strength (DD) values with other physical and mechanical parameters of the rock groups were investigated. These two parameters made it possible to directly correlate the unit volume weight (KBHA) and Wide Wheel abrasion value (DD) of the rock. Furthermore, it has been determined that there are quite consistent relationships between the Los Angeles wear value and the impact strength value. It was not possible to establish correlations between uniaxial compressive strength, Schmidt hardness, sonic wave velocity values and Los Angeles wear and impact strength values determined within the scope of this study. It has been evaluated that the correlations become difficult due to the increasing sample size in the rock material conversely decreasing in the aggregate scale.*

**Keywords:** Aggregate, Los Angeles abrasion test, aggregate impact value test, limestone, dolomite.

### **GİRİŞ**

Farklı mühendislik uygulamalarında kullanılan ve genellikle kırmataş olarak üretildikten sonra tane boylarına göre sınıflandırılan kaya malzemelerine “agrega” adı verilir. Agregalar, beton, sıva, parke taşı, üretiminde olduğu gibi karayolu, demiryolu ve havayolu inşaatlarında dolgu malzemesi olarak sıklıkla kullanılırlar. Yüzeysel zemin iyileştirme metotları içerisinde yapı temelleri altında da iyileştirme malzemesi olarak doğal agrega dolguların kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, karbonat kökenli kayalardan elde edilen kırmataş agregaların aşınma ve dayanım özelliklerinin belirmesi amacıyla doğrudan kaya malzeme parametrelerinin

kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, örneklemeleri yapılan 10 farklı litolojideki kayaç numunelerinden elde edilen malzemeler üzerinde temel fiziksel ve mekanik parametreler belirlenmiş ve ardından 10 – 14 mm tane boyutlarına getirilmiş örnekler üzerinde Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım deneyleri (DD) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların korelatif incelemeleri ile parametreler arasındaki ilişkilerin tanımlanması sağlanmıştır.

Beton hammaddesi olma özelliğinden ötürü literatürde agregalar üzerinde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı doğrudan agrega malzeme özelliklerini ele alırken bir kısmı da beton olarak kullanılabilme özelliklerini dikkate almıştır. Kılıç ve Kahraman (2017) tarafından yapılan çalışmada Çukurova bölgesi kireçtaşlarının Los Angeles aşınma direnci (LAV) değerleri, kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı, su emme oranı, Shore sertliği ve özgül ağırlıkları ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma Los Angeles aşınma direnci ile tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) arasında  $LAV = 52,67 - 0,4063 * UCS$  şeklinde bir ilişki tanımlamışlardır. Ajalloeian ve Kamani (2019), karbonat kökenli agregalar üzerinde yaptıkları çalışmada kaya tekstür özelliklerinin Los Angeles aşınma dayanımı ile olan ilişkilerini araştırmışlardır. Doku katsayısı olarak tanımladıkları parametre ile Los Angeles aşınma dayanımı değerleri arasında oldukça kuvvetli ve negatif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Tuncay vd. (2015) çalışmalarında Karaöz (Antalya) bölgesi dolomitik kireçtaşlarının agrega olabilme özelliklerini incelemişler ve Los Angeles aşınma değerini % 23.40 olarak belirlemişlerdir. Tunç ve Alyamaç (2020), Elazığ bölgesinden elde ettikleri 3 farklı agrega tipi üzerinde Los Angeles aşınma deneyleri yaparak agrega yoğunluğu, su emme değeri ve ayrıca aşınma deneyindeki bilya sayısı ile devir sayısının elde edilen aşınma değerleriyle ilişkilerini tanımlamışlardır. Akhaly ve Sakkaf (2020) Yemen’de Sana’a bölgesindeki volkanik kökenli hafif agrega malzemelerini incelemiş ve ASTM ile BS standartları ışığında yapı sektöründe kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Teymen (2017), 39 grup volkanik kayadan elde edilmiş agregalar üzerinde yaptığı çalışmalarla Los Angeles aşınma değeri ile agregalara ait diğer mekanik test verilerinin korelasyonunu araştırmıştır. Kahraman ve Fener (2007), 35 farklı kaya grubuna ait agregalar üzerinde Los Angeles aşınma, tek eksenli sıkışma ve porozite değerlerinin ilişkilerini incelemişlerdir. Yazarlar Los Angeles aşınma değerleri ile tek eksenli sıkışma değerleri arasında anlamlı ilişkilerin var olduğunu belirlemişlerdir. Cuelho vd (2007),

yol dolgusu agrega malzemeleri için Mikro Deval, Los Angeles aşınma ve sülfata dayanıklılık parametrelerini inceleyerek elde ettikleri verileri istatistiksel olarak değerlendirmişlerdir.

Bu çalışma, agrega aşınma ve dayanım özelliklerinin kaya malzeme deneyleri ile belirlenebilirliğinin araştırılması amacıyla ortaya konulmuştur. Agregaların aşınma direncinin belirlenmesinde kullanılan Los Angeles aşınma deneyi ile dayanımını belirleyen darbe dayanım testlerinin kayaçların farklı fiziksel özellikleri ile korelasyonlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

### MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada ülkemizin farklı yerlerinden elde edilmiş karbonat kökenli 10 ayrı grup kaya örnekleri kullanılmıştır (Şekil 1). Örnekler, 7\*7\*7 cm boyutlarında küp şeklinde oluşturulmuş ve fiziksel ve mekanik özellikler bu prizmatik numuneler kullanılarak belirlenmiştir. Agrega grupları için elde edilen 10 – 14 mm boyutlu kırmataş malzemeler ise küp numunelerin çeneli kırıcıda öğütülmeleri ile elde edilmiştir (Şekil 2). Örneklere ait lokasyon bilgileri ve litoloji tanımlamaları Çizelge 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan örnek yerleri (grup numaraları ile verilmiştir).

*Figure 1. Locations of samples in the study (Locations were given with sample group numbers).*



Şekil 2. Çalışmada kullanılan küp şekilli ve kırıcıda öğütülerek agrega boyutlarına indirgenmiş örneklerden görüntümler.

Figure 2. Cube-shaped samples and crushed aggregates used in the study.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan örneklerin temin edildiği lokasyonlar ve litolojik tanımları.

Table 1. Locations and lithological descriptions of the samples used in this study.

Grup No	Numune Adı	Lokasyon	Litolojik Tanımlama
1	Sirmersan Mavi Mermer	Yatağan - Muğla	Dolomitik kireçtaşı
2	Sirmersan Beyaz Mermer	Milas - Muğla	Kristalize kçt
3	Sirmersan Afyon Mermer	Emirdağ - Afyon	Kireçtaşı
4	Konya Çumra Mermer	Çumra - Konya	Gri kireçtaşı
5	Işık Mermer Dolomit	Kaklık - Denizli	Dolomitik kireçtaşı
6	Armes Fethiye Gri	Seydikemer - Muğla	Gri kireçtaşı
7	Kastamonu Gri	Kastamonu - Azdavay	Gri kireçtaşı
8	Muğla Beyaz Mermer	Muğla - Menteşe	Kristalize kireçtaşı
9	Sirmersan Pembe Mermer	Yatağan - Muğla	Dolomitik kireçtaşı
10	Konya Gri Mermer	Ilgın - Konya	Gri kireçtaşı

### Kayaçlara Ait Fiziksel ve Mekanik Parametrelerin Belirlenmesi

Boyutlandırılmış küp şekilli örnekler üzerinde kuru birim hacim ağırlık (KBHA), ağırlıkça su emme (ASE) ve görünür porozite (n) değerleri TS EN 1936 (2007) deney standardına göre gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her örnek grubunda 20 adet küp şekilli örnek kullanılmıştır. Dikey aşınma (DA) deneyi ise TS EN 14157 (2004) standardına göre yapılmıştır. Aşınma deneyi sonunda aşınma yüzeyi genişliği mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Doğaltaş ürünler için boyutlandırılmış prizmatik örnekler üzerinde yapılan bu deneyin agrega malzemeler

üzerinde kullanımı bulunmamakla birlikte bu çalışma, korelatif değerlendirmeler anlamında birbirleriyle yakın ilişkili parametreler olduklarını ortaya koymuştur.



Şekil 3. Dikey aşınma deney cihazı ve deney işlemlerinden görünümüler.

Figure 3. Wide wheel abrasion test device and view from test procedures.

TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardı, tek eksenli sıkışma dayanımı 100 MPa'dan az olan tüm doğal ve yapay agregaların aşınma dayanımlarının araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Los Angeles aşınma kaybı (LAD) olarak tanımlanan bu kayıp yüzdesinin, beton agregasında 100 devir için % 10'u, 500 devir için % 50'yi geçmemesi istenmektedir (TS 706 EN 12620, 2009). Los Angeles aşınma deneyi AASHTO T 96 (2002), AS 1141.23 (2009), ASTM C131 (2014), JSA JIS A 1121 (2007) ve SASO 279 (1982) kaynakları tarafından da standardize edilmiş bir deneydir. Bu çalışmada tüm agrega grupları için 500 devir olacak şekilde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir ve Los Angeles Aşınma Direnci Deneyi (LAD) TS EN 1097 – 2 (2015) standardına göre yapılmıştır. Deneyde, 14 mm açıklıklı elekten geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalar kullanılmıştır. 500 devir sonunda tamburdaki malzemenin tamamı alınmış ve ardından 1.6 mm göz açıklıklı elekten elenerek kalan malzeme miktarı belirlenmiştir.

Agrega darbe dayanım deneyi (DD) ise, iri agrega boyutundaki malzemenin bir tokmak darbesi etkisiyle parçalanmaya karşı dayanıklılığı ifade etmek için ortaya konulmuş bir dayanım belirleme deneyidir. Bu amaçla oluşturulmuş test cihazı, metal bir plaka üzerine yerleştirilmiş 75 mm çaplı ve 50 mm yüksekliğindeki bir hazneden oluşmaktadır. Darbeyi verecek tokmak bir eksen boyunca 38 cm'lik bir yükseklikten serbest düşüş yapabilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4). Deney sırasında agrega tane boylarının değişimlerini

belirleyebilmek için oluşturulmuş 14 mm, 10 mm ve 2.36 mm göz açıklıklı elekler bulunmaktadır. Darbe dayanım deneyi, BS 812-112 (1990) tarafından standardize edilmiştir.



Şekil 4. Agregalar üzerinde gerçekleştirilen darbe dayanım deneyinden görüntüler.

*Figure 4. Views from aggregate impact value test.*

## BULGULAR

Bu çalışma kapsamında yürütülmüş olan deneysel çalışmalar, kaya malzemesine ait kuru birim hacim ağırlığı (KBHA), ağırlıkça su emme (ASE), görünür porozite (n), dikey aşınma (DA), Schmidt sertliği, sonik hız ( $V_p$ ) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) parametrelerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı litolojilerinde tanımlanmış olan malzemelerden elde edilen agregaların Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım (DD) değerleri belirlenmiştir. Los Angeles aşınma değerleri % 22.40 – 74.04, darbe dayanım değerleri ise % 12.52 – 29.79 arasında değişim göstermektedir. Bu çalışmada malzeme özelliklerine ait sonik hız, tek eksenli sıkışma dayanımı ve Schmidt çekici sertlik değerleri ile agregalara ait Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri arasında doğrudan bir ilişki belirlenememiştir. Bu nedenle bu deney parametreleri bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Deneysel çalışmalarla elde edilmiş değerler Çizelge 2’de sunulmuştur.

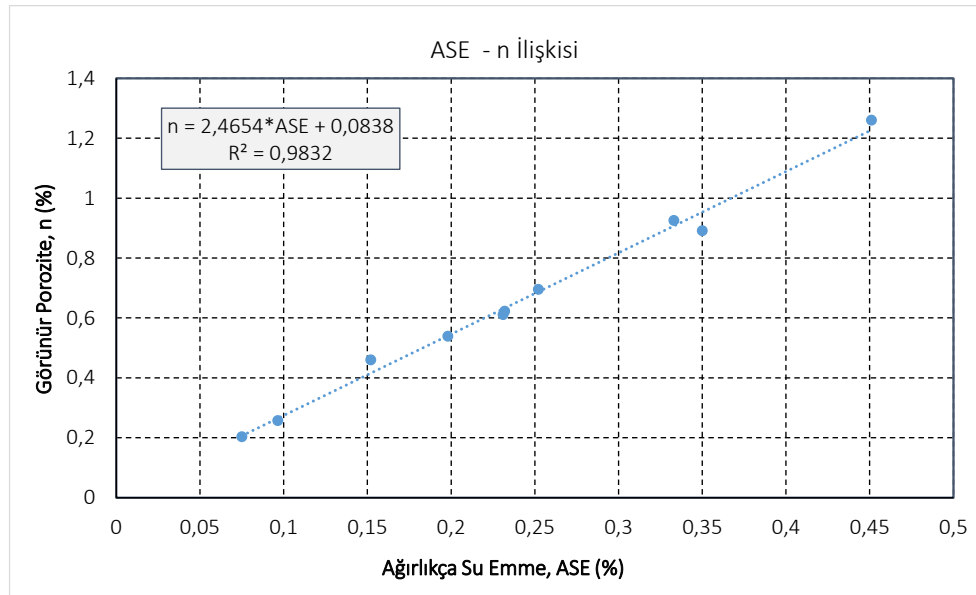
Kayaca ait fiziksel parametreler küp şekilli örnekler üzerinde yapılan deneyler ile belirlenmiş olup kuru birim hacim ağırlığı ile ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerleri arasında anlamlılık düzeyi yüksek ilişkiler belirlenememiştir. Bununla birlikte özellikle ağırlıkça su emme ve görünür porozite değerleri arasında doğrusal ve oldukça yüksek determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) veren bir ilişki tanımlanmıştır (Şekil 5).

Çizelge 2. Deney parametrelerinin örnek grupları içerisindeki değişimleri.

Figure 2. Laboratory test results changes of sample groups.

Grup No	Litoloji Tanımlaması	LAD (%)	DD (%)	DA (mm)	KBHA (gr/cm <sup>3</sup> )	ASE (%)	n (%)
1	Dolomitik kçt.	39,90	22,56	23,90	2,663	0,333	0,925
2	Kristalize kçt.	56,90	24,76	23,14	2,616	0,198	0,539
3	Kireçtaşı	28,87	18,15	20,85	2,768	0,35	0,891
4	Gri kireçtaşı	34,57	17,13	22,66	2,686	0,231	0,611
5	Dolomitik kçt.	22,64	12,52	19,50	2,836	0,0965	0,257
6	Gri kireçtaşı	29,66	15,93	21,07	2,716	0,232	0,622
7	Gri kireçtaşı	36,34	18,72	22,00	2,689	0,152	0,46
8	Kristalize kçt.	74,04	29,79	26,24	2,451	0,075	0,203
9	Dolomitik kçt.	35,71	16,99	20,61	2,665	0,252	0,695
10	Gri kireçtaşı	29,24	15,12	19,02	2,738	0,451	1,26

Çobanoğlu vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada da benzer doğrusal ilişkilerin tanımlandığı belirtilmiştir. Ioannou vd. (2019) 6 farklı kireçtaşı örnek grubu üzerinde yaptıkları çalışmada, ağırlıkça su emme ile Los Angeles aşınma değeri arasında var olan doğrusal ilişkiyi  $LAD = 1.8744 \cdot ASE + 20.489$  bağıntısı ile tanımlamışlardır. Ancak bu çalışmada bu iki parametre arasında anlamlı doğrusal bir ilişki belirlenememiştir.

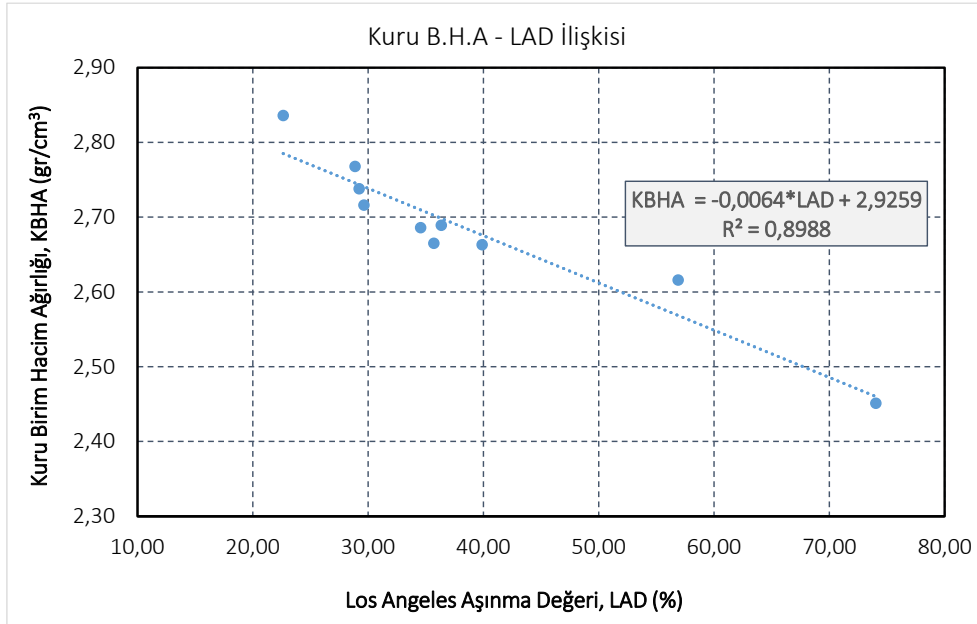


Şekil 5. İncelenen kaya grupları için görünür porozite ile ağırlıkça su emme parametreleri arasındaki ilişki.



Figure 5. Apparent porosity and water absorption by weight relationship of rock groups.

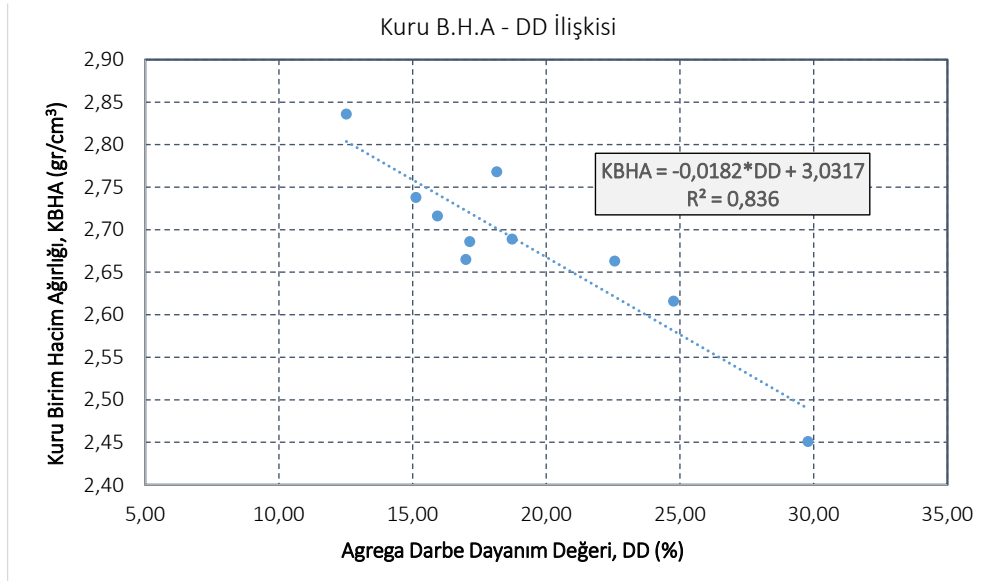
Los Angeles aşınma deneyi ile diğer agrega deney parametrelerinin korelasyonlarına ait literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Ahmad vd., 2017; Wu vd., 1998; Adomako vd., 2021; Mohajerani vd., 2017). Esfahani vd. (2019), 273 kaya veri seti üzerinde yaptığı çalışmada Los Angeles aşınma değeri ile porozite arasında zayıf korelatif bir ilişkinin var olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında ise Los Angeles aşınma değeri ile görünür porozite arasında doğrudan tanımlanabilecek bir ilişki belirlenememiştir. Los Angeles değeri (LAD) ve darbe dayanım değerlerinin (DD) bir başka aşınma parametresi olan dikey aşınma ile var olan ilişkileri de bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Literatürde bu konuda var olan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Agregaların aşınma (LAD) ve dayanım (DD) parametrelerine doğrudan etkili olabilecek bir diğer parametrenin ise kayaca ait kuru birim hacim ağırlığı (KBHA) olduğu belirlenmiştir. KBHA değeri, hem LAD ve hem de DD değerleri ile korelatif ilişkili bir parametre olarak tespit edilmiştir. Bu parametreler arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve Şekil 7’de ortaya konulmuştur.



Şekil 6. İncelenen kaya grupları için kuru birim hacim ağırlığı ile Los Angeles aşınma değeri arasındaki ilişki.

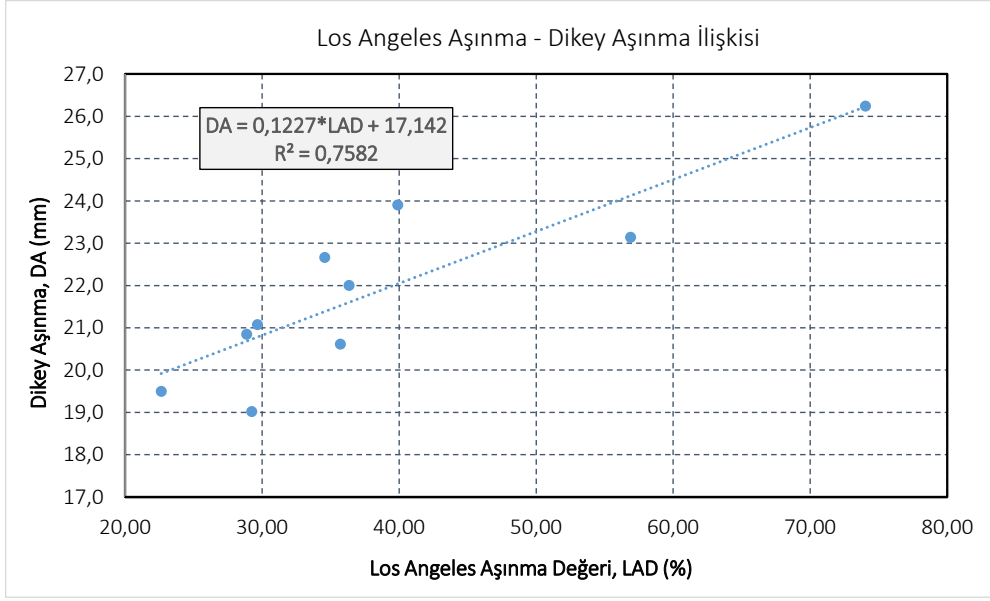
Figure 6. Dry unit weight and Los Angeles abrasion relationship of rock groups.

Aşınma deneyleri kayaca ait hem yüzey sertliğinin ve hem de dayanımın bir ölçütü olarak kabul edilmektedir. Doğaltaş mamuller için geliştirilmiş aşınma deney yöntemleri genel olarak yüzey sertliğinin ölçülmesini sağlamaktadır. Ancak örneklemeler için kesilmiş prizmatik örneklerin kullanılması gerektiğinden, kayaca ait farklı dokusal ve yapısal özelliklerin aşınma değerine etkisi de görülebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen dikey aşınma (wide wheel abrasion) değerleri, diğer aşınma parametreleri olan Los Angeles aşınma (LAD) ve darbe dayanım değerleri (DD) ile ilişkilendirilmiştir. Dikey aşınma değerleri ile hem Los Angeles aşınma ve hem de darbe dayanım değerleri arasında doğrusal ve oldukça anlamlı ilişkilerin var olduğu belirlenmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9).



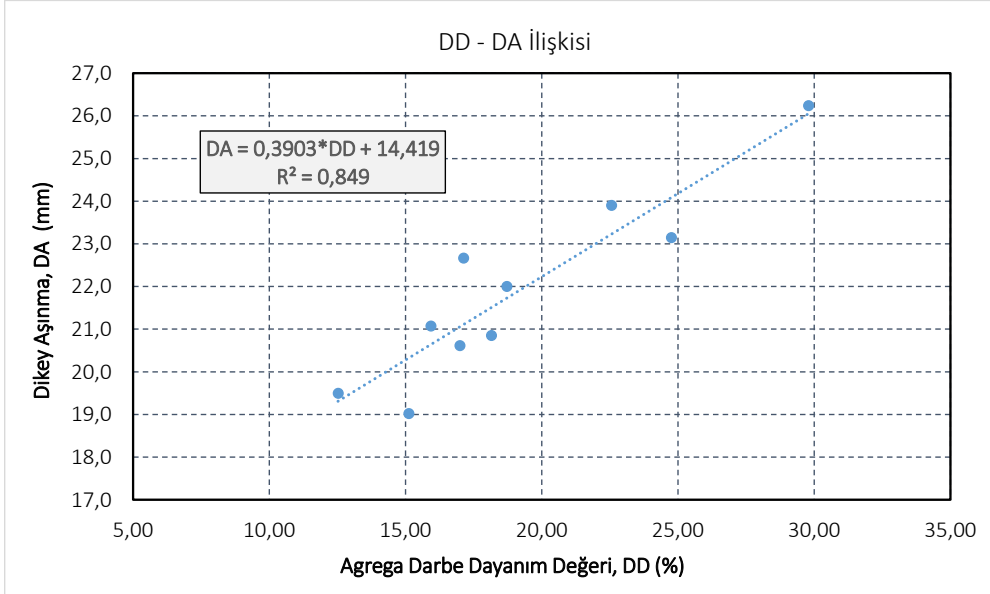
Şekil 7. Kaya grupları için kuru birim hacim ağırlığı ile darbe dayanım değeri arasındaki ilişki.

*Figure 7. Dry unit weight and aggregate impact value relationship of rock groups.*



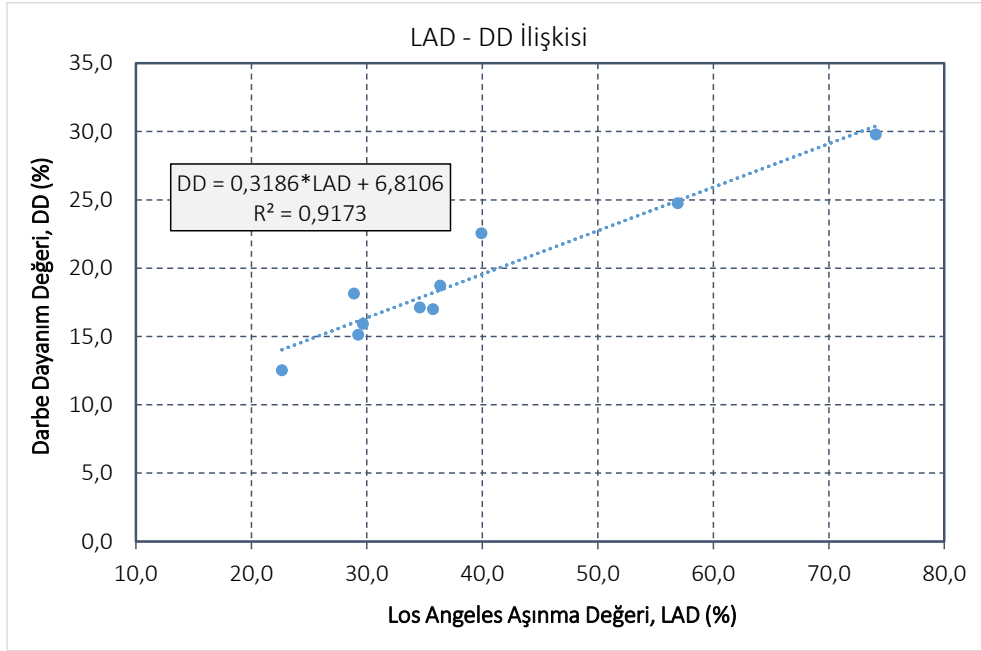
Şekil 8. Dikey aşınma ile Los Angeles aşınma değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 8. Wide Wheel abrasion and Los Angeles abrasion value relationship of rock groups.



Şekil 9. Dikey aşınma ile darbe dayanım değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 9. Wide Wheel abrasion and aggregate impact value relationship of rock groups.



Şekil 10. Darbe dayanım değeri ile Los Angeles aşınma değeri arasında tanımlanmış ilişki.

Figure 10. Aggregate impact value and Los Angeles abrasion value relationship of rock groups.

Bu durum, karbonat kökenli kayalar için dikey aşınma değerlerinin kullanılarak kolay bir şekilde agrega aşınma parametreleri olan Los Angeles ve darbe dayanım değerlerinin belirlenmesini sağlayabilecektir.

Agregalar için değerlendirme kriterleri de tanımlanmış olan Los Angeles aşınma ve darbe dayanım değerleri önem taşımaktadır. Ancak her iki deney yöntemi de hem emek ve hem de zaman isteyen çalışmalarla belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında bu iki deney verileri arasındaki ilişkilerin de incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 10'da tanımlanmış doğrusal bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur. Bu iki deney parametresinin doğrudan ele alınarak irdelendiği kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatür incelemeleri, var olan çalışmaların özeti şeklinde Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3, farklı kaya türleri için de olsa bu iki parametre arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3. Los Angeles aşınma ile agrega darbe dayanım değerleri arasındaki ilişkilerin tanımlandığı çalışmalar.

Table 3. Identification of Los Angeles abrasion and aggregate impact value relationship.

Korelasyon	Eşitlik	R <sup>2</sup>	Kaynak	Litoloji
DD – LAD	$DD = 1.086 * LAD - 3.470$	0.811	Ahmad vd. (2017)	45 farklı kaya
DD – LAD	$DD = 0.896 * LAD - 2.964$	0.863	Al-Akhaly (2018)	Bazalt
LAD – DD	$LAD = 1.175 * DD + 1.564$	---	Jayawardena (2008)	Gnays
LAD – DD	Tanımlanmamış	---	Stalheim (2014)	Granit
LAD – DD	$LAD = 0.76 * DD + 17.82$	0.94	Ugbe (2020)	Iyuku Graniti
LAD – DD	$LAD = 0.91 * DD + 0.29$	0.90	Brennan vd. (2011)	15 farklı kaya
LAD – DD	$LAD = 1.434 * DD - 5.851$	0.97	Kissakwa ve Verhoef (1991)	11 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.115 * DD + 5.627$	0.78	Esfahani vd. (2019)	273 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.22 * DD + 2.56$	0.82	Al-Harhi (2001)	110 farklı kaya
LAD - DD	$LAD = 1.49 * DD + 9.53$	0.79	Teymen (2017)	39 farklı kaya
DD - LAD	$DD = 0.318 * LAD + 6.811$	0.92	Bu çalışma	Kireçtaşı

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Beton ve türevi malzemelerin üretimlerinde karbonat kökenli kayalar ağırlıklı olarak tercih edilerek kullanılmaktadır. Bunun haricinde temel ve diğer kazı içi dolguların oluşturulmasında da kireçtaşları ocaklarından elde edilen kırmataş malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma, 10 farklı lokasyondan elde edilmiş olan kireçtaşı için malzeme özellikleri ile agrega aşınma ve dayanım özelliklerine ait ilişkilerin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kaya malzeme özelliklerinin belirlenmesinde prizmatik küp şekilli örnekler kullanılmış ve aynı örnekler çeneli kırıcıda öğütülerek Los Angeles ve darbe dayanım deneyleri için gerekli agregalar elde edilmiştir. Kayaca ait kuru birim hacim ağırlık değerinin (KBHA) hem Los Angeles (LAD) ve hem de darbe dayanım (DD) deney verileri ile ilişkilendirilebilecek bir fiziksel parametre olduğu belirlenmiştir. İlk kez bu çalışma kapsamında incelenmiş olan kayaca ait dikey aşınma (DA) değerinin kullanılması ile de agregalara ait Los Angeles ve darbe dayanım değerlerinin önceden tahmin edilebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca Los Angeles aşınma değerleri ile darbe dayanım değerleri arasındaki pozitif korelatif ilişkinin olduğu da belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilmiş ve kireçtaşı kökenli kayalar için kullanılabilirliği önerilen ilişkiler Çizelge 4’de sunulmuştur.

Çizelge 4. Bu çalışma kapsamında incelenen deney parametreleri ve tanımlanmış ilişkiler.

Table 4. Test parameters and defined relationships this study.

Korelasyon	Eşitlik	R <sup>2</sup>
n - ASE	$n = 2.465*ASE + 0.084$	0.983
KBHA - LAD	$KBHA = 0.0064*LAD + 2.926$	0.898
KBHA - DD	$KBHA = 0.0182*DD + 3.032$	0.836
LAD - DA	$DA = 0.123*LAD + 17.142$	0.758
DD - DA	$DA = 0.390*DD + 14.419$	0.849
LAD - DD	$DD = 0.318*LAD + 6.152$	0.848

Agrega özelliklerinin belirlenmesinde birçok jeolojik faktörün etkili olduğu bilinmektedir. Farklı litolojik özelliklerdeki kayalar üzerinde yapılacak benzer çalışma ve değerlendirmelerle ancak genel olarak kullanılabilir eşitliklerin oluşturulması mümkün olabilecektir. Ayrıca çoklu regresyon analizleri ile ortaya konulacak ilişkilerden ziyade doğrudan ilişki tekil parametrelerin sorgulanması da zaman ve emek açısından fayda sağlayacaktır.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın oluşmasında gerekli örnekleri temin eden mermer işletmelerine ve ayrıca makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- Adomako, S., Engelsen, C.J., Thorstensen, R.T., Barbieri, D. M., 2021. Review of the relationship between aggregates geology and Los Angeles and micro-Deval tests, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80, 1963–1980.
- Ahmad, M., Ansari, M.K., Sharma, L.K., Singh, R., Singh, T.N., 2017. Correlation between Strength and Durability Indices of Rocks- Soft Computing Approach, Procedia Engineering, 191, pp. 458 – 466.
- Ajalloeian, R., Kamani, M., 2019. An investigation of the relationship between Los Angeles abrasion loss and rock texture for carbonate aggregates, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78:1555–1563.

- Al-Akhaly, A.İ., 2018. Engineering Properties of Basalt Coarse Aggregates in Hamdan Area, NW Sana'a, Yemen, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 159 – 174.
- Al-Akhaly, A.İ., Al-Sakkaf, A.A., 2020. Assessment of Engineering Properties of Al-Haweri Scoria, NW Sana'a, Yemen, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44, 117 – 131.
- Al-Harhi, A.A., 2001. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bull Eng Geol Environ* 60:193–200.
- American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO T 96, 2002. Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small-size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- AS 1141.23, 2009. AS Standards Australia, Methods for sampling and testing aggregates – Method 23: Los Angeles Value.
- ASTM C131, 2014. Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- Brennan, M.J., Crawley, K.I., Sheahan, J.N., Jordan, J., 2011. Ranking the Performance of Aggregates using CEN Test Results, *Road Materials and Pavement Design*, 4:4, 439-454.
- BSI, British Standards Institution BS 812-112, 1990. Testing aggregates Part 112: Methods for determination of aggregate impact value (AIV).
- Cuelho, E., Mokwa, R., Obert, K., Miller, A., 2007. Comparative Analysis of Coarse Surfacing Aggregate Using Micro-Deval, L.A. Abrasion and Sodium Sulfate Soundness Tests. Final report for the Montana Department of Transportation, FHWA/MT-06-016/8117-27.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B., Dinçer, İ., Alkaya, D., 2009. Core size and time effects on water absorption values of rock and cement mortar samples, *Bull Eng Geol Environ.*, 68:483–489.

- Esfahani MK, Kamani M, Ajalloeian R., 2019. An investigation of the general relationships between abrasion resistance of aggregates and rock aggregate properties. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 78 (6) :3959–3968.
- Ioannou, I., Petrou, M.F., Fournai, R., Andreou, A., Hadjigeorgiou, C., Tsikouros, B., Hatzipanagiotou, K., 2019. Crusher limestone as an aggregate in concrete production: the Cyprus case, *Geological Society, Special Publications*, Vol. 331, pp. 127 – 135, London.
- Jayawardena, A.S., 2008. A Study on The Relationship between Aggregate Impact Values (AIV) and Los Angeles Abrasion Values (LAAV) of Charnockites/Charnockitic Gneisses in Sri Lanka, *Engineer*, Vol. 03, pp. 37 – 41, Sri Lanka.
- JSA JIS A 1121, Japanese Standard Association, 2007. Method of test for resistance to abrasion of coarse aggregate by use of the Los Angeles Machine.
- Kahraman, S., Fener, M., 2007. Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength, *Materials Letters* 61, 4861–4865.
- Kılıç, A.M., Kahraman, E., 2017. Çukurova Bölgesi Kireçtaşlarının Los Angeles Aşınma Direnci ile Fiziko-Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), ss. 31-38.
- Kissakwa, L.R.S., Verhoef, P.N.W., 1991. Correlation study of aggregate strength tests, *Proceedings of the 2nd International Conference on Aggregates*, Erlangen, Germany.
- Mohajerani, A., Nguyen, R.T., Tanrıverdi, Y., Chandrawanka, K., 2017. A new practical method for determining the LA abrasion value for aggregates, *Soils and Foundations*, 57, pp. 840 – 848.
- SASO 279., 1982. Saudi Arabian Standards Organization, Methods of test for concrete aggregate – Part 5: Determination of coarse aggregate resistance to abrasion Los Angeles Machine.



- Stalheim, J., 2004. Comparative study of established test methods for aggregate strength and durability of Archean rocks from Botswana, Msc thesis, Uppsala University Department of Earth Science, 36 p. Botswana.
- Teymen, A., 2017. Estimation of Los Angeles abrasion resistance of igneous rocks from mechanical aggregate properties, Bull Eng Geol Environ., 78:837–846.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, 50 s, TSE Yayını, Ankara.
- TS EN 14157 (2004). Natural stones - Determination of abrasion resistance. European Standard, 19 p.
- TS EN 1926 (2006). Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength. European Committee for Standardization, 20 p.
- TS EN 1936 (2006). Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity. European Committee for Standardization, 11 p.
- Tuncay, E.B., Yağmurlu, F., Ceylan, H., 2015. Karaöz (Antalya-Türkiye) Civarındaki Dolomitik Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, s. 48 – 57.
- Tunç, E.T., Alyamaç, K.E., 2020. Farklı Test Parametreleri için Agregat Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 32(1), 1 – 10.
- Ugbe, F.C., 2020. Petrography and Physicomechanical Characteristics of Iyuku Granite, Southwestern Nigeria, Iraqi Journal of Science, Vol. 61, No. 11, pp. 2926 – 2935.
- Wu, Y., Parker, F., Kandhal, K., 1998. Aggregate Toughness/Abrasion Resistance Anddurability/Soundness Tests Related To Asphalt Concrete Performance In Pavements, NCAT Report No. 98-4, 26 p.