



Ceyhan Bölgesi Bazaltlarının Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin P Dalga Hızı ile Tahmini

Prediction of Some Physical and Mechanic Properties of Basalts in Ceyhan Region Using P wave Velocity

¹Esma KAHRAMAN 

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Sarıçam/Adana, Türkiye

ekahraman@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 31 August 2022

Accepted : 18 October 2022

Keywords:

Basalt, Uniaxial Compressive Strength, P Wave Velocity, Physico-Mechanic Properties

ABSTRACT

Basalt is one of the most important construction materials because hardness, durability and strength properties and it is used widely. Before using basalts as a building material, some properties such as unit volume weight, water absorption rate, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength should be determined. But these tests have some disadvantages in practice. Testing procedures and sample preparations are very difficult and time-consuming. In addition, their applications are needed expertise. In this study, P wave velocity (V_p), a fast and non-destructive test method, was used to determine some physical and mechanical properties of basalts. Empirical relationships for determination of unit volume weight, water absorption rate, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength were developed. Good correlation coefficients ($R^2= 73.2-85.6$) were obtained between V_p and unit volume weight, water absorption rate, uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 31 Ağustos 2022

Kabul : 18 Ekim 2022

Anahtar Kelimeler:

Basalt, Tek Eksenli Basınç Dayanımı, P Dalga Hızı, Fiziko-Mekanik Özellikler

ÖZET

Bazalt, sertlik, dayanıklılık ve mukavemet özellikleri nedeniyle en önemli yapı malzemelerinden biridir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazaltları yapı malzemesi olarak kullanmadan önce birim hacim ağırlığı, su emme oranı, tek eksenli basınç dayanımı ve Brezilya çekme dayanımı gibi bazı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu testlerin pratikte bazı dezavantajları vardır. Test prosedürleri ve numune hazırlama işlemleri çok zor ve zaman alıcıdır. Ayrıca bu test uygulamaları uzmanlık gerektirir. Bu çalışmada, bazaltların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için hızlı ve tahribatsız bir test metodu olan P dalga hızı (V_p) kullanılmıştır. Birim hacim ağırlığı, su emme oranı, tek eksenli basınç dayanımı ve Brezilya çekme dayanımının belirlenmesi için ampirik ilişkiler geliştirilmiştir. V_p ile birim hacim ağırlığı, su emme oranı, tek eksenli basınç dayanımı ve Brezilya çekme dayanımı arasında iyi korelasyon katsayıları ($R^2= 73.2-85.6$) elde edilmiştir.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Teknolojik ilerlemeler ve artan nüfus ile birlikte köprü, yol, baraj gibi temel yapı ve konut inşaları da hızla artmaktadır. Bu durum doğal yapı taşlarına olan ihtiyacı da önemli ölçüde etkilemektedir. Bazaltlar ülkemizde yaygın olarak bulunması, dayanıklı olması, atmosferik koşullardan çok az etkilenmesinden dolayı oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bazalt doğada çok geniş yayılım alanına sahip küçük kristalli veya camsı, koyu gri ile siyah arasında değişen renklere ve farklı porozite oranlarına sahip volkanik bir kayadır [1]. Bazalt su emme, paslanma, dona, darbelere, renk değişimine, asitlere ve sürtünmelere karşı oldukça dayanıklıdır. Bu durum yapılarda uzun süre leke ve kılcal çatlaklar oluşmasını engelleyerek yapı ömrünü arttırır [2].

Ülkemizde bulunan bazaltların mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik literatür de pek çok araştırma mevcuttur. Keskin ve Kılıç [3] yaptıkları çalışmada Doğu Akdeniz yöresi bazaltlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişler ve deney sonuçlarına göre bölgeden elde edilen bazaltların kırılma şeması olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir. Kahveci ve Kadayıfçı [1] yaptıkları çalışmada Diyarbakır bölgesi bazaltlarının fiziksel, mekanik, özgül ısı kapasitesi, kuruma deneyleri, parlatılabilirlik ile kesilebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda porozitesi düşük olan bazaltların daha dayanıklı olduğuna işaret etmişlerdir. Orhan ve arkadaşları [4] Elazığ ili Maden ilçesinden elde ettikleri bazaltların beton agregası olarak kullanımını değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Elazığ ilinin Maden ilçesinden elde edilen doğal bazaltlardan ürettikleri betonları incelemişlerdir. Üretilen beton numunelerinin; ısıl iletkenlik analizleri, dayanım analizleri ve mikroorganizmalara karşı tutumu incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda dayanıklı, yanıcı olmayan, çevre dostu, toksik olmayan beton üretmişler, sağlıklı ve konforlu bir yaşam ortamı yaratılmasına büyük katkı sağlamışlardır. Kahraman ve Yapıcı [5] yaptıkları çalışmada Kurtpınar bazaltlarının fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerini belirlemişlerdir. Deney sonuçlarını demiryolu balast malzemesi şartnamesine göre değerlendirmişler ve Kurtpınar bazaltlarının demiryolu konvansiyonel hatlarında balast malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bazı araştırmacılar ise bazaltların özelliklerini istatistiksel ilişki kurarak incelemişlerdir. Erişiş ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada bazaltik kayaların bileşimi, mineral yüzdeleri, dokusu ve kristal boyutlarını, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kayaların mineralojik bileşiminin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilişkili olduğu kanaatine varmışlardır. Karakuş ve Atakay [7] yaptıkları çalışmada tarihi yapılarda kullanılan bazaltların ana malzeme özelliklerinin örnek alınmadan tahmin edilmesi amacıyla Diyarbakır yöresinin bazaltlarının P dalgası hızı ile diğer özellikleri arasındaki istatistiksel ilişkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak, P dalgası hızı ile yoğunluk, gözeneklilik, tek eksenli basınç dayanımı, Brezilya çekme dayanımı, elastisite modülü ve Poisson oranı arasında oldukça ilişkili modeller elde etmişlerdir.

P dalga hızı hem laboratuvarında hem de arazide uygulanabilen yeraltı üretim yöntemlerinde, taş ocağı işletmeciliğinde, delme-patlatma faaliyetlerinde inşaat, jeoteknik ve madencilik projelerinde yaygın olarak kullanılabilecek bir tahribatsız test yöntemidir. Bu tahribatsız test yöntemi kaya kütlesi deformasyon özelliklerini, kaya ayrışma derecesini, yeraltı açıklığı ve tüneller çevresinde gelişen hasar bölgelerini tahmin etmede kullanılmaktadır [8, 9, 10, 11]. Bazı araştırmacılar ise farklı kayaların özelliklerini tahmin etmede P dalga hızı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen denklemler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. P dalga hızı kullanılarak elde edilen bazı tahmin denklemleri.

Eşitlik	R ²	Kaya Tipi	Kaynaklar
$TEBD = 0.03467V_p - 85.246$	0.85	Bazalt	Karakuş ve Atakay [12]
$BDÇD = 0.003078V_p - 7.873$	0.85		
$(n) = 17.9111 - 0.002933 V_p$	0.88		
$Yoğunluk (\rho) = 0.0003098 V_p + 1.0058$	0.89		
$CAI=0.0009 V_p + 1.9375$	0.76	Kuvarsit,	Khandelwal ve Ranjith [13]
$SH = 0.013V_p + 3.265$	0.81	Granit,	
$VH = 0.144 V_p - 75.63$	0.77	Dolomit, Mermer	
$TEBD = 35.54V_p - 55$	0.80	19 farklı granit	Tugrul ve Zarif [14]
$TEBD = 64.2V_p - 117.99$	0.90	Kumtaşı, fillit kömür, mikaşist, kuvars, bazalt	Sharma ve Singh [15]
$TEBD = 0.026V_p - 20.47$	0.91	Marn	Azimian ve Ajalloeian [16]
$Aw = -0.004 V_p - 20.39$	0.83		
$lnTEBD = 3.94lnV_p - 28.12$	0.88	Bazalt ve Riyolit	Kallu ve Roghanchi [17]
$TEBD = 2.304V_p^{2.43}$	0.94	19 farklı kayalar	Kılıç ve Teymen, [18]
$BDÇD = 0.49V_p^{1.8723}$	0.92		
$TEBD = 0.033V_p - 34.83$	0.87	Kuvarsit, Granit, Dolomit, Mermer, Şeyl	Khandelwal [19]
$BDÇD = 0.001V_p + 0.662$	0.88		
$Yoğunluk (\rho) = 0.2029 V_p + 1794.7$	0.86		

*V_p: P dalga hızı, BHA: birim hacim ağırlık, Aw: Ağırlıkça su emme oranı, TEBD: Tek eksenli basınç dayanımı, BDÇD: Brazilian dolaylı çekme dayanımı, n: porozite, CAI: Cerchar aşındırma indeksi, SH: Shore sertliği, VH: Vickers sertliği.

Kayaçların bilinen özelliklerinden bilinmeyen tahmin etmede lineer regresyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır [14, 15, 16, 20]. Ayrıca bazaltların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tahmini pek çok çalışmada ortaya konmuştur. Fakat bölgesel çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmanın amacı Ceyhan bölgesinden elde edilen bazaltların P dalga hızı (V_p) kullanılarak birim hacim ağırlık (BHA) ve ağırlıkça su emme oranı (Aw), Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ve Brazilian dolaylı çekme dayanımı (BDÇD) değerlerinin pratik ve anlamlı şekilde tahmin edilmesi için ampirik formüller geliştirmektir. Çalışma sonucunda elde edilen eşitlikler ile kolay ve kısa zamanda P dalga hızı kullanılarak bazaltların araştırılan diğer özellikleri belirlenmiş olacaktır. Böylelikle artan sektör ihtiyacı karşılırken deney aşamaları beklenmeden daha pratik ve hızlı bir şekilde elde edilen malzeme için ön değerlendirme olanağı sağlanmış olacaktır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Sahası Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışmada, Adana İli, Ceyhan ilçesi sınırları içerisinde bulunan Köşreli, Mustafabeyli, Kurtkulağı ve Kurtpınar mahallelerinden elde edilen bazalt örnekleri üzerinde çalışılmıştır (Şekil 1).

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışma sahasının farklı bölgelerinden blok numuneler getirilmiş ve blok numunelerden karot numuneleri Uluslararası Kaya Mekaniği Standartlarına (ISRM 2007) [21] göre hazırlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Örneklerin alındığı bölgelerin yer bulduru haritası.



Şekil 2. Çalışma sahasından getirilen numune ve hazırlanan karot örnekleri.

2.3. Deneysel Çalışmalar

Numunelerin birim hacim ağırlık (BHA) ve ağırlıkça su emme oranı (A_w) değerlerini belirlemek için ISRM [21] standardında açıklanan laboratuvar testleri kullanılmıştır. Birim hacim ağırlığın belirlenmesi için numunelerin toplam hacmi, kumpas okumalarının ortalamaları kullanılarak hesaplanmış ve numunelerin kuru ağırlığı 0,01 hassasiyetinde tartım yapabilen bir terazi ile belirlenmiştir. Her bir numune için numunenin kuru ağırlığı numune hacmine bölünmüş ve birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıkça su emme oranları, suya doymuş numunenin ağırlığı ile kuru numune ağırlığı farkının numunenin kuru ağırlığına oranı olarak hesaplanmıştır [22]. Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) için blok numunelerden 4.2 cm çapında ve boy/çap oranı 2-2.5 olan karot numuneleri alınmıştır. Deneyde 3000 kN-ELE otomatik pres kullanılmıştır ve TS EN 1926 [23] standardı uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen kırılma yükü kaydedilmiş ve Eşitlik 1 kullanılarak hesap yapılmıştır.

$$\sigma_t = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

Burada;

P= Kırılma yükü (kg)

A= Yüzey alanı (cm²)

Brazilian dolaylı çekme dayanımı (BDÇD) testi için boy/çap oranı 0.5-1.0 arasında olan karot numuneleri kullanılmıştır [24]. Karot örneklerinin boyu ve çapı kumpas yardımıyla belirlenmiştir. Test için kullanılan aparat içerisine yerleştirilerek 3000 kN-ELE otomatik pres ile yenilme anındaki kuvvet belirlenmiştir. Deney sonucunda BDÇD değeri eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{2xP}{\pi x D x L} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

Burada;

σ_c : Brazilian çekme dayanımı, kg/cm²,

P : Yarılma yük değeri, kg,

D : Karot çapı, cm,

L : Karot kalınlığı, cm.

V_p ölçümleri, TS EN 14579 [25] standardına göre Proceq PL-200 pümit ve iki adet 54 kHz dönüştürücü kullanılarak karot numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin V_p değerleri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_p = L/T_p \text{ (m/s)} \quad (3)$$

L= örnek boyu (m)

T_p =Geçiş süresi (s)

2.4. Basit Regresyon Analizi

Çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçları basit doğrusal regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bağımlı değişken (Y) ile bir bağımsız değişken (X) arasındaki ilişkiyi değerlendiren metoda basit regresyon analizi denilmektedir. $Y = a+bX$ biçiminde ifade edilen modele basit doğrusal regresyon denklemi denir. Basit doğrusal regresyonda bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki bağıntı Eşitlik 4 kullanılarak ifade edilir [26].

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

Bu modelde;

Y: (n×1) boyutlu bağımlı değişken gözlem vektörü,

X: (n×(p+1)) boyutlu bağımsız değişken gözlem matrisi,

β : ((p+1)×1) boyutlu katsayılar vektörü,

ε : (n1) boyutlu hata vektörüdür.

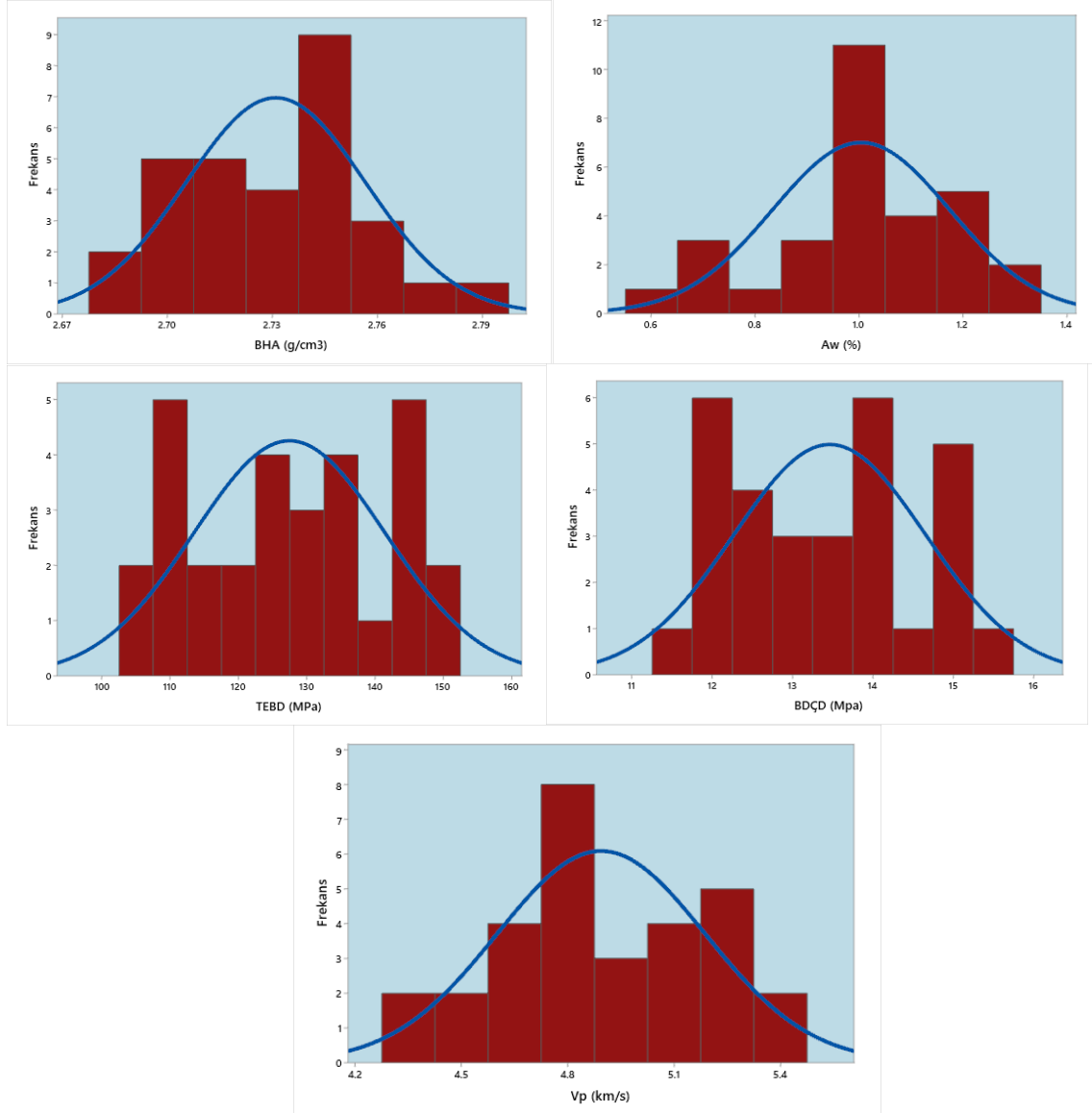
3. BULGULAR

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri temel yapıların tasarımı, inşası, duraylılığı ve ömrü açısından önem arz etmektedir. Ayrıca çalışma sırasında gerekli iş ekipman ve makinelerinde gerçekleştirilecek mühendislik çalışmaları öncesinde kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi kazı ekipmanı seçimi değerlendirilirken oldukça etkindir [17].

Çalışma sahasını tam olarak temsil etmesi açısından bölgede 4 farklı lokasyondan blok numune temin edilmiş ve karot örnekleri alınmıştır. Karot numuneleri üzerinde BHA, A_w , TEBD, BDÇD ve V_p deneyleri gerçekleştirilmiş, deney sonuçları değerlendirilerek en yüksek ve en düşük değerler veri setinden çıkarılmış ve her bir deney için toplam 30 değerden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Deney sonuçlarından elde edilen veri setine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de, histogram grafikleri ise Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Fiziksel ve mekanik test sonuçlarına ait tanımlayıcı istatistikler.

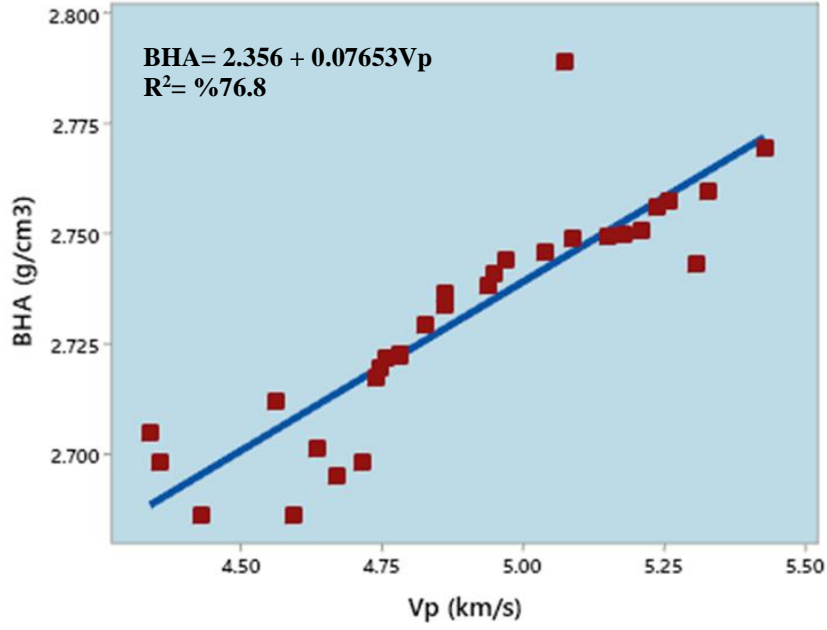
Değişken	Standart Sapma	Minimum	Ortalama	Maksimum	Çarpıklık	Basıklık
BHA (g/cm ³)	0.0257	2.6860	2.7309	2.7893	-0.01	-0.46
A _w (%)	0.1708	0.6460	1.0039	1.2600	-0.58	-0.20
TEBD (MPa)	14.05	105.24	127.47	149.02	0.00	-1.35
BDÇD (Mpa)	1.198	11.560	13.462	15.420	0.14	-1.28
V _p (km/s)	0.2947	4.3367	4.8939	5.4300	-0.07	-0.74

**Şekil 3.** Fiziksel ve mekanik test sonuçlarına ait histogram grafikleri.

Bazaltların kullanım alanlarının değerlendirilmesinde önemli yere sahip olan BHA, Aw, TEBD ve BDÇD parametrelerinde en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. İncelenecek parametreler basit, hızlı ve tahribatsız test yöntemi olan V_p kullanılarak en uygun doğru denklemi korelasyon katsayısı R² ve p değeri incelenerek belirlenmiştir. %70'in altındaki korelasyon katsayıları anlamlı kabul edilmemiştir. Regresyon analizleri Minitab 19 paket programı kullanılarak yapılmıştır. R² ve p değeri değerlendirilerek en uygun modelin lineer model olduğu görülmüştür. Böylelikle korelasyon ile kullanılan özellikler kabaca tahmin edilmiştir.

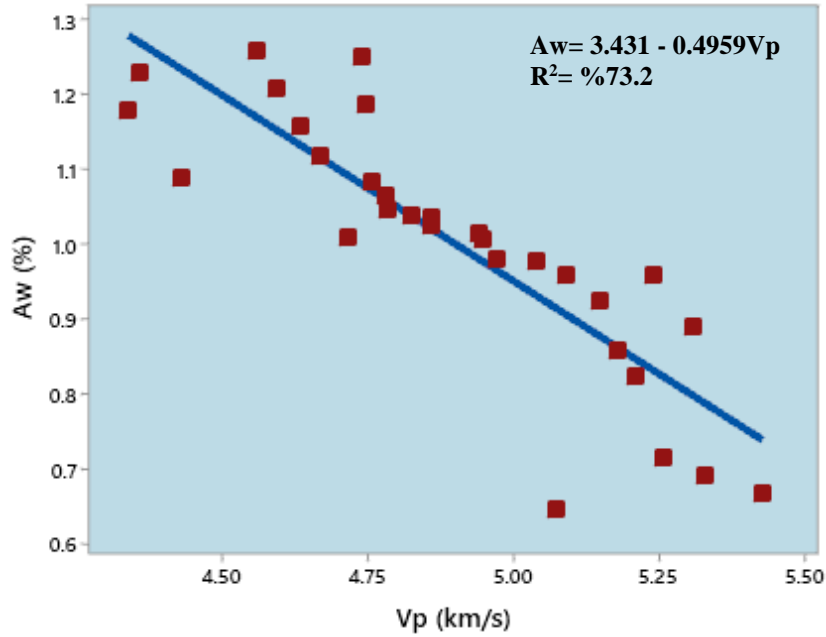
BHA ve Aw kayaların kullanım alanını belirleyen en önemli fiziksel özellikler arasındadır. Şev stabilitesinde, temel ve kazı çalışmalarında, tahkimat tasarımında, liman dolgularında, balast malzemesi seçiminde kayaların bu fiziksel özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca atmosferik koşullarının değişken ve yeraltı suyunun problem olduğu durumlarda incelenen fiziksel parametreler etkin rol oynamaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen bazalt örneklerinin BHA ile V_p arasındaki doğrusal ilişki, tahmin eşitliği ve R² değeri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Vp ile BHA arasındaki ilişki.

Çalışma kapsamında A_w 'nin V_p ile tahmin edilmesi etüv gibi bazı laboratuvar ekipmanları olmadan ve arazi koşullarında tahribatsız olarak daha pratik ve hızlı bir şekilde belirlenebilecektir. Bazalt örneklerinin A_w ile V_p arasındaki ters doğrusal ilişki, tahmin eşitliği ve R^2 değeri Şekil 5'de verilmiştir.

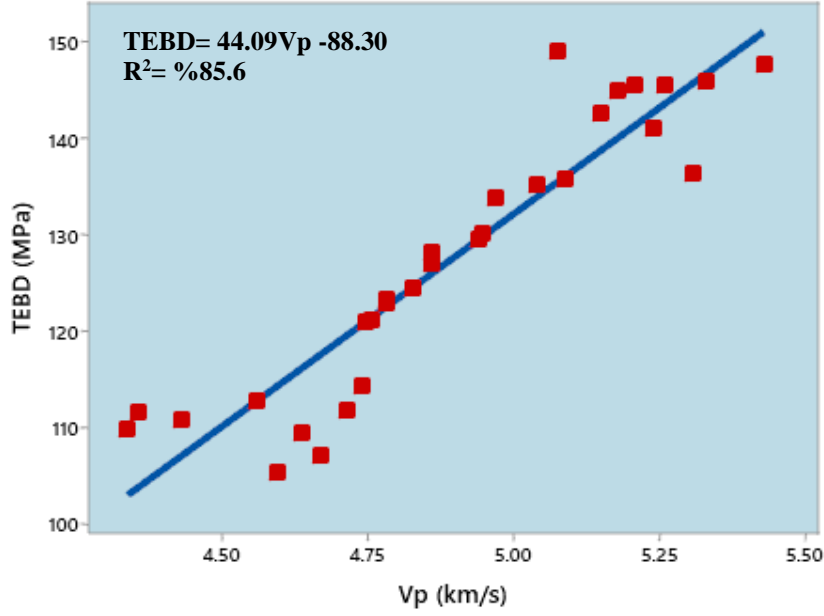


Şekil 5. Vp ile A_w arasındaki ilişki.

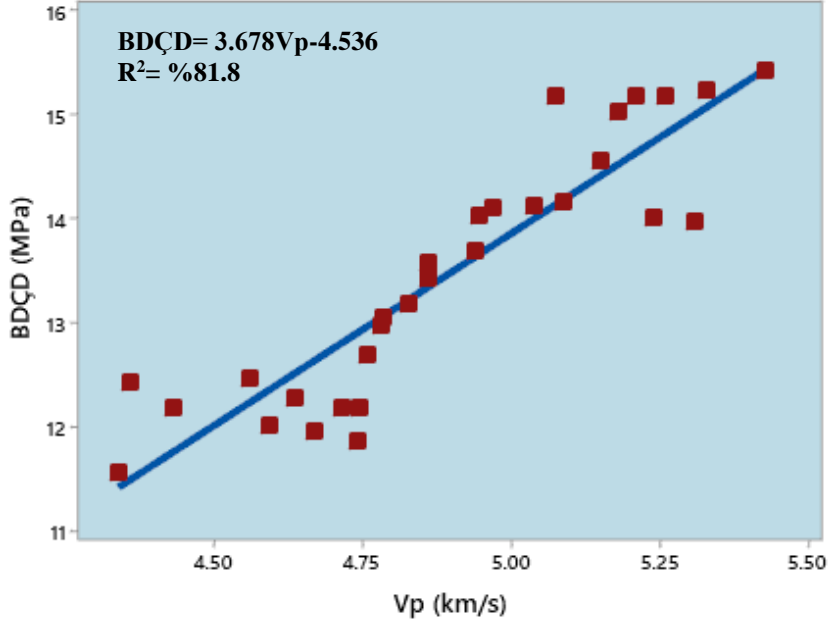
Kayaçların TEBD ve BDÇD testleri için blok numunelerden istenilen ölçülerde karotların hazırlanması oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Belirlenecek özelliklerin yerinde test yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi kayaç özellikleri açısından öngörü sağlayacaktır.

V_p ve TEBD arasındaki ilişki Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'dan anlaşılacağı gibi TEBD değeri V_p değeri ile doğrusal olarak artmaktadır ve elde edilen tahmin denklemi %85.6 korelasyon katsayısı ile şekil üzerinde verilmektedir.

V_p ve BDÇD arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'den anlaşılacağı gibi BDÇD değeri V_p değeri ile doğrusal olarak artmaktadır ve elde edilen tahmin denklemi %81.8 korelasyon katsayısı ile şekil üzerinde verilmektedir.



Şekil 6. Vp ile TEBD arasındaki ilişki.



Şekil 7. Vp ile BDÇD arasındaki ilişki.

4. SONUÇ

İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bazaltların fiziko-mekanik özelliklerini tahmin etmek amacıyla 30 farklı bazalt numunesi üzerinde deneyler yapılmıştır. İncelenen bu özellikler bazaltların kullanım alanlarını oldukça etkilemektedir ve bu özelliklerin tahribatsız yöntem olan Vp ile tahmini pratik olarak kullanılabilir. Yapılan regresyon analizi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Vp bazaltların BHA, Wa, TEBD ve BDÇD'nin tahmini için iyi bir göstergedir ve aralarında doğrusal bir ilişki vardır.
- BHA kayaçların ağırlığının boşluklu hacmine oranıdır ve kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli bir parametredir. Vp ile BHA arasında yüksek korelasyon katsayısına ($R^2=76.8$) sahip doğrusal bir ilişki vardır. Çalışma sahasına ait bazaltlarda BHA değerleri elde edilen eşitlik kullanılarak tahmin edilebilir.
- Aw kayaçların ayrışmasına sebep olan önemli parametrelerdendir. Özellikle deniz, baraj gibi suya temas eden yapılarda kullanılan bazaltların Aw değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Vp ile Aw arasında yüksek korelasyon katsayısına ($R^2=73.2$) sahip ters doğrusal bir ilişki vardır. Çalışma sahasına ait bazaltlarda Aw değerleri elde edilen eşitlik kullanılarak tahmin edilebilir.

- TEBD ve BDÇD kayaçların en önemli mekanik özelliklerindedir. Çalışma bölgesindeki bazaltların bu TEBD ve BDÇD arasında doğrusal ve yüksek korelasyona sahip (TEBD için R^2 : 85.6 ve BDÇD için R^2 : 81.8) ilişki vardır. Elde edilen eşitlikler kullanılarak bazaltların incelenen mekanik özellikleri tahmin edilebilir.
- Çalışma sahasından elde edilen bazaltların V_p değeri ile elde edilen korelasyonlar fiziksel özelliklerin tahmininde biraz daha düşüktür. Fakat mekanik özelliklerden elde edilen korelasyon katsayılarının daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Çalışma sonucunda elde edilen eşitlikler bölgede ilerlemekte olan sanayi çalışmaları ile birlikte yapım çalışmalarına başlanacak ve devam etmekte olan kıyı yapıları için bölge bazaltların değerlendirilmesine hızlı ve pratik şekilde katkı sağlayacaktır.

Yazar Katkıları

Yazar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

KAYNAKÇA

- [1] A. E. Kahveci, and A. Kadayıfçı, “Diyarbakır yöresi bazalt taşının yapısal özelliklerinin incelenmesi”, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, vol. 5, no. 3, pp. 56-69, 2013.
- [2] Y. Erkan, “Magmatik petrografi”, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendislik Bölümü Raporu 44s. Ankara, 1995.
- [3] Ö. Keskin and A. M. Kılıç. “Doğu Akdeniz yöresi bazaltlarının kırmataş olarak değerlendirilme olanakları”, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, pp. 152-157, 2003.
- [4] A. Orhan, A. K. Namık, A. Erensoy, and Ç. E. K. Nurettin, “Betonda bazalt agreganın kullanımı ve özellikleri”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 19, pp. 524-532, 2020.
- [5] E. Kahraman, and N. Yapıcı “Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi”, Demiryolu Mühendisliği, vol. 16, pp. 14-22, 2022.
- [6] S. Erişiş, A. Tuğrul, E. R. Selman, and M. Yılmaz, “Bazaltik kayaların bileşim ve dokusal özelliklerinin mekanik davranışlarına etkisi”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, vol. 43, no. 2, pp. 259-278, 2019.
- [7] C. Karpuz, and A. G. Paşamehmetoğlu, “Field characterization of weathered Ankara andesites”, Engineering Geology, vol. 46, pp. 1 – 17, 1997.
- [8] J. A. Hudson, E. J. W. Jones, and B. M. New, “P-wave velocity measurements in a machine-bored, chalk tunnel”, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, vol. 13, no. 1, pp. 33-43, 1980.
- [9] M. T. Gladwin, “Ultrasonic stress monitoring in underground mining”, In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, vol. 19, no. 5, pp. 221-228, 1982.
- [10] N. Turk, W. R. A. Dearman, “A suggested approach to rock characterization in terms of seismic velocities”, In The 27th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS), OnePetro, 1986.
- [11] F. K. Boadu, “Fractured rock mass characterization parameters and seismic properties: Analytical studies”, Journal of Applied Geophysics, vol. 37, no. 1, pp. 1-19, 1997.
- [12] A. Karakus, and M. Akatay, “Determination of basic physical and mechanical properties of basaltic rocks from P-wave velocity”, Nondestructive Testing and Evaluation, vol. 28, pp. 342–353, 2013.
- [13] M. Khandelwal, and P. G. Ranjith, “Correlating index properties of rocks with P-wave measurements”, Journal of Applied Geophysics, vol. 71, pp. 1 –5, 2010.
- [14] A. Tuğrul, and I. H. Zarif, “Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey”, Engineering Geology, vol. 51, pp. 303–317, 1999.
- [15] P. K. Sharma, and T. N. Singh, “A correlation between P wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 67, pp. 17–22, 2008.
- [16] A. Azimian, and R. Ajalloeian, “Empirical correlation of physical and mechanical properties of marly rocks with P wave velocity”, Arabian Journal of Geoscience, vol. 8, no. 4, pp. 2069-2079, 2015.
- [17] R. Kallu, and P. Roghanchi, “Correlations between direct and indirect strength test methods” International Journal of Mining Science Technology, vol. 25, no. 3, pp. 355-360, 2015.
- [18] A. Kılıç, and A. Teymen, “Determination of mechanical properties of rocks using simple methods”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 67, no. 2, pp. 237-244, 2008.
- [19] M. Khandelwal, “Correlating P-Wave Velocity with the Physico-Mechanical Properties of Different Rocks, Pure Appl”, Geophys, vol. 170, no. 4, pp. 507-514, 2013.
- [20] S. Yagiz, “P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials”, Bulletin of Materials Science, vol. 34, pp. 947 – 953, 2011.

- [21] ISRM (2007), "Suggested methods prepared by the commission on testing methods", International society for rock mechanics, compilation arranged by the ISRM Turkish National Group Ankara, Turkey, 628 p.
- [22] TS EN 1097-6, "Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini", TSE, Ankara, 2013.
- [23] TS EN 1926, "Doğal taşlar- Deney metotları- Basınç dayanımı tayini", TSE, Ankara, 2007.
- [24] TS 7654, "Kayaçların çekme mukavemetinin dolaylı (indirekt) metotla tayini" TSE, Ankara, 1989.
- [25] TS EN 14579, "Doğal taşlar-Deney yöntemleri-Ses hızı ilerlemesinin tayini", TSE, Ankara, 2006.
- [26] B. Biçkici, "Çok değişkenli varyans analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulamalı olarak karşılaştırılması", Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Erzurum. 54 p., 2007.