



Araştırma Makalesi / Research Article

Bazaltik Kayaların Bileşim ve Dokusal Özelliklerinin Mekanik Davranışlarına Etkisi

The Effect of Composition and Textural Properties of Basaltic Rocks on Their Mechanical Behaviour

Sinem ERİŞİŞ , Atiye TUĞRUL , Selman ER , Murat YILMAZ* 

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar-İstanbul

Geliş (Received): 01 Şubat (February) 2019 / Düzeltme (Revised): 16 Nisan (April) 2019 / Kabul (Accepted): 19 Nisan (April) 2019

Bazaltlar ülkemizde yaygın bir şekilde bulunmakta ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Dayanıklılığı ve dayanımı yüksek olan bazaltlar mühendislik projelerinde tercih edilmektedir. Kullanım alanlarının artması için bazaltların kimyasal, mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada farklı kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklere sahip bazaltik kayaların fiziko-mekanik davranışlarına olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Örnekler genel olarak Marmara Bölgesi ve çevresindeki bazalt taş ocaklarından derlenmiştir. Daha sonra örneklerin kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Sonraki aşamada laboratuvar çalışmaları sonucunda fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bazaltlar hamur özellikleri, mineralojik bileşimleri ve fenokristal boyutlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup bazaltlar olivin içeriği yüksek ve fenokristal minerallerin alanları düşük bazaltlardır. İkinci grup bazaltlar ise olivin içermeyen, volkan camı içeriği ve fenokristal minerallerin alanları yüksek olan bazaltlardır. Birinci grup bazaltlar ikinci grup bazaltlara göre daha yüksek dayanım vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Mineraloji, Dokusal Özellik, Fiziko-Mekanik

ABSTRACT

Basalts are common in our country and basalts are employed for different purposes. Basalts which have high durability and resistance are preferred in engineering projects. Chemical, mineralogical, petrographic and physico-mechanical properties of basalts should be well-known to increase their usage areas. Studies have shown that there is a relationship between the structure and physico-mechanical properties of stones. The aim of this study is to investigate the effects of different chemical, mineralogical and petrographic properties on the physico-mechanical behavior of basaltic rocks. In general, basalt stones were collected from the Marmara Region and its surroundings. Then, chemical, mineralogical and petrographic properties of the samples were determined. In the next stage, physico-mechanical properties were determined as a result of laboratory studies. Basalts were divided into two groups according to their matrix characteristics, mineralogical composition and phenocrystalline dimensions according to test results. The first group of basalts showed high strength with high olivine content. The second group of basalts are including high rate phenocrystalline minerals, not including olivine but including high volcanic glass. These basalts give lower strength than the first group.

Key words: Basalt, Mineralogy, Textural Properties, Pyhsico-Mechanic

GİRİŞ

Ülkemizde köprü, yol, metro, demiryolu, tünel ve baraj gibi mühendislik yapılarının sayısı arttıkça doğal kaynak ihtiyacı da artmaktadır. Sadece mühendislik yapıları değil, toplu yaşam alanlarına her geçen gün bir yenisinin eklenmesi ve bunların dışında farklı sektörlerdeki (ısı depolama, ısı yalıtımı, cam-seramik gibi) doğal taş kullanımı, kaynak ihtiyacını arttırmaktadır. Bu doğrultuda ülkemizde ve dünyada yaygın şekilde bulunan bazaltik kayalar, dayanımı ve dayanıklılıklarının yüksek olmasından dolayı çok geniş bir yelpazede malzeme ihtiyacını karşılamaktadır. Farklı türdeki bazaltların yük altındaki davranışlarının ve yenilme özelliklerinin bilinmesi, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesine yönelik literatürde birçok çalışma vardır. Tuğrul ve Gürpınar (1997) Tokat/Niksar bölgesinden seçilmiş olan bazaltların temel mühendislik özelliklerini her bir ayrışma zonu için belirlemişlerdir. Mühendislik özellikleri (kuru yoğunluk, gözeneklilik, geçirgenlik, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri) ile ayrışma zonları arasında ilişkiler olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda da ayrışmadan etkilenen bazaltik kayalar için yeni bir sınıflama sistemi önermişlerdir. Heap (2009) ise elastisite modülünün, deformasyonun kaynağını bulmaya yönelik güvenilir bir yardımcı olduğunu belirtmiştir. Korkanç ve Solak (2016) yaptığı çalışmada tuf ve ignimbiritlerin petrografik özelliklerini incelemiş ve tane/ matriks oranı ile mekanik davranışları arasında ilişkiler kurmuştur. Sonuç olarak tüflerde dayanımı etkileyen en önemli faktörün matriks oranı olduğu ve ignimbiritler için tane /matriks oranı arttıkça dayanımın azaldığı sonucuna varmıştır. Adelinet ve diğerleri (2013) bazaltik kayada kırılma ve sünek davranışlar sırasında deformasyon gelişimini, sismik aletler, akustik

emisyon verileri ve mikro yapıları gözleyerek araştırmışlardır. Hacmin ve yoğunluğun düştüğü yerde çatlakların ilerlediğini ve kayanın orijinal halinde deformasyon farklılığını, mikro yapısının ve porozitesinin kontrol ettiğini tespit etmişlerdir.

Ündül vd. (2015) de düşük poroziteli andezitik kayalarda, mikro yapının kayanın mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sayısal petrografik çalışmalarla birlikte makro ve mikro çatlakların dağılımlarını basınç testleriyle analiz etmişlerdir.

Bu çalışmalardan da görülebileceği gibi kayaların yük altındaki davranışlarını belirleyecek olan fiziksel ve mekanik özellikler, bileşimleri ve dokularıyla doğrudan ilişkilidir. Farklı tür kayalar (granit, bazalt, gabro, andezit gibi) üzerinde yapılan çalışmalar literatürde yer alsa da, farklı tür bazaltlar kullanılarak, tüm fiziksel ve mekanik özelliklerinin bileşim ve doku ile olan ilişkilerini kıyaslayan ve doğrudan ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı, gerçekleştirilmekte olan alt ve üst yapı projelerinde kullanımı ve gelişmekte olan farklı sektörler ile birlikte ihtiyacı her geçen gün giderek artan bazaltik kayaların bileşim ve doku özelliklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin ortaya konulmasıdır.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma için, Marmara Bölgesi ve çevresinde yer alan, farklı doku ve bileşime sahip bazalt örnekleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan bazalt örnekleri Tekirdağ - Hayrabolu, Tekirdağ-Muratlı, Tekirdağ-Osmancık Köyü, Kütahya, Düzce, Çanakkale-Biga, Bursa-İznik ve Edirne-Keşan bölgelerindeki taş ocaklarından alınmıştır (Şekil 1). Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler verilen kodlar ve nereden alındıkları Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. İncelenen kayaçların alındığı ocak yerlerini gösteren yer bulduru haritası.

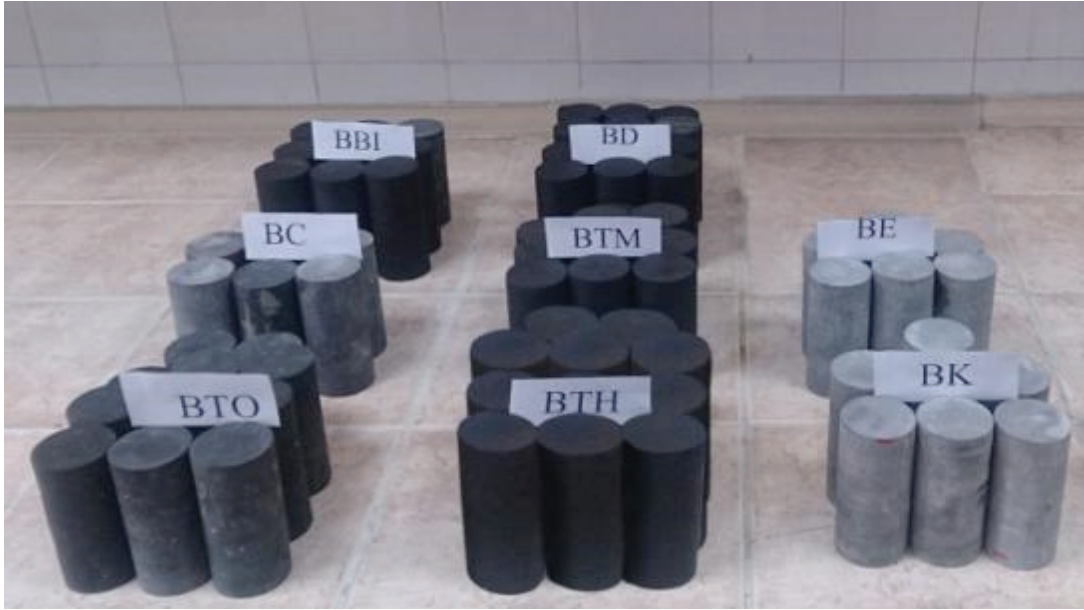
Figure 1. Location map showing the places where the investigated rocks were taken.

Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan bazalt örneklerinin kodları ve alındığı bölgeler.

Table 1. Codes and locations of the basalt samples used in experimental studies.

Örnek Kodu	Örneğin Alındığı Bölge
BTH	Tekirdağ- Hayrabolu
BTM	Tekirdağ- Muratlı
BTO	Tekirdağ- Osmanlı Köyü
BK	Kütahya
BD	Düzce
BÇ	Çanakkale
BB	Bursa
BE	Edirne

Bazaltik kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerinin, mekanik davranışlarına etkisinin belirlenebilmesi için öncelikle numunelerden ince kesitler hazırlanmış ve incelenmiştir. Farklı özelliklerdeki bazaltik kayaçların kimyasal bileşimlerini belirlemek için ise XRF analizi yapılmış ve ana element oksit yüzdeleri bulunmuştur. Böylece kimyasal bileşimlerine göre incelenen kayaçlar sınıflandırılmış, mineralojik ve petrografik özellikleri tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ardından blok haline getirilmiş olan bazaltik kayaçlardan örnekler hazırlanmıştır. Elde edilen örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılırken ISRM (2007) tercih edilmiştir. (Şekil 2).



Şekil 2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan bazalt karot örnekleri.

Figure 2. Basalt core samples used in laboratory studies.

BULGULAR

Kimyasal Özellikler

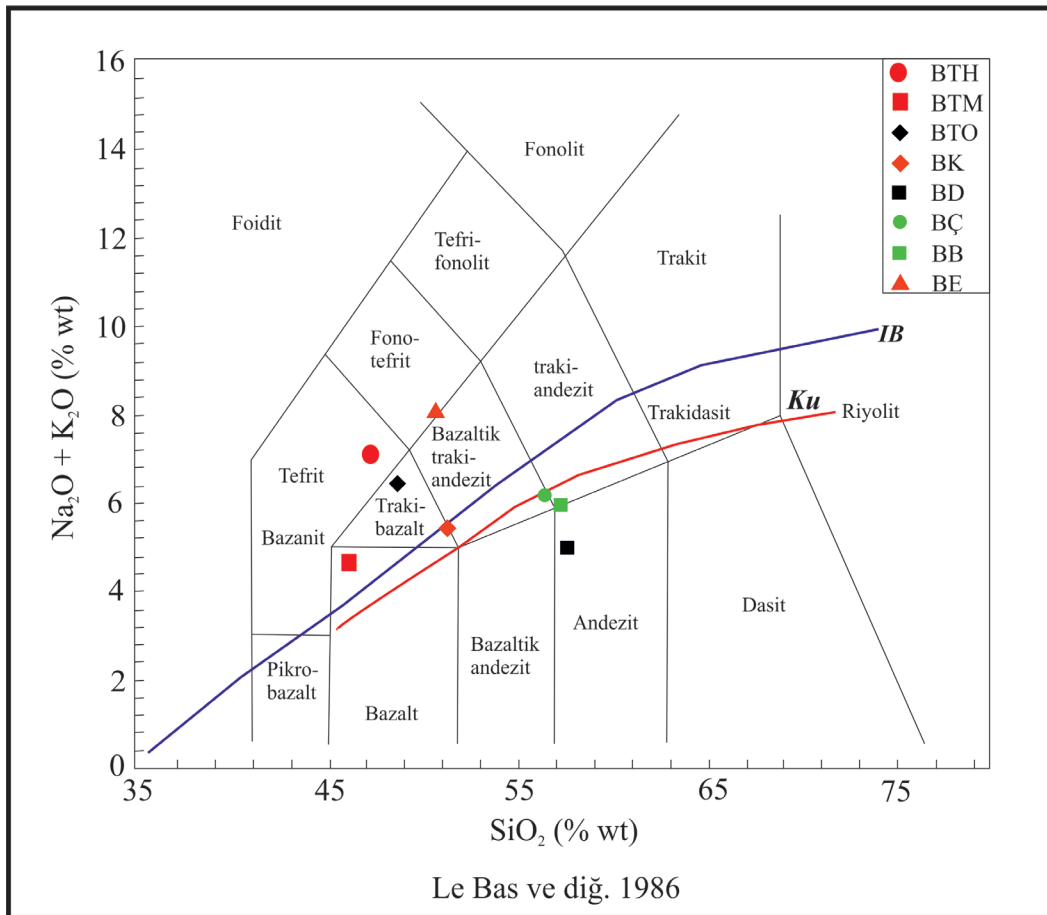
Farklı bileşimlere sahip sekiz kayacın kimyasal özelliklerini saptamak amacıyla XRF yöntemi kullanılarak ana element oksit içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur.

Bazaltik kayaçların kimyasal içerikleri doğrultusunda Le Bas vd. (1986)’a göre $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ değerleri kullanılarak örneklerin dağılımları yapılmıştır (Şekil 3). Bu doğrultuda BTH tefrit, BTM bazalt, BTO traki-bazalt, BK traki-bazalt, BD andezit, BÇ bazaltik trakiandezit, BB traki-andezit, BE fenotefrit-bazaltik trakiandezit bileşimlerindedir (Şekil 3).

Çizelge 2. Bazaltik kayaçların ana element oksit yüzdeleri.

Table 2. Main element oxide percentages of the basaltic rocks.

Ocak Kodu	Ana Element Oksit Yüzdeleri (%)							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
BTH	46.33	13.67	10.96	9.79	11.63	0.15	2.31	4.52
BTM	45.14	13.25	10.19	9.08	12.11	0.16	1.90	3.04
BTO	47.10	13.12	10.02	8.91	11.83	0.14	2.10	3.78
BK	51.73	18.32	5.87	9.08	3.09	0.15	2.39	3.31
BD	57.65	17.22	6.52	6.69	2.96	0.15	1.18	3.68
BÇ	56.63	18.52	5.95	6.65	3.34	0.15	3.28	3.03
BB	57.13	17.75	6.96	6.75	3.81	0.15	1.96	3.43
BE	49.67	12.26	7.89	7.91	12.74	0.14	5.51	2.53



Şekil 3. İncelenen kayaç örneklerinin $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ değerlerine göre isimlendirme diyagramındaki konumları (Le Bas vd., 1986).

Figure 3. The locations of the rock samples in the naming diagram according to $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ (Le Bas et al., 1986).

Mineralojik ve Petrografik Özellikler

Sekiz farklı bazaltik kayaç örneğinden öncelikle ince kesitler hazırlanmış ve mikroskop altında mineral alanları ve hamur yüzdeleri tespit edilmiştir. İnce kesit incelemeleri sırasında geneli ifade edecek şekilde her bir ocağın kesitinden onar tane olmak üzere toplamda 80 ince kesit fotoğrafı polarizan mikroskopta 100 mikron (um) ölçek kullanılarak çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar üzerinde Image J programı kullanılarak tüm ince kesitler için minerallerin alanları ve hamur

yüzdeleri hesaplanmıştır. 100um 0.1 mm.' ye karşılık geldiğinden, on ince kesit fotoğrafının toplam alanı da yaklaşık 7,4 mm²'ye denk gelmektedir. Bu nedenle etki oranının yüksek olmamasından dolayı ve hesap karmaşasına yer vermemek adına 0.001 mm² altındaki alana sahip mineral tanelerinin, toplam mineral değerlerine dahil edilmemesi uygun görülmüştür. İnce kesitler üzerinde bazaltik kayaçların mineralojik bileşimini kantitatif olarak belirlemek amacıyla modal analiz (nokta sayımı) yapılmıştır. Modal analiz için her bir bazalt kesiti üzerinde 2000

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

nokta sayılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda kayaçların mineral - hamur alanları Çizelge 3'te, nokta sayımı ile elde edilen mineral içeriklerinin yüzdeleri de Çizelge 4'te verilmiştir. Bazaltik

kayaçların hamur ve doku özellikleri, mineral içerikleri, ayrışma durumları ve petrografik bileşimlerine göre sınıflandırmaları da Çizelge 5'te ve Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. İncelenen bazaltik kayaçların içeriğinde bulunan minerallerin alanları ve yüzdeleri.

Table 3. The areas and percentages of the minerals in the basaltic rocks studied.

Ocak Kodu	Alan (mm ²)	Hamur		Piroksen		Olivin		Plajiyoklas		Biyotit		Opak min.	
		(mm ²)	(%)	(mm ²)	(%)	(mm ²)	(%)	(mm ²)	(%)	(mm ²)	(%)	(mm ²)	(%)
BTH	7.46	6.12	82.1	0.71	9.5	0.46	6.17	0.15	1.97	-	-	0.02	0.23
BTM	7.43	5.19	69.9	0.32	4.3	0.97	13.0	0.93	12.5	-	-	0.02	0.23
BTO	7.43	4.78	64.0	0.63	8.4	1.23	16.5	0.68	9.18	-	-	0.11	1.48
BK	7.44	5.77	77.6	1.35	18.2	0.15	2.06	0.12	1.60	-	-	0.04	0.55
BD	8.19	4.97	60.6	1.22	14.8	-	-	1.88	23.0	-	-	0.12	1.46
BÇ	6.68	3.86	57.7	0.95	14.2	-	-	1.73	25.8	-	-	0.15	2.24
BB	7.52	3.84	50.9	1.38	18.3	-	-	2.11	28.1	-	-	0.19	2.57
BE	7.36	3.29	44.6	2.55	34.5	0.12	1.60	1.10	14.9	0.27	3.67	0.04	0.58

Çizelge 4. Nokta sayımı ile belirlenen bazaltik kayaçların içerdiği mineral oranları.

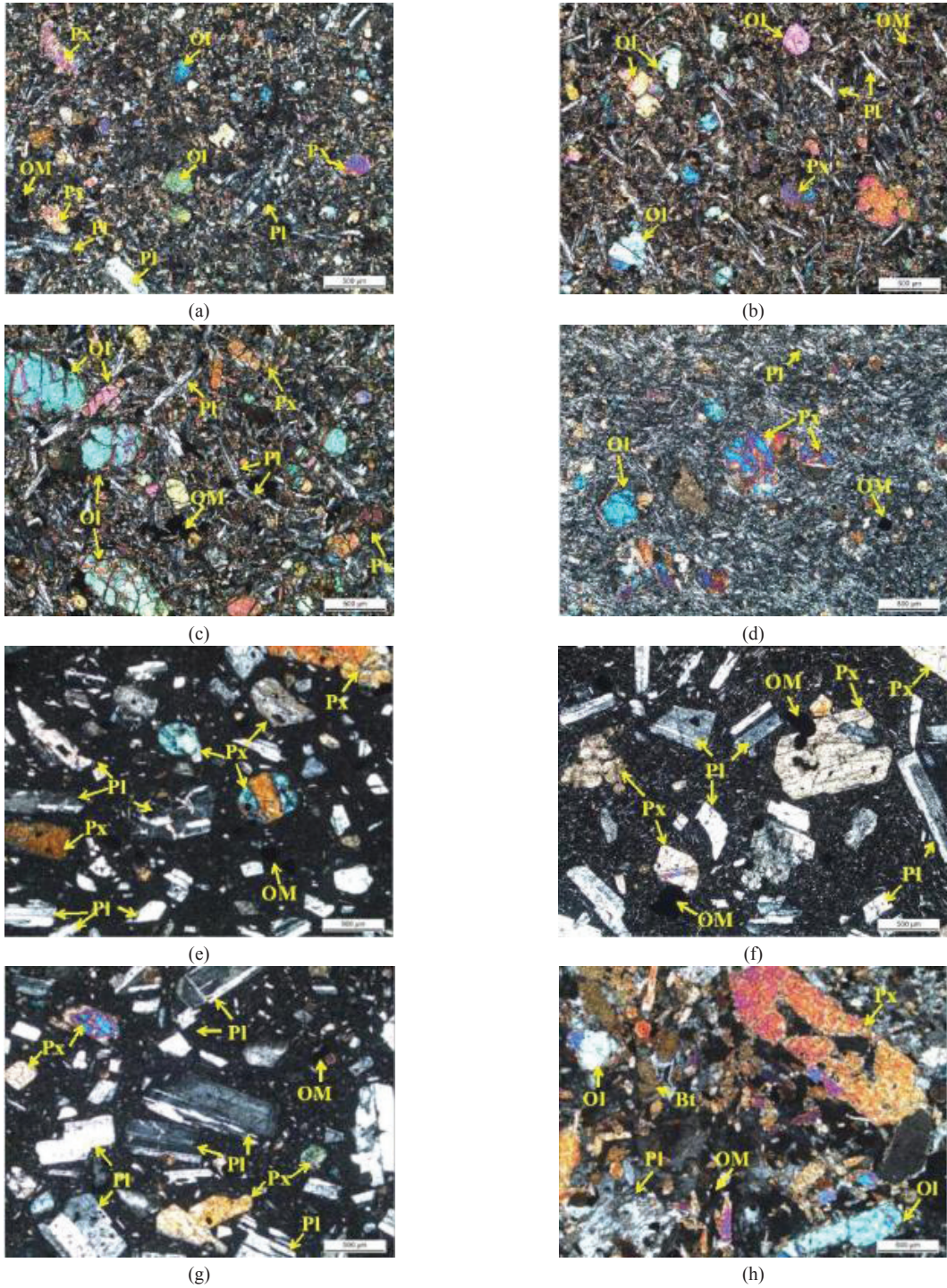
Table 4. Mineral ratios of the basaltic rocks determined by point counting.

Ocak Kodu	Mineral İçeriği (%)					
	Hamur	Piroksen	Olivin	Plajiyoklas	Biyotit	Opak Min.
BTH	81.4	9.9	3.3	4.4	-	1.0
BTM	68.2	5.6	10.5	14.2	-	1.5
BTO	65.3	7.2	15.0	10.8	-	1.7
BK	75.7	18.5	2.80	2.60	-	0.4
BD	59.7	12.6	-	26.9	-	0.8
BÇ	56.6	13.0	-	29.4	-	1.0
BB	50.5	18.5	-	30.2	-	0.8
BE	48.5	32.2	3.8	10.8	4.1	0.6

Çizelge 5. Bazaltik kayaların alındıkları bölgelere göre mineral içeriği, doku, hamur, ayrışma durumu ve mikroskobik tanımlamaları.
Table 5. Mineral contents, texture, matrix, weathering and microscopic descriptions of the basaltic rocks according to the areas they are taken from.

Numune Kodu	Numunenin Alındığı Bölge	Mineral İçeriği	Doku	Hamur	Ayrışma	Mikroskobik Tanımlama
BD	Düzce	Plajiyoklas, piroksen(ojit), opak	Holohyalin porfirik	Volkan camı, çok küçük piroksen ve plajiyoklas	-	Bazalt
BE	Edime / Keşan	Piroksen, plajiyoklas, biyotit, opak	Holokristalin porfirik	-	Kloritleşme	Mafik Damar Kayacı
BK	Kütahya	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak	Holokristalin porfirik, Akma dokusu	Plajiyoklas mikroliti ağırlıklı ve çok küçük piroksen	Karbonatlaşma, kılleşme, talklaşma	Olivin Bazalt
BTO	Tekirdağ / Osmancikköy	Olivin, plajiyoklas, opak	Hipokristalin porfirik	Volkan camı, piroksen, plajiyoklas	Kloritleşme, silisleşme	Olivin Bazalt
BTH	Tekirdağ / Hayrabolu	Olivin, plajiyoklas, piroksen, opak	Holokristalin porfirik	Plajiyoklas, piroksen, volkan camı	Silisleşme	Bazalt
BTM	Tekirdağ / Muratlı	Piroksen, Plajiyoklas, olivin, opak	Holokristalin porfirik	Plajiyoklas Kristalleri, piroksen ve opak	Talklaşma (olivin)	Bazalt / Diyabaz
BB	Bursa / İznik	Plajiyoklas, Piroksen, opak	Hipohyalin porfirik	Volkan camı ağırlıklı, az mikrolit	-	Bazalt
BÇ	Çanakkale / Biga	Piroksen, plajiyoklas, olivin, opak	Hipidiyamorflü porfirik	Volkan camı ağırlıklı	Hidrotermal alterasyon, karbonatlaşma (piroksen), erime-çözünme (plajiyoklas)	Bazalt

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz



Şekil 4. Örneklerin polarizan mikroskobu altındaki görünümü.

Figure 4. View of samples under polarizing microscope.

a) BTH, b) BTM, c) BTO, d) BK, e) BD, f) BÇ, g) BB, h) BE, (Px: Piroksen, Pl: Plajiyoklas, Ol: Olivin, OM: Opak Mineral), (Çift Nikol. 4X).

Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Yoğunluk

Fiziksel özelliklerden biri olan yoğunluk deneyi ISRM (2007)' e uygun olarak yapılmış ve elde edilen ortalama sonuçlara göre en yüksek değerin 2.74 t/m^3 ile BTH örneğine ve en düşük değerin 2.47 t/m^3 ile BÇ örneklerine ait olduğu Çizelge 6' da görülmektedir.

Çizelge 6. Bazaltik kayaçların yoğunluk değerleri.

Table 6. Density values of the basaltic rocks.

Ocak Kodu	Yoğunluk (t/m^3)		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
BTH	2.74	2.74	2.74
BTM	2.74	2.73	2.74
BTO	2.66	2.64	2.65
BK	2.57	2.57	2.57
BD	2.49	2.48	2.49
BÇ	2.47	2.46	2.47
BB	2.50	2.48	2.49
BE	2.69	2.69	2.69

Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık deneyi ISRM (2007)' e göre yapılmıştır. Çizelge 7' de verilen sonuçlara göre; en yüksek ortalama değer 28.69 kN/m^3 ile BTH ve en düşük ortalama değer de 26.05 kN/m^3 ile BB örneğidir.

Çizelge 7. Bazaltik kayaçların birim hacim ağırlık değerleri.

Table 7. Unit weight values of the basaltic rocks.

Ocak Kodu	γ (kN/m^3)		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
BTH	28.78	28.60	28.69
BTM	28.54	28.48	28.51
BTO	28.08	28.06	28.07
BK	27.10	27.08	27.09
BD	26.35	26.19	26.27
BÇ	26.55	26.46	26.50
BB	26.06	26.04	26.05
BE	27.98	27.79	27.89

Efektif Gözeneklilik

Farklı sektörlere hizmet edebilecek özelliklere sahip olan bazaltik kayaçların diğer tüm kayaçlarda olduğu gibi porozite değerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Sekiz farklı bazaltik kayaç örneğinin de boşlukları birbirleri ile bağlantılı değildir. ISRM (2007) deney standardına göre yapılan deneylerden elde edilen efektif porozite sonuçları Çizelge 8'de sunulmuştur.

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

Çizelge 8. Bazaltik kayaçların efektif porozite değerleri.

Table 8. Effective porosity values of the basaltic rocks.

Ocak Kodu	$n_e(\%)$		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
BTH	0.63	0.45	0.53
BTM	0.84	0.81	0.82
BTO	2.06	1.52	1.72
BK	1.20	1.10	1.14
BD	0.15	0.13	0.14
BÇ	0.36	0.32	0.33
BB	0.48	0.43	0.46
BE	2.25	1.94	2.05

Helyum Porozimetresi

Helyum porozimetre deneyi efektif poroziteyi tespit edebilmek için uygulanan yöntemlerden biridir. Deney helyum gazının diğer gazlara göre daha küçük molekül yapısında olmasından ötürü kayacın çok daha küçük boşluklarına girebilme prensibine dayanmaktadır. Deney EPS Helium Gas Expansion Porosimeter HPG 100 (93115 A) model cihaz kullanılarak yapılmıştır. NQ çaplı karotlar cihaza uygun hale getirilerek çapı 3.8 cm, boyu ise 7.6 cm olacak şekilde yeniden hazırlanmış ve boyu kısa kalan numuneler için ise referans hacimler kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Helyum porozimetresi cihazı ile referans ağırlıkları ve deneye uygun hale getirilmiş bazaltik kayaç örnekleri (soldan sağa doğru).

Figure 5. Reference weights and basaltic rock samples with the helium porosimetry device (from left to right).

Anovitz ve Cole (2015)'e göre, helyum gazı diğer gazlara göre daha avantajlıdır çünkü;

(1) Küçük molekül yapısında olduğundan çok küçük gözeneklere nüfuz edebilir.

(2) H₂O veya CO₂ hava koşullarında kaya yüzeyine etkimeyebilir ve emilmeyebilir.

(3) Helyum, deneylerde kullanılan basınç ve sıcaklıklar için ideal gaz olarak kabul edilir.

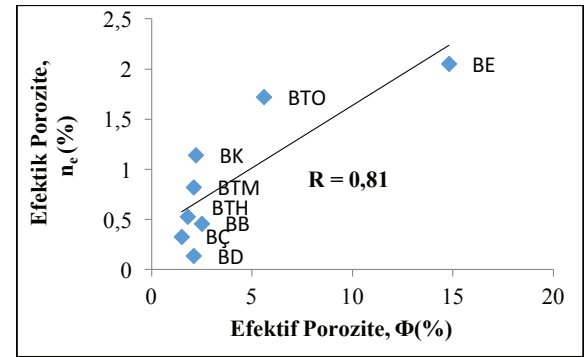
(4) Helyum yüksek yayılma özelliğinde olduğundan düşük geçirgenliğe sahip kayaların porozitelerini hesaplamak için doğru bir araçtır.

Bu nedenle helyum porozimetresi yöntemi ile elde edilmiş sonuçlar su kullanılarak elde edilen yönteme göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Deney sonuçlarına göre, en yüksek efektif porozite % 14.8 ve boşluk hacmi 8.22 mm³ değerleri ile BE örneğine aittir. BE örneğinin diğerlerine göre daha yüksek değer vermesinin sebebi, ince kesitlerinde de dikkati çeken gaz boşlukları olduğu düşünülmektedir. En düşük efektif porozite %1.5 ve boşluk hacmi 1.22 mm³ değerleri ile BD kodlu örneğe aittir. Çizelge 9'da helyum porozimetresi sonuçları verilmiştir. Helyum porozimetresinden elde edilen değerler ile ISRM önerilerine göre bulunmuş efektif porozite (n_e) değerleri karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu ($R=0.81$) olduğu görülmüştür (Şekil 6). Palchik ve Hatzor (2004), karbonatlı kayalar için bu uyumluluğu çok daha yüksek ($R^2=0.99$) olarak bulmuştur. Bazı sonuçların beklenilen dışında daha yüksek veya daha düşük çıkmasının nedeninin birbirleri ile bağlantılı olmayan gaz boşluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 9. Bazaltik kayaların helyum gazı yöntemi ile elde edilen efektif porozite ve boşluk hacmi değerleri.

Table 9. Effective porosity and void volume values obtained by helium gas method of the basaltic rocks.

Örnek Kodu	Efektif Porozite Φ (%)	Boşluk Hacmi (mm ³)
BTH	1.8	1.24
BTM	2.1	1.85
BTO	5.6	3.17
BK	2.2	1.84
BD	2.1	1.83
BÇ	1.5	1.22
BB	2.5	2.14
BE	14.8	8.22



Şekil 6. İki farklı yöntem ile elde edilen efektif porozite değerleri arasındaki ilişki.

Figure 6. The relationship between the effective porosity values obtained by two different methods.

Atmosfer Basıncı Altında Su Emme

Deney, ISRM (2007) önerisine göre gerçekleştirilmiştir. Çizelge 10'daki sonuçlara göre BE atmosfer basıncında % 0.77 ile ağırlıkça en yüksek su emmeye sahiptir. BD örneği içerisinde ayrılmış mineral bulunmadığı için, ortalama % 0.06 su emme ile en düşük değeri sunmaktadır.

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

Çizelge 10. Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme deney sonuçları.

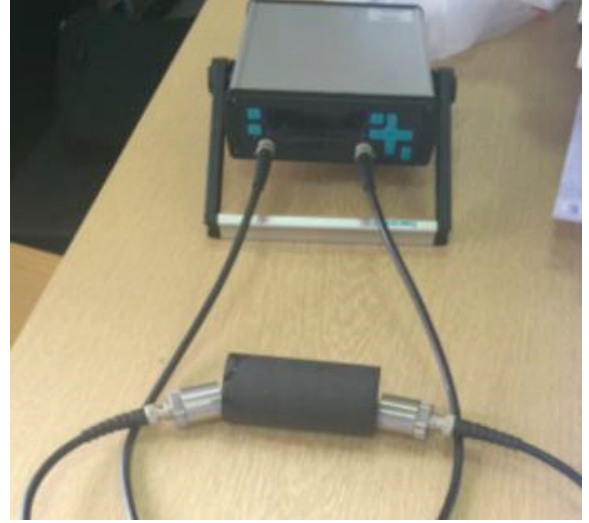
Table 10. Water absorption test results under atmospheric pressure.

Örnek Kodu	w_a (%)		
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama
BTH	0.23	0.17	0.19
BTM	0.31	0.30	0.30
BTO	0.79	0.57	0.65
BK	0.47	0.43	0.45
BD	0.06	0.05	0.06
BÇ	0.14	0.13	0.14
BB	0.19	0.17	0.18
BE	0.84	0.73	0.77

BE örneğinin efektif porozite değeri en fazla olduğundan, su emme değeri de en yüksektir. Aynı şekilde BD örneğinin efektif porozitesinin en düşük olmasına bağlı olarak su emmesi en düşük değere sahiptir.

P Dalga Hızı

Pdalga hızı deneyi ISRM(2007)'de önerildiği gibi en az beş karot örneği üzerinde Proceq marka ultrasonik ses geçirgenlik cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 7). Ultrasonik P dalga hızı, ölçümü yapılan numunenin yoğunluğuna, porozitesine ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Çizelge 11'de gösterildiği üzere en yüksek ortalama değer 6.331 km/sn ile THB örneğine, en düşük P dalga hızı değeri ise 5.458 km/sn ile BB örneğine aittir.



Şekil 7. Ultrasonik ses geçirgenlik cihazı ile P dalga hızı ölçümü.

Figure 7. P wave velocity measurement with ultrasonic sound transmittance device.

Çizelge 11. Bazaltik kayaçların P dalga hızı sonuçları.
Table 11. Results of P wave velocity of the basaltic rocks.

Örnek Kodu	Vp (km/sn)		
	En yüksek	En düşük	Ortalama
BTH	6.415	6.289	6.331
BTM	6.159	6.159	6.159
BTO	5.917	5.732	5.834
BK	5.632	5.632	5.632
BD	5.915	5.621	5.776
BÇ	5.805	5.587	5.674
BB	5.587	5.258	5.458
BE	5.920	5.531	5.732

Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Deney ISRM (2007)'de önerilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 12'de verilen sonuçlara göre hamur oranı en fazla olan BTH örneği ortalama 271 MPa değeri ile en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Mineral içeriği en

fazla olup, aynı zamanda efektif porozite değeri de diğer bazaltlara nispeten çok daha yüksek olan BE örneği ise ortalama 145 MPa değeri ile en düşük dayanımı vermektedir. BTH, BTM, BTO ve BK örnekleri sadece hamur oranları en fazla olan örnekler olmamakla birlikte aynı zamanda hamur bileşiminde bulunan piroksen ve plajiyoklasların, volkan camından çok daha fazla olduğu örnekler olarak diğer bazaltlara göre daha yüksek basınç dayanımlarına sahiptir.

BE örneğindeki gaz boşlukları, BK örneğinin hamurundaki akma dokusu, BTO örneğinin de psödomorf boşluklu yapısı, bu kayalarda fiziksel ve mekanik zayıflıklara neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da basınç dayanımları beklenilenden daha düşük değerler vermektedir.

Çizelge 12. Bazaltik kayaların tek eksenli basınç deneyi sonuçları.

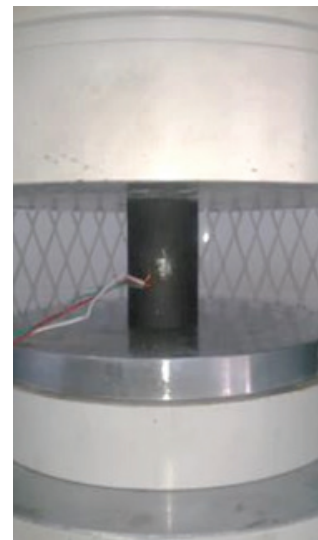
Table 12. Uniaxial compressive strength test results of the basaltic rocks.

Örnek Kodu	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_c (MPa)		
	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
BTH	208	320	271
BTM	194	287	247
BTO	160	270	206
BK	197	253	216
BD	167	280	190
BÇ	134	267	188
BB	133	257	186
BE	102	218	145

Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Elastisite modülü ve Poisson oranı ISRM (2007) önerileri dikkate alınarak yapılan tek eksenli basınç deneyi sırasında deformasyon ölçerler yardımıyla (Şekil 8) bulunmuştur. Çizelge 13'te görüldüğü üzere ortalama en

yüksek Poisson oranı değeri 0.28 ve 117 GPa elastisite modülü değeri ile BTH örneğine aittir. En düşük Poisson oranı değeri 0.14 ile BK örneği ve en düşük elastisite modülü ise 57 GPa değeri ile BÇ örneğine aittir. Palchic (2013)'e göre; elastisite modülü, basınç dayanımı ve efektif porozite değerleri ile uyumluluk gösterse de Çizelge 13'te verilmiş olan değerlere göre bazaltik kayalarda elastisite modülü böyle anlamlı bir ilişki vermemiştir. Bunun durumun, kayacın bileşiminden bağımsız olarak var olan mikro çatlak sistemlerinin ve porozitelerinin erken yenilmelere sebebiyet vermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İkinci neden ise, kayacın elastik davranışı ile kayacın dayanımı arasındaki ilişkiyi bozan örneklerden dolayı anlamlı bir regresyon analizi sonucu elde edilememiştir. Örneğin BK örneği yüksek dayanım gösterse bile, içerisinde bulunan ayrılmış mineraller ve mikro çatlaklarından dolayı elastisite modülü düşük değer vermiştir.



Şekil 8: Tek eksenli basınç deneyi sırasında bazalt örneği üzerine yapıştırılmış deformasyon ölçer.

Figure 8: Strain gauge on the basalt sample during the uniaxial compressive strength test.

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

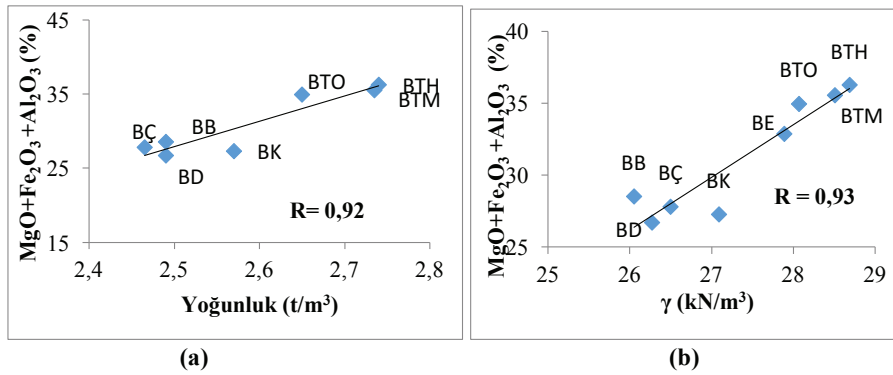
Çizelge 13. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sırasında elde edilen Poisson oranı ve elastisite modülü değerleri.

Table 13. Poisson ratio and elasticity module values obtained during uniaxial compressive strength test.

Örnek Kodu	Poisson Oranı ν	Elastisite Modülü E(GPa)
BTH	0.28	117
BTM	0.24	65
BTO	0.18	90.5
BK	0.14	67
BD	0.20	101
BÇ	0.23	57
BB	0.18	76
BE	0.27	103

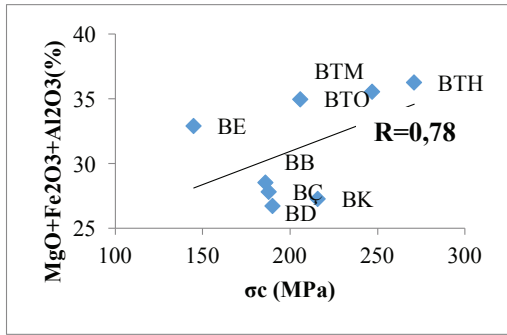
VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bazaltik kayaların kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri, fiziko-mekanik özellikleri ile karşılaştırılırken basit regresyon analizi yöntemi tercih edilmiştir. Bazaltik kayaların kimyasal bileşiminde magnezyum, demir ve alüminyum elementlerini fazla bulunduran örneklerin yoğunluklarının ve birim hacim ağırlıklarının da yüksek olduğu belirlenmiştir. (Şekil 9). Ayrıca tek eksenli basınç dayanımı ile kıyaslandığında, korelasyon katsayısı $R=0.78$ olan anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda BE kodlu bazalt, diğer örneklere göre yüksek efektif poroziteye sahip olması ve içeriğindeki minerallerde kısmen ayrılmış, öz kristal biçimlerini kaybetmiş olmasından ötürü karşılaştırmaya dahil edilmemiştir (Şekil 10).



Şekil 9. Bazaltik kayaların kimyasal bileşimleri ile a) yoğunluk ve b) birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması.

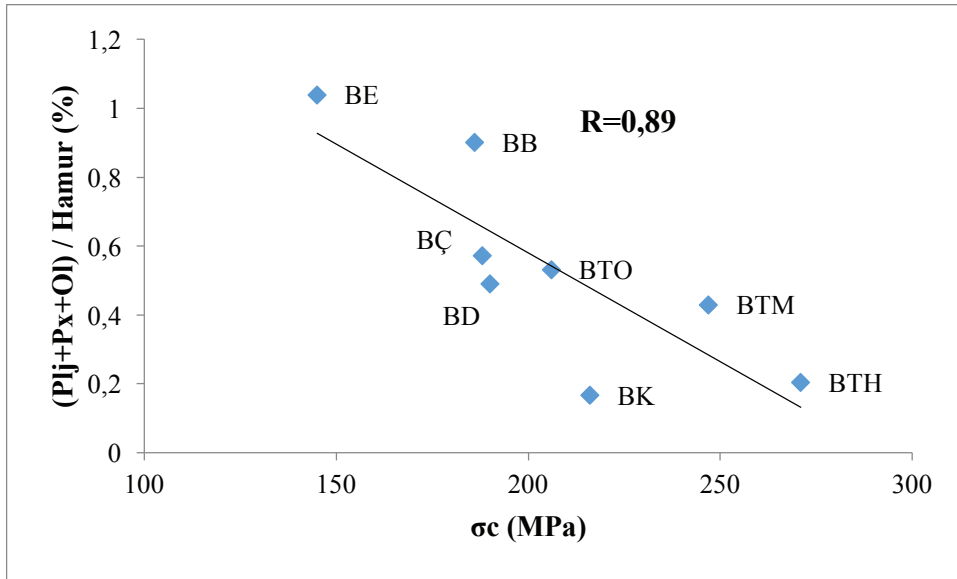
Figure 9. Chemical composition of the basaltic rocks and a) density and b) unit weight values.



Şekil 10. Bazaltik kayaçların kimyasal bileşimi ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Figure 10. The relationship between chemical composition and compressive strength of the basaltic rocks.

Eberhardt vd. (1999) ile Tuğrul ve Zarif (1999) granitik kayaçlar üzerinde yaptıkları çalışmalarda, kayacın mineralojik bileşimleri ile mekanik özelliklerini kıyasladıklarında tane boyu küçüldükçe dayanımın arttığını belirtmişlerdir. Ündül vd. (2015) andezitik kayaçlar üzerinde yaptıkları çalışmada; plajiyoklas ve amfibol toplamının, hamura olan oranı (Plajiyoklas+Amfibol/Hamur) arttıkça dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. Benzer bir çalışma bu araştırmada da yapılmıştır. Plajiyoklas, piroksen ve olivin fenokristal alanları toplanıp hamura oranlandığında, değer küçüldükçe, yani hamur oranı arttıkça tek eksenli basınç dayanımının arttığı belirlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Bazaltik kayaçların mineral alan yüzdelерinin hamur yüzdelерine oranının tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırılması.

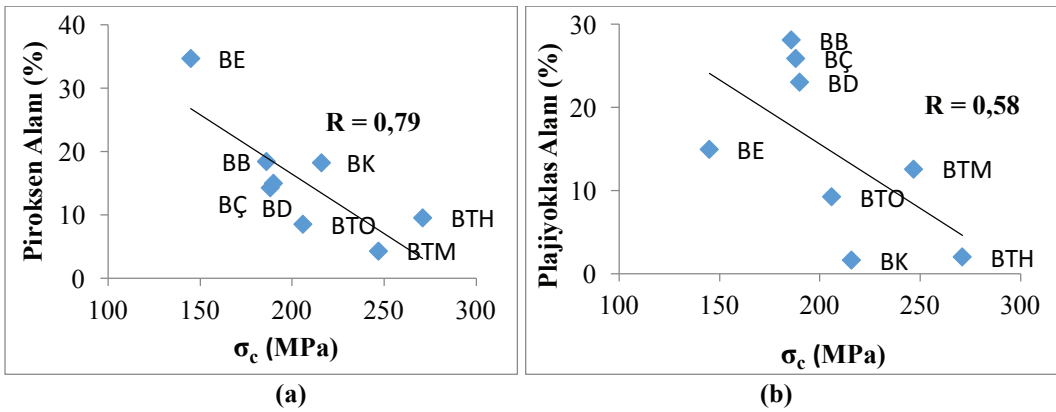
Figure 11. Comparison of the ratio between mineral area percentages and matrix percentage of the basaltic rocks with uniaxial compressive strength values.

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

Dayanımı etkileyen en önemli unsurlardan biri hamurun bileşimi ve özelliğidir. 8 farklı bazaltik kayaç içerisinde, piroksen, plajiyoklas ve olivin minerallerinin hamurun neredeyse tamamına hakim olduğu örnekler (BTH, BTM, BTO, BK) yüksek dayanım gösterirken, volkan camı ve plajiyoklas ağırlıklı olanlar (BD, BÇ, BB) daha düşük basınçlarda yenilmektedir. Bunun yanı sıra, hamur içerisinde fenokristal boyutlarda bulunan piroksen minerali boyutu arttıkça kayaçların dayanımı da düşmektedir. Benzer ilişki plajiyoklas fenokristal boyutu ile kayaçların dayanım arasında da bulunmasına rağmen piroksen ve kayaç dayanımı arasındaki ilişki kadar kuvvetli değildir. (Şekil 12).

örneğin dayanımlı hamur dokusuna rağmen, efektif porozite değerinin yüksek olmasıdır. BK örneğinde de hamurda var olan çatlak sistemleri, akma dokusu ve minerallerindeki ayrışmadan dolayı gözlenen killeşmeler nedeniyle dayanımı beklenen değerden daha düşüktür. Bunların dışında hamuru volkan camı ağırlıklı olan BD örneği ise ayrılmış mineral içermediğinden yüksek dayanımlıdır. Bu şekilde kırılma davranışının nedeni, hamurunun ağırlıklı olarak volkan camından meydana gelmiş olması ve hamurdaki çatlaklardır.

Mineralojik ve petrografik özellikleri dikkate alındığında hamur - mineral oranlarına göre bazaltik kayaçlar kendi içlerinde uyumlu olarak



Şekil 12. Piroksen ve plajiyoklas fenokristal yüzdelерinin dayanım değerleri ile karşılaştırılması.

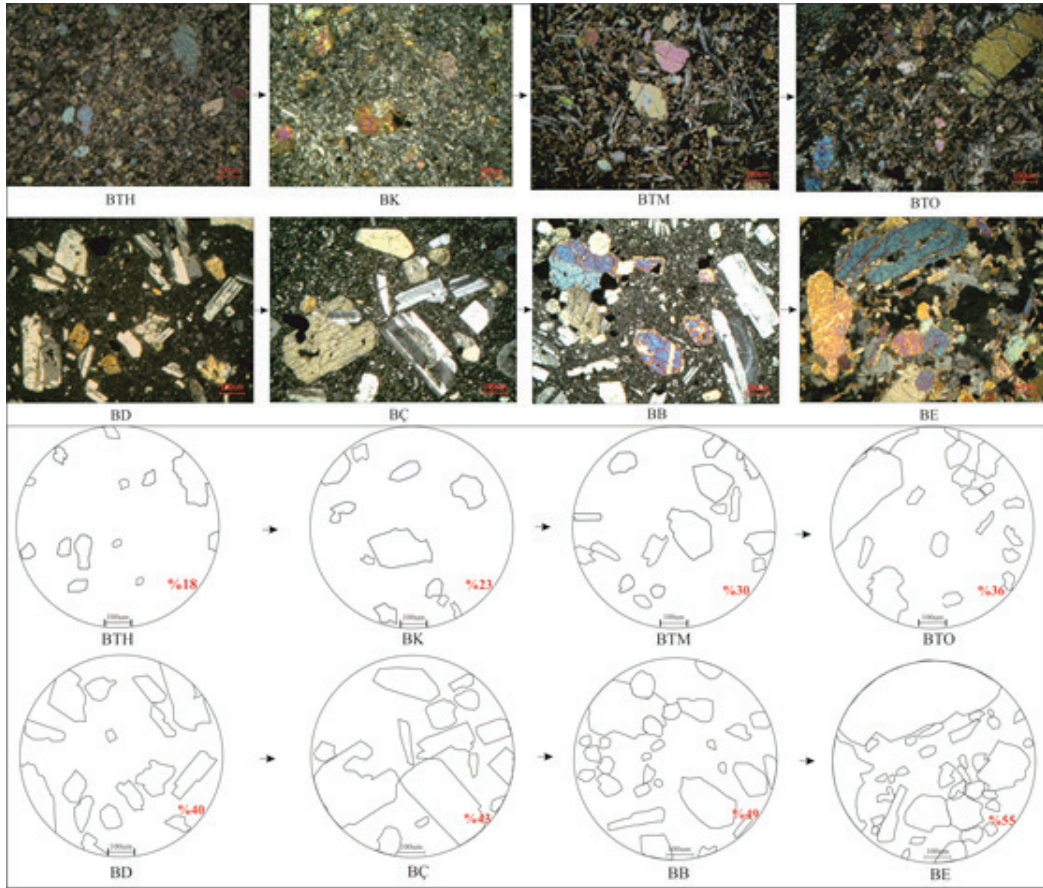
Figure 12. Comparison of pyroxene and plagioclase phenocrystalline percentages with strength values.

Çatlak ve ayrılmış mineral içermeyen kayaçlar, bunları içeren kayaçlara göre, yük altında daha uzun bir süre yenilmeden kalabilmektedir. Genel olarak dayanımı yüksek olan BTH ve BTM örneklerinde, yenilmenin meydana geldiği yük değerleri de yüksektir. Fakat benzer petrografik özellikler gösteren BTO ve BK örneklerinin dayanımları beklenilenden nispeten daha düşüktür. Bunun nedeni BTO

belli fiziksel ve mekanik değerler vermektedir. Bu değerler bazaltik kayaçların bileşim ve dokusal özelliklerine göre gruplandırılabilirliğini göstermektedir. Şekil 13'te görüldüğü gibi üst sırada yer alan bazaltların mineral tane boyları ve alanları küçük olup, bileşimlerinde bulunan olivin, piroksen, plajiyoklas ve opak mineral fenokristal toplamları %18 - 36 arasında değişmektedir. Ayrıca hamurları piroksen,

plajiyoklas ve daha az olivin bileşimli olarak görülmektedir. Bu grupta yer alan bazaltlar diğerlerine göre daha dayanımlı ve fiziksel özellikleri (yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları yüksek) benzerdir. 2. grubu oluşturan ve şeklin alt sırasında bulunan bazaltların mineral boyutları ve alanları daha büyük olup, bileşimlerinde yer alan plajiyoklas, piroksen ve opak mineral (BE

örneğinde istisnai olarak %1.59 oranında olivin de vardır) fenokristal toplamları %40-55 arasında değişmektedir. Hamurlarının bileşimi ağırlıklı olarak volkan camı ve plajiyoklas mikrolitinden meydana gelmektedir. Bu grupta yer alan bazaltlar, diğer gruptakilere göre ortalama % 25 daha düşük dayanımlı olup, yoğunlukları ve birim hacim ağırlıkları da daha düşüktür.



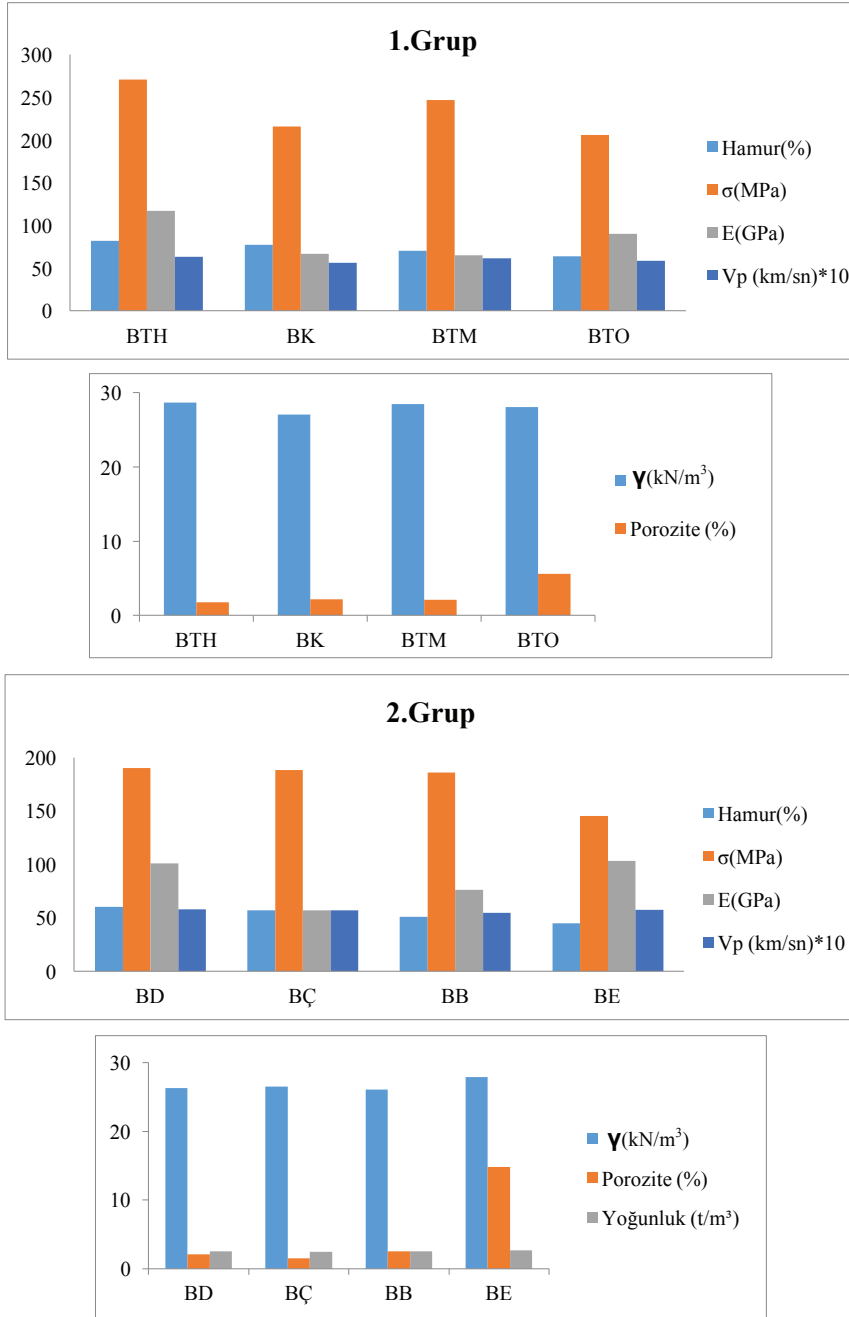
Şekil 13. Bazaltik kayaçların bileşim ve dokusal özelliklerine göre sınıflandırılması.

Figure 13. Classification of the basaltic rocks according to composition and textural characteristics.

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

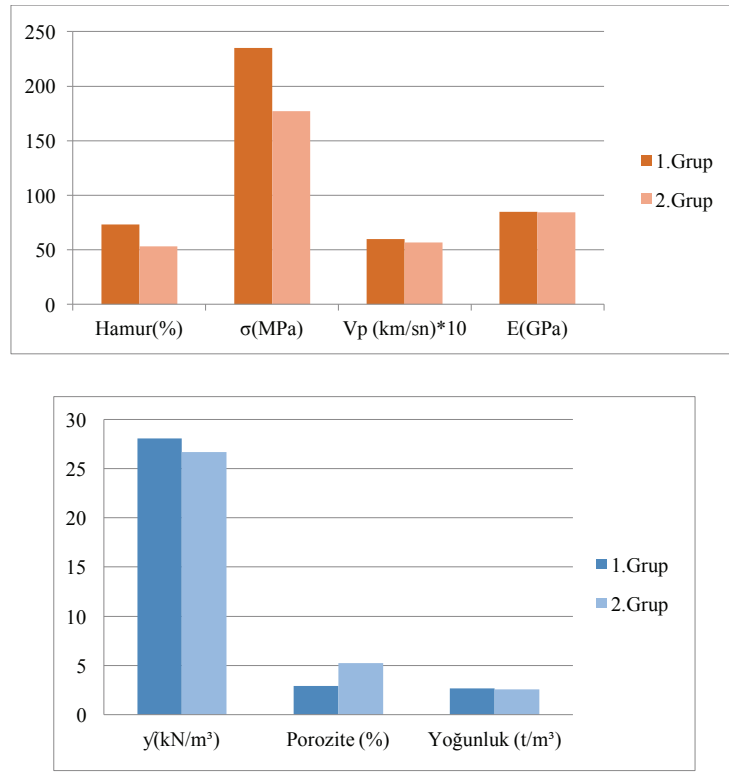
Bazaltların hamur bileşimleri, mineral içerikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak öngörölmüş olan gruplandırması

Şekil 14'te ve bu grupların ortalama fiziksel ve mekanik değerleri Şekil 15'te sunulmuştur.



Şekil 14. Bazaltik kayaçların petrografik, mekanik ve fiziksel özelliklerine göre gruplandırılması.

Figure 14. Grouping of the basaltic rocks by petrographic, mechanical and physical properties.



Şekil 15. Dokusal özelliklerine göre gruplandırılmış bazaltik kayaç örneklerinin ortalama mekanik ve fiziksel değerleri.

Figure 15. Average mechanical and physical values of the basaltic rock samples grouped according to their textural properties.

SONUÇLAR

Bazaltların; hamur bileşimi, mineral içeriği, dokusu, fenokristal boyutları ve bunların kayaç içerisindeki yüzdeleri, bu kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bazalt örneklerinin mineralojik ve petrografik niteliklerinin, fiziksel özellikleri ve mekanik davranışları üzerine olan etkisi göz önüne alınarak; incelenen örnekler dahilinde bazaltların hamur ve mineral bileşimlerine göre iki gruba ayrılması uygun görülmüştür. Bu gruplandırma doğrultusunda;

1. grupta yer alan bazaltlar;

-Genel olarak olivinli bazaltlardır,

-Hamur ağırlıklı olarak; olivin, piroksen, plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır,

-Fenokristal boyuttaki minerallerin alanları %18 ile %36 arasında olup; bu özelliklerinden dolayı;

➤ Yoğunluk ve birim ağırlık değerleri yüksektir,

➤ Basınç dayanımları 2. gruba göre daha yüksek ve ortalama 206 MPa ile 271 MPa arasında değişmektedir.

2. grupta yer alan bazaltlar;

-Genel olarak olivinsiz bazaltlardır,

Erişiş, Tuğrul, Er, Yılmaz

-Hamur ağırlıklı olarak; plajiyoklas mikroliti ve volkan camından oluşmaktadır,

-Fenokristal boyuttaki minerallerin alanları %40 ile %55 arasındadır ve tüm bu özellikleri nedeniyle;

➤ Yoğunluk ve birim ağırlık değerleri 1. gruba göre daha düşüktür,

➤ Basınç dayanımları daha düşük ve ortalama 145 MPa ile 190 MPa arasında değişmektedir.

Bu çalışma kapsamında öngörülmuş olan gruplandırma, bazalt örneklerinin çeşitliliği (minerolojik, petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri doğrultusunda) artırılarak geliştirilebilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin 51152 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Adelinet, M., Fortin, J., Schubnel, A., Guéguen, Y., 2013. Deformation modes in an Icelandic basalt: From brittle failure to localized deformation bands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 255, 15–25.

Anovitz, L.M., Cole, D.R., 2015. Characterization and analysis of porosity and pore structures. *Rev Mineral Geochemistry*, 80, 61–164.

Eberhardt, E., Stimpson, B., Stead, D., 1999. Effects of grain size on the initiation and propagation thresholds of gerilims-induced brittle fractures. *Rock Mechanics Rock Engineering*, 32(2), 81-99.

Heap, M.J., 2009. The evolution of elastic moduli with increasing crack damage during cyclic gerilimsing of a basalt from Mt. Etna volcano. *Tectonophysics*, 471 (1–2), 153–160.

ISRM, 2007. *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*, Springer, 628p.

Korkanç, M., Solak, B., 2016. Estimation of engineering properties of selected tuffs by using grain/matrix ratio. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 120, August 2016, pages 160-172.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750.

Palchik, V., Hatzor, Y. H., 2004. The influence of porosity on tensile and compressive strength of chalks, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 37(4), 331-341.

Palchik, V., 2013. Is there link between the type of the volumetric strain curve and elastic constants, porosity, stress and strain characteristics. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(2), 315-326.

Tuğrul A., Gürpınar, O., 1997. Proposed Weathering Classification for Basalts and Their Engineering Properties. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 55, 61-71.

Tuğrul, A., Zarif, I. H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of Selected Granitic Rock from Turkey. *Engineering Geology*, 51, pp. 303- 317.

Ündül, Ö., Amann, F., Aysal, N., Plötze, M., 2015. Micro - textural effects on crack initiation and crack propagation of andesitic rocks. *Engineering Geology*, 1-9.