



## AGREGA DARBE DAYANIM İNDEKSİ İLE KAYA VE BETONUN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ KORELASYON İLİŞKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Kadir KARAMAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Agrega Darbe Dayanımı,  
Kaya ve Beton,  
Jeomekanik Özellikler.*

### Öz

Dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonun jeomekanik özellikleri (tek eksenli basınç dayanımı, UCS-C, nokta yükü dayanım indeksi, PLI-C ve ultrasonik P dalga hızı, UPV-C) mühendislik uygulamalarında ve tasarım aşamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Betonun ana bileşeni agregalar (% 70-80) olduğundan beton özellikleri büyük ölçüde agregalar tarafından kontrol edilmektedir. Agregaların önemli mekanik bozulma testlerinden biri olan Agregal Darbe Dayanım İndeksi (ADDI) parametresinin belirlenebilmesi için de agregalar kullanılmaktadır. Dolayısıyla ADDI parametresi ile betonun jeomekanik özellikleri (UCS-C, UPV-C, PLI-C) arasında bir ilişki olması muhtemeldir. Bu nedenle bu çalışmada ADDI ve betonun jeomekanik özellikleri arasında ilişki olup olmadığı korelasyon analizleri yapılarak araştırılmıştır. Ayrıca, karşılaştırma yapmak amacıyla agregaların elde edildiği kayaların jeomekanik özellikleri (tek eksenli basınç dayanımı (UCS-R), P dalga hızı (UPV-R), nokta yükü dayanım indeksi (PLI-R), görünür gözeneklilik (%n) ve birim hacim ağırlık) ve ADDI arasında korelasyon analizleri yapılmıştır. Sekiz farklı sağlam kayadan üretilen agregalar ADDI deneylerinde ve beton üretiminde kullanılmıştır. Betonun ortalama dayanım değerleri 4.5-26.4 MPa arasında ve kayaların dayanımı 12-183 MPa arasında değişmiştir. ADDI değerleri ise % 5.1'den %24.6'ya değişmiştir. Bu çalışmada ADDI ve kaya parametreleri arasında yüksek-çok yüksek, ADDI ve beton parametreleri arasında ise yüksek derecede istatistiksel açıdan anlamlı korelasyon ilişkileri bulunmuştur. Zayıf kaya (< 25 MPa) agregalarına ait beton örneklerinin çimento yerine agregaların kırılmasıyla yenilmeye uğraması ve betonun sadece agregalardan değil karışım parametrelerinden de etkilenmesi gibi nedenler korelasyon ilişkilerini kaya parametrelerine kıyasla nispeten düşürmüştür.

## INVESTIGATION OF THE CORRELATION RELATIONSHIPS BETWEEN AGGREGATE IMPACT STRENGTH INDEX AND GEOMECHANICAL PROPERTIES OF ROCK AND CONCRETE

### Keywords

*Aggregate Impact Strength,  
Rock and Concrete,  
Geomechanical Properties.*

### Abstract

The geomechanical properties (uniaxial compressive strength, UCS-C, point load strength index, PLI-C, and ultrasonic P-wave velocity, UPV-C) of concrete, one of the most widely used building materials in the world, are frequently used in engineering applications and design stages. Since the main concrete's constituent is aggregates (70-80%), properties of concrete are principally controlled by aggregates. The aggregate impact strength index (ADDI) is also attained from the test implemented using aggregates. Thus, there may be relations between the ADDI parameter and the concrete strength. Therefore, in the current study, whether there was a relationship between UCS-C and ADDI was researched by executing correlation analyses. Additionally, correlation analyses were performed between the uniaxial compressive strength (UCS-R) and ADDI of the rocks from which the aggregates were obtained. Aggregates produced from eight different intact rocks were utilized in concrete production. The mean concrete strength values changed between 4.5-26.4 MPa, and the rocks' strength varies between 12-183 MPa. ADDI values vary from 5.1% to 24.6%. In this study, high to very high correlations were found between ADDI and rock parameters and high statistically significant correlations were found between ADDI and concrete parameters. The concrete samples of weak rock (< 25 MPa) aggregates were subjected to failure by aggregate fracture instead of cement and the concrete was affected not only by aggregates but also by mix parameters, which relatively reduced the correlation relations compared to rock parameters.

### Alıntı / Cite

Karaman, K., (2025). Agregal Darbe Dayanım İndeksi ile Kaya ve Betonun Jeomekanik Özellikleri Arasındaki Korelasyon İlişkilerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(1), 28-36.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

K. Karaman, 0000-0002-3831-4465

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	22.05.2024
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	23.09.2024
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	22.11.2024
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	20.03.2025

\* İlgili yazar / Corresponding author: kadir.karaman@ktu.edu.tr, +90-377-42-64

# INVESTIGATION OF THE CORRELATION RELATIONSHIPS BETWEEN AGGREGATE IMPACT STRENGTH INDEX AND GEOMECHANICAL PROPERTIES OF ROCK AND CONCRETE

Kadir Karaman<sup>1†</sup>,

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

---

## Highlights

- This study focused on the relationships between the ADDI and the geomechanical properties of rock and concrete.
  - Higher coefficients were obtained between ADDI and rock parameters compared to concrete parameters.
  - Weak rock aggregates and mixing parameters of concrete affected the correlation relations of concrete samples.
- 

## Purpose and Scope

In this study, the correlation relationships between the representative ADDI parameter and the geomechanical properties of rocks (UCS-R, PLI-R, UPV-R, n-R and BHA-R) and concrete (UCS-C, PLI-C, UPV-C) were investigated.

## Design/methodology/approach

ADDI tests were carried out on aggregates prepared in certain sizes. Geomechanical properties of the rocks were determined in the laboratory. Aggregates were prepared from the same rock samples and then concrete samples were prepared. The relationship between ADDI and rock and concrete parameters was investigated.

## Findings

A high-very high correlation was found between ADDI and rock parameters, and a high degree of correlation was found between ADDI and concrete parameters, and the all correlations were statistically significant. Since concrete properties can be affected not only by aggregates but also by mixing parameters, although concrete samples were more homogeneous than rock samples, they did not enhance the correlation relationships. Additionally, in very weak rocks, the results may be affected as the failure of the concrete sample occur by breaking the weak aggregates instead of the cement.

## Originality

It is known that concrete samples are more homogeneous compared to those of rocks. Therefore, a higher correlation relationship was expected between ADDI and concrete parameters. However, higher correlation relationships between ADDI and rock parameters were found. Since the correlation relationships between ADDI and both rock and concrete parameters were investigated in this study, it was determined that the properties of both materials are better correlated with ADDI. The factors affecting the correlation in concrete samples are also discussed.

---

## 1. Giriş (Introduction)

Beton, günümüzde yaygın olarak kullanılan en önemli yapı malzemelerinden biridir (Karaman ve Bakhytzhan, 2020). Beton yapıların çeşitli çevresel etkilere karşı dayanıklı olmasının yanı sıra dayanımının (UCS-C) da yüksek olması istenmektedir. Betonda UCS-C anahtar parametrelerden biri olup her türlü mühendislik uygulaması için önem arz etmektedir. Test için standart numuneler gerektiğinden pratik uygulamalar ve ön değerlendirmelerde dolaylı testler son zamanlarda tercih edilmeye başlamıştır (Zacoeb ve Ishibashi, 2009; Selçuk ve Gökçe, 2015; Kılıç vd., 2019). Zacoeb ve Ishibashi (2009) UCS-C ve betonun nokta yükü dayanım indeksi (PLI-C) arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır. Selçuk ve Gökçe (2015) PLI-C/UCS-C ve UCS-C parametreleri arasında regresyon analizleri yapmışlardır. Kılıç vd. (2019) kayaçların fiziko-mekanik özelliklerini kullanarak betonun UCS-C parametresini tahmin etmişlerdir. Karaman ve Bakhytzhan (2020) agrega seçiminin ön tasarım aşamasında beton dayanımının (UCS-C) hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için pratik eşitlikler önermişlerdir. Teymen (2023) özellikle ön tasarım aşamasında betonun temel özelliklerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için pratik ve kullanışlı denklemler önermiştir.

Bazı durumda UCS ve PLI gibi dayanım testlerinin sonuçları mevcut olsa bile ADDI gibi bazı mekanik bozulma

---

<sup>†</sup> Corresponding author: kadiraraman@ktu.edu.tr, +90-377-42-64

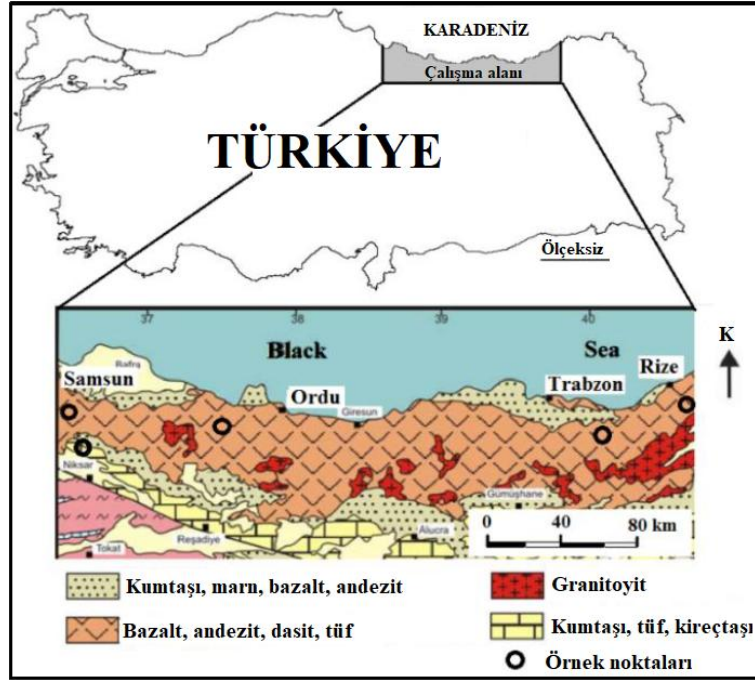
testlerine ihtiyaç vardır (Kamani ve Ajalloeian, 2019). ADDI, agregaların tekrarlanan darbe yükü ile ezilme etkisini çok iyi yansıtmaktadır. Literatürde ADDI ve UCS-C arasında ilişkiye yönelik az sayıda araştırma yapılmıştır. Sharifi ve Nikudel (2011) agreganın fiziko-mekanik özellikleri ile betonun UCS-C parametresi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yazarlar, ADDI ve UCS-C arasında negatif korelasyon elde etmiş olup ADDI değerleri arttıkça UCS-C değerleri düşmüştür. Collery vd. (2014) betonda geri dönüştürülmüş agregalar üzerinde yaptıkları çalışmada ADDI ve UCS-C arasında iyi derecede ( $R^2 = 0.76-0.79$ ) ilişki elde etmişlerdir. Selçuk ve Gökçe (2015) literatürde UCS-C ve diğer parametreler arasında güçlü ilişkiler elde edilmesine rağmen, agrega türü ve beton karışım özelliklerindeki bilinmeyenleri açığa çıkarmak için, daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır. Literatürde ADDI ve kaya dayanımı (UCS-R) arasındaki ilişkiye yönelik çalışma az sayıda mevcuttur. Kamani ve Ajalloeian (2019) ADDI değerleri % 14.6 ve % 42.6 arasında değişen karbonat kayaçalarda, UCS-R ve ADDI arasında orta derecede ilişki bulmuşlardır. Literatürde ayrıca pomza gibi hafif beton üretiminde kullanılan agregaların ADDI parametreleri belirlenmiştir. İdi vd. (2020) iri agreganın kısmi ikamesi olarak pomza agregası kullanılan betonun dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar ADDI değerlerini iri agrega için %16.11 ve pomza için %28.63 olarak bulmuşlardır. Özgüler vd. (2023) kaplanmış pomza agregalarının, kaplanmamış pomza agregalarına göre agrega darbe dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca kaplanmış pomza agregalarının su emme oranlarında azalmaların meydana geldiğini ve mekanik özelliklerinde ise kaplanmamış pomzalara göre iyileşmelerin olduğunu ifade etmişlerdir.

Betonun ana bileşeni (%70-80) agregalar olduğu için beton özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır (Kılıç vd., 2019). Neville (2011) tüm agrega parçacıklarının başlangıçta daha büyük bir kütlede bir parçasını oluşturduğunu ve bu nedenle agreganın kimyasal ve mineral bileşimi, petrolojik özellikleri, sertliği, dayanımı, özgül ağırlığı, gözenek yapısı ve rengi gibi birçok özelliğinin tamamen ana kayanın özelliklerine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Parçacık şekli ve boyutu, yüzey dokusu ve emilim gibi agreganın sahip olduğu ancak ana kayada bulunmayan diğer özellikler de beton ürününün kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. ADDI deneylerinde agregalar kullanılması söz konusu özellikleri temsil etme açısından önemlidir. Bu çalışmada geniş temsil özelliğine sahip ADDI parametresi ve kayaçların jeomekanik özellikleri (UCS-R, PLI-R, UPV-R, görünür gözeneklilik (n-R) ve birim hacim ağırlık (BHA)) arasında korelasyon ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca, aynı kayaçlardan elde edilen agregalar kullanılarak beton örnekleri oluşturulmuş ve ADDI ve beton parametreleri (UCS-C, PLI-C, UPV-C) arasında korelasyon analizleri yapılmış ve istatistiksel olarak veri çiftleri arasındaki ilişkinin anlamlılığı test edilmiştir. Bu çalışmada, hem kaya özelliklerini doğrudan yansıtan hem de büyük oranda betonun özelliklerini etkileyen agrega örneklerinin kullanıldığı ADDI deneyinin seçilmesi önem taşımaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

### 2.1. Kayaçların Örneklenmesi ve Deneysel Çalışmalar (Rock Sampling and Experimental Studies)

Bu çalışmada kullanılan kayaçlar Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nden temin edilmiştir (Şekil 1). Bazalt, diyabaz-1, diyabaz-2, granodiyorit, andezit, kireçtaşı, lapilli tüf ve kil taşından oluşan toplam sekiz farklı kaya bloğu laboratuvara getirilerek deneyler yapılmıştır. UCS-R, PLI-R, UPV-R, BHA-R ve n-R testleri ISRM tarafından önerilen yöntem (ISRM 2007) kapsamında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 1.** Çalışma sahasının temel jeolojik özellikleri (Okay ve Şahintürk (1997)'den değiştirilmiştir) (Basic geological features of the study area (modified from Okay and Şahintürk (1997))

Birim hacim ağırlık ve görünür gözeneklilik testleri silindirik örneklerden gerçekleştirilmiştir. Test için dijital PLI test cihazı kullanılmıştır. Eksenel nokta yükü test yöntemi NX boyutlu karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karot numunelerini hazırlamak için laboratuvar karot delme ve kesme makineleri kullanılmıştır. Her kaya örneğinden 54.7 mm çapında en az 10 karot (UCS-R/UPV-R için beş ve BHA için beş) elde edilmiştir. UPV-R ve UCS-R testleri için uzunluk/çap oranı 2.5 olan karot örnekleri kullanılmıştır. UCS-R testleri için 200 ton kapasiteli servo-kontrol sistemine sahip pres makinesi kullanılmıştır. Gerilme hızı 0.5-1.0 MPa/s sınırları içinde seçilmiştir. Her bir karot numunesinin UCS-R testini yapmadan önce, bu numuneler için Taşınabilir Ultrasonik Tahribatsız Dijital Gösterge Test Cihazı (PUNDIT) kullanılarak doğrudan iletim ile UPV-R testleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden önce numunelerin uç yüzeyleri, iyi bir bağlantı için yeterince pürüzsüz ve düz bir düzlem oluşturacak şekilde parlatılmıştır. Verici ve alıcının yüzeyine ince bir vazelin tabakası uygulanmıştır.

## 2.2. Agrega darbe dayanım deneyi (Aggregate Impact Strength Test)

Agrega darbe dayanımı için blok örneklerden çeneli kırıcı yardımıyla örnekler hazırlanmıştır. Deneyler için, 12.5 mm elekten geçen ve 10 mm elek üzerinde kalan agregalar kullanılmıştır. Her kaya türü için 500 gram hazırlanan agrega örnekleri BSI (1990) standardında önerildiği gibi öncelikle etüvde 105 °C'de 4 saat bekletilmiş ve desikatörde soğutulduktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Örnekler deney cihazı haznesine yerleştirildikten sonra cihazın 14 kg ağırlığındaki çelik gövdeli çekiç kısmı 15 kez hazne üzerine 15 inçlik (38.1 cm) bir mesafeden bırakılmıştır (Şekil 2a). 15 vuruştan sonra hazne içindeki numune alınarak 2.36 mm'lik elekten geçirilmiştir. ADDI (%) değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (BSI, 1990).

$$ADDI = \frac{B}{A} \times 100 \quad (1)$$

A: Başlangıçta tartılan malzeme miktarı (gr) (-12.5 +10 mm)

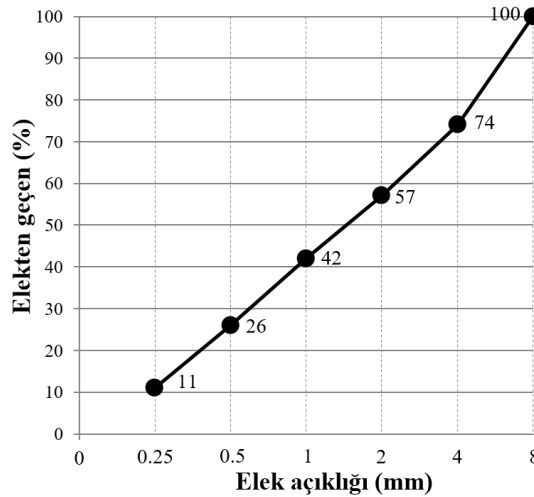
B: 2.36 mm elekten geçen malzeme miktarı (gr) (-2.36 mm)



Şekil 2. Deneysel çalışmalar, ADDI deneyi (a), UCS örnekleri ve deneyi (b), PLI deneyleri (c) (Experimental studies, ADDI experiment (a), UCS samples and experiment (b), PLI experiments (c))

### 2.3. Beton Karışım Tasarımı (Concrete Mixture Design)

Farklı beton dayanımlarını göstermek için çok düşükten çok yükseğe kadar farklı dayanımlara sahip kayalar seçilmiştir. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için kaya karot numuneleri ile aynı boyutta çimentolu beton üretilmiştir. Bu çalışmada Portland çimento (OPC, CEM-I 42.5-R) kullanılmıştır. Agregası türü olarak kırma taş agregası kullanılmıştır. İstenilen boyutta agregası elde etmek için laboratuvar kırıcıları (çeneli kırıcı vb.) kullanıldığından, kusurlu tanelerin oldukça az olduğu agregası parçacıkları çoğunlukla kübik ve köşeli şekillerde değerlendirilmiştir. Her elek boyutu (0.25, 0.50, 1, 2, 4 ve 8 mm) için agregası miktarları aynı tutulmuş ve tüm beton karışımlarında çimento miktarları sabit tutulmuştur. TS-706 (2003), agregaların özel kullanımı için tanımlanan uygun eleklerin kullanılabileceğini önermektedir. Numune hazırlama için TS-706 (2003)'e göre maksimum 8 mm boyutunda iyi derecelenmiş agregalar elde edilmiştir. Agregası-çimento hamuru ara yüzeyi maksimum tane boyutunun artmasıyla genişler ve mikro çatlaklara neden olur (TS-3530 2007). Petrografik incelemelere göre, farklı şekil ve boyutta kaya parçalarına sahip lapilli tüf hariç, incelenen kayalardaki ortalama mineral tanelerinin tümü de 8 mm'den küçüktür. Bu nedenle, homojen çimentolu malzeme sağlamak için nispeten küçük tane boyutları kullanılmıştır (Şekil 3). Agregasının hacimce %74'ü ince agregası, %26'sı iri agregası olarak belirlenmiştir. Çalışmada hassas bir şekilde elek açıklıklarına karşılık gelen oranlara dikkat edilmiştir. Agregası türünün dayanım üzerindeki etkisini görmek için beton dayanımını etkileyen diğer faktörler tüm beton karışımları için aynı tutulmuştur (çimento, su/çimento oranı, iri/ince agregası oranı, vb.). Tüm numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve test tarihine kadar yaklaşık 20°C sıcaklıktaki bir su havuzunda sürekli olarak kürlenmiştir.



Şekil 3. Beton karışımlarında kullanılan agregasının granülometri eğrisi (Granulometry curve of aggregate used in concrete mixtures)

Bu çalışmada, UPV-C ve UCS-C testleri için her bir beton karışımı için temsili numuneler (UCS-C için üç ve PLI-C için sekiz (50 x 30 mm)), 50 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda delikli bir tabana sahip plastik silindirik döküm içine dökülmüştür. Betonun karıştırılması, gözenekliliği yüksek olanlar hariç her bir numune için 0.55 su çimento oranında olacak şekilde yapılmıştır. Karışımların hazırlanmasında içme suyu kullanılmıştır. Taze betonun çökme değerleri (slump) agregası özelliklerine bağlı olarak tüm karışımlar için 16 ila 20 cm arasında değişmiştir. Beton numunelerinin UPV-C testleri kaya numuneleri ile aynı deneysel koşullarda gerçekleştirilmiştir. UPV-C testlerinden sonra, UCS-C testleri aynı numuneler üzerinde ASTM (2002)' ye göre 30 ton kapasiteli bilgisayar

kontrollü mekanik bir pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Silindirik numuneler 7 günlük kür sürelerinde UPV-C ve UCS-C testlerine tabi tutulmuştur. Silindirik kalıplar kullanılarak PLI-C testi için özel döküm numune hazırlanmıştır. Kaya numunelerinde olduğu gibi eksenel test yöntemi tercih edilmiştir.

## 2.4. İstatistiksel Değerlendirmeler (Statistical Assessments)

Korelasyon analizi, bir değişken ile iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi görmek ve söz konusu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Alemdağ ve Gürocak, 2011; Dağ, 2018). Bu çalışmada, ADDI ile UCS-R ve UCS-C parametreleri arasında korelasyon analizleri IBM SPSS statistics 23 paket programı ile yapılarak ilişkilerin % 95 güven aralığında anlamlılıkları araştırılmıştır. Ayrıca verilere hem t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson'un kritik r değerleri ile karşılaştırılmıştır. t testi ile korelasyon katsayısının anlamlılığı 0.95 anlamlılık düzeyinde ve n-2 serbestlik derecesinde (2) nolu eşitlik kullanılarak test edilmiştir.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

Burada; r = korelasyon katsayısı ve n = örnek sayısıdır.

## 3. Bulgular ve Tartışma (Results and Discussion)

### 3.1. Verilerin Değerlendirilmesi (Evaluation of the Data)

Neville (2011) çimento kalitesi aynı olduğunda farklı agrega türleri kullanılarak betonun çeşitli dayanım özelliklerinin elde edilebildiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada farklı kökenden kayalara ait agregalar kullanıldığından hem kayaç hem de beton örneklerinin jeomekanik özelliklerinde oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 1). AIV değerleri % 5.1-24.6 arasında, UCS-R değerleri 12-183 MPa arasında, PLI-R değerleri 1.3-13.7 MPa arasında, UPV-R değerleri 2810-6226 m/s arasında, BHA-R değerleri 17.0-27.8 kN/m<sup>3</sup> arasında, n-R değerleri % 0.74-27.2 arasında, UCS-C değerleri 4.5-26.5 MPa arasında, PLI-C değerleri 0.58-1.77 MPa arasında ve UPV-C değerleri 2572-4135 m/s arasında değişmiştir.

**Tablo 1.** Kaya ve betona ait deney sonuçları (Experimental results of rock and concrete)

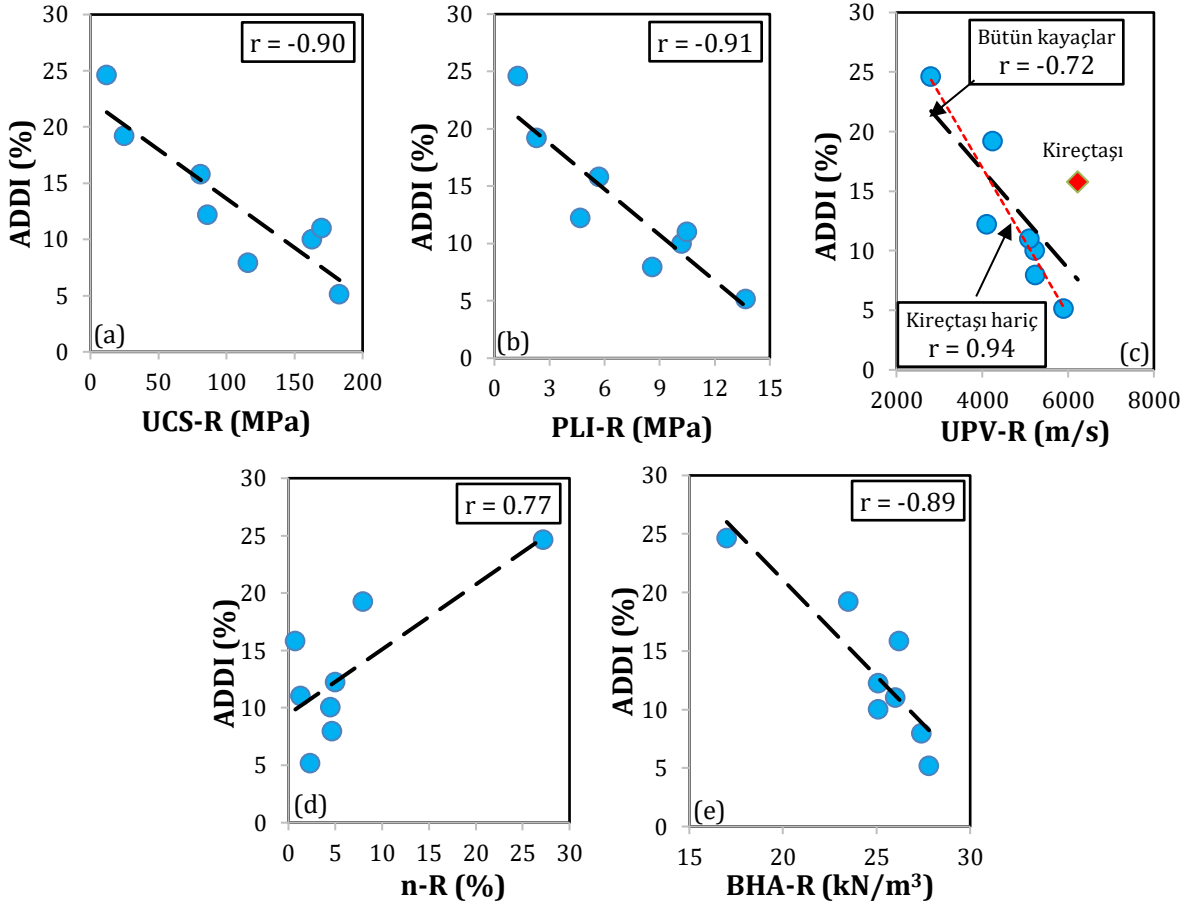
Kaya türü	AIV (%)	UCS-R (MPa)	PLI-R (MPa)	UPV-R (m/s)	BHA-R (kN/m <sup>3</sup> )	n-R (%)	UCS-C (MPa)	PLI-C (MPa)	UPV-C (m/s)
Bazalt	10.0	163	10.2	5231	25.1	4.48	26.4	1.77	3818
Andezit	12.2	86	4.7	4115	25.1	5.01	18.7	1.56	3722
Diyabaz-1	7.9	116	8.6	5247	27.4	4.64	22.3	1.60	3743
Diyabaz-2	5.1	183	13.7	5899	27.8	2.33	26.5	1.68	4015
Granodiyorit	11.0	170	10.5	5104	26	1.29	24.2	1.74	3988
Kireçtaşı	15.8	81	5.7	6226	26.2	0.74	25.6	1.63	4135
Kil taşı	19.2	25	2.3	4253	23.5	7.96	17.8	1.39	3435
Lapilli tüf	24.6	12	1.3	2810	17.0	27.2	4.5	0.58	2572

AIV: Kayaların agrega darbe dayanım indeksi, UCS-R: Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı, PLI-R: Kayaçların nokta yükü dayanım indeksi, UPV-R: Kayaçların ultrasonik P dalga hızı, BHA-R: Kayaçların birim hacim ağırlığı, n-R: Kayaçların görünür gözenekliliği, UCS-C: Betonun tek eksenli basınç dayanımı, PLI-C: Betonun nokta yükü dayanım indeksi, UPV-C: Betonun ultrasonik P dalga hızı

### 3.2. ADDI ve kayaçların jeomekanik özellikleri arasındaki korelasyon analizleri (Correlation analyses between ADDI and geomechanical properties of rocks)

ADDI parametresi ile kayaçların bazı önemli jeomekanik özellikleri (UCS-R, PLI-R, UPV-R, n-R, BHA-R) arasında ilişki grafikleri çizilmiştir (Şekil 4a-e). ADDI ile kayaç parametreleri arasında genellikle yüksek-çok yüksek derecede ilişki ( $r = 0.72-0.91$ ) gözlenmiştir. Kayaçların dayanım özellikleri (UCS-R, PLI-R) ile ADDI arasında daha güçlü ilişki elde edilmiştir. Bunun nedeni, her ne kadar agrega üzerinde uygulanmasına karşın ADDI deneyinde de bir anlamda kayaçların direnci test edilmektedir. ADDI ve UPV-R arasındaki korelasyon analizi tüm kayaçlar için ve aykırı değer veren kireçtaşı örneğinin hariç tutularak iki şekilde gerçekleştirilmiştir. UPV değerleri kayaç örneğinin gözenekliliği gibi içsel özelliklerinden doğrudan etkilenebilmektedir (Karaman ve Kesimal, 2015). Kireçtaşı çok düşük görünür gözenekliliğe (% 0.74) sahip olduğundan yüksek UPV-R değerlerinin elde edildiği düşünülmüştür. Bu nedenle, korelasyon katsayısı bütün kayaçlar dikkate alındığında  $r = 0.72$  iken, kireçtaşına ait

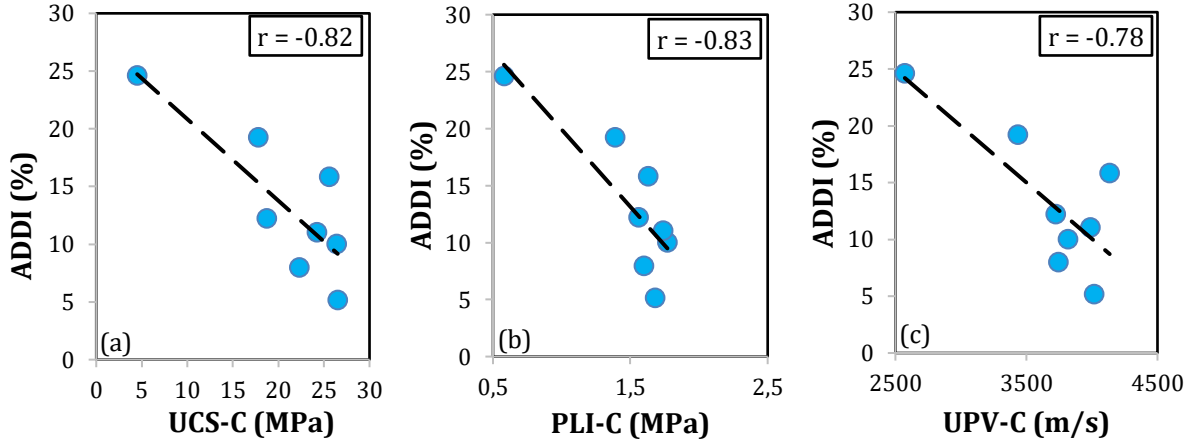
UPV-R değeri çıkartıldığında ise çok daha yüksek ( $r=0.94$ ) olarak bulunmuştur. ADDI ve n-R arasında diğer korelasyon ilişkilerine kıyasla daha düşük korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Kılıç ve Teymen (2008) kayalardaki düşük görünür gözenekliliğin (<%2) parametreler arasındaki ilişkileri etkileyebileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada  $n<%2$  olan iki veri çıkartıldığında diğer veriler arasındaki korelasyon ilişkilerinin çok yüksek olabileceği grafikten anlaşılmaktadır (Şekil 4d).



Şekil 4. ADDI ile UCS-R (a), PLI-R (b), UPV-R (c), n-R (d) ve BHA-R (e) arasındaki ilişki grafikleri (Relationship graphs between ADDI and UCS-R (a), PLI-R (b), UPV-R (c), n-R (d) and BHA-R (e))

### 3.3. ADDI ve beton örneklerinin jeomekanik özellikleri arasındaki korelasyon analizleri (Correlation analysis between ADDI and geomechanical properties of concrete samples)

Beton numunelerinin testi kaya numunelerinin testine çok benzemektedir. Beton numuneler, tek eksenli ve üç eksenli sıkıştırma testleri yapıldığında kömür ve kaya ile aynı yenilme modlarını sergilemektedir (Wang vd., 2019). Beton numune homojenliği çoğunlukla kaya numunelerinden daha iyidir. Ölçümün tekrarlanabilirliğini etkilediği için deneysel çalışmalarda homojenlik önemlidir (Kuhinek vd., 2011). Kaya örneklerine benzer ilişki grafikleri ADDI ve beton parametreleri (UCS-C, PLI-C ve UPV-C) arasında oluşturulmuştur (Şekil 5a-c). ADDI ve betona ait parametreler arasında yüksek derecede ( $r= 0.78-0.83$ ) ilişki gözlenmiştir. Korelasyon analizlerine göre; beton parametrelerine kıyasla ADDI ile kaya parametreleri arasında genel olarak daha yüksek katsayılar elde edilmiştir. Kaya örneklerinde yenilme, kayayı oluşturan mineral tanelerinin kırılması ve mikro çatlakların artarak zayıflık zonunu oluşturmasıyla söz konusu olabilmektedir. Öte yandan betondaki yenilme mekanizması daha farklıdır. Zayıf kayaların agregaları ile oluşturulan betonda yenilme agreganın kırılması sonucu olabilirken dayanımı yüksek kayaların agregalarından oluşturulan betondaki yenilme çimento içinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, beton dayanımı ile ADDI arasında kayaya göre nispeten daha düşük korelasyon katsayısının elde edilmesi muhtemeldir. Ayrıca, agregalar ana kayaların özelliklerini doğrudan yansıtırken, beton içinde büyük oranda yer almalarına karşın karışım özelliklerinin de beton parametreleri üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir.



Şekil 5. ADDI ile UCS-C (a), PLI-C (b) ve UPV-C arasındaki ilişki grafikleri (Relationship graphs between ADDI and UCS-C (a), PLI-C (b) and UPV-C)

### 3.4. ADDI ile kaya ve beton parametreleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi (Evaluation of the relationships between ADDI and rock and concrete parameters)

Şekil 4a-e ve Şekil 5a-c'deki grafiklerden elde edilen korelasyon katsayıları Pearson'ın kritik r değerlerinden yüksek çıktığı için ilişkiler anlamlı bulunmuştur. SPSS korelasyon analizine göre de bütün analizlerin anlamlılık seviyesi değerleri % 95 güven aralığında 0.05 değerinden daha düşük (0.002-0.046) olduğu için anlamlı çıkmıştır. Ayrıca t testine göre  $t_{\text{hesap}}$  değerleri  $t_{\text{tablo}}$  değerlerinden büyük olduğu için ilişkiler anlamlıdır (Tablo 2). UPV değerleri gözeneklilik gibi malzemenin içsel özelliklerinin küçük değişimlerinden doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca, kaya mekaniği parametrelerinin korelasyonlarında olduğu gibi beton parametreleri ile ADDI parametresi arasındaki ilişki analizlerinde de sınırlamalar mevcuttur. Agregalar betonun büyük çoğunluğunu oluşturmasına karşın betonun jeomekanik özelliklerini etkileyen çimento türü, kür süresi, katkı maddesi, agrega boyutları gibi çok sayıda etmen bulunmaktadır. Bu nedenle bütün kayalar için ADDI ve kaya ve beton örneklerinin UPV değerleri arasındaki analizler üç yöntemle de (Pearson'ın kritik r değeri, anlamlılık seviyesi ve t testi) % 95 güven aralığı sınırına yakın değerler sunmuştur. En iyi sonuçlar ise ADDI ile kaya ve betonun dayanım özellikleri (UCS, PLI) arasında elde edilmiştir.

Tablo 2. Korelasyon analiz sonuçları (Results of correlation analysis)

Korelasyon ilişkisi	Örnek sayısı	Anlamlılık seviyesi	Korelasyon katsayısı, r	Pearson kritik r	$t_{\text{hesap}}$	$t_{\text{tablo}}$
ADDI ve UCS-R	8	0.002	-0.90	0.707	5.06	2.36
ADDI ve PLI-R	8	0.002	-0.91	0.707	5.37	2.36
ADDI ve UPV-R	8	0.046	-0.72	0.707	2.54	2.36
ADDI ve UPV-R	7	0.002	-0.94	0.754	6.16	2.45
ADDI ve n-R	8	0.027	0.77	0.707	2.96	2.36
ADDI ve BHA-R	8	0.003	-0.89	0.707	4.78	2.36
ADDI ve UCS-C	8	0.012	-0.82	0.707	3.52	2.36
ADDI ve PLI-C	8	0.011	-0.83	0.707	3.62	2.36
ADDI ve UPV-C	8	0.024	-0.78	0.707	3.03	2.36

Literatür tarandığında ADDI ile jeomekanik parametreler arasındaki ilişkiyi araştıran az sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir (Sharifi ve Nikudel, 2011; Afolagboye vd., 2017; Kamani ve Ajalloeian, 2019; Kuna ve Böğöly, 2024). Söz konusu çalışmalarda genellikle ADDI ve kaya parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada ise ADDI ile önce kayaların jeomekanik özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Daha sonra ise aynı kayaların agregalarından oluşturulan beton örneklerinin önemli parametreleri ile ADDI arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Sonuç olarak ADDI parametresi hem kaya hem de beton parametreleri ile istatistiksel açıdan anlamlı bir korelasyon sunmaktadır.



#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada ADDI ile beton ve kaya parametreleri arasındaki ilişkileri daha iyi görebilmek adına dayanım özellikleri 12–183 MPa arasında değişen kayaç örnekleri kullanılmıştır. ADDI ve kaya parametreleri arasında yüksek-çok yüksek, ADDI ve beton parametreleri arasında ise yüksek derecede korelasyon ilişkisi bulunmuş olup, korelasyonlar istatistiksel açıdan anlamlı çıkmıştır. Beton özellikleri sadece agregalardan değil karışım parametrelerinden de etkilenebildiği için beton örnekleri kaya örneklerinden daha homojen olsa da korelasyon ilişkilerini artırmamıştır. Ayrıca, çok zayıf kayaçalarda (< 25 MPa gibi) beton örneğinin yenilmesi çimento yerine zayıf agregaların kırılmasıyla oluşacağından sonuçlar etkilenebilmektedir. ADDI parametresinin beton parametreleri ile korelasyonu, farklı kür süresine (14, 28 ve 90 gün), su çimento oranına (0.45, 0.50 gibi) ve farklı agrega türlerine ait örneklerin kullanılarak araştırılması önerilmektedir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

#### Kaynaklar (References)

- Afolagboye, L.O., Talabi, A.O., Oyelami CA., 2017. The use of index tests to determine the mechanical properties of crushed aggregates from Precambrian basement complex rocks, Ado-Ekiti, SW Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 129,659-67.
- Alemdağ, S., Gürocak, Z., 2011. Üst Kretase yaşlı bazaltlarda (Trabzon/Türkiye) birleşik ayrışma indeksi (UAI) ile fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkiler. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (1), 1-10.
- ASTM., 2002. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S.A.
- BSI., 1990. Testing aggregates: methods for determination of aggregate impact value. Part 112, Code no. BS812, British Standards Institution, London, U.K.
- Collery, D., Paine, K., Dhir, R., 2015. Establishing rational use of recycled aggregates in concrete: A performance-related approach. *Magazine of Concrete Research*, 67, 559-574.
- Dağ, S., 2018. Determining the degree of saturation of rocks as a function of time a case study from mountainous area of turkey. *Journal of Mountain Science*, 15(10), 2307-2319.
- Idi, M.A., Abdulzееz, A.S., Usman, S.A., Justin, T., 2020. Strength properties of concrete using pumice aggregate as partial replacement of coarse aggregate. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 04(11), 519-525.
- ISRM., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006, in *Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods*, International Society for Rock Mechanics, ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628.
- Kamani, M., Ajalloeian, R., 2019. Evaluation of the mechanical degradation of carbonate aggregate by rock strength tests. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11 (1), 121-134.
- Karaman, K., Kesimal, A., 2015. Evaluation of the influence of porosity on the engineering properties of volcanic rocks from the Eastern Black Sea Region: NE Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(1), 557-564.
- Karaman, K., Bakhytzhаn, A., 2020. Prediction of concrete strength from rock properties at the preliminary design stage. *Geomechanics and Engineering*, 23, 115-125.
- Kılıç, A., Teymen, A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 237-244.
- Kılıç, A., Teymen, A., Özdemir, O., Atış, C.D., 2019. Estimation of compressive strength of concrete using physicochemical properties of aggregate rock. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43(1), 171-178.
- Kuhinek, D., Zorić, I., Hrženjak, P., 2011. Measurement uncertainty in testing of uniaxial compressive strength and deformability of rock samples. *Measurement Science Review*, 11(4), 112-117.
- Kuna, E., Böğöly, G., 2024. Overview of the empirical relations between different aggregate degradation values and rock strength parameters. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 68(2), 375-391, 2024.
- Neville, A.M., 2011. *Properties of aggregate, prop concrete*. 5th Edition, Pearson Education, New York, 108-182.
- Okay, A.I., Şahintürk, O., 1997. *Geology of the Eastern Pontides*. AAPG memoirs 68: regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. American Association of Petroleum Geologists, pp. 291-311, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Özgüler, A.T., Göncüoğlu, T., Emiroğlu, M., 2023. Çimento hamuruyla kaplanmış pomza agregalarının su emme ve darbe dayanımı performanslarının incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(1), 157-164.
- Selçuk, L., Gökçe, H.S., 2015. Estimation of the compressive strength of concrete under point load and its approach to strength criterions. *The KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(6), 1767-1774.
- Sharifi, J., Nikudel, M.R., 2011. *The Study of Relationships between Aggregates Properties and Concrete Strength*. First Middle East Conference on Smart Monitoring, Assessment of Rehabilitation of Civil Structures 8 – 10 February, Dubai, UAE.
- Teymen, A., 2023. Statistical investigation of the effects of different origin aggregate properties on the mechanical properties of concrete. *Revista de la construcción*, 22 (2), 482-508.
- TS 706., 2003. *Beton Agregaları*, TSE, Ankara.
- TS 3530., 2007. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Wang, C., Yang, S., Li, X., Jiang, C., Li, M., 2019. Study on the failure characteristics of concrete specimen under confining pressure. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 4119-4129.
- Zacoeb, A., Ishibashi, K., 2009. Point load test application for estimating compressive strength of concrete structures from small core. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(7), 46-57.