



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Taşlarının Beton Üretiminde Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

 Ercüment KOÇ<sup>a</sup>,  Tekin YILMAZ<sup>b,\*</sup>,  Ali Osman YILMAZ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Gümüşhane MYO, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yilmaz@gumushane.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1206778

### ÖZ

Agrega, inşaat endüstrisinin en önemli yapı malzemelerinden birisi olan beton içerisinde oldukça yüksek miktarda (%65-80) bulunur. Bu bağlamda, bu çalışma, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin farklı lokasyonlarından getirilen doğal taşların (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması üzerine kurgulanmıştır. Bu amaçla, farklı numune şekillerinde (silindirik karot, küp ve kırılmış agrega) hazırlanan doğal taş numuneleri üzerinde bazı fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirilmiş ve testlerden elde edilen bulgular TS 706 EN 12620+A1 (2009) tarafından belirlenen agrega standartları açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, fiziksel ve mekanik özellikler açısından en yüksek performansı sağlayan bazalt kayacının beton agregası olarak kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğu Karadeniz bölgesi, Doğal taş, Agrega, Beton

## Investigation of the Usability of Eastern Black Sea Region Natural Stones as Aggregate in Concrete Production

### ABSTRACT

Aggregate is found in a very high amount (65-80%) in concrete, which is one of the most substantial building materials of the construction sector. In this sense, this research was designed on the investigation of the usability of natural stones (andesite, basalt, mudstone and travertine) brought from different locations of the Eastern Black Sea Region as aggregates in concrete production. Within this scope, some physical and mechanical tests were implemented on the natural stone samples prepared at different sample shapes (cylindrical core, cube and crushed aggregate), and the findings obtained from tests were evaluated in terms of aggregate standards determined by TS 706 EN 12620+A1 (2009). The findings showed that basalt rock, which provides the most favorable physical and mechanical performance, is suitable for usage as concrete aggregate.

**Keywords:** Eastern Black Sea region, Natural stones, Aggregate, Concrete

# I. GİRİŞ

Çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin (priz hızlandırıcı, akışkanlaştırıcı vb.) belirli oranlarda karıştırılmasıyla üretilen beton, i) onu oluşturan malzemelerin doğada fazlaca bulunması ve/veya kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilmesi, ii) gelişmiş bir teknolojiye ihtiyaç duyulmadan kolayca üretilebilmesi, iii) işlenerek istenilen şeklin kolayca verilebilmesi, iv) priz aldıktan sonra dayanımının yüksek olması ve v) çelik ve ahşap malzemelere kıyasla hem daha ekonomik hem de dış etkilere karşı daha dirençli olması gibi avantajlarından dolayı günümüzde inşaat endüstrisinin olmazsa olmaz malzemelerinden birisidir [1], [2]. Ülkemiz nüfusunun artmasına paralel olarak şehirleşme ve dolayısıyla yapılaşma hızının giderek artması yapıların kapasitesinde bir artışa sebep olmakta ve böylece deprem, sel, vb. doğal afetlere karşı yapıların güvenliği açısından betonun kalitesi kritik önem taşımaktadır [3], [4]. İnşa edilen yapıların dayanım ve durabilite açısından üst seviyede performans sergilemesi, üretilen betonun fiziksel, kimyasal, mineralojik özelliklerine ve bunların etkileyeceği en önemli özellik olan mekanik özelliklerine bağlıdır [2].

Üretilen betonun performans özellikleri (mukavemet, durabilite, işlenebilirlik, vb.) üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olan malzeme ise beton hacminin yaklaşık olarak %65-80'ini kapsayan agregadır [5]. Agregada, organik yapıda olmayan ve genellikle -100 mm boyutlu kırılmış ve/veya kırılmamış doğal veya yapay tanelerin (kum, çakıl ve kırmataş karışımı) oluşturduğu malzeme yığınıdır [3], [6], [7]. Agregada malzemeleri direkt taneli olarak deniz kıyıları, alüvyon deltaları, akarsu yatakları gibi yerlerden ya da büyük boyutlu kaya kütleleri için delme-patlatma işlemi ve ardından kırma-eleme-boyutlandırma işlemleri (yani taşocağı işletmeciliği yöntemi) kullanılarak elde edilebilir [3], [8]. Beton hacminin büyük bir kısmını oluşturan agreganın kullanım amacı sadece daha ekonomik bir beton üretmek değil, aynı zamanda teknik anlamda kaliteli bir beton üretimine katkı sağlamaktır. Şöyle ki; çimentoya kıyasla daha ucuz olan ve daha kolay temin edilebilen agrega, atmosferik koşullara, farklı kimyasal etkilere ve aşınma problemlerine karşı daha dayanıklıdır ve ayrıca çimentonun priz alma sürecinde oluşması muhtemel olumsuz hacimsel değişiklikler (şişme-rötre vb.) agregada oluşmaz [1]. Mekanik yönden kaliteli bir beton üretimi konusunda agreganın fiziksel (sertlik, dayanıklılık, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, gözeneklilik, boşluk oranı, tane şekli, en büyük tane boyutu, nem durumu, vb.), kimyasal ve mineralojik özellikleri ve petrografik yapısı oldukça etkili parametrelerdir [7], [9].

Beton karışımları içerisinde doğal agrega olarak çoğunlukla kum, çakıl ve kırmataştan yararlanılırken, yüksek fırın cürufu, perlit, pişmiş kil ve uçucu kül gibi yapay agregaların kullanımı epey yaygınlaşmıştır [5], [10]. Bununla birlikte, günümüze kadar granit [5], bazalt [9], genleşmiş kil [11], atık beton [12], pomza [13], mermer [5], [14], kireçtaşı [3], [15]-[17] ve daha birçok farklı malzemenin beton agregası olarak kullanılabilirliğine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen bulguların TS 706 EN 12620+A1 [18] standardına göre değerlendirilmesi sonucunda incelenen agrega malzemelerinin betonda kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Manisa bölgesinden alınan kayaçların sınıflandırılması ve beton agregası olabilirliğini araştıran Solak [2], agrega sınıfının dolomitik kireçtaşı olduğunu ve yıkanmış agrega içeren betonun dayanımının yıkanmamış agregalı betona kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Diğer bir araştırma çalışmasında, kendiliğinden yerleşen betonda andezit, granit ve mermer malzemelerinin agrega olarak kullanım potansiyelleri incelenmiş ve bulgular; beton performansının söz konusu agregaların kullanım oranı ve bağlayıcı miktarına göre değiştiğini, taze beton özelliklerini olumsuz etkilediğini, buna rağmen, agregaların düşük oranlarda (%25 gibi) kullanımının dayanımı olumlu etkilediğini göstermiştir [5].

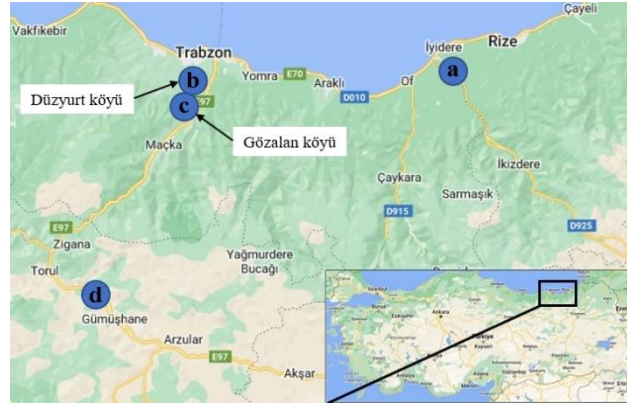
Farklı jeolojik oluşumlar bakımından oldukça zengin konumda bulunan ülkemiz agrega konusunda hammadde ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilmektedir. Bu bağlamda, inşaat sektöründe, hızlı şehirleşmenin (yapılaşmanın) yol açtığı daha fazla agrega ihtiyacı hem hammaddenin yakın çevrelerde rahatlıkla bulunabilmesi hem de maliyetleri en düşük seviyede tutma gayretleri sebebiyle çoğunlukla bölgedeki (yöredeki) kaynaklardan karşılanmaktadır [5]. Bu anlamda, bu çalışma, Doğu Karadeniz Bölgesi sınırlarında yer alan farklı bölgelerden temin edilen doğal taşların (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) fiziksel ve mekanik testlerinin gerçekleştirilerek TS 706 EN 12620+A1 [18] tarafından

önerilen kriterler uyarınca beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğinin incelenmesini içermektedir.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **A. MALZEMELER**

Bu çalışmada kullanılan doğal taşlar; Şekil 1’de sunulan yer bulduru haritasında gösterildiği üzere sırasıyla Rize-İyidere ilçesi (andezit) (a), Trabzon-Düzyurt köyü (bazalt) (b), Trabzon-Gözalın köyü (çamurtaş) (c) ve Gümüşhane’de (traverten) (d) bulunan sahalardan ve ocaklardan her kayaç grubundan yeterli miktarda (ortalama 50 kg’lık 3’er tane kaya bloğu) olacak şekilde temin edilmiş ve laboratuvara getirilmiştir.



*Şekil 1. Numunelerin alındığı bölgelerin lokasyon haritası*

### **B. KAYAÇ NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI**

Lokasyon haritasında (Şekil 1) gösterilen saha ve/veya ocaklardan getirilen 4 farklı doğal taşın (andezit, bazalt, çamurtaş ve traverten) agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere gerçekleştirilecek yoğunluk, birim hacim ağırlık (BHA), tek eksenli basınç dayanımı (TEBD), ultrasonik P-dalga hızı (UPV) ve donma-çözülme direnci (D-ÇD) deneyleri için her kayaçtan 5 adet NX çaplı silindirik karot numuneleri alınmış ve alınan karot numunelerinin alt-üst yüzeyleri kaya kesme testeresi kullanılarak düzeltilmiştir. Ayrıca, böhme aşınma dayanımı (BAD) deneyi için her kayaç türünde 4’er adet küp (7x7x7 cm) numune hazırlanmıştır. Silindirik ve küp numunelerinin hazırlanmasının ardından her kayaç grubunda kalan malzemeler agrega üzerinde gerçekleştirilecek fiziksel ve mekanik testler (tane yoğunluğu, su emme, gevşek yığın yoğunluğu, ince madde oranı, mikro-deval aşınma dayanımı ve kırılma direnci) için kırma-eleme-boyutlandırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Beton üretiminde kullanılması planlanan doğal taşların agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere kayaçların sahip oldukları yapısal özelliklerin belirlenmesi için silindirik, küp ve agrega numuneleri üzerinde Tablo 1’de verilen testler/analizler gerçekleştirilmiştir.

*Tablo 1. Kayaçlar üzerinde gerçekleştirilen testler*

<b>Fiziksel testler</b>	<b>Mekanik testler</b>
1) Yoğunluk ve birim hacim ağırlık	1) Ultrasonik P-dalga hızı
2) Tane yoğunluğu ve su emme	2) Tek eksenli basınç dayanımı
3) Gevşek yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi	3) Böhme aşınma dayanımı
4) İnce madde oranı	4) Mikro-deval aşınma dayanımı
5) Donma-çözülme direnci	5) Kırılma (Parçalanma) direnci

## C. FİZİKSEL TESTLER

### C. 1. Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık

Betonda agrega olarak kullanılabilirlikleri araştırılan 4 farklı doğal taşın ISRM [19] tarafından önerilen yöntemle göre yoğunluk (Y) ve birim hacim ağırlık (BHA) testlerinin gerçekleştirilmesi için önceden hazırlanan silindirik karot numunelerinin boy (L) ve çap (D) değerleri kumpas yardımıyla ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak numunelerin hacimleri (V) hesaplanmıştır. Ardından tüm karot numunelerinin ağırlıkları (W) hassas terazide tartılmıştır. Hacimleri ve ağırlıkları belirlenen numunelerin Y ve BHA sonuçları sırasıyla Eşit. 1 ve 2 vasıtasıyla hesaplanmıştır. Bu testlerde her bir doğal taş numunesi için 3 adet karot numunesi kullanılmış ve bunların ortalaması sonuçları oluşturmuştur.

$$Y \text{ (g/cm}^3\text{)} = W \div V \quad (1)$$

$$\text{BHA (kN/m}^3\text{)} = \rho \times 9.81 \quad (2)$$

### C. 2. Tane Yoğunluğu ve Su Emme

DeneySEL çalışmalarda kullanılan doğal taşlardan elde edilen iri (4-31.5 mm) ve ince (0-4 mm) agregaların tane yoğunluğu (TY) ve su emme (SE) testleri TS EN 1097-6 [20] standardı çerçevesinde tel sepet ekipmanı ve piknometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İri agregaların TY ve SE testleri için öncelikle tel sepetin boş ağırlığı ( $W_1$ ) tartılmış, ardından hazırlanan agrega numuneleri su dolu kap içerisine doldurularak yabancı maddelerin ve tozun uzaklaştırılması için yıkanmış ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonrasında agrega tanelerinin yüzeyi kurutularak doygun kuru yüzey ağırlıkları ( $W_2$ ) belirlenmiştir. Ardından her bir agrega numunesi su dolu kova içerisinde bulunan tel sepete doldurulmuş ve tel sepet kova içerisinde suya ( $\geq 5$  cm) batırılarak suya doygun numunelerin sudaki ağırlıkları ( $W_3$ ) ölçülmüştür. Son olarak sepette alınan numuneler etüvde kurutularak kuru ağırlıkları ( $W_4$ ) tartılmıştır. İnce agregalar için ise sırasıyla piknometre boş ağırlığı ( $P_1$ ), piknometre + numune ağırlığı ( $P_2$ ), piknometre + numune + saf su ağırlığı ( $P_3$ ), ve piknometre + saf su ağırlığı ( $P_4$ ) ölçülmüştür. Son olarak, ilgili eşitlikler yardımıyla her bir doğal taşta ait iri ve ince agrega numunesinin TY ve SE değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{TY}_{\text{iri}} \text{ (g/cm}^3\text{)} = W_4 \div [W_2 - (W_3 - W_1)] \quad (3)$$

$$\text{TY}_{\text{ince}} \text{ (g/cm}^3\text{)} = [(P_2 - P_1) \times \rho_{\text{su}}] \div [(P_4 + P_2) - (P_1 + P_3)] \quad (4)$$

$$\text{SE (\%)} = [(W_2 - W_4) \div W_4] \times 100 \quad (5)$$

### C. 3. Gevşek Yığın Yoğunluk ve Boşluk Hacmi

TS 1097-3 [21] standardında önerildiği üzere gerçekleştirilen gevşek yığın yoğunluk (GY) ve boşluk hacmi (BH) testleri için önceden hazırlanmış 4 farklı doğal taşta ait agrega malzemeleri  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  sıcaklığa sahip etüvde kurutulmuştur. Ardından deneyde kullanılacak ölçü kabının (kuru ve temiz) boş ağırlığı ( $W_1$ ) tartılmış, deneyde gerekli olan ağırlığın %120-150'si arasında bir ağırlığa sahip her bir agrega numunesi ölçü kabına sırayla doldurulmuş, kabın üst yüzeyindeki fazla malzemeler uzaklaştırılarak yüzey düzeltilmiş ve son olarak tartım işlemleri ( $W_2$ ) yapılmıştır. Malzemelerin GY ve BH değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{GY} (\rho_p; \text{g/cm}^3) = (W_2 - W_1) \div V_k \quad (6)$$

$$\text{BH (\%)} = [(\rho_p - \rho_b) \div \rho_p] \times 100 \quad (7)$$

Eşitliklerde bulunan bilinmeyenler aşağıda açıklanmıştır.

$W_1$ : Boş ölçü kabı kütlesi (kg)

$V_k$ : Ölçü kabının hacmidir (L)

$W_2$ : Ölçü kabı ve numune kütlesi (kg)

$\rho_b$ : Kurutulmuş tane yoğunluğu ( $g/cm^3$ )

#### C. 4. İnce Madde Oranı

TS EN 933-8+A1 [22] standardı çerçevesinde gerçekleştirilen agrega ince madde oranı tayini; 0.063 mm kare göz açıklığına sahip elekten geçen malzeme ağırlığının yüzdesinin toplam agrega ağırlığı yüzdesine oranı olarak ifade edilmektedir ve Eş. 8 vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{İMO (\%)} = W_{-0.063} \div W_T \quad (8)$$

Eşitliklerde bulunan bilinmeyenler aşağıda açıklanmıştır.

$m_{\text{İMO}}$  :Agrega ince madde oranı (%)

$W_{-0.063}$  :0.063 mm'lik elekten geçen malzeme ağırlığı (kg)

$W_T$  :Toplam agrega ağırlığı (kg)

#### C. 5. Donma-Çözülme Direnci

Bu deney kapsamında TS EN 12371 [23] standardı uyarınca uygulanan genel prosedür; i) hazırlanan silindirik numunelerin donma-çözülme kabine yerleştirilmeden önce etüvde (4 saat) kurutulmasını ve soğutulmasını, ii) numunelerin hassas terazi vasıtasıyla ağırlıklarının ( $W_1$ ) ölçülmesini, iii) numunelerin saf su dolu beherler içerisinde 12 saat boyunca bekletilmesini, iv) numunelerin -18 ve +32°C sıcaklık aralığında programlanan donma-çözülme kabinde (1 döngü= 12 saat ve toplam 10 döngü) kalmasını, v) donma-çözülme kabinden çıkarılan numunelerin etüvde (24 saat) kurutulmasını ve soğutulmasını ve vi) numunelerin hassas terazi vasıtasıyla deney sonundaki ağırlıklarının ( $W_2$ ) ölçülmesini içermektedir. Deney sonrasında numunelerde meydana gelmesi muhtemel ağırlık kaybı (AK, %) sonuçları aşağıda belirtilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{AK (\%)} = [(W_1 - W_2) \div W_1] \times 100 \quad (9)$$

### D. MEKANİK TESTLER

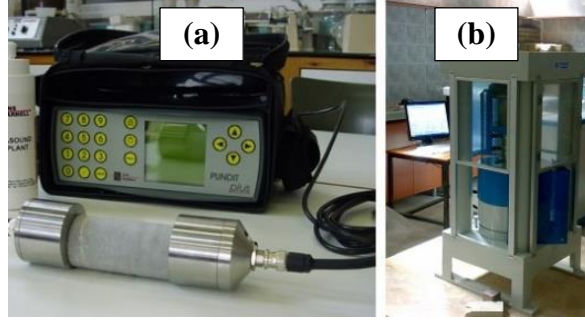
#### D. 1. Ultrasonik P- Dalga Hızı Testi

Beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği araştırılan 4 farklı doğal taşın (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) ultrasonik P- dalga hızı (UPV) testleri, her doğal taş için hazırlanan 5 adet karot numunesi üzerinde ASTM D 2845 [24] standartlarına uygun olarak Pundit-Plus model (sinyal süresi hassaslığı= 0.1  $\mu s$  ve sinyal frekansı= 54 kHz) test cihazı ile doğrudan iletim (geçiş) tekniği kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2a). Testler öncesinde her karot numunesinin boyu (uzunluk= L) kumpas ile ölçülmüştür. Ardından okumalar alınarak en düşük geçiş süresi (t) test sonucu olarak kaydedilmiş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla her doğal taşın UPV değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 2'de verilen UPV sınıflamasına göre değerlendirilmiştir.

$$\text{UPV (m/s)} = L / t \quad (10)$$

**Tablo 2.** Ultrasonik P- dalga hızı [25] ve basınç dayanımı [26] testine göre kayaçların sınıflandırılması

UPV değeri (m/s)	Hız sınıfı	TEBD değeri (MPa)	Dayanım sınıfı
<2500	Çok düşük	1-25	Çok düşük dayanımlı
2500-3500	Düşük	25-50	Düşük dayanımlı
3500-4000	Orta	50-100	Orta dayanımlı
4000-5000	Yüksek	100-200	Yüksek dayanımlı
>5000	Çok yüksek	>200	Çok yüksek dayanımlı



Şekil 2. Ultrasonik P- dalga hızı (UPV) (a) ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) (b) testlerinin görünümü

## D. 2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

UPV ölçümleri yapılan ve NX (54.7 mm) tipi (boy: L)/çap: D)= 2.5) karot numuneleri üzerinde bilgisayar kontrollü pres (maksimum yük kapasitesi= 3000 kN ve yükleme hızı= 1kN/s) ünitesi vasıtasıyla tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) testleri gerçekleştirilmiştir [27] (Şekil 2b). Her doğal taş için 5 adet karot numunesi test edilmiş ve sonuçlar ortalama değer olarak sunulmuştur.

## D. 3. Böhme Aşınma Dayanımı

Kayaçların yüzeyindeki aşındırıcı maddeler ve sürtünmeler kaynaklı meydana gelen aşınmaya karşı gösterdikleri direncin tespit edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen böhme aşınma dayanımı (BAD) deneyi için 4 farklı doğal taş grubuna ait 3'er tane küp (7x7x7 cm) numune hazırlanmıştır [28]. Ardından böhme aşındırma diski üzerine aşındırıcı malzeme dökülmüş ve her numune 294±3 N'luk aşındırma kuvveti altında 30±1 devir/dakika hızla 22 tur ve 20 aşınma periyodu (toplam 440 tur) boyunca döndürülerek hacimlerdeki azalma ölçülmüştür. Hacimdeki azalmaya bağlı olarak her bir doğal taşın BAD değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\Delta V (\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2) = \Delta m / P \quad (11)$$

Formülde;  $\Delta V (\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2)$ , toplam hacim kaybını,  $\Delta m (\text{g}/50 \text{ cm}^2)$ , toplam ağırlık kaybını ve  $P (\text{g}/\text{cm}^3)$ , numune yoğunluğunu ifade etmektedir.

## D. 4. Mikro-Deval Aşınma Dayanımı

Hem kaba hem de ince agregalar üzerinde uygulanabilen Mikro-Deval aşınma deneyi; agreganın aşınma dayanımını belirlemek için yapılmaktadır [29]. Deneyde kullanılmak üzere her doğal taş grubu için 10-14 mm aralığında (%30-40'ı <11.2 mm) tane boyutuna sahip 500 g ağırlıklı 2 deney numunesi hazırlanmıştır. Her deney numunesi, 5000 g ağırlığında çelik bilye içeren tambur içerisine yerleştirilerek üzerine 2.5 L su eklenmiştir. Mikro-Deval cihazına yerleştirilen tamburlar 12000 devir (100 devir/dakika) olacak şekilde döndürülmüştür. Deney tamamlandıktan sonra tambur içindeki bilyeler uzaklaştırılmış, agrega numuneleri titizlikle yıkanmış ve ardından 110±5°C sıcaklığa sahip etüvde kurutulmuştur. Her bir doğal taş grubuna ait kurutulmuş 2 deney numunesi ayrı bir şekilde 1.6 mm göz açıklıklı elek vasıtasıyla elenerek elek üstünde kalan numune (m) tartılmıştır. Aşınma dayanımı testlerine tabi tutulan agrega numunelerinin mikro-deval aşınma değerleri Eş. 12 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\text{M-DA} (\%) = (500 - m) \div 5 \quad (12)$$

## D. 5. Kırılgenlik (Parçalanma) Direnci

Kayaçların kırılgenlik direncinin belirlenmesi amacıyla TS EN 1097-2 [30] standardı çerçevesinde her kayaç için çeneli kırıcıdan geçirilen ve -16 mm +11.2 mm arasında kalan malzemeden 2.65 g/cm<sup>3</sup>

eşdeğer yoğunlukta 500 g (daha yüksek yoğunluk için daha fazla malzeme) numune hazırlanmış ve havan içine yerleştirilmiştir. 14 kg'lık çekiç 25 cm yükseklikten 20 kez havan içerisine düşürülmüş ve sonrasında havadaki numune 11.2 mm açıklıklı elek kullanılarak elenmiştir. Elek altına geçen malzeme tartılarak miktarı kaydedilmiş ve Eşit. 13 yardımıyla her kayaç grubunun kırılma (S<sub>20</sub>, %) değeri hesaplanmıştır. Ayrıca Tablo 3'te gösterilmiş olan sınıflama ile kayaçların kırılma sınıflaması belirlenmiştir.

$$S_{20} (\%) = (11.2 \text{ mm'lik elek altı malzeme miktarı} \div \text{Toplam malzeme miktarı}) \times 100 \quad (13)$$

**Tablo 3.** Kayaçların kırılma (S<sub>20</sub>) sınıflandırılması [31]

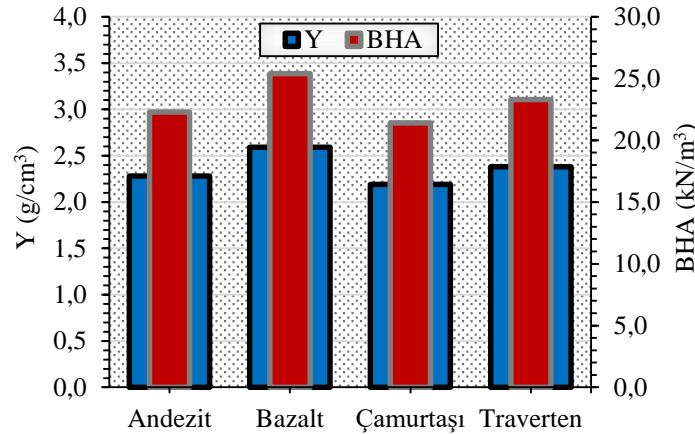
S <sub>20</sub> (%) değeri	Kırılma sınıfı	S <sub>20</sub> (%) değeri	Kırılma sınıfı
≥66.0	Oldukça yüksek	35.0-40.9	Düşük
60.0-65.9	Çok yüksek	29.1-34.9	Çok düşük
51.0-59.9	Yüksek	≤29.0	Oldukça düşük
41.0-50.9	Orta		

### **III. BULGULAR VE TARTIŞMA**

#### **A. FİZİKSEL TEST SONUÇLARI**

##### **A. 1. Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık**

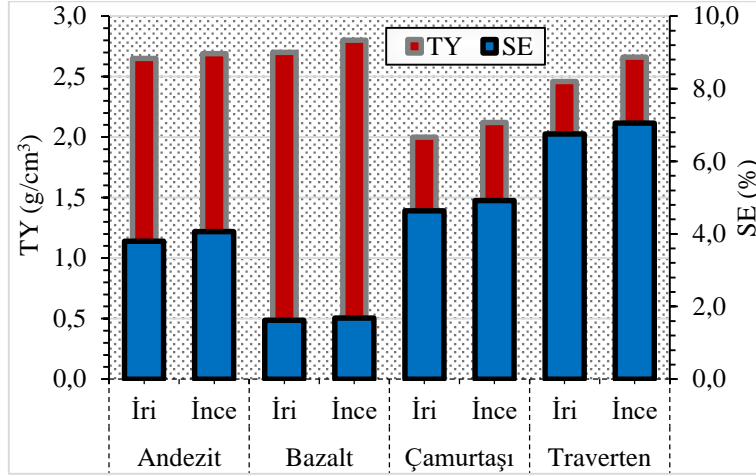
4 farklı doğal taşın (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) yoğunluk (Y) ve birim hacim ağırlık (BHA) testleri sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Beton agregası olarak kullanılabilirliği değerlendirilen malzemelerin yoğunluk ve birim hacim ağırlık sonuçlarında çok fazla fark olmadığı gözlemlenmiştir. Y ve BHA değerlerinin sırasıyla 2.19-2.59 g/cm<sup>3</sup> ve 21.4-25.4 kN/m<sup>3</sup> arasında değiştiği tespit edilmiştir. Doğal taşlar içerisinde en düşük Y ve BHA değerleri çamurtaşında görülürken, bazaltın yoğunluğu ve birim hacim ağırlığının diğer kayaçlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Önceki bir çalışmada, Yılmaz [32] Trabzon-Maçka bölgesinden getirdiği bazalt kayacından hazırladığı karot numuneleri üzerinde gerçekleştirmiş olduğu BHA deneyi sonucunda bazaltın BHA değerini bu çalışma ile uyumlu olarak 25 kN/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur. Altınsoy vd. [33] betonda kullanılacak agregaların düşük oranda keskin köşe ve kusur içermesinin BHA değerinin yüksek olmasını sağlayacağını ve böylece betonun daha yüksek mekanik özellikler göstereceğini rapor etmişlerdir. Bu bağlamda, BHA değerleri nispeten daha yüksek olan bazaltın diğer doğal taşlara kıyasla aynı karışım özelliklerinde hazırlanacak betonun dayanımına daha fazla katkı sağlayacağı söylenebilir.



**Şekil 3.** Doğal taşların yoğunluk (Y) ve birim hacim ağırlık (BHA) testlerinin sonuçları

## A. 2. Tane Yoğunluğu ve Su Emme

Şekil 4, agrega olarak kullanılabilirliği araştırılan doğal taşlardan hazırlanan iri (4.0-31.5 mm) ve ince (0-4.0 mm) agrega numunelerinin tane yoğunluğu (TY) ve su emme (SE) sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4 incelendiğinde, iri ve ince tane yoğunlukları sırasıyla 2.0 ve 2.12 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenen çamurtaşının en düşük TY değerlerine sahip olduğu, buna karşın, diğer doğal taşların (andezit, bazalt ve traverten) TY değerleri nispeten daha yüksek (>2.4 g/cm<sup>3</sup>) olarak tespit edilmiştir. TS EN 206+A2 [34] standardında belirtilen sınır değerler (2.50-2.70 g/cm<sup>3</sup>) ile oldukça uyumlu TY sonuçları gösteren doğal taşların (çamurtaşı hariç) boşluksuz ve dayanıklı olmalarından dolayı betonda kullanılacakları ifade edilebilir [9].



Şekil 4. Doğal taşların tane yoğunluğu (TY) ve su emme (SE) sonuçları

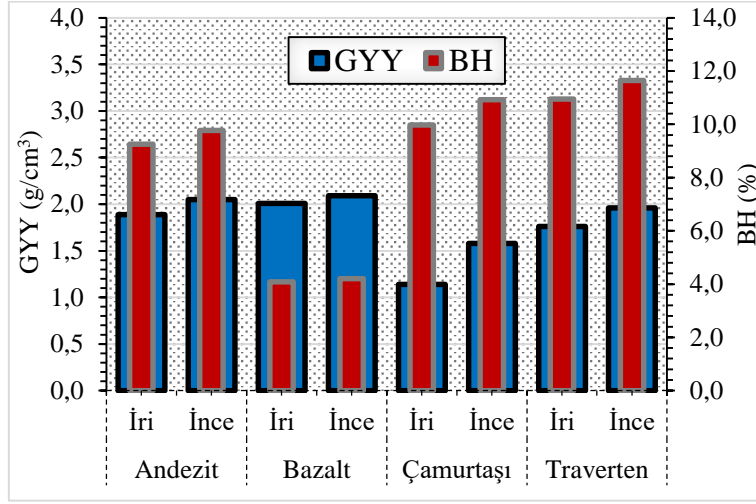
Dona karşı dayanıklılık, büzülme ve dayanım gibi beton parametreleri üzerinde oldukça etkili olan [9] doğal taşlara ait su emme değerleri incelendiğinde, yüksek TY sonuçları ile uyumlu olarak bazalta ait iri ve ince agrega numunelerinin SE değerlerinin gözle görülür biçimde düşük (%1.62-1.68) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Beton agregası olarak kullanılacak doğal taşların TS EN 1097-6 [20] standardının önerdiği SE sınır değerinin altında (%1.62-7.05<%10.0) olduğu Şekil 4'ten açıkça görülmektedir. Ayrıca, tüm doğal taşların SE değerlerinin sınır değerinin altında olmasına rağmen, SE değeri nispeten daha yüksek olan traverten ve çamurtaşı agregalarının betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkileyeceği açıktır [33]. Bu çalışmayla uyumlu olarak, bazaltın beton agregası olarak araştırıldığı bir çalışmada [9], iri (11.2-22.4 mm) agregaların SE değerinin %1.55 olarak tespit edildiği bildirilmiştir.

## A. 3. Gevşek Yığın Yoğunluğu ve Boşluk Hacmi

Doğal taşların betonda kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, 4 farklı kayaçtan elde edilen iri ve ince agrega numuneleri üzerinde gerçekleştirilen gevşek yığın yoğunluğu (GY) ve boşluk hacmi (BH) sonuçları Şekil 5'te özetlenmiştir. GY değerleri agrega boyutundan bağımsız olarak 1.14-2.09 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmekle birlikte en yüksek GY değerleri bazalt kayacına ait agrega numunelerinden (2.01-2.09 g/cm<sup>3</sup>) elde edilirken, en düşük GY değerleri (1.14-1.58 g/cm<sup>3</sup>) çamurtaşı kullanılarak hazırlanan agregalarda ölçülmüştür. BH değerleri incelendiğinde, agrega boyutundan bağımsız olarak doğal taşların %4.08-11.65 arasında boşluk hacmine sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 5). GY değerleri ile uyumlu olarak bazalt kayacı agregalarının diğer doğal taşlardan hazırlanan agregalara kıyasla %56-64 oranlarında daha düşük BH değerleri ürettiği tespit edilmiştir. Ayrıca, çamurtaşının GY değerleri diğer agrega numunelerinden daha düşük olmasına rağmen en yüksek BH değerleri (%10.95-11.65) traverten agregalarında ölçülmüştür (Şekil 5). Agregata tane yoğunluğu ve tane şeklinin oldukça etkilediği GY, agrega karışımı içerisindeki kusurlu tanelerin artmasıyla birlikte azalırken, BH, tam tersi bir eğilim göstermektedir [35]. Bu bağlamda, sonuçlar en düşük GY ve en yüksek BH değerlerinin



sırasıyla çamurtaşı (1.14-1.58 g/cm<sup>3</sup>) ve traverten (%10.95-11.65) kullanılarak hazırlanan agregalarda ölçüldüğünü göstermiştir ve bundan dolayı çamurtaşı ve traverten agregalarından hazırlanacak betonun dayanımının diğer agregalardan (özellikle bazalt) üretilecek betona kıyasla daha düşük olacağı muhtemeldir.



Şekil 5. Doğal taşların gevşek yığın yoğunluğu (GYY) ve boşluk hacmi (BH) sonuçları

#### A. 4. İnce Madde Oranı

Beton içerisinde kullanılan agregaların bünyesinde oldukça düşük miktarda bulunması istenen ince maddelerin fazlaca bulunmasının betonun farklı özellikleri (mukavemet, karma suyu ihtiyacı, işlenebilirlik, bağlayıcı-agrega arası bağ, vb.) üzerinde olumsuz etkisi vardır [3], [33]. 4 farklı doğal taş (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) kullanılarak hazırlanan ince (0-4 mm) agrega numuneleri bünyesindeki ince madde oranı (İMO) miktarları Tablo 4'te gösterilmiştir. Agregada numunelerinin İMO değerlerinin %0.69-1.10 arasında değiştiği ve tüm doğal taşların TS 706 EN 12620+A1 [18] standardının önerdiği sınır değerinde oldukça altında kaldığı için betonda kullanımı açısından herhangi bir sorun teşkil etmeyeceği ifade edilebilir.

Tablo 4. Doğal taşlardan hazırlanan ince agregada numunelerinin ince madde oranı (İMO) ve ağırlık kaybı (AK) sonuçları

Test	Andezit	Bazalt	Çamurtaşı	Traverten	Sınır değeri
İMO (%)	0.69	0.88	1.10	0.77	3.0
AK (%)	3.31	2.61	4.10	12.70	4.0

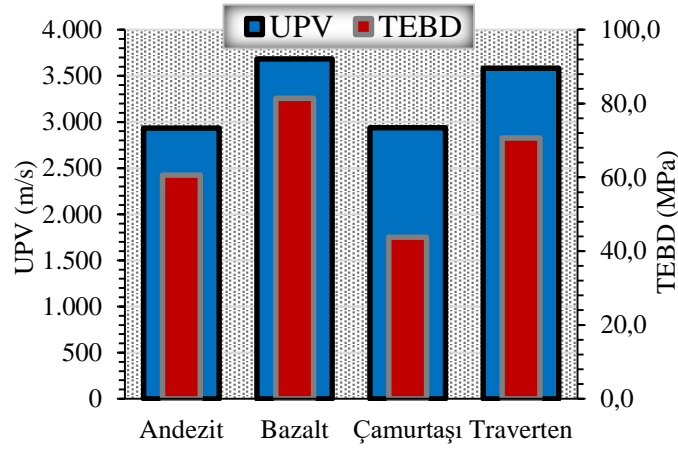
#### A. 5. Donma-Çözülme Direnci

4 farklı doğal taşta ait silindirik karot numunelerinin 120 saatlik (toplam 10 döngü) donma-çözülme testleri sonucunda ortaya çıkan ağırlık kaybı (AK) sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Doğal taşların donma-çözülme (D-Ç) döngüleri sonucunda AK değerlerinin %2.61-12.70 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Mevsimsel koşullar kaynaklı olarak betonun kalitesini etkileyen fiziksel özelliklerden birisi betonun donma-çözülme maruziyetidir ve bu maruziyet, beton karışımında kullanılan agreganın su emme, taneler arası boşluk ve gözeneklilik gibi özellikleri ile yakından ilişkilidir [9]. Bu bağlamda, bazalt kayacı; tespit edilen düşük su emme (%1.62-1.68) ve boşluk hacmi (%4.08-4.20) değerleri ile oldukça uyumlu olarak %2.61 oranında AK değeri göstererek D-Ç etkisine karşı direnci en yüksek doğal taş olmuştur. Buna karşın, travertenin diğer doğal taşlara kıyasla D-Ç'ye karşı oldukça dirençsiz (%12.70) olduğu belirlenmiştir. Doğal taşların (traverten hariç) TS 706 EN 12620+A1 [18] tarafından hazırlanan D-Ç testi sonrası AK sınır değerini (%4.0) karşıladığı ve beton üretiminde kullanılmalarında D-Ç testleri açısından herhangi bir sorun olmadığı söylenebilir (Tablo 4).

## B. MEKANİK TEST SONUÇLARI

### B. 1. Ultrasonik P- Dalga Hızı Testi

Şekil 6, beton üretiminde agrega olarak kullanım potansiyelleri araştırılan doğal taşların (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) ultrasonik P-dalga hızı (UPV) sonuçlarını göstermektedir. Doğal taşlardan hazırlanan karot numunelerinin 2933-3685 m/s arasında UPV değerleri ürettiği belirlenmiştir. En düşük UPV değerlerinin andezit ve çamurtaşı numunelerinde ölçüldüğü, buna karşın, bazalt numunelerinin diğer doğal taş grubundaki (andezit, çamurtaşı ve traverten) numunelere kıyasla %25.8'e kadar daha yüksek UPV değerleri üreterek en yüksek ultrasonik hız ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 6). Geçmişte gerçekleştirilen bir çalışmada [32], Trabzon-Maçka yöresine ait bazalt kayacı kullanılarak üretilen 10 farklı karot numunesi üzerinde UPV ölçümleri yapılmış ve bu çalışmaya kıyasla bazalt kayacının daha yüksek ortalama UPV değeri (4867 m/s) ürettiği saptanmıştır. Bunlara ek olarak, Anon [25] tarafından kayaların UPV değerine göre oluşturulan hız sınıflaması çizelgesi, andezit ve çamurtaşının düşük hız sınıfında ( $2500 \text{ m/s} < 2933-2938 \text{ m/s} < 3500 \text{ m/s}$ ) yer aldığını, bazalt ve travertenin ise orta hız sınıfına ( $3500 \text{ m/s} < 3584-3685 \text{ m/s} < 4000 \text{ m/s}$ ) girdiğini göstermiştir (Tablo 2).



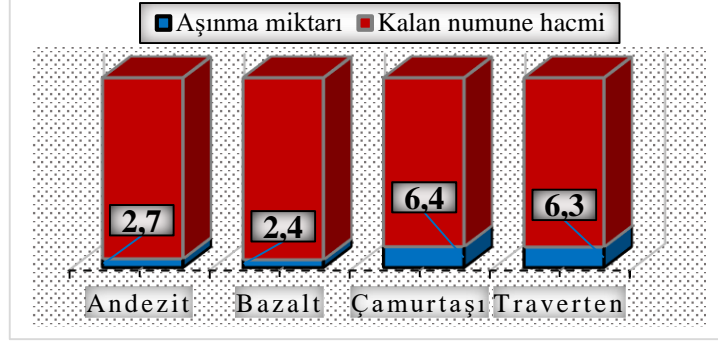
Şekil 6. Doğal taşların ultrasonik P- dalga hızı (UPV) ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) sonuçları

### B. 2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

4 farklı doğal taştan silindirik karotlar alınarak hazırlanan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) sonuçları Şekil 6'da açıklanmıştır. UPV sonuçları ile uyumlu bir şekilde en yüksek basınç dayanımı bazalt (81.4 MPa) kayacında elde edilirken, en düşük dayanımı; fiziksel özellikler bakımından diğer doğal taşlara oranla daha zayıf karaktere sahip olan çamurtaşı (43.8 MPa) göstermiştir. Diğer doğal taşlardan (andezit ve traverten) üretilen karot numunelerinin TEBD değerleri ise sırasıyla 60.6 ve 70.7 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 6). Yılmaz [32] tarafından bazalt kayacına ait karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen TEBD testleri, bu çalışmaya kıyasla daha yüksek UPV değerleri ile uyumlu olarak nispeten daha yüksek basınç dayanımı ( $99.1 \text{ MPa} > 81.4 \text{ MPa}$ ) göstermiştir. Ayrıca, kayaların TEBD sonuçları baz alınarak hazırlanan dayanım sınıflaması incelendiğinde (Tablo 2), çamurtaşı dışında diğer kayaların "orta dayanımlı" ( $50 \text{ MPa} < 60.6-81.4 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$ ) oldukları belirlenmiştir.

### B. 3. Böhme Aşınma Dayanımı

4 farklı doğal taşta ait küp numunelerin böhme cihazı kullanılarak gerçekleştirilen aşınma testi sonucu meydana gelen aşınma miktarları Şekil 7'de verilmiştir. Doğal taşların aşınma miktarlarının  $2.4-6.4 \text{ cm}^3$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Test sonuçları en düşük ve en yüksek aşınma miktarlarının sırasıyla bazalt ( $2.4 \text{ cm}^3$ ) ve çamurtaşı ( $6.4 \text{ cm}^3$ ) numunelerinde meydana geldiğini göstermiştir.



Şekil 7. Doğal taşların böhme aşınma sonuçları (cm<sup>3</sup>)

#### B. 4. Mikro-Deval Aşınma Dayanımı

Her doğal taş grubu (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) için hazırlanan iki farklı agrega numunesinin mikro-deval aşınma (M-DA) sonuçlarının ortalaması Tablo 5'te sunulmuştur. Kayaçların M-DA oranları %6.1-14.0 arasında değişmekle birlikte aşınmaya karşı en dirençli doğal taş gruplarının andezit ve bazalt olduğu belirlenmiştir. Çamurtaşı ve travertenin mikro-deval aşınma oranları ise diğer kayaç gruplarına kıyasla oldukça yüksek çıkmıştır. Beton üretiminde kullanılacak agregaların mekanik etkilere karşı dayanıklı olmasının yolunun aşınmaya karşı dirençlerinin mümkün olduğunca yüksek olmasından geçtiği dikkate alınarak M-DA oranının %35'ten düşük olması istenmektedir [3]. Bu bağlamda, TS 706 EN 12620+A1 [18] tarafından sunulan M-DA oranı kategorisine göre andezit ve bazalt M<sub>DE</sub>10 (%6.1-6.2≤%10) kategorisinde yer alırken, çamurtaşı ve travertenin M<sub>DE</sub>15 (%12.3-14.0≤%15) kategorisine girdiği tespit edilmiştir (Tablo 5). Bu değerler ışığında çalışmaya konu doğal taşların aşınma, parçalanma vb. etkilere karşı dirençlerinin yüksek olduğu ifade edilebilir.

Tablo 5. Agrega numunelerinin mikro-deval aşınma (M-DA) dayanımı ve kırılma direnci (S<sub>20</sub>) sonuçları

Test	Andezit	Bazalt	Çamurtaşı	Traverten
M-DA (%)	6.1	6.2	14.0	12.3
S <sub>20</sub> (%)	32.0	30.5	35.7	43.8

#### B. 5. Kırılma Direnci (Parçalanma) Direnci

Tablo 5, beton agregası potansiyelleri incelenen doğal taşların kırılma direnci (S<sub>20</sub>) sonuçlarını göstermektedir. Doğal taşlardan hazırlanan numunelerin kırılma değerlerinin %30.5-43.8 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Parçalanmaya karşı direnci en yüksek doğal taş, diğer mekanik özellikleri ile uyumlu olarak bazalt kayacı olmuştur. Ayrıca, Dahl vd. [31] tarafından önerilen sınıflama uyarınca bazalt kayacının kırılma sınıfı "çok düşük" olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Doğal taşlar içerisinde en fazla kırılma ise %43.8 oranı ile traverten kayacından hazırlanan numunelerde meydana gelmiştir. Diğer kayaçların kırılma sınıflamasına bakıldığında, bazalt ve andezitin "çok düşük" kırılma sınıfına ve çamurtaşının ise "düşük" kırılma sınıfına sahip oldukları tespit edilmiştir (Tablo 3 ve 5).

## IV. SONUÇ

Bu araştırma çalışmasında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin farklı lokasyonlarından temin edilen doğal taşlar (andezit, bazalt, çamurtaşı ve traverten) üzerinde fiziksel ve mekanik olmak üzere çeşitli testler gerçekleştirilmiş ve bu kayaçların TS 706 EN 12620+A1 [18] standardı uyarınca beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Doğal taşlar üzerinde gerçekleştirilen fiziksel testler, bazalt ve andezit kayaçlarının beton agregası olarak kullanılabilir olduğunu, buna karşın, çamurtaşının tane yoğunluğu ve travertenin donma-çözülme karşı direnç konusunda istenilen performansı gösteremediğini ortaya koymuştur. Mekanik testler değerlendirildiğinde, bazalt ve travertenin UPV

açısından orta hız sınıfında, andezit ve çamurtaşının ise düşük hız sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. TEBD değerlerinin 43.8-81.4 MPa arasında ölçüldüğü doğal taşlar (çamurtaşı hariç) orta sınıf dayanım göstermiştir. Doğal taş gruplarının aşınma ve kırılma test sonuçları; çok düşük kırılma gösteren andezit ve bazaltın aşınmaya karşı en dirençli kayalar olduğunu, buna karşın, çamurtaşı ve travertenin aşınma ve kırılma açısından daha düşük performans ürettiğini ortaya çıkarmıştır. Tüm testler sonucu edinilen bulgular, TS 706 EN 12620+A1 [18] tarafından beton agregaları için önerilen kriterler de dikkate alındığında özellikle bazalt kayacından elde edilecek agreganın beton üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] S. Usta, "Agrega granülometrisinin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompakte ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi," *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 1-15, 2012.
- [2] A. Solak, "Manisa-Gürle köyü yöresinde bulunan kayaların sınıflandırılarak beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, s. 4, ss. 974-981, 2022. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1123351>
- [3] H. Akyıldırım ve A. Karakaş, "Kocaeli-Gebze Tavşanlı bölgesi kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 1088-1108, 2021. <https://doi.org/10.36306/konjes.925801>
- [4] A. Çuçen ve Y. T. Altuncı, "Yüksek yapıların yapım tekniklerinin incelenmesi," *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, c. 5 s. 1, ss. 20-32, 2022. <https://doi.org/10.51764/smutgd.1039161>
- [5] C. Özel, "Kendiliğinden yerleşen betonda mermer-granit ve andezit'in agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 19-30, 2018.
- [6] E. Koç, "Trabzon ili ve çevresinden alınan doğal taşların agregası malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2014.
- [7] K. Güçlüer, O. Günaydın, Ö. F. Tekin ve M. F. Şahan, "Farklı tipte agregası kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması," *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 107-114, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.297962>
- [8] İ. Çobanoğlu, S. B. Çelik, O. Çam, H. Etiz ve M. Kurşun, "Denizli bölgesi traverten artıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 3, ss. 92-99, 2014. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.52824>
- [9] M. Y. Çelik ve A. Şahbaz, "Ilıca (Kütahya) bazaltının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Politeknik Dergisi*, c. 20, s. 4, ss. 887-898, 2017. <https://doi.org/10.2339/politeknik.369061>
- [10] T. Yılmaz, "Agregası elek analizi ve granülometri eğrisi," Maden İşletme Laboratuvarı Deney Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 2017.
- [11] L. Gündüz, N. Şapcı, M. Bekar ve S. Yorgun, "Genleşmiş kilin hafif agregası olarak kullanılabilirliği," *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 43-49, 2006.

- [12] A. Köken, M. A. Köroğlu ve F. Yonar, "Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği," *Selçuk-Teknik Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 86-97, 2008.
- [13] A. Tolgay, E. Yaşar ve Y. Erdoğan, "Nevşehir pomzasının agrega olarak betonda kullanılabilirliğinin araştırılması," 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*. İzmir, Türkiye, 2004, ss. 345-354.
- [14] H. Ceylan ve S. Mança, "Mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilmesi," *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 21-25, 2013.
- [15] A. Yılmaz, M. Saltan ve A. Akıllı, "Göller yöresinde işletilen kireçtaşı agregalarının yol inşaatı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 199-207, 2012. <https://doi.org/10.5505/pajes.2012.41636>
- [16] E. Tuncay, F. Yağmurlu ve H. Ceylan, "Karaöz (Antalya-Türkiye) civarındaki dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği," *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 48-57, 2015.
- [17] O. O. Varol, M. Türkmenoğlu ve Z. F. Türkmenoğlu, "Van ili tabanlı mevkii kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 146-151, 2016.
- [18] *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 706 EN 12620+A1, 2009.
- [19] *Rock characterization, testing and monitoring*, ISRM Suggested Methods, ISRM, 1981.
- [20] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097-6, 2013.
- [21] *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler, Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097-3, 1999.
- [22] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 8: İnce tanelerin tayini-Kum eşdeğeri tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 933-8+A1, 2015.
- [23] *Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Dona dayanım tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12371, 2011.
- [24] *Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock*, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, ASTM D2845, 2017.
- [25] O. H. Anon, "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1-rock and soil materials," *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol. 19, pp. 364-371, 1979.
- [26] D. U. Deere and R. P. Miller, "Engineering classifications and index properties of intact rock," University of Illinois, Urbana, Illinois, Tech. Memo. AFWL-TR 65-116, Dec. 01, 1966.
- [27] *Standard test methods for compressive strength and elastic moduli of intact rock core specimens under varying states of stress and temperatures*, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, ASTM D 7012, 2014.
- [28] *Zemin döşemesi için beton kaplama blokları-Gerekli şartlar ve deney metotları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 2824 EN1338/AC, 2009.

- [29] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro- Deval)*, Türk Standartları Enstitüsü EN 1097-1, 2011.
- [30] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için yöntemler*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097-2, 2020.
- [31] F. Dahl, A. Bruland, P. D. Jakobsen, B. Nilsen and E. Grøv, "Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 28, pp. 150-158, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2011.10.006>
- [32] T. Yılmaz, "Bazalt kayacının tek eksenli sıkışma dayanımının tahribatsız test yöntemleri ile tahmini: Trabzon-Maçka bölgesi," *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, Kütahya, Türkiye, 2016, ss.2-8.
- [33] F. Altınsoy, N. Ş. Karahan, R. Çankaya ve A. Karabayır, "Çanakkale Elmacık yöresi kalker taşlarının beton agregası olarak uygunluğunun araştırılması," *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 48-58, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1123351>
- [34] *Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk*. Türk Standartları Enstitüsü TS EN 206+A2, 2021.
- [35] F. Yılmaz, S. Koltka ve E. Sabah, "Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) kireçtaşlarının beton agregaları standardına uygunluğunun araştırılması," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 1-12, 2011.