

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SONNENBRAND BAZALTLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE
KAYNATMA DENEYLERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Levent TURAN

TEMMUZ 2021

TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SONNENBRAND BAZALTLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE
KAYNATMA DENEYLERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Levent TURAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :16/06/2021
Tezin Savunma Tarihi :06/07/2021**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi (K.T.Ü.) Maden Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamış olduğum bu çalışmada, hem yönlendirme hem de kişisel desteklerinden ötürü danışmanım Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmalarına yönelik incekesit ve mineralojik analizlerin gerçekleştirilmesinde Prof. Dr. İrfan TEMİZEL'e ve laboratuvar çalışmalarımın farklı aşamalarındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Serkan İNAL, Arş. Gör. Murat KARAHAN ve lisans öğrencisi Mehmet YILANCI'ya teşekkür ediyorum.

Son olarak, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Levent TURAN
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sonnenbrand Bazaltların Mühendislik Özelliklerine Kaynatma Deneylelerinin Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR'in sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri kendim topladığımı, deneyleri bölümümüz laboratuvarında yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16/06/2021

Levent TURAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
1.3. Çalışmanın Özgün Değeri	1
1.4. Literatür Çalışmaları.....	2
1.4.1. Bazaltların Oluşumu	2
1.4.2. Bazaltların Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	3
1.4.2.1. Bazaltların Fiziksel Özellikleri	3
1.4.2.2. Bazaltların Dokusal Özellikleri	3
1.4.2.3. Bazaltların Kullanım Alanları	4
1.4.3. Sonnenbrand Bazaltlara Yönelik Yapılan Çalışmaları.....	4
1.5. Sonnenbrand Bazaltlar İçin Kaynatma Deneyleri	8
1.5.1. Petrografik İnceleme	8
1.5.2. Kayaç Numunesi ve Agregalarda Fiziksel Gözlem ve Kütle Kaybı	9
1.5.3. Aşınma Kaybının Belirlenmesi	9
1.5.4. Kaynatma Testlerinin Sonnenbrand Bazaltlarda Uygulanması.....	10
1.6. Sonnenbrand Bazaltlara Yönelik Uygulamada Gözetilen Limit Değerler	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	12
2.1. Metot.....	12
2.2. Numunelerin Temini.....	13
2.3. Mikroskopik Tayinler	14

2.4.	Kayaçların Kimyasal Analizleri	14
2.5.	Numune Hazırlama.....	15
2.6.	Bazaltik Kayaçların Fiziko-Mekanik Testleri	17
2.6.1.	Temel Fiziksel Özelliklerin Tayini.....	17
2.6.2.	Kayaçların Mekanik Özelliklerinin Tayini.....	19
2.6.3.	Aşınma Özelliklerinin Tayini	22
2.6.4.	Sonnenbrand Bazaltlar İçin Kaynatma Deneyleri	24
2.6.5.	Taramalı Elektron Mikroskop Deneyleri.....	27
2.7.	Trabzon (Akçakale) Bazalt İçin Sonnenbrand Bazalt Saha Gözlemleri.....	27
3.	BULGULAR	28
3.1.	Bazalt Kayaçlarının Petrografik Analizleri	28
3.2.	Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	31
3.3.	Kayaçların Kaynatma Testleri Sonrasında Gözlemsel Olarak İncelenmesi.....	33
3.4.	Bazalt Numunelerinde Ağırlıkça Kütle Kaybının Değerlendirilmesi	33
3.5.	Sonnenbrand Testine Tabii Tutulan Agregalarda Los Angeles Aşınma Kaybı ...	35
3.6.	Kayaçlara Ait Mikro Deval Aşınma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	37
3.7.	Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi.....	38
3.8.	Kayaçların Nokta Yüğü Dayanımı ve Brazilian Çekme Dayanımlarının Değerlendirilmesi.....	39
3.9.	Bazaltların Ultrasonik P-Dalga Hızlarının Değerlendirilmesi.....	41
3.10.	Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Deneyleri.....	42
3.11.	Trabzon (Akçakale) Bazalt İçin Sonnenbrand Bazalt Saha Gözlemlerinin Deneysel Çalışmalarla Birlikte Değerlendirilmesi.....	44
4.	SONUÇLAR.....	46
5.	ÖNERİLER	47
6.	KAYNAKLAR.....	48
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SONNENBRAND BAZALTLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE KAYNATMA DENEYLERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Levent TURAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR
2021, 64 Sayfa.

Bu çalışmada, kaynatma deneylerinin bazı sonnenbrand bazalt kayaçlarının parçalanma, kütle-, aşınma-, dayanım kaybı, ultrasonik P-dalga hızında azalma ve mikroyapı gibi özellikleri ortaya konulmuş ve ilk kez bu tez kapsamında araştırılmıştır.

Kaynatma deneyleri, tez kapsamında üzerinde çalışılan kayaç numunelerinin hiç birinde kopma, parçalanmaya yol açmamıştır. Ancak, kaynatmaya maruz bırakılan kayaçların tamamının tam kurduklarında renklerinin bir ton açıldığı görülmüştür. Kaynatma testleri, dokusu zayıf olan Sonnenbrand bazaltlarda ağırlıkça yüksek (tez kapsamında ~%10) oranda kütle kaybına yol açmıştır. Bununla birlikte Los Angeles aşınma kaybı (%), mikroskop analizlerine göre kayaçların yapısındaki yoğun alterasyon nedeniyle zayıflayan dokuya sahip ve porozitesi yüksek kayaçlarda nispeten daha yüksek elde edilmiştir.

Kaynatma deneylerine tabii tutulan bazaltlarda dayanım kaybı ve ultrasonik P-dalga hızı değerlerinde azalma görülmüştür. Kütle ve aşınma kayıpları ile tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik P-dalga hızı değerlerindeki azalmanın kayaçların ayrışmaya uğramış dokuya sahip olmalarının yanında kayaçların mikroyapıları ile ilgili olup olmadığına yönelik yapılan SEM analizlerinde kaynatma testlerinin kayaçların dokularında zayıflamaya yol açtığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sonnenbrand bazaltlar, Güneş Yanığı, Bazalt, Los Angeles Aşınma Kaybı, dayanım kaybı, kütle kaybı, UPV kaybı

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BOILING TESTS ON THE
ENGINEERING PROPERTIES OF SONNENBRAND BASALTS

Levent TURAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Ferdi CİHANGİR
2021, 64 Pages.

In this study, the effects of boiling tests on the engineering properties (i.e. fragmentation, mass-, abrasion-, compressive strength loss, decrease in ultrasonic P-wave velocity and microstructural properties etc.) of sonnenbrand basalts are investigated for the first time within the scope of this thesis study.

Boiling tests did not cause neither splitting nor disintegration in any of the sonnenbrand basalts. However, all rocks exposed to boiling were observed to turn one tone lighter color than those of control samples when they were completely dried. Boiling tests for sonnenbrand basalts were seen to cause a high weight loss (~10%) in basalts with weak texture. Additionally, weak texture and high porosity led to relatively higher Los Angeles abrasion loss (%) in rocks. Loss of compressive strength and decrease in ultrasonic P-wave velocity values were observed in all basalt rocks subjected to the boiling tests. Thin section examinations supported above findings where Artvin basalts showed very intense alterations which are highest in Artvin (B).

The reasons underneath the mass and abrasion losses and the decrease in uniaxial compressive strength and ultrasonic P-wave velocity values were investigated under scanning electron microscope (SEM) whether these results stem from the microstructure of the rocks when subjected to boiling tests besides weathering. SEM examinations suggested that the boiling tests caused weakening in the texture of the rocks.

Keywords: Sonnenbrand, Sunburn, Basalt, Los Angeles Abrasion test, strength loss, weight loss, loss in UPV

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Sonnenbrand etkisi ile basalt kayaçlarında yıldız şekilli/bir noktadan yayılarak uzayan çatlaklar (Ciria/Cur C683, (2007))	6
Şekil 1.2.	Güneş yanığı görüntüsü (a) ve bir kayaçtaki güneş yanığı şeması (a: spot, b: kayanın sağlam kısmı, c: kapiler çatlaklar) (Zagozdzon, (2003))	7
Şekil 2.1.	Numune temini Trabzon (Akçakale) (a), Kayseri ve Nevşehir (b)	14
Şekil 2.2.	Karot alma işlemi	16
Şekil 2.3.	Karotların tek eksenli basınç dayanımı testleri için hazırlanması	16
Şekil 2.4.	Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin gerçekleştirilmesi	20
Şekil 2.5.	Endirekt çekme dayanımı deney düzeneği	21
Şekil 2.6.	Nokta yük deneyinin gerçekleştirilmesi	21
Şekil 2.7.	Ultrasonik P-Dalga Hızı Deneyi	22
Şekil 2.8.	Los Angeles aşınma deney cihazı	23
Şekil 2.9.	Mikro-Deval aleti ve tamburu	24
Şekil 2.10.	Sonnenbrand bazaltlar için kaynatma deneyinden bir görünüş: bazalt kayacı parçalarının kaynatma öncesi (a) ve sırasındaki (b)-; bazalt agregalarının kaynatma öncesi (c) ve sırasındaki (d)-; incekesit ve mikroyapı analizleri için bazalt kayaç numunelerinin kaynatma öncesi (e) ve sırasındaki (f)-; tek eksenli basınç dayanımı için bazalt karot numunelerinin kaynatma öncesi (g) ve sırasındaki (h) görünüşleri	26
Şekil 3.1.	(a-b) Akçakale (Akçaabat, Trabzon) yöresi (Örnek adı Trabzon bazalt), (c-d) Dikyamaç Köyü (Arhavi, Artvin) yöresi (Örnek adı Artvin (A)) ve (e-f) Güneşli Köyü (Arhavi, Artvin) yöresi (Örnek adı Artvin (H)) kayaçlarına ait mikrofotograflar (Çift Nikol; X2.5; Plj: plajiyoklas, Oj: ojit, Ol: olivin, Op: opak mineral, Kl: klorit) (a, c, e: kontrol amaçlı kayaç örnekleri; b, d, f: kaynatılmış kayaç örnekleri)	29
Şekil 3.2.	(a-b) Nevşehir yöresi (Örnek adı Nevşehir bazalt), (c-d) Borçka (Artvin) yöresi (Örnek adı Artvin (B)) ve (e-f) Kayseri yöresi (Örnek adı Kayseri bazalt) kayaçlarına ait mikrofotograflar (Çift Nikol; X2.5; Plj: plajiyoklas, Oj: ojit, Ol: olivin, Op: opak mineral) (a, c, e: kontrol amaçlı kayaç örnekleri; b, d, f: kaynatılmış kayaç örnekleri)	30
Şekil 3.3.	Bazalt numunelerinin yoğunlukları	31
Şekil 3.4.	Bazalt numunelerinin ağırlıkça su emme oranları	32
Şekil 3.5.	Bazalt numunelerinin toplam poroziteleri	33
Şekil 3.6.	Kaynatma testleri sonrasında parça bazalt numunelerinin fiziksel görünüşü	34
Şekil 3.7.	Agrega numunelerinde kaynatma sonrası kıymıklanma ile kütle kaybı	35

Şekil 3.8. Kaynatma testine tabi tutulan ve agregaların Los Angeles aşınma dayanımları ve aşınma kayıp oranları	36
Şekil 3.9. Kayaçlara ait mikro deval aşınma deney sonuçları	38
Şekil 3.10. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve kaynatma işlemi sonucunda dayanım kayıp oranları	39
Şekil 3.11. Kayaçların nokta yükü dayanımları	40
Şekil 3.12. Kayaçların Bazilian dolaylı çekme dayanımları	41
Şekil 3.13. Kayaçların ultrasonik P-dalga hızı değerleri ve kaynatma işlemi sonucunda dayanım kayıp oranları	42
Şekil 3.14. Sonnenbrand kaynatma işlemi öncesinde Artvin (B) (kontrol) (a,c) ile Trabzon bazalt (e) ve kaynatma işlemi sonrası Artvin (B) (b,d) ile Trabzon bazalt (f) numunelerinin mikroyapılarının görünümü.....	43
Şekil 3.15. Trabzon bazalt için Sonnenbrand bazalt çalışma sahasından görünümeler	44
Şekil 3.16. Trabzon bazalt için Sonnenbrand saha gözlemleri.....	45

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Sonnenbrand bazaltlarda kaynatma deneyi sonrası kütle- ve Los Angeles aşınma direnci kaybı sınır değerleri.....	10
Tablo 1.2. Bazaltların zırh taşı olarak kullanılabilirliklerine yönelik kalite ve duraylılık kriterleri (Ciria/Cur C683. (2007*)).....	11
Tablo 2.1. Numunenin temin edildiği yerler	13
Tablo 2.2. Kayaçların kimyasal analizleri	15
Tablo 3.1. Kayaçlara ait agregaların Sonnenbrand deneyi sonrasında sularının kimyasal analizler	37

SEMBOLLER DİZİNİ

A: Numune alanı

cm : Santimetre

D: Numune çapı (cm)

e : Boşluk Oranı

Fc: Kırılma yükü (kg)

G : Özgül Ağırlık

G0: Başlangıçtaki ağırlık

G500: 500 devir sonrası elek üstü ağırlık

G1000: 1000 devir sonrası elek üstü ağırlık

K: Aşınma kaybı

L : Boy

m : Metre

m : İlk ağırlık (gr)

M_{DA} : Mikro-Deval aşınma değeri (%)

MPa : Megapaskal

n : Etkin Porozite/ Gözeneklilik

R : Çap

r : Yarı çap

V : Hacim

ρ : Yoğunluk

γ : Birim Hacim Ağırlık

γ_k : Kuru Birim Hacim Ağırlık

γ_d : Doygun Birim Hacim Ağırlık

$\gamma_{doğ}$: Doğal Birim Hacim Ağırlık

Δm : Toplam ağırlık kaybı (gr)

σ_c : Basınç Dayanımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bazaltlar yol kaplaması, üst yapı malzemesi, asfalt malzemesi, yapı malzemesi, denizlerde tahkimat kayacı, limanlarda zırh taşı vb. oldukça fazla alanda kullanılmaktadır. Ancak bazaltlar sonnenbrand (sunburn: güneş yanığı) etkileri nedeniyle zaman içinde bazı yapısal ayrışma ve parçalanmaya uğrayabilmektedir. Dolayısıyla bazalt malzemelerinin Sonnenbrand etkileri göstermemesi istenmektedir. Sıcaklık duraysız bazı minerallerin ayrışmasını hızlandırdığı için bazaltlar için kaynatma testleri gerçekleştirilmektedir (Latham. 1998). Bu testlerden bazıları CEN EN 1367-3 (2004), TS EN 1367-3, BS EN 13383-2:2019 isimleri altında farklı ulusal standartlar olup, aynı deneysel prosedür uygulanmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, kaynatma testlerinin bazı sonnenbrand bazalt kayaçlarının parçalanma, kütle kaybı, aşınma kaybı, dayanım kaybı, ultrasonik P dalga hızında düşme vb. fizikomekanik ve mikroyapı özelliklerine etkilerinin araştırılmasıdır.

Bazalt, akıcı ve bazik lavların soğuyarak katılaşmasıyla oluşur. Renkleri genel olarak koyu gri-siyah arasında değişmektedir. Doğal ortamlara ve aşınmaya karşı dayanıklı bir kayaç olup, bünyesinde leke ve kılcal çatlakların oluşumu ile asitlere karşı dirençlidir (Erkan, 1995). Bu özelliklerinden dolayı, çeşitli yapı ve inşaat sektörleri ile su ortamlarında tahkimat taşı vb. amaçlara yönelik yaygın kullanıma sahiptir.

1.3. Çalışmanın Özgün Değeri

Bu çalışmada, Sonnenbrand bazaltlar üzerinde kaynatma testleri uygulanmıştır. Bu konuya yönelik yaptığımız literatür taramalarına göre sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan sınırlı sayıdaki çalışmada Sonnenbrand bazaltlar için standart kaynatma testi uygulanmış (Brennan vd. 2003), ışık ve elektron mikroskobu ile makro ve mikro

gözlemler/analizler (Zagozdzon, 2003; Novakova vd. 2018) yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kaynatma testleri öncesi ve sonrasında ilk kez Sonnenbrand bazaltların tek eksenli basınç dayanımı ile ultrasonik P-dalga hızı deneyleri ve taramalı elektron mikroskobu ile de mikroyapılarındaki değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Ayrıca, Trabzon İli'nde Akçakale mevkiinde yüzeylemiş olan bazaltın laboratuvar test sonuçları, kayaçların alındığı yerde bu bazaltlar doğal olarak deniz kenarında kütleler halinde oluşmuş olduğundan saha gözlemleri ile desteklenmiştir. Bu tez çalışmasında böylece bir bazalt kayacının kaynatma test sonuçları hem laboratuvar hem de saha çalışmaları ile birlikte ayrıca değerlendirilmiştir.

1.4. Literatür Çalışmaları

1.4.1. Bazaltların Oluşumu

Bazalt, doğada yaygın olarak bulunan bir volkanik kayaç grubudur. Lav akıntılarının çok geniş alanlara yayılmasıyla oluşması durumunda yüzlerce kilometrekarelik alanları kaplayabilmektedir (plato bazaltları). Bazaltların oluştuğu alanlardaki kalınlıkları lav akıntılarının üzerinde aktığı topografyanın şekline ve eğimine göre birkaç metre ile kilometre düzeyinde değişebilir. Bununla birlikte bazaltlar, subvolkanik koşullar altında sil, dayk ve baca dolguları şeklinde de gelişebilir.

Bazaltları oluşturan lavlar volkanlardan çıkarken bünyelerinde barındırdığı gazlar nedeniyle bu kayaçların yapılarında boşlukların oluşmasına neden olur. Boşluklar zaman içinde çeşitli minerallerle dolabilir.

Bazaltlar, yapılarında bulunan feldspatın cinsine göre isimlendirilir. Türkiye'deki bazaltlar genel olarak örtüler, akıntı veya geniş platolar, yastık (pillow) lavı ve split halindedir. Bu bazaltların çoğunluğunun, Miosen sonrası ve Kuvaterner başındaki püskürmelerle oluştuğu belirtilmektedir (Ünsal, 1993).

1.4.2. Bazaltların Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

1.4.2.1. Bazaltların Fiziksel Özellikleri

Bazaltik kayaçların yoğunlukları genel olarak 2.3-2.9 g/cm³ arasında değişmekle beraber, bazı durumlarda 3.3 g/cm³'e kadar yükselmektedir. Bazaltların sağlamlığı, yoğunluğu, sertliği, renk ve görünüşleri gibi özellikleri kullanım alanlarını belirlemektedir.

Bazaltların renkleri koyu gri-siyah arasında değişmektedir. Bazaltlar da volkanik cam içeriğinin yüksek olması durumunda kristal dokulu bazaltlara göre nispeten biraz daha koyu kahverengi/siyah renkte olabilmektedir. Bununla birlikte taze kırılmış yüzeylerinde mat görünebilmektedir. Mineral içeriği bakımından kloritleşme ve epidotlaşma durumuna göre yeşilimsi renklerde görülebilmektedir. Yapısında bulunan demirli minerallerin oksidasyona uğraması durumunda kahverengi veya kırmızımsı kahverengi renklerde olabilmektedir.

1.4.2.2. Bazaltların Dokusal Özellikleri

Bazaltlar genel olarak afanitik (ince taneli mineraller) dokuya sahip olmakla birlikte porfirik (irili ufaklı mineraller) dokulu kayaçlardır. Dokusunda bulunan olivin fenokristalleri, ojit ve plajiyoklas gözle ayırt edilebilecek kadar iri olabilmektedir. Bünyesindeki fenokristaller hipidiyomorf veya idiyomorf şekiller gösterebilmektedir. Bazaltik kayaçların hamur maddeleri genel olarak holokristalin yapıdadır. Bununla birlikte küçük feldspat çubuklarının alterasyonu ile küçük yapıdaki ojit minerallerinin dolması sonucunda volkan camı veya ofitik doku bulunması neticesinde intersertal dokuda da olabilmektedir. Ayrıca, kısmen veya tamamen volkanik cam içeriğine sahip bazaltlar da bulunabilmektedir (Ercan, 1991).

Bazaltik kayaçlarda mikro ve makro boyutlarda gaz boşlukları bulunabilmektedir. Gaz boşlukları, lav akış yönüne paralel uzayan, oval, küresel veya düzensiz şekilli olabilir. Bazaltlar için tipik dokusal özelliklerden birisi, lav akış ve soğuma yüzeyine dik olarak gelişen ve sonucunda kayaç yapısının sütun şeklinde bölünmesine neden olan soğuma çatlakları içerebilmektedir (Ercan, 1991).

1.4.2.3. Bazaltların Kullanım Alanları

Bazaltik kayaçlar, kullanım amaçlarına bağlı olarak genellikle taş ocaklarında bloklar veya kırmataş şeklinde üretilir. Blok olarak istinat duvarı vb. inşaat işlerinde, ulaşım yolu sanat yapılarında, deniz kenarı ve akarsu ıslahında, liman zırh taşı olarak, kırmataş şeklinde yol yarmalarında, karayolu yapımında, barajlarda dolgu inşaatında, demiryolu balast malzemesi olarak, bütün beton işlerinde agrega olarak ve kaplama malzemesi şeklinde yapı, kaldırım vb. yerlerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte, izolasyon amaçlı kullanılan cam yünü üretiminin hammaddesidir.

1.4.3. Sonnenbrand Bazaltlara Yönelik Yapılan Çalışmaları

Bazaltik kayaçlar hava koşullarına maruz kaldıklarında ısınma-soğuma-donma-çözülme-ıslanma-kuruma vb. etkiler nedeniyle kimyasal ayrışma ve kısmen parçalanma eğilimindedir. Bu durum, bu tür kayaçların demiryolu balastları, yol, beton, tahkimat vb. alanlarda kullanımlarında kalite bakımlarından sorunlar oluşturabilmektedir.

Bazaltlarda yapısal kusurlara neden olan bir başka olay ise doğada doğal olarak gelişen Sonnenbrand (Sunburn: güneş yanığı) olayıdır. Sonnenbrand, alkali bazaltlara özgü, içsel yapıda meydana gelen mineral dönüşümleri ve oluşan içsel stresler nedeniyle parçalanmaya neden olan bir olgudur. Sonnenbrand, 18. yüzyılın sonlarında tanımlanmış olup bu konuya ilgi devam etmektedir (Zagozdzon, 2003). Bu olaya sık rastlanmasına, kaynağına ve etkilerine yönelik yapılan az sayıdaki bilimsel çalışmalara rağmen konuya yönelik yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Novakova vd., 2017).

Sharp (1994), Kiandra bölgesinde bazı sütun bazaltların sonnenbrand etkilerine benzer noktasal çatlamlar ile parçalanmalar gösterdiğini belirtmiştir. Sonnenbrand etkisi, açık-gri noktaların oluşması ile başlamakta ve artan stresin etkisiyle bu noktalardan dışa doğru ince çatlaklar halinde gelişerek ve uzayarak kendini gösterdiğini belirtilmiştir. Bu olayın, doğada nispeten derindeki taze kayaçların ocak işletmeciliği esnasında hava etkilerine maruz kalması ile birkaç günden birkaç haftaya kadar sürdüğü, ancak sonnenbrand etkisinin derecesinin oldukça değişken olduğu vurgulanmıştır. Burada bu etkilere maruz bazaltların genellikle fenokristal olivin içeriği yüksek olan ve bazen de ojit içeren nefelin bazanitler ile bazik plajyoklas, ojit, olivin, ilmenit, nefelin ve analsit içeren bazaltlar olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte Sharp (1994), Lafeber (1956)'dan kimyasal analizlerin de bazaltik kayaçların benzer parçalanmalara maruz kalmalarında bir gösterge olabileceğini aktarmıştır. Bu çalışmada, Na₂O içeriğinin etkili olduğu ve kayaçların özellikle dış dış kısımlarında bu tür parçalanma etkilerinin meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, titanijit ve olivin içeren alkali bazalt dayklarının hızlı ayrışma gösterdiği görülmüştür.

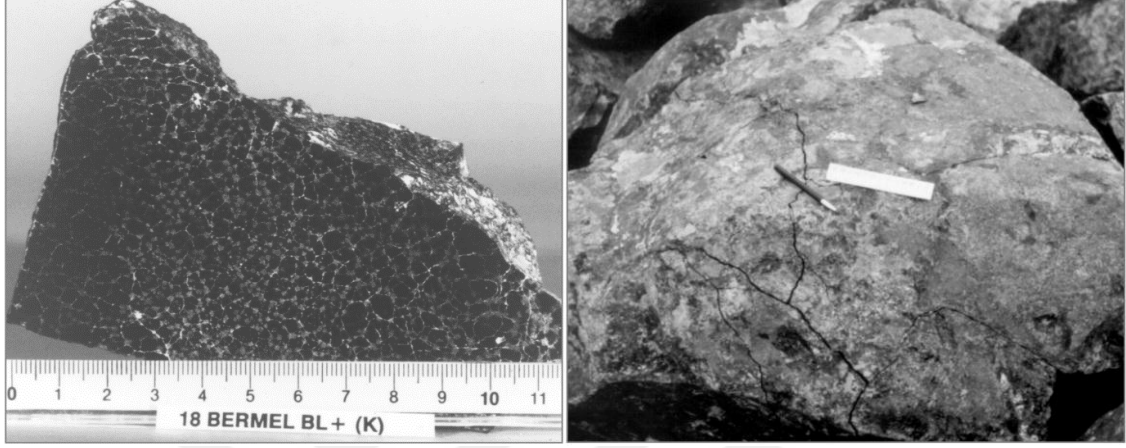
Latham (1998), sonnenbrand neticesinde oluşan çatlakların kayacın bütünlüğünü aşırı olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Bu olgunun birincil feldispatoidler, zeolitler ve analsit olarak da adlandırılan ikincil zeolitler ile şişen smektit minerallerinden kaynaklandığına inanıldığını ifade etmiştir.

Birkenmajer vd. (2002) yaptıkları bir çalışmaya göre, bazaltları petrografik ve jeokimyasal olarak incelemiş ve plajyoklas-nepheline bazalıtta (nepheline basanite) sonnenbrand etkilerinin olduğunu görülmüştür. İlgili bazalt boşluklu vesküler bazalıtıdır. Bu kayaçtaki ciddi alterasyonun sebebinin, plajyoklasta epidotun, ojitte klorit ve Fe oksitlerin, olivinde serpantin ve Fe oksitlerin görülmesi gibi bazı minerallerin ikincil değişimlerinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Bazaltlarda Sonnenbrand olayının başlıca nedeni, bünyelerinde analsit ve nefelin minerallerinin bulunması durumunda içsel yapılarında gerçekleşen mineral dönüşümleri nedeniyle oluşan içsel streslerdir. Bu minerallerden analsit, bazaltların dokusunda doğal olarak bulunduğu gibi mikro çatlaklar arasında da oluşabilmektedir. Analsitin büyüyerek gelişmesi ve nefeline dönüşmesi, kayaç dokusunda ve bünyesinde içsel gerilmeler nedeniyle çatlak gelişiminin en önemli nedeni olarak belirtilmektedir. Bu mikro çatlaklar belirli noktalarda yoğunlaşarak beyaz-gri noktaların oluşumuna neden olmaktadır. Sonnenbrand'da ilk aşama, oluşan beyaz-gri noktalardır. Böylece bu noktaların etrafındaki gerilme nedeniyle de bu noktalar arasında, bu noktalardan başlayarak ışınal şekilde etrafa yayılan düzensiz kılcal çatlaklar gelişir. Sonuçta bu mikro çatlak sistemlerinin yoğunluğu artarak bazaltların dokusunun zayıflamasına ve fiziksel bütünlüğünü zamanla kaybederek parçalanmasına (Şekil 1.1) neden olmaktadır (Zagozdzon, 2003; Tayebi, 2015).

Zagozdzon (2003), Polonya'nın güneybatısında Tersiyer bazaltik kayaçlarda Sonnenbrand (güneş yanığı) etkilerinin nedenlerini araştırmıştır. Çalışmaya göre güneş yanığı etkileri görülen bazalt kayalarında noktasal leke çapları, aralarındaki mesafe ve lekeleri oluşturan minerallerin içeriğinin geniş bir aralıkta değişmekle birlikte ve birbirine bağlıdır. Güneş yanığı etkisi görülen bazalt kayaçlarının duraylı bir yapıya sahip oldukları ve jeolojik çeşitliliğin güneş yanığı lekelerinde analsit ve lekelerin dış tarafında da nefelin

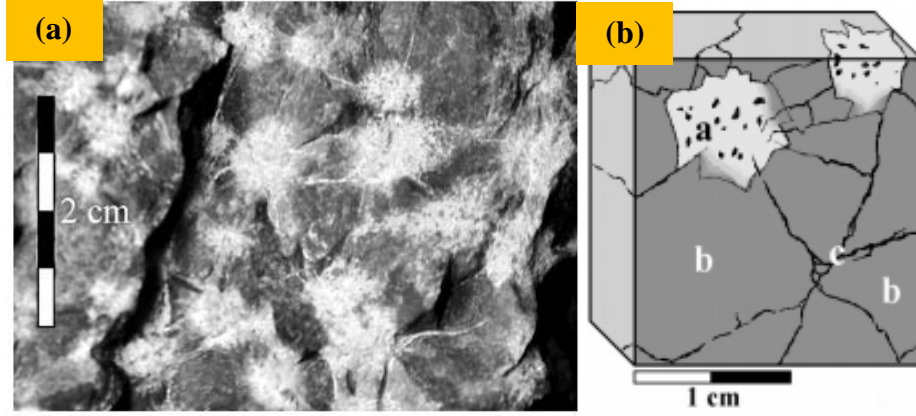
minerallerinin bulunmasından kaynaklandığı görülmüştür. Ancak, bu minerallerin mikroskobik boyutta olduğu ve X-ışını yapısal analizi ile belirlenebildiği belirtilmiştir. Güneş yanığının olgusu için en olası hipotez, geç-magmatik kristalleşme esnasında bazaltların bünyelerinde analsit ve nefelin oluşumu olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1.1. Sonnenbrand etkisi ile basalt kayalarında yıldız şekilli/bir noktadan yayılarak uzayan çatlaklar (Ciria/Cur C683, (2007))

Zagozdzon (2003), güneş yanığı lekelerinin boyutunun ortalama 1-5 mm ve genellikle <15 mm ile mikron boyutlarında olduğunu, renklerinin de açık gri veya nadiren kırmızı olduğunu ifade etmiştir (Şekil 1.2). Bununla birlikte güneş yanığı lekeleri mikroskobik olarak bazen belirginliklerini kaybedebilir ve kayacın sağlam tarafından ayıramayabilir. Ayrıca, bu mineraller mikroskopta da büyütme uygulansa dahi görülemeyebilir. Ancak, lekelerin analsitçe zengin olduğu ve kayacın sağlam kısımlarında nefelin mineralinin bulunduğu kanıtlanmıştır. Sonnenbrand etkilerine maruz bazaltlar ve bazanitler genellikle nefelin içeren alkalın tip bazaltlar olup nefelin bazaltlarda, olivin bazaltlar, nefelinitler, trakiandezitler ve ankaratritler olarak sınıflandırılmaktadır (Zagozdzon, 2003).

Zagozdzon (2003), güneş yanığı lekelerinin bazaltların herhangi bir şekilde magmatik faaliyetler esnasında yer yüzeyinde veya derinlerde oluşabildiğini, ilaveten sonradan sıcaklık ve nem gibi atmosferik etkiler nedeniyle de oluşabileceğini vurgulamıştır.



Şekil 1.2. Güneş yanığı görüntüsü (a) ve bir kayadaki güneş yanığı şeması (a: spot, b: kayanın sağlam kısmı, c: kapiler çatlaklar) (Zagozdzon, (2003))

Bununla birlikte çözünebilir mineraller, organik mineral içeriği ve pirit mineralleri sonnenbrand etkilerine yol açabilmektedir (Ciria/Cur C683, (2007)).

Tayebi (2015), sonnenbrandın en önemli sebebinin kayacın dokusunda sonradan meydana gelen mineral dönüşümleri ve sonucundaki içsel gerilmelerden kaynaklı kılcal çatlaklar olduğunu belirtmişlerdir. Bu dönüşüme neden olan en önemli minerallerin başlıcaları analsite ve nefelindir. Analsit, bazaltların dokusunda bulunduğu gibi mikro çatlaklar arasında da oluşabilmektedir. Analsitin büyüyerek gelişmesi ve nefeline dönüşmesi, kayaç dokusunda ve bünyesinde içsel gerilmeler nedeniyle çatlak gelişiminin en önemli nedeni olarak belirtilmektedir. Bu mikro çatlaklar belirli noktalarda yoğunlaşarak beyaz-gri noktaların oluşumuna neden olmaktadır. Sonnenbrand'da ilk aşama, oluşan beyaz-gri noktalardır. Böylece bu noktaların etrafındaki gerilme nedeniyle de bu noktalar arasında, bu noktalardan başlayarak ışınal şekilde etrafa yayılan düzensiz kılcal çatlaklar gelişir. Sonuçta bu mikro çatlak sistemlerinin yoğunluğu artarak bazaltlarda parçalanmaya neden olmaktadır (Zagozdzon 2003; Tayebi 2015).

Novakova vd. (2018), Çek Cumhuriyeti ve Almanya Sınırında bir bölge olan Lausitz Volkanik sahasında farklı tip ve şekillerde olan üç farklı volkanik alandaki taze ve Sonnenbrand etkileri görülen bazaltlar arasındaki petrografik ve manyetik farkları incelemiştir. Yapılan incekesit analizlerinde Sonnenbranda sebep olan mineralin analsit olduğu belirtilmiştir. Yapılan mikroskop analizlerinde analsitin mikrolitler (olivinler/olivinli mineraller) arasında oluştuğu ve bu noktalardan kayacın bütününe yayıldığı, çatlakların da bu noktalardan itibaren oluşarak yayıldıkları gözlenmiştir. Bazaltların yüzeylerindeki bu noktaların beyaz veya gri renkte, genellikle yuvarlak ve

merceğimsi olduğu, çaplarının 10 ila 20 mm'yi bulabildiği gözlenmiştir. Bu noktalardan etrafa uzayan kılcal çatlamlar bazaltların dokusunda nihayetinde ayrışmalara neden olmaktadır (Novakova vd., (2018)).

Güneş yanığı dokularının olivin içeren alkali bazaltlar ile bazanitlerde yaygın görüldüğü ve bazaltların mineralojisi ile mikrodokusu ve manyetik özelliklerindeki değişimler nedeniyle güneş yanığı etkilerine maruz kaldıkları vurgulanmıştır (Novakova vd., (2018)). Novakova vd. (2017), güneş yanığı etkilerinin görüldüğü bazalt sahasında yaptıkları sahaya bağımlı laboratuvar çalışmasında manyetik alan ölçümlerinde güneş yanığı görülen alanlarda porozite ve su içeriğinin sağlam kısımlardan yüksek olduğunu elde etmişlerdir. Porozite ve su içeriğinin güneş yanığı görülen alanlarda elektrik iletkenliğini artırdığını ifade etmişlerdir. Bu husus. Zagozdzon (2003)'ün belirttiği güneş yanığı olgusunun fiziksel etmenlerden de kaynaklandığı olasılığı ile örtüşmektedir.

1.5. Sonnenbrand Bazaltlar İçin Kaynatma Deneyleri

Kaynatma testleri daha çok ilgili standartlarda (TS EN 1367-3 (2003) ve BS EN 13383-1) belirtildiği üzere bazalt ve yavaş soğumaya bırakılmış cüruf örnekleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında sadece bazalt kayaçları incelenmiş ve deneysel çalışmalar bu kayaçlara yönelik gerçekleştirilmiştir. Sonnenbrand bazaltlara yönelik yapılan çalışmalarda en önemli ve ilk aşama, bazaltların tecrübeli bir petrograf tarafından değerlendirilmesidir.

1.5.1. Petrografik İnceleme

Kayaçların agrega, yapıtaşı, tahkimat taşı, zırh taşı vb. kullanılabilirliklerine yönelik öncelikli analizlerden birisi petrografik analizlerdir. Petrografik analizler, kayaçların ince kesit analizleri ile incelenerek kaya tipi ve adı ile kaya kütlelerinin değerlendirilmesinde ilk ve en önemli aşamadır. Buna göre kullanım amacına ve kullanılacağı ortamda maruz kalacağı etmenlere göre kayaçların mineral içeriklerinin (örn; kil ve eriyebilir mineral olmaması, reaktif SiO₂ içermemesi vb.) belirlenmesi, minerallerin kenetlenme durumu, kayacın tanımı, ayrışma derecesinin belirlenmesi vb. bazı standartlarda (ASTM C295/C295M-19; TS 706 EN 12620; TS EN 12407) tanımlanmıştır. Ayrıca kayaçlardaki kusurlar, zayıflık düzlemleri, mikroyapısı gibi hususlar da belirlenebilir.

1.5.2. Kayaç Numunesi ve Agregalarda Fiziksel Gözlem ve Kütle Kaybı

Kaynatma testlerine tabii tutulan Sonnenbrand bazalt numunelerinde parçalanma ve beneklenme ile herhangi bir belirgin renk değişimi olup olmadığı TS EN 1367-3 (2003) standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak gözlenir. Ayrıca, 10-14 mm boyut aralığında ilgili standarda göre kaynatma testi uygulanan agregalarda kütle kaybı 10 mm'nin yarısı olan 5 mm göz açıklıklı elekten elenerek başlangıçtaki kütleyle göre kıymıklanma kaybı (%) olarak belirlenir.

1.5.3. Aşınma Kaybının Belirlenmesi

Bu tez kapsamında sadece Los Angeles ve Mikro Deval aşınma kaybı değerleri % cinsinden belirlenmiştir. Mikro-Deval (M_{DE}) (TS EN 1097-1:2002) ve Los Angeles (LA) (TS EN 1097-2:2000) aşınma testlerinde dönen bir tambur içinde çelik bilyalı aşınma ortamları mevcuttur. Los Angeles deney tamburunda test kuru ortamda yapılıp tambur içinde raf bulunmaktadır. Bu testte belli bir yükseklikten tambur dönüşü esnasında çelik bilyalar hem düşerek darbe etkisiyle hem de dönüş esnasında aşındırma etkisiyle agregaları aşındırmaktadır. Genel anlamda darbe ile parçalanma olarak karakterize edilmektedir (Erichsen vd., 2011). Mikro-Deval (M_{DE}) deneyinde ise aşındırıcı ortamda su bulunmaktadır. Mikro-Deval testi esnasında agregaların yapısındaki muhtemel zayıf minerallerin suyun da etkisi ile ayrışması aynı zamanda mekanik olarak da aşınması söz konusudur (Brennan vd., 2003). Bu iki deneyde de malzemelerin başlangıça göre kütle kaybı ilgili standartlarda belirtilen prosedüre göre hesaplanır.

1.5.4. Kaynatma Testlerinin Sonnenbrand Bazaltlarda Uygulanması

Kaynatma testlerine göre Sonnenbrand bazalt kayaçlarında kütle- ve aşınma direnci kaybı sınır değerleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Sonnenbrand bazaltlarda kaynatma deneyi sonrası kütle- ve Los Angeles aşınma direnci kaybı sınır değerleri

Test metodu	Sonuç	%
DIN EN 1367-3	Kaynatma sonrası kıymıklanma	≤ 1
DIN EN 1097-2	Kaynatma sonrası Los Angeles aşınma kaybında artış	≤ 8

1.6. Sonnenbrand Bazaltlara Yönelik Uygulamada Gözetilen Limit Değerler

Bazaltlar; beton işleri, demiryolu balast malzemesi, istinat duvarı, duvar inşaatı, ulaşım yolu ve sanat yapıları, dere ıslahı, gölet/baraj vb. inşaatları, baraj dolgu inşaatı, deniz dolgusu, pere yapımı, tahkimat taşı, taş dolgu, liman zırh taşı, vb. projelerde yaygın olarak kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan bazaltların mühendislik özellikleri, yukarıda belirtilen başlıca kullanım alanları için Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi’nde gerekli limit değerler ile Ciria/Cur C683. (2007) limit değerleri ve sınıflamasına göre değerlendirilmiştir. Tablo 1.2’de Sonnenbrand bazaltların fiziko-mekanik özelliklerine göre Ciria/Cur C683. (2007) için sınıflaması verilmiştir.

Tablo 1.2. Bazaltların zırh taşı olarak kullanılabilirliklerine yönelik kalite ve duraylılık kriterleri (Ciria/Cur C683. (2007*))

Kriter	Referans	Mükemmel**	İyi**	Düşük**	Kötü**
Petrografik Değerlendirme	Tecrübeli petrograf	***	***	***	***
Yoğunluk (t/m ³)	EN 13383-2:2002	>2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	<2.3
Su içeriği (%)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-2.0	2.0-6.0	>6.0
Mikro porozite/Toplam porozite (%)	Lienhart (2003)	<2	2-6	6-20	>20
Metilen mavisi içeriği (g/100g)	Verhoef (1992)	<0.4	0.4-0.7	0.7-1.0	1.0
Basınç Dayanımı (MPa)	EN 1926 (2006)	>120	120-80	80-60	<60
Schmidt çekici indexi	ISRM 1981-2007	>60	50-60	40-50	<40
UPV (km/s)	ISRM 1981-2007	>6	4.5-6	3.0-4.5	<3
Nokta yükü dayanımı (MPa)	ISRM 1981-2007	>8	4-8	1.5-4.0	<1.5
Brazilian çekme dayanımı (MPa)	ASTM D3967-95a (2004); ISRM 1981-2007	>10	5-10	2-5	<2
Los Angeles (% kayıp)	EN 1097-2:1998	<15	15-25	25-35	>35
Mikro Deval (% kayıp)	EN 1097-1:1996	<10	10-20	20-30	>30
MgSO ₄ (% kayıp)	EN 1367-2	<2	2-10	10-30	>30
Donma Çözünme (% kayıp)	EN 13383-2:2002	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2

* : “Ciria/Cur C683. (2007). Cetmef. The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering. 2nd Edition. (CIRIA. CUR. CETMEF). Ciria. London. pp.1304.”ten bazı standart/metod tarihleri revize edilerek alınmıştır.

** : Mükemmel: Bu tür malzemelerde ayrışma riski çok düşüktür; İyi: Ortalamanın üzerinde kalitedeki malzeme olup bazı ayrışmalar görülse de önemli derecede ayrışmaya neden olmaz; Düşük: Ortalamanın altı kalitede malzemedir. Malzeme önemli derecede ayrışmaya neden olabilir. Özel dikkat gösterilmelidir; Kötü: Mümkünse malzeme kullanılmamalıdır. Ağır bakım koşulları gerekli olup, malzeme üretiminde özel yöntemler kullanılmalıdır.

***: Kriter bulunmamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Trabzon Akçaabat Akçakale Mevkiinden 1 adet, Artvin Borçka İlçesi'nden 1 adet (B), Artvin Arhavi İlçesi Güneşli Köyü mevkiinden 1 adet (H), Artvin Arhavi İlçesi Dikyamaç Köyü mevkiinden 1 adet (A), Nevşehir Hacıbektaş İlçesi, Karaburna mevkiinden 1 adet ve Kayseri İli Kocasinan İlçesi, Molu Mahallesi mevkiinden 1 adet olmak üzere alınan bazaltik içerikli kayalar üzerinde çalışılmıştır. Kaya örneklerinin öncelikle ön analizler ile bazalt kayacı olup olmadıkları petrografik mikroskop analizleri ile tespit edilmiştir. Petrografik analizler ile kayaları incelemek için ince kesit analizleri yapılarak hem kayacın mineralojik bileşimi belirlenmekte hem de adlandırılması yapılmaktadır.

2.1. Metod

Bu çalışmada öncelikle bazalt numuneleri üzerinde petrografik analizler, fiziko-mekanik deneyler ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaynatma deneylerinin, farklı illerden temin edilen sonnenbrand bazaltların fiziko-mekanik, kütle kaybı, aşınma, ultrasonik ve mikroyapı özelliklerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu araştırmada TS EN 1367-3 (2003) ve BS EN 13383-1 standartlarından yararlanılarak sonnenbrand bazaltlar için kaynatma deneyi yapılmıştır. Deney bazalttaki Sonnenbrand (güneş yanığı) beneklerinin varlığının ve bu tür beneklere sahip bazalttan üretilen agregaların parçalanmasının tayini için metotları kapsar.

Sonnenbrand (Sunburn: güneş yanığı), termal bozundurma testi olup bu testte kaya ve agregalar saf su içerisinde kaynatılarak termal etki altında parçalanma/ayrışmaya maruz bırakılmaktadır. Kaynatılan numuneler daha sonra kurumaya bırakılmaktadır. Sonnenbrand testi üç şekilde uygulanmaktadır. Önceden uygun şekilde hazırlanan numuneler 36±1 saat saf su içerisinde kaynatıldıktan sonra; *i*) Sonnenbrand testi yaklaşık yüzey alanı en az 50 cm² olan ve kesilmiş yüzeye sahip kontrol numunesi de içeren (simetrik numune) kaya parçası yüzeyinde yıldız şekilli kılcal çatlak içeren noktaların oluşup oluşmadığı ve kayacın parçalanıp parçalanmadığının gözlenmesi. *ii*) (-14 mm +10 mm iri agreganın

kaynatma sonrasında 5 mm göz açıklıklı elekten elenmesi ve kaynatma sonucu kütle kaybı %'sinin hesaplanması. *iii*) kaynatma sonrasında Los Angeles aşınma kaybında başlangıçtaki Los Angeles aşınma kaybına göre artış oranının belirlenmesidir.

Kaynatma testlerinde de kayaç parçalarında parçalanma olup olmadığı, kesilmiş yüzeylerde renk değişimlerinin görülüp görülmediği en önemli hususlardır. Düzgün yüzeydeki renk değişimi, yapının zayıfladığının fiziksel gözlem anlamında en önemli göstergelerindendir. Ancak bu husus, kıymıklanma ile kütle kaybı ve Los Angeles aşınma kaybı ile daha net belirlenmektedir (Tayebi, 2015).

Kaynatma sonrası numune ($\geq 50 \text{ cm}^2$) üzerinde kılcal çatlakların olup olmadığını, kaynatma öncesi ve sonrası Los Angeles değerlerindeki değişim, kaynatma öncesi ve sonrası kütle kaybı değişimi, kaynatma öncesi ve sonrası mineralojik değişim, kaynatma öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi, kaynatma öncesi ve sonrası UPV değişimi, kaynatma öncesi ve sonrası mikroyapıdaki değişime bağlı olarak sonnenbrand güneş yanığı testlerinin bazaltların fiziko-mekanik ve mikroyapısına etkileri araştırılmıştır.

2.2. Numunelerin Temini

Bu çalışma kapsamında yukarıda bu bölümün ilk kısmında bahsedildiği üzere numuneler birbirine yakın ve uzak, aynı zamanda farklı bölgelerden de olacak şekilde Artvin (3 adet), Trabzon (1 adet), Kayseri (1 adet) ve Nevşehir (1 adet) illerinde bulunan 6 farklı alandan temin edilmiştir (Tablo 2.1). Şekil 2.1'de Trabzon bazalt numunesinin alındığı alan ve Kayseri'den gelen Kayseri ve Nevşehir lokasyonlarına ait bazaltlar görülmektedir.

Tablo 2.1. Numunenin temin edildiği yerler

Kayaç	Lokasyonu
Bazalt-1	Trabzon
Bazalt-2	Artvin (B)
Bazalt-3	Artvin (A)
Bazalt-4	Artvin (H)
Bazalt-5	Kayseri
Bazalt-6	Nevşehir



Şekil 2.1. Numune temini Trabzon (Akçakale) (a), Kayseri ve Nevşehir (b)

2.3. Mikroskopik Tayinler

Mineralojik ve petrografik incelemesi yapılan bazaltik bileşimli kayaç örneklerine ait ince kesitler, K.T.Ü Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu kayaç örnekleri kayaç kesme makinesinde yaklaşık 0.5x2x3.5 cm boyutunda plakalar halinde kesilerek, 0.1x2.5x4.6 cm boyutundaki ince kesit camları üzerine Kanada Balzamu ile yapıştırılmıştır. Daha sonra 0.035 mm kalınlığa kadar aşındırılmıştır. Kayaçların mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi ve adlamalarının yapılabilmesi için K.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'ndaki Nikon marka polarizan mikroskopta ince kesitler ayrıntılı olarak incelenmiş ve incekesitlerden kayaç numunelerinin temsili mikrofotografı çekilmiştir.

2.4. Kayaçların Kimyasal Analizleri

Kayaçların ana oksit kimyasal analizleri XRF metodu ile Ankara'da Argetest Cevher Zenginleştirme Ar-Ge ve Analiz Hizmetleri laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Tablo 2.2'de bazalt kayaçlarına ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

2.5. Numune Hazırlama

Bu çalışmada her bir örnek üzerinde yapılacak olan deneyler için ilgili standartlara uygun numune hazırlanmıştır. Aşamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.2. Kayaçların kimyasal analizleri

	Trabzon Bazalt	Artvin Bazalt (B)	Artvin Bazalt (A)	Artvin Bazalt (B)	Kayseri Bazalt	Nevşehir Bazalt
Al ₂ O ₃	16.08	18.79	18.59	18.60	20.12	19.57
SO ₃	0.056	0.025	0.057	0.051	0.015	0.010
CaO	9.53	7.15	8.10	8.74	11.39	9.33
MgO	7.26	3.72	7.41	7.34	4.22	3.77
Fe ₂ O ₃	10.35	8.75	12.72	12.68	11.41	9.64
Na ₂ O	2.92	3.06	2.75	1.67	4.45	5.27
SiO ₂	46.54	50.40	44.14	44.11	45.12	45.46
SrO	0.085	0.045	0.056	0.053	0.053	0.075
BaO	0.051	0.069	0.048	<0.010	0.058	<0.010
Cr ₂ O ₃	0.049	<0.010	<0.010	0.013	0.034	0.019
K ₂ O	3.43	1.13	0.36	0.62	0.49	0.97
MnO	0.20	0.23	0.21	0.18	0.18	0.16
P ₂ O ₅	0.49	0.44	0.16	0.15	0.31	0.55
TiO ₂	0.79	0.60	0.98	1.02	1.38	1.72
Total C	0.100	0.062	0.11	0.15	0.15	0.029
Total S	0.024	0.029	0.039	0.037	0.023	0.024

-Karot Alma İşlemi

Laboratuvara getirilen bazaltik kayaç numunelerinden K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği laboratuvarlarında kaya mekaniği deneyleri için öncelikle karot alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her kayaçtan, fiziksel gözlemlerde herhangi bir yapısal kusuru olmayan NX karot çapında (54.7 mm) 10'ar adet karot alınmıştır (Şekil 2.2).

-Karot Hazırlama

ISRM 2007’de önerilen metoda göre alınan karotların boy/çap oranı tek eksenli basınç dayanımı deneyleri için ~2.5 olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Karot alma işlemi

Karotlar kesildikten sonra alt ve üst yüzeylerinin düzgünlüğü ve numune eksenine dikliklerini sağlamak amacıyla sırasıyla aşındırıcı diske sahip karot düzeltme cihazı ve zımpara kâğıdı kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Karotların tek eksenli basınç dayanımı testleri için hazırlanması

2.6. Bazaltik Kayaçların Fiziko-mekanik Testleri

Laboratuvar deneyleri, kullanılan malzemelerin temel fiziksel, dayanım ve aşınma özellikleri ile Sonnenbrand testleri yapılarak gerçekleştirilmiştir.

2.6.1. Temel Fiziksel Özelliklerin Tayini

Tez çalışmaları kapsamında kayaçların su içeriği, yoğunluk, birim hacim ağırlık ve gözeneklilik gibi parametreleri ISRM 2007’de önerilen metoda göre NX karot numuneleri kullanılarak belirlenmiştir. Karotların öncelikle hacmi, sonra da sırasıyla doğal, 24 saat atmosfer basıncı altında suya doymun hale getirildikten sonra doymun kütlesi ve etüvde 105 °C’de ~24 saat kurutulduktan sonra da kuru kütlesi belirlenmiştir. Daha sonra aşağıdaki formüllerle bazaltlara ait fiziksel özellikler hesaplanmıştır.

Yoğunluk (ρ): Birim hacimdeki kütle olarak tanımlanır. (gr/cm^3)

$$\rho = \frac{M_T}{V_T}$$

Birim Hacim Ağırlık (γ): Birim hacimdeki kayacın toplam ağırlığı olarak tanımlanır. (gr/cm^3)

$$\gamma = \frac{W_T}{V_T}$$

Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_k): Kuru durumundaki kayacın ağırlığının toplam hacmine oranıdır.

$$\gamma_k = \frac{W_k}{V_T}$$

Doygun Birim Hacim Ağırlık (γ_d): Doymun haldeki kaya örneğinin ağırlığının toplam hacmine oranıdır.

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V_T}$$

Doğal Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_{doğ}$): Doğadaki halinde boşlukların biraz su dolu olması durumundaki kayacın toplam hacmine oranıdır.

$$\gamma_{doğ} = \frac{W_{doğ}}{V_T}$$

Özgül Ağırlık (G): Katı kısmın ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Kısacası bir cismin birim hacim ağırlığının, suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Birimi yoktur.

$$G = \frac{\gamma}{\gamma_{su}}$$

Kuru Özgül Ağırlık (γ_k): Kuru durumundaki kayacın toplam hacmine oranıdır.

$$G_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_{su}}$$

Doygun Özgül Ağırlık (γ_d): Doygun haldeki kaya örneğinin hacmine oranıdır.

$$G_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_{su}}$$

Gözenek Hacmi (V_b): Kayaç içerisindeki boşlukların hacmidir. (cm^3)

$$V_b = \frac{W_d - W_k}{\gamma_{su}}$$

Etkin Porozite/ Gözeneklilik (n): Boşluk hacminin toplam hacme oranıdır. (%)

$$n = \frac{V_b}{V_T} * 100$$

Katı Hacmi (cm^3) (V_k): Boşluklar çıkarıldığında kalan hacim olarak ifade edilir.

$$V_k = V_T - V_b$$

Boşluk Oranı (e): Kayaçların boşluk hacminin katı kısmın (tanelerin) hacmine oranıdır. (%)

$$e = \frac{V_b}{V_k} * 100$$

Gözeneklilik ile boşluk oranı arasındaki eşitlikte aşağıda verilmiştir.

$$e = \frac{n}{100 - n}$$

Gözenek Suyu Ağırlığı (W_{su}): Doğal ağırlığın kuru ağırlıktan farkıdır. (gr)

$$W_{su} = W_{doğ} - W_k$$

Doğal Su İçeriği (w): Belirli bir hacimde kayacın içerdiği su ağırlığının katı kısmın ağırlığına oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir. (%)

$$w = \frac{W_{su}}{W_k} * 100$$

Doygunluk Derecesi (S_d): Su hacminin boşluk hacmine oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir. (%)

$$S_d = \frac{V_{su}}{V_b} * 100$$

Su Emme Oranı: Bir kayaç suya batırılacak olursa içerisindeki boşluklar yani porozitelere belli bir müddet su ile dolar. Fakat bazen içerde kalan hava boşluklarının birbiriyle bağlantılı olmaması ve killerdeki şişme suyun girmesine engel olabilir. Bu durumda su emme oranları farklı olabilmektedir.

Ağırlıkça Su Emme Oranı: Boşluklardaki suyun ağırlığının katı kısmın ağırlığına oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir.

$$\frac{W_d - W_k}{W_k} * 100$$

Hacimce Su Emme Oranı: Suyun ağırlığının katı kayacın toplam hacmine oranı olarak ifade edilir.

$$\frac{V_d - V_k}{V_T} * 100$$

2.6.2. Kayaçların Mekanik Özelliklerinin Tayini

Tez kapsamında bazaltların kaya mekaniği özellikleri ISRM 2007'de önerilen metotlara göre hazırlanarak laboratuvar ortamında belirlenmiştir.

-Tek eksenli basınç dayanımı

Laboratuvara getirilen bazaltik kayaç numunelerinden kaya malzemelerinin tek tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesi için ISRM 2007'de göre kaynatma deneyine tabi tutulmayan ve kaynatılan 5'er numune üzerinde dayanım testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4).

Yükleme hızı bütün testler boyunca ISRM 2007'de önerilen saniyede 0.5–1 MPa aralığında olacak şekilde ~0.75 MPa/s'ye ayarlanmıştır. Basınç dayanımları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\sigma_c : F_c / A \text{ (kg/cm}^2 \text{)}$$

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa); A: Numune alanı (cm²); $A = \pi D^2/4$ (cm²)

F_c : Kırılma yükü (kg); D: Numune çapı (cm)



Şekil 2.4. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı deneylerinin gerçekleştirilmesi

-Brazilian çekme dayanımı

Kayaçların çekme dayanımını belirlemek için kaya mekaniği laboratuvarında Brazilian endirekt çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. ISRM 2007’de önerilen metoda göre uygun olarak hazırlanan 10 adet numunenin, kumpas yardımıyla çap (D) ve kalınlıkları (L) ölçülmüştür. Numuneler daha sonra çelik çeneler arasına yerleştirilerek 0.2 kN/s’lik devamlı ve sabit bir düşey yükleme hızı altında 15–30 saniyede kırarak şekilde endirek çekme dayanım testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5). Numune kırıldıktan kayaçların endirek çekme dayanımları aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$\sigma_t : 2 \cdot F_c / \pi \cdot D \cdot L ; \text{ veya } \sigma_t = 0.636 \cdot F_c / D \cdot L$$

σ_t : Endirek çekme dayanımı (MPa)

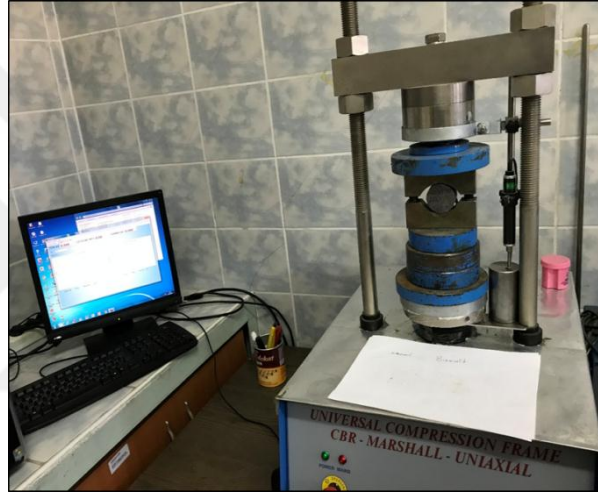
F_c : Kırılma yükü (KN)

D: Numune çapı (cm)

L: Numune kalınlığı (cm)

-Nokta yük dayanımı

Tez çalışmalarındaki bazaltik kayaçların nokta yükü dayanımları ISRM 2007'de önerilen metoda göre tayin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda eksenel deney koşulları için kalınlıkları 0.3-1.0 boy çap oranında numuneler hazırlanmış ve 10-60 s arasında kırılacak şekilde testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7). Nokta yükü dayanımı ($I_{s(50)}$) 10 örnek üzerinde yapılmış olup en düşük ve en yüksek ikişer değer atılarak 6 değerın ortalamasının hesaplanması ile elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Endirekt çekme dayanımı deney düzeneği



Şekil 2.6. Nokta yük deneyinin gerçekleştirilmesi

-Ultrasonik P-Dalga Hızı Deneyi

Kayaç numunelerinin ultrasonik P-dalga hızı deneyleri ISRM 2007'de önerilen metoda uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7). P-dalga hızı (V_p) aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır:

$$V_p: x/t$$

Burada;

V_p : P-dalga hızı, (m/s)

X: numune uzunluğu, (mm)

t: sinyalin numune üzerinden geçiş süresi (μ s) ifade etmektedir.



Şekil 2.7. Ultrasonik P-Dalga Hızı Deneyi

2.6.3. Aşınma Özelliklerinin Tayini

-Los Angeles aşınma deneyi

Los Angeles aşınma indeksi, kayaçların darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Dolayısıyla, Los Angeles aşınma testi parçalanma ile karakterize edilmektedir (Erichsen vd., 2011). Los Angeles aşınma makinesiyle yapılan bu deney TS EN 1097-2 (2000) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney malzemesi olarak yıkanmış ve kurutulmuş +10-14 mm iri agrega dakikada 30-33 devir yapacak şekilde makinada 11 standart çelik bilya ile 500 devire tabi tutulmuştur (Şekil 2.8). Deney sonunda tamburdan

agregalar alınan 1.6 mm göz açıklıklı elekten yıkanmıştır. Daha sonra elek üstü malzeme 105 °C fırında kurutulmuş ve aşağıdaki formül yardımı ile Los Angeles aşınma kaybı (%) hesaplanmıştır.

$$K_{500} = \frac{G_0 - G_{500}}{G_0} \times 100$$

K: Aşınma kaybı,

G₀: Başlangıçtaki ağırlık,

G₅₀₀: 500 devir sonrası elek üstü ağırlık,



Şekil 2.8. Los Angeles aşınma deney cihazı

-Mikro Deval aşınma deneyi

Mikro Deval deneyi +10-14 mm boyutundaki yaklaşık 500 g iri agregaların standart yaklaşık 5000 gr çelik bilya ve 2500 ml su ortamında 12000 devir aşınmaya tabii tutulduğu bir aşınma indeksidir.

Deneyden önce agregalar yıkanarak kurutulmuş ve deney sonrasında tamburlardan alınan agregalar 1.6 mm göz açıklıklı elekte yıkanmıştır (Şekil 2.9). Daha sonra elek üstü malzeme 105 °C fırında kurutulmuş ve aşağıdaki formül yardımı ile Mikro Deval aşınma kaybı (%) hesaplanmıştır.

$$M_{DA} (\%) = \frac{\Delta m (g)}{m (g)} \times 100$$

Burada;

M_{DA} = Mikro-Deval aşınma değeri (%).

Δm = Toplam ağırlık kaybı (g).

m = İlk ağırlık (g).



Şekil 2.9. Mikro-Deval aleti ve tamburu

2.6.4. Sonnenbrand Bazaltlar İçin Kaynatma Deneyleri

Bu tez çalışmasında TS EN 1367-3 (2003) ve BS EN 13383-1 standartları esas alınarak Sonnenbrand bazalt için kaynatma deneyi yapılmıştır. Bu deney, bazalt kayalarının yapılarının zayıflama durumunu kontrol etmek içindir.

Sonnenbrand etkisi, gri / beyaz yıldız şeklindeki lekelerin ortaya çıkmasıyla başlar ve bu noktalardan başlayarak yıldız şeklinde kılcal çatlaklar oluşturur. Bazaltik kayaların yapısını oluşturan minerallerin yapısını/dokusunu zayıflatarak kayacın daha küçük parçalara ayrılmasına neden olur.

Sonnenbrand bazaltlar için kaynatma deneylerine yönelik gerekli bazalt numuneleri parça ve agrega şeklinde her test için ayrı ayrı olmak üzere içinde su bulunan bir çelik kutuya yerleştirilerek 36 ± 1 saat kaynatılır (Şekil 2.10).

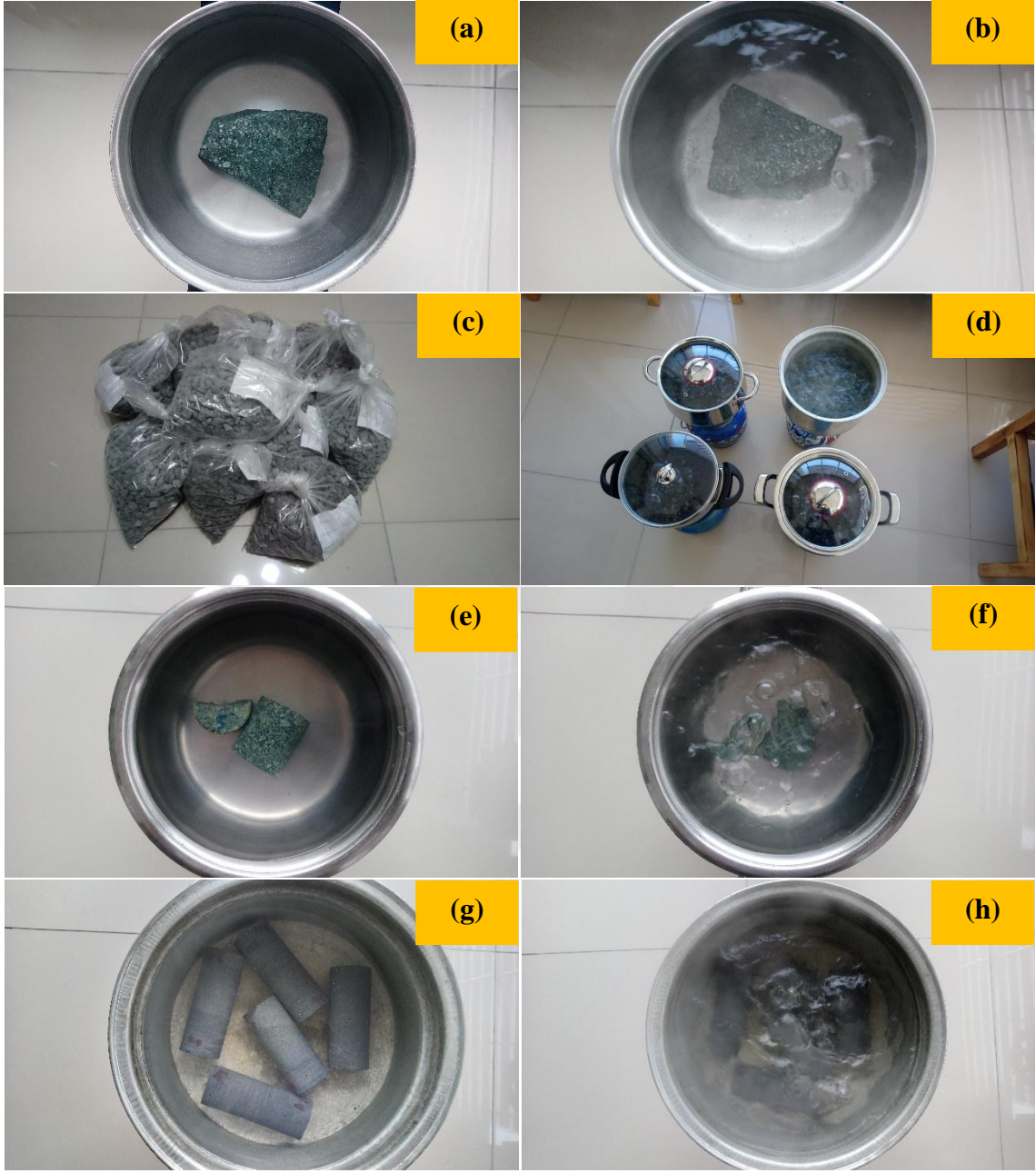
Parça bazalt numuneleri, kaynatma testleri esnasında ve sonrasında Sonnenbrand işaretlerinin yanı sıra çatlakların gelişmesi ve olası çatlama olayları görsel olarak gözlenerek belirlenir. Agregalar için ise kaynatma öncesi ve sonrasındaki kütleler esas

alınarak kütle kaybı belirlenir. Burada kaynatma işlemi sonrasındaki agregalar, düşük nominal boyutun yarısı kadar bir açıklığa sahip bir elekten elenerek ve başlangıç kütlesiyle karşılaştırılarak kütle kaybı belirlenir.

Agregalarda aşınma/parçalanma kaybı ise Los Angeles testi ile kaynama öncesi ve sonrasındaki 1.6 mm'lik elek üstü kütleleri esas alınarak güç kaybı (S_{LA}) şeklinde belirlenir.

Kaynatma deneyleri sonrasında agregalarda kütle kaybı ve aşınma/parçalanma kaybı limitleri aşağıdaki verilen sınır değerlere göre değerlendirilir.

- Kaynatma sonrası kütle kaybı: maksimum % 1.0
- LA katsayısının artışı maksimum % 8.0



Şekil 2.10. Sonnenbrand bazaltlar için kaynatma deneyinden bir görünüş: bazalt kayacı parçalarının kaynatma öncesi (a) ve sırasındaki (b)-; bazalt agregalarının kaynatma öncesi (c) ve sırasındaki (d)-; incekesit ve mikroyapı analizleri için bazalt kayaç numunelerinin kaynatma öncesi (e) ve sırasındaki (f)-; tek eksenli basınç dayanımı için bazalt karot numunelerinin kaynatma öncesi (g) ve sırasındaki (h) görünüşleri

2.6.5. Taramalı Elektron Mikroskop Analizleri

Bu çalışmada kaynatma deneylerine tabii tutulan ve tutulmayan Sonnenbrand bazaltların kontrol numunelerinin mikroyapıları (Şekil 2.10.e,f) taramalı elektron mikroskobu altında (SEM) incelenmiştir.

SEM çalışmaları öncesinde bazaltik küçük kayaç numuneleri 1^{cm} en x 1^{cm} uzunluk x 0.5^{cm} kalınlık boyutlarında hazırlanmıştır. Numunelerin yüzeyleri daha sonra altın ile kaplanarak iletkenlik sağlanmıştır. Numunelerin mikroyapıları daha sonra kontrol ve kaynatılmış numuneler şeklinde karşılaştırmalı olarak ZEISS EVO LS 10 model SEM cihazı ile ZEISS EVO LS 10 model SEM cihazı ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi SEM laboratuvarında analiz edilmiştir.

2.7. Trabzon (Akçakale) Bazalt İçin Sonnenbrand Bazalt Saha Gözlemleri

Trabzon İli Akçakale mevkiinden alınan bazaltlar çok uzun yıllardır (bazaltların bu alanda oluşumundan itibaren) bu alanda atmosfer ve deniz suyu etkilerine maruz kaldığı için Sonnenbrand bazaltlara yönelik saha gözlemleri bu alanda yapılmıştır. Çalışma kapsamında, bu alanda farklı noktalarda gözlemler yapılmış ve kayaç dokuları ve güneş yanığı çatlaklarının var olup olmadığı saptanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile saha gözlemleri bu alan için Sonnenbrand bazaltlar kapsamında birlikte değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Bazalt Kayaçlarının Petrografik Analizleri

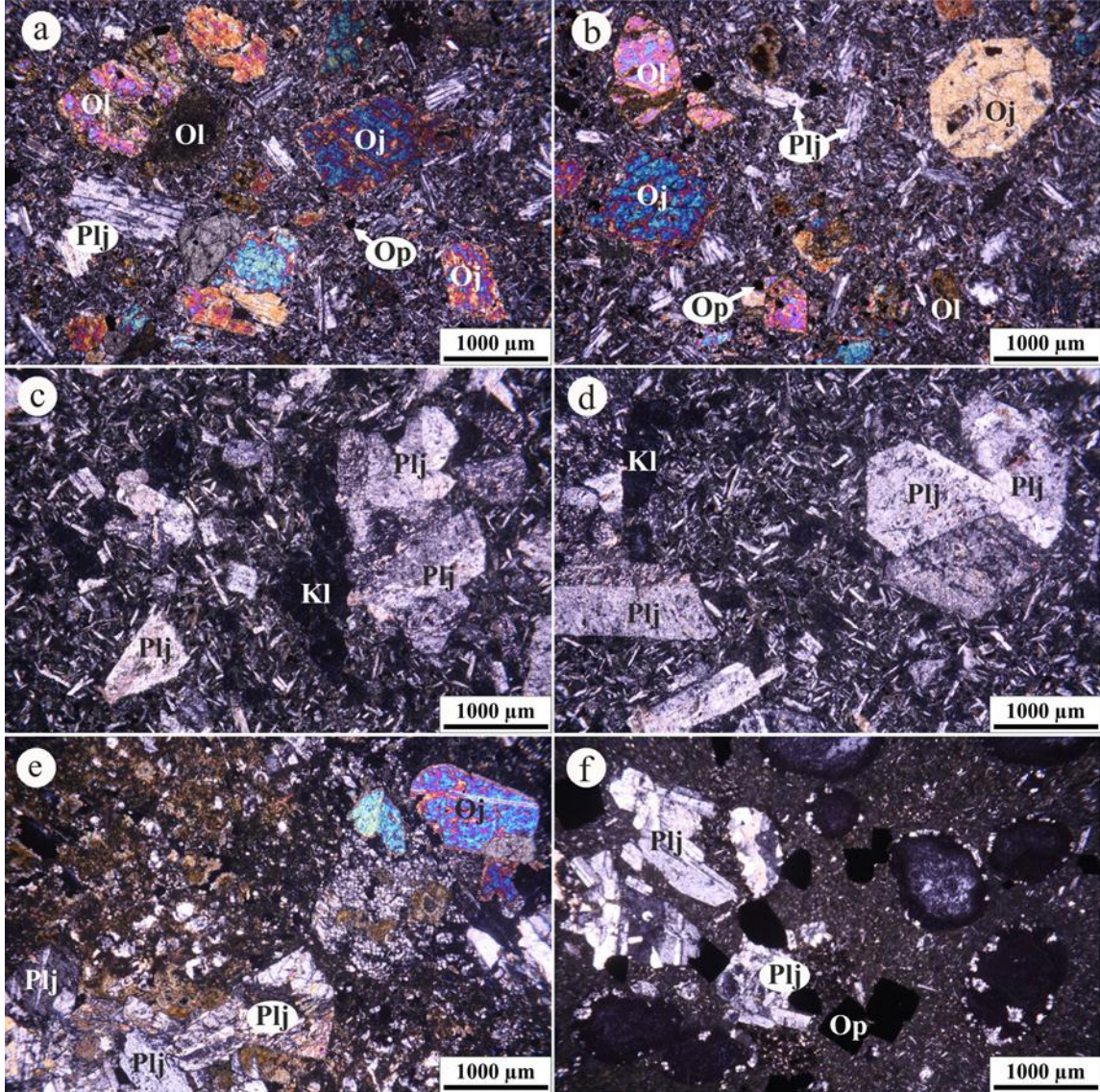
Tez çalışması kapsamında çalışılan bazaltik bileşimli kayaç örneklerinin mineralojik ve petrografik özellikleri ortaya konularak kayaç tanımlamaları yapılmış ve bu örneklerden temsili mikrofotograflar çekilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).

Akçakale (Akçaabat, Trabzon) yöresinden alınan kayaç örnekleri (Trabzon Bazalt) genellikle mikrolitik porfirik ve intersertal doku sergilemekte olup, olivin ojit bazaltdan oluşmaktadır. Bu kayaçların ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 50-55), ojit (% 25-30), olivin (% 5-10) ve opak mineral (% 3-5) oluşturmaktadır (Şekil 3.1a, b). Alterasyon kayaç içerisinde yer yer gözlenmekte olup, kloritleşme, iddingsitleşme ve serpantinleşme olarak izlenmektedir.

Dikyamaç Köyü (Arhavi, Artvin) yöresinden alınan kayaç örnekleri (Artvin (A) bazalt), genellikle hyalo-mikrolitik porfirik doku göstermekte olup, bazaltdan oluşmaktadır. Bu kayaçların ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 40-50), ojit (% 10-15) ve opak mineral (% 1-3) oluşturmaktadır (Şekil 3.1c, d). Alterasyon kayaç içerisinde yoğun olarak gözlenmekte olup, albitleşme, serizitleşme, epidotlaşma, karbonatlaşma, kloritleşme ve zeolitleşme olarak izlenmektedir.

Güneşli Köyü (Arhavi, Artvin) yöresinden alınan kayaç örnekleri (Artvin (H) bazalt) genellikle hyalo-vaküoler mikrolitik porfirik ve amigdaloidal doku sergilemekte olup, bazaltdan oluşmaktadır. Bu kayaçların ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 30-35), ojit (% 10-15) ve opak mineral (% 3-5) oluşturmakta olup, volkanik cam bunlara eşlik etmektedir (Şekil 3.1e, f). Alterasyon kayaç içerisinde yoğun olarak gözlenmekte olup, epidotlaşma, karbonatlaşma, kloritleşme, killeşme, zeolitleşme ve silisleşme olarak izlenmektedir.

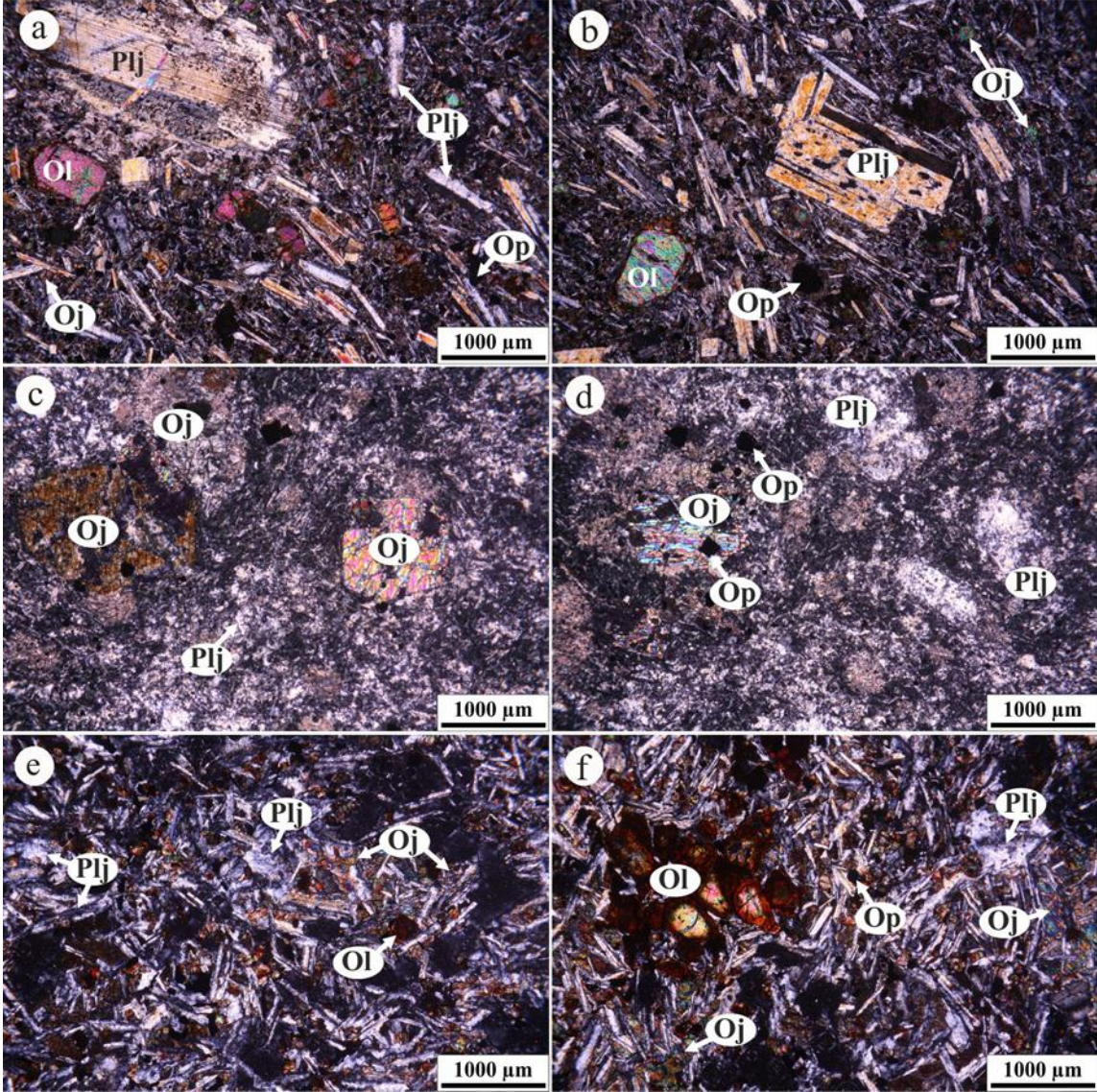
Nevşehir yöresinden alınan kayaç örnekleri (Nevşehir bazalt), genellikle mikrolitik porfirik ve intergranüler doku göstermekte olup, olivin ojit bazaltdan oluşmaktadır. Bu kayaçların ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 55-60), ojit (% 15-20), olivin (% 5-10) ve opak mineral (% 3-5) oluşturmaktadır (Şekil 3.2a, b). Alterasyon kayaç içerisinde yer yer gözlenmekte olup, karbonatlaşma, kloritleşme ve iddingsitleşme olarak izlenmektedir.



Şekil 3.1. (a-b) Akçakale (Trabzon) yöresi (Örnek adı Trabzon bazalt), (c-d) Dikyamaç Köyü (Arhavi, Artvin) (Örnek adı Artvin (A)) ve (e-f) Güneşli Köyü (Arhavi, Artvin) yöresi (Örnek adı Artvin (H)) kayalarına ait mikrofotografılar (Çift Nikol; X2.5; Plj: plajiyoklas, Oj: ojit, Ol: olivin, Op: opak mineral, Kl: klorit) (a, c, e: kontrol amaçlı kayaç örnekleri; b, d, f: kaynatılmış kayaç örnekleri)

Borçka (Artvin) yöresinden alınan kayaç örnekleri (Artvin (B) bazalt) genellikle hyalo-mikrolitik porfirik doku sergilemekte olup, bazalttan oluşmaktadır. Kayaç hamurunda çoğunlukla camdan itibaren oluşmuş devitrifikasyon dokusu da gözlenmektedir. Bu kayaçların ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 30-40), ojit (% 3-5) ve opak mineral (% 1-3) oluşturmakta olup, volkanik cam bunlara eşlik etmektedir (Şekil 3.2c, d). Alterasyon kayaç içerisinde yoğun olarak gözlenmekte olup, albitleşme, karbonatlaşma, kloritleşme ve zeolitləşme olarak izlenmektedir.

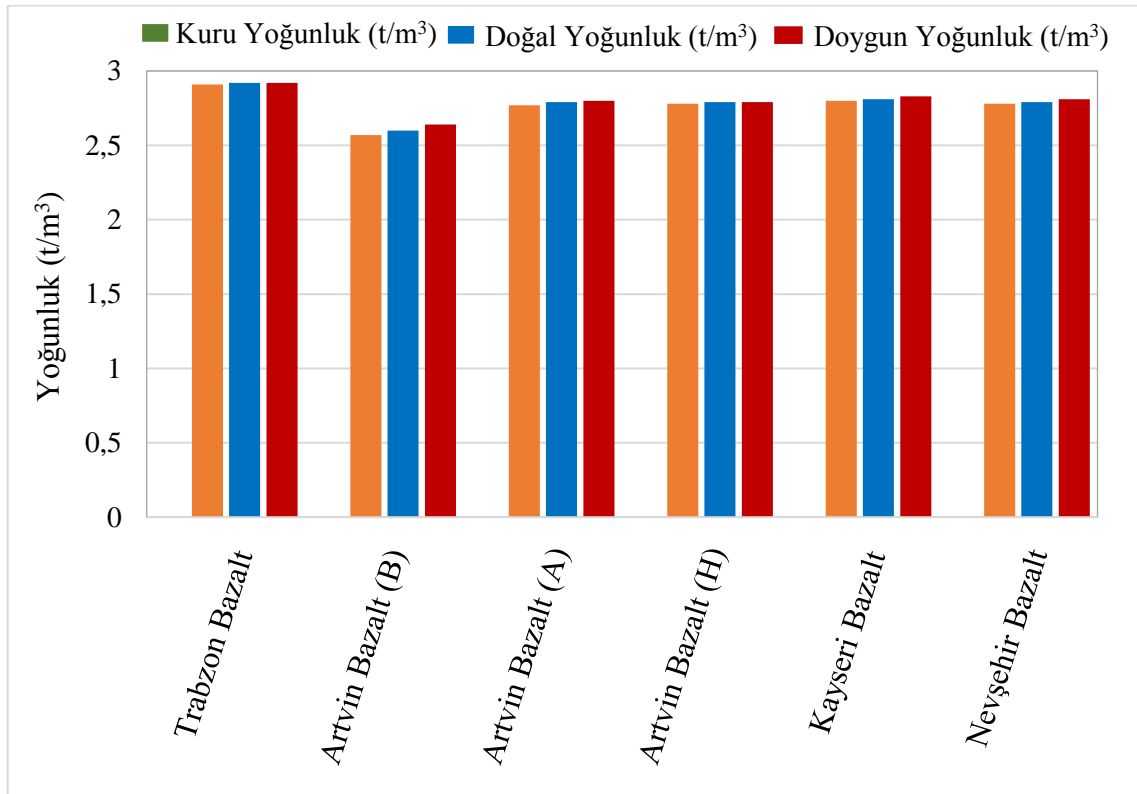
Kayseri yöresinden alınan bazalt (Kayseri bazalt), genellikle mikrolitik, subofitik ve intergranüler doku göstermekte ve olivin ojit bazaltdan oluşmaktadır. Kayacın ana modal mineralojisini plajiyoklas (% 50-55), ojit (% 15-20), olivin (% 10-15) ve opak mineral (% 3-5) oluşturmaktadır (Şekil 3.1e, f). Alterasyon kayaç içerisinde yer yer gözlenmekte, karbonatlaşma, kloritleşme ve iddingsitleşme olarak izlenmektedir.



Şekil 3.2. (a-b) Nevşehir yöresi (Örnek adı Nevşehir bazalt), (c-d) Borçka (Artvin) yöresi (Örnek adı Artvin (B)) ve (e-f) Kayseri yöresi (Örnek adı Kayseri bazalt) kayaçlarına ait mikrofotograflar (Çift Nikol; X2.5; Plj: plajiyoklas, Oj: ojit, Ol: olivin, Op: opak mineral) (a, c, e: kontrol amaçlı kayaç örnekleri; b, d, f: kaynatılmış kayaç örnekleri)

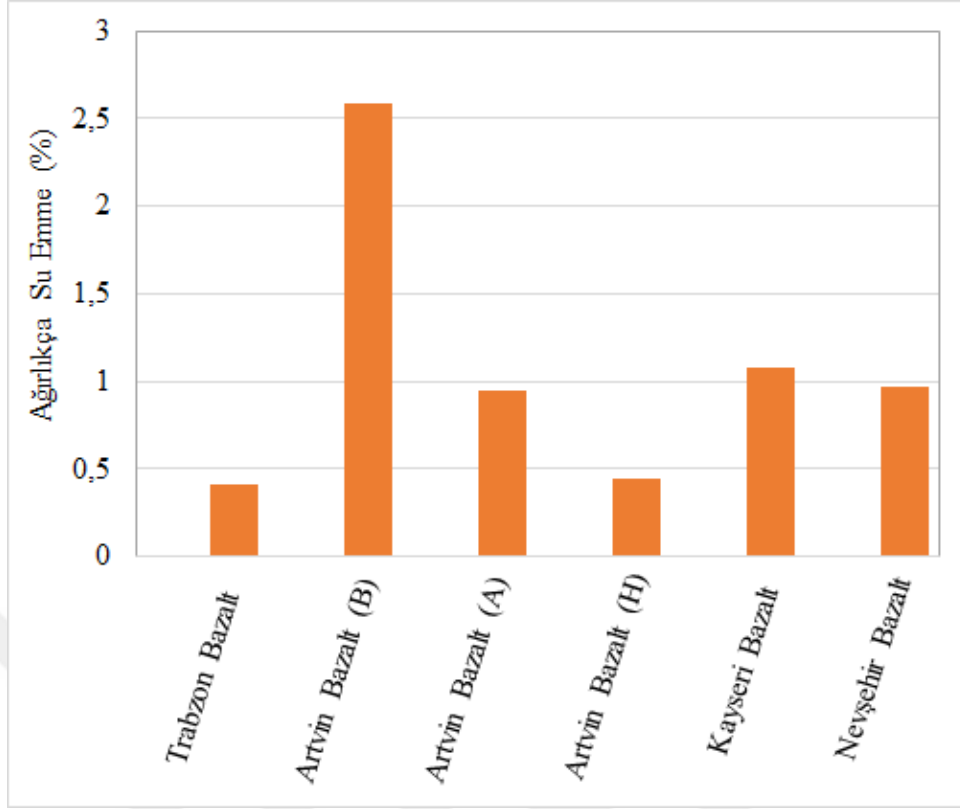
3.2. Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Kayaçların yoğunlukları, poroziteleri ve kütlece su emme oranları Şekil 3.3'de verilmiştir. En yüksek yoğunluk 2.92 g/cm^3 ile Trabzon bazalta aitken en düşük yoğunluk 2.6 g/cm^3 ile Artvin (B) numunesine aittir. Bütün numuneler yoğunlukları açısından değerlendirildiğinde taş dolgu, pere, tahkimat taşı vb. için (KGM, 2013; TS 699; TS EN 1936) uygun olduğu görülmüştür. Sonnenbrand deneyleri duraylılık açısından değerlendirildiğinde. Artvin (B) haricindeki bazaltların EN 13383-2 (2002)'ye göre mükemmel sınıfta yer almaktadır.



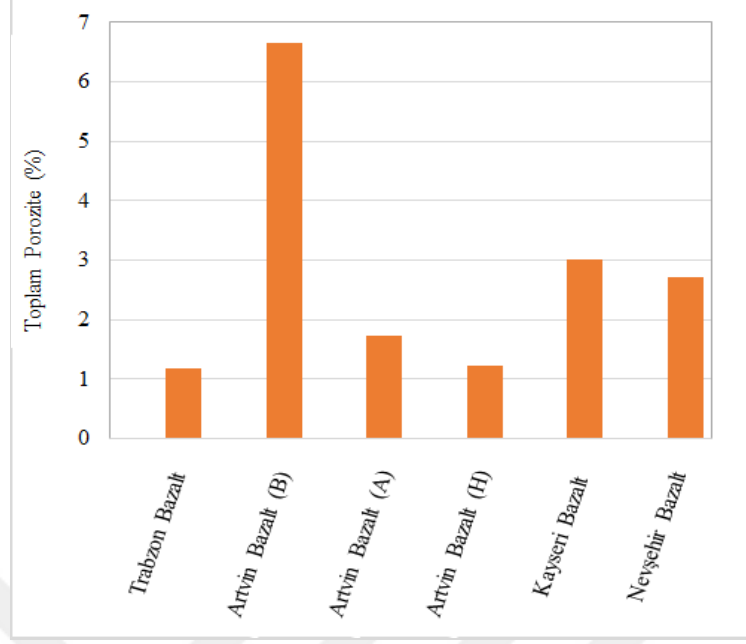
Şekil 3.3. Bazalt numunelerinin yoğunlukları

Kayaçların kütlece su emme değerleri Şekil 3.4'te verilmiştir. Sonnenbrand deneyleri duraylılık değerlendirilmeleri açısından ağırlıkça su emme oranları bakımından Ciria/Cur C683 (2007) bazalt kalite ve duraylılık değerleri esas alındığında Trabzon ve Artvin (H) mükemmel, Artvin (B) düşük sınıfta yer alırken diğer kayaçlar iyi sınıfta yer almaktadır.



Şekil 3.4. Bazalt numunelerinin ağırlıkça su emme oranları

Bazalt numunelerinin poroziteleri Şekil 3.5'te verilmiştir. Kayaçların poroziteleri için Ciria/Cur C683 (2007) kapsamında Lienhart (2003) dikkate alındığında Trabzon, Artvin (A) ve Artvin (H) “mükemmel”, Kayseri ve Nevşehir bazalt “iyi”, Artvin (B) bazalt ise “düşük” sınıfta yer almaktadır.



Şekil 3.5. Bazalt numunelerinin toplam poroziteleri

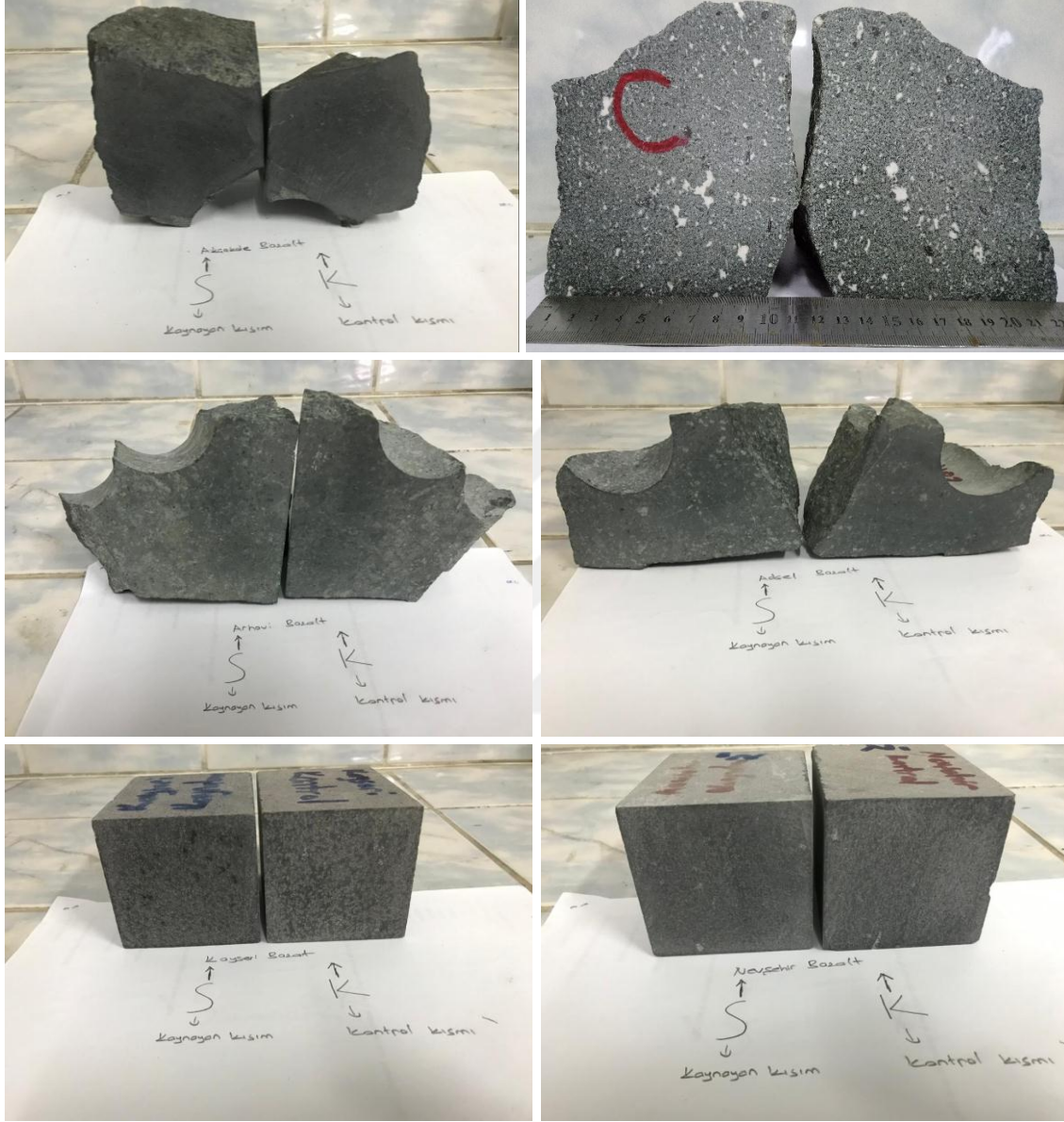
3.3. Kayaçların Kaynatma Testleri Sonrasında Gözlemsel Olarak İncelenmesi

Sonnenbrand kaynatma testlerine tabi tutulan bazalt numunelerinin fiziksel görünüşleri Şekil 3.6’da verilmiştir. Kaynatma testleri sırasında kayaç numunelerinin hiç birinde kopma, parçalanma vb. bir durum gözlenmemiştir. Bununla birlikte atmosfer ortamında kurutulduklarında numunelerin tamamının renklerinin biraz açıldığı görülmüştür. Tayebi (2015), renk değişiminin yapının zayıflamasının bir göstergesi olabileceğini belirtmiştir.

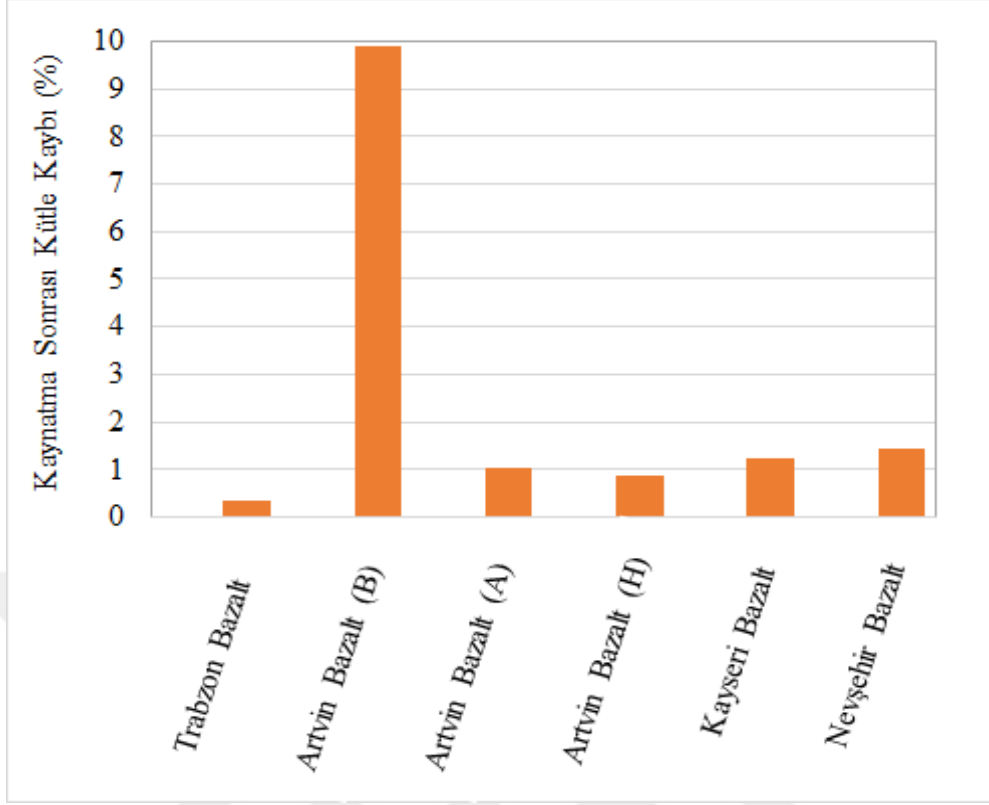
3.4. Bazalt Numunelerinde Ağırlıkça Kütle Kaybının Değerlendirilmesi

+10-14 mm boyutunda TS EN 1367-3 standardına uygun olarak kaynatılan bazalt numunelerinde kıymıklanma ve kütle kaybı Şekil 3.7’de verilmiştir. En fazla kütle kaybın Artvin (B) bazalt numunesinde görülürken Artvin (A), Kayseri ve Nevşehir bazalt numunelerinin TS EN 1367-3 standardının eşleniği olan DIN EN 1367-3’te belirtilen ağırlıkça % ≤ 1.0 olması gereken değer üzerinde çıkmıştır. Özellikle Artvin (B) numunesindeki kütle kaybı, kayacın yüksek porozite ve su emme değerlerine bağlanabilir (Novakova vd., (2017)). Burada, kayacın yüksek porozitesinin hidrolik iletkenliği

(permeabilite) yükselttiği, yüksek su emme oranının ise içsel su basıncı ve strese yol açarak mikro çatlaklara neden olmasıyla kütle kaybını artırdığı öngörülmektedir.



Şekil 3.6. Kaynatma testleri sonrasında parça bazalt numunelerinin fiziksel görünüşü



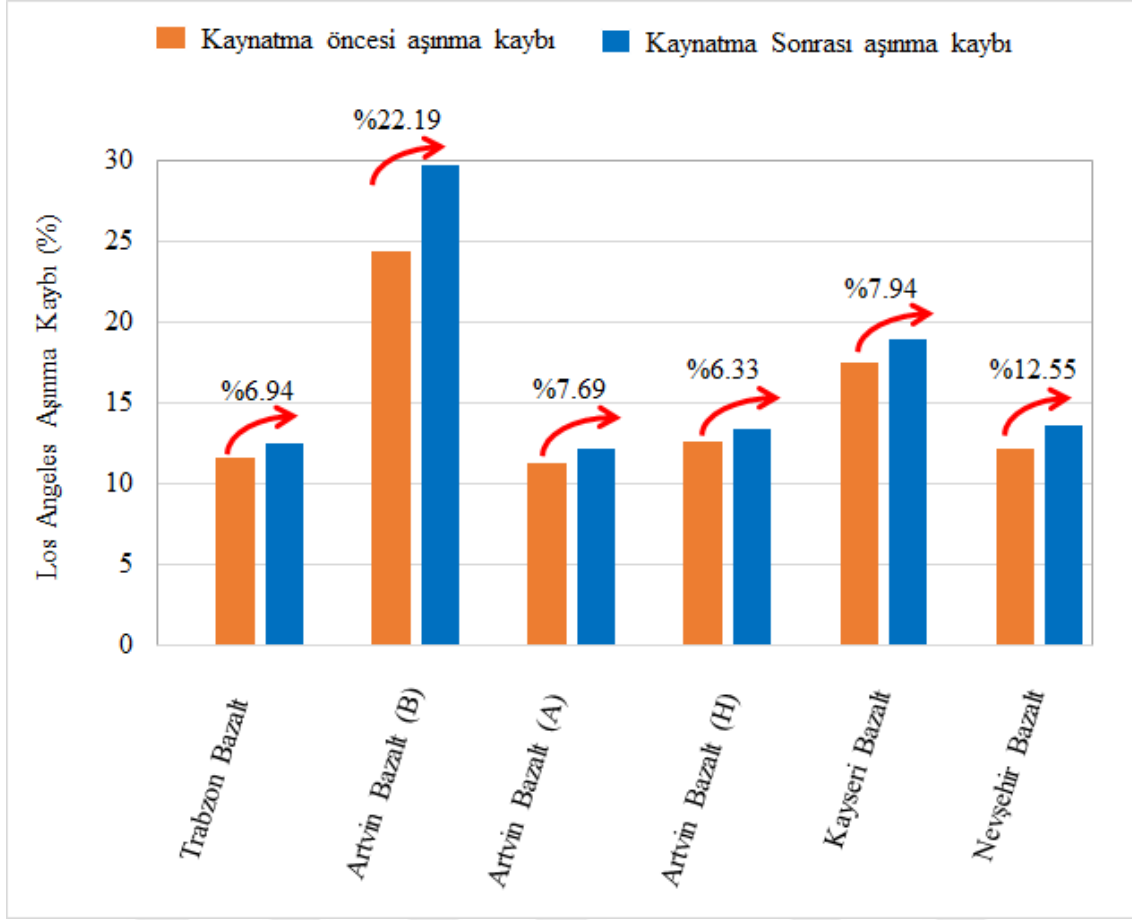
Şekil 3.7. Agrega numunelerinde kaynatma sonrası kıymıklanma ile kütle kaybı

3.5. Sonnenbrand Testine Tabii Tutulan Agregalarda Los Angeles Aşınma Kaybı

Şekil 3.8’de Sonnenbrand kaynatma testine tabii tutulan ve tutulmayan +10-14 mm boyutundaki agregalara TS EN 1097-2 standardına uygun olarak yapılan Los Angeles aşınma dayanımları ve aşınma kayıpları verilmiştir.

Ciria/Cur C683 (2007) bazalt kalite ve duraylılık değerleri bakımından EN 1097-2 (1998) esas alındığında Artvin (B) ve Kayseri bazalt numuneleri “iyi” sınıfta yer alırken diğer bazalt numuneleri “mükemmel” sınıfında yer almıştır.

Ancak Sonnenbrand testlerine tabii tutulduklarında DIN EN 1097-2’ye göre Artvin (B) ve Nevşehir bazalt numuneleri müsaade edilen %8 değerinden yüksek çıkmıştır. Artvin (B) numunesinin yüksek aşınma kaybının yüksek porozite ve yapısında görülen yoğun kimyasal ayrışmadan kaynaklandığı öngörülmektedir.



Şekil 3.8. Sonnenbrand kaynatma testine tabi tutulan ve agregaların Los Angeles aşınma dayanımları ve aşınma kayıp oranları

Kayaçların sonnenbrand kaynatma deneyleri sonucunda agregalar alındıktan sonra geriye kalan suların kimyasal analizleri Ankara’da Argetest Cevher Zenginleştirme Ar-Ge ve Analiz Hizmetleri laboratuvarlarında yaptırılmıştır (Tablo 3.1). Tablo 3.1’e bakıldığında kayaçların bünyesinden özellikle Ca, K, Na ve S iyonlarının suya geçtiği görülmüştür. Dolayısıyla bu kayaçların bünyesinde ilgili iyonlarca zengin minerallerin yapılarında iyon salınımından dolayı zayıflama meydana geldiği öngörülmektedir.

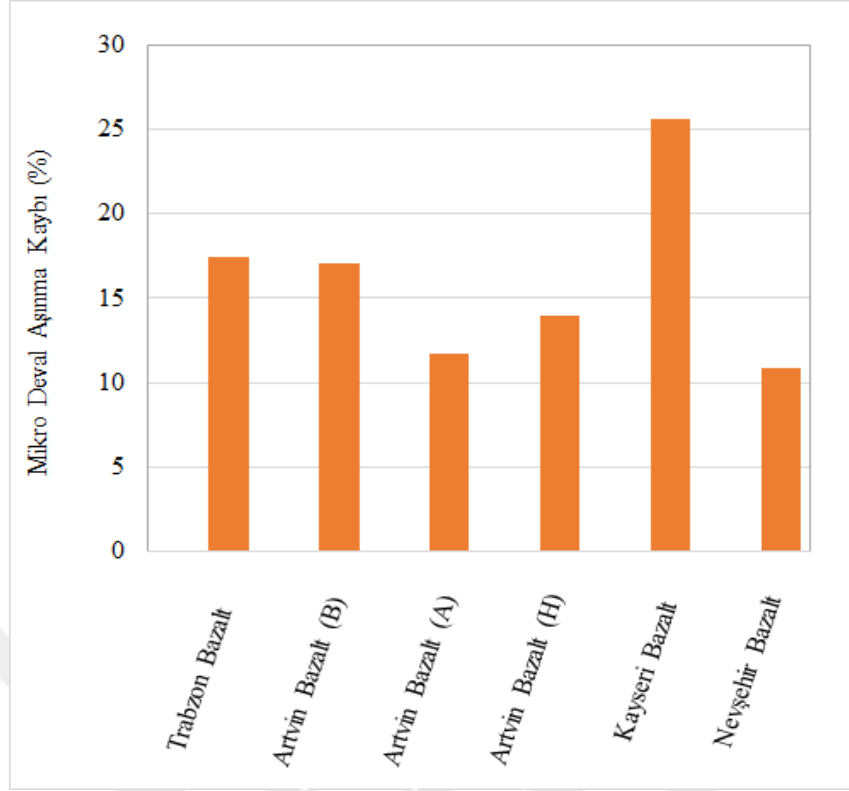
Tablo 3.1. Kayaçlara ait agregaların Sonnenbrand deneyi sonrasında sularının kimyasal analizleri

	Trabzon Bazalt	Artvin Bazalt (B)	Artvin Bazalt (A)	Artvin Bazalt (H)	Kayseri Bazalt	Nevşehir Bazalt
Al	3.092	1.023	2.764	2.458	1.573	1.174
Ca	8.524	33.090	20.020	16.550	29.320	29.550
Fe	3.677	<0.001	1.160	0.610	1.186	<0.001
K	8.672	1.856	2.106	1.575	2.471	8.265
Mg	6.243	0.344	0.996	0.612	1.292	0.326
Mn	0.112	0.008	0.038	0.018	0.044	0.009
Na	34.510	15.140	16.440	18.400	15.550	17.690
P	0.492	0.222	0.215	0.145	0.240	0.113
S	15.350	18.770	7.741	9.271	12.080	11.520
Ti	0.009	0.007	0.023	0.025	0.008	0.004

3.6. Kayaçların Mikro Deval Aşınma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kayaçlara ait Mikro Deval aşınma deney sonuçları Şekil 3.9’da verilmiştir. Çalışmada kullanılan bazaltlara yönelik Ciria/Cur C683 (2007) kalite ve duraylılık değerleri bakımından EN 1097-1 (1996) esas alındığında Kayseri bazalt “düşük” sınıfta yer alırken diğer bütün bazalt numuneleri “iyi” sınıfta yer almışlardır.

Los Angeles ve Mikro Deval testleri, dönen bir tambur içinde çelik bilyalı aşınma ortamlarına sahiptir. Los Angeles deney tamburunda test kuru ortamda yapılıp tambur içinde raf bulunmaktadır. Bu testte belli bir yükseklikten tambur dönüşü esnasında çelik bilyalar hem düşerek darbe etkisiyle hem de dönüş esnasında aşındırma etkisiyle agregaları aşındırmaktadır. Mikro-Deval (M_{DE}) deneyinde ise aşındırıcı ortamda su da bulunmaktadır. Mikro-Deval testi esnasında agregaların yapısındaki muhtemel zayıf minerallerin (kil vb.) suyun da etkisi ile zayıflaması ve aynı zamanda mekanik olarak da aşınması söz konusudur (Brennan vd. 2003). Literatürde yapılan Micro Deval aşınma oranı ile Los Angeles aşınma oranı arasında doğru orantılı bir korelasyonun olmadığı görülmüştür (Cooley and James, 2003; Rangaraju ve Edlinski, 2008; Erichsen vd, 2011).

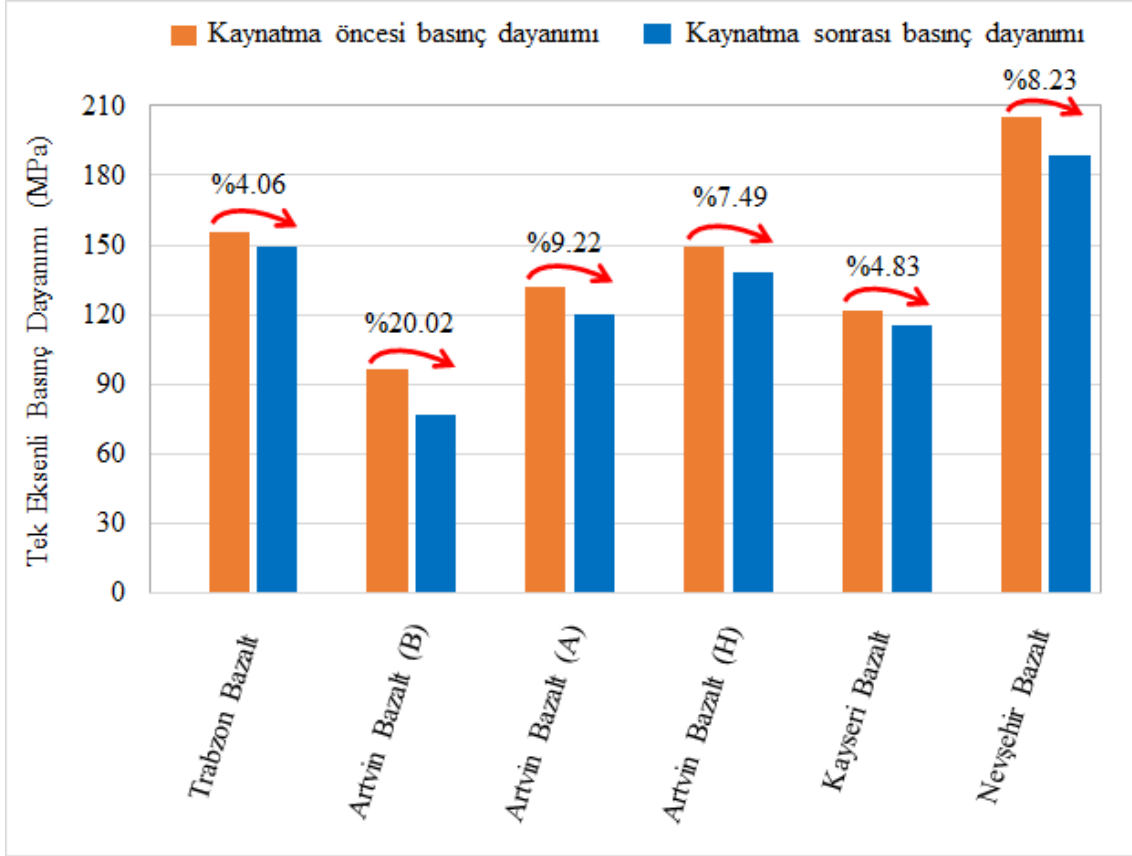


Şekil 3.9. Kayaçlara ait mikro deval aşınma deney sonuçları

3.7. Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

ISRM 2007’de önerilen metoda göre hazırlanarak sonnenbrand deneylerine tabii tutulan ve tutulmayan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanım testlerinin sonuçları Şekil 3.10’da verilmiştir.

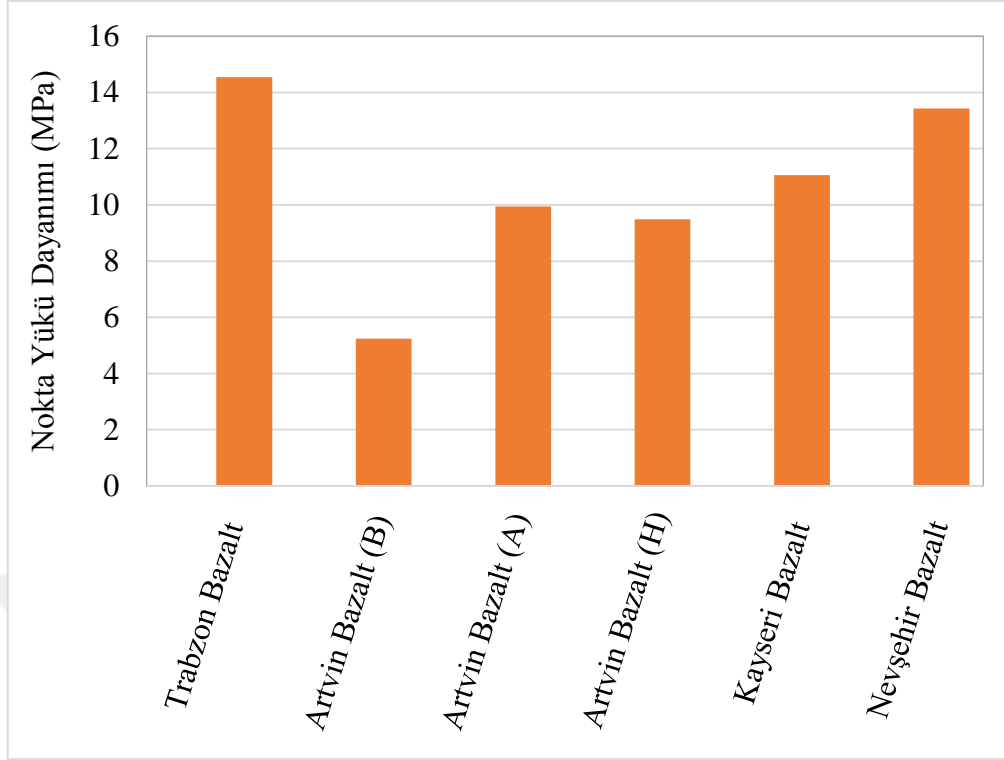
Ciria/Cur C683 (2007) kalite ve duraylılık değerleri bakımından EN 1926 (1999)’a göre Artvin (B) haricindeki diğer bazalt numunelerinin >120 MPa değerleri ile “mükemmel” sınıfta, Artvin (B) numunesinin ise “iyi” sınıfta olduğu görülmektedir. Sonnenbrand kaynatma testine tabii tutulan bütün kayaçlarda dayanım kaybı görülmüştür. En yüksek dayanım kaybı %20.02 ile Artvin (B) bazalt numunesine ait olup porozite ve su emme değerleri ile örtüşmektedir. Bununla birlikte Artvin (B) numunesindeki yüksek oranda dayanım kaybının, kayacın dokusundaki yoğun kimyasal ayrışmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.10. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve Sonnenbrand kaynatma işlemi sonucunda dayanım kayıp oranları

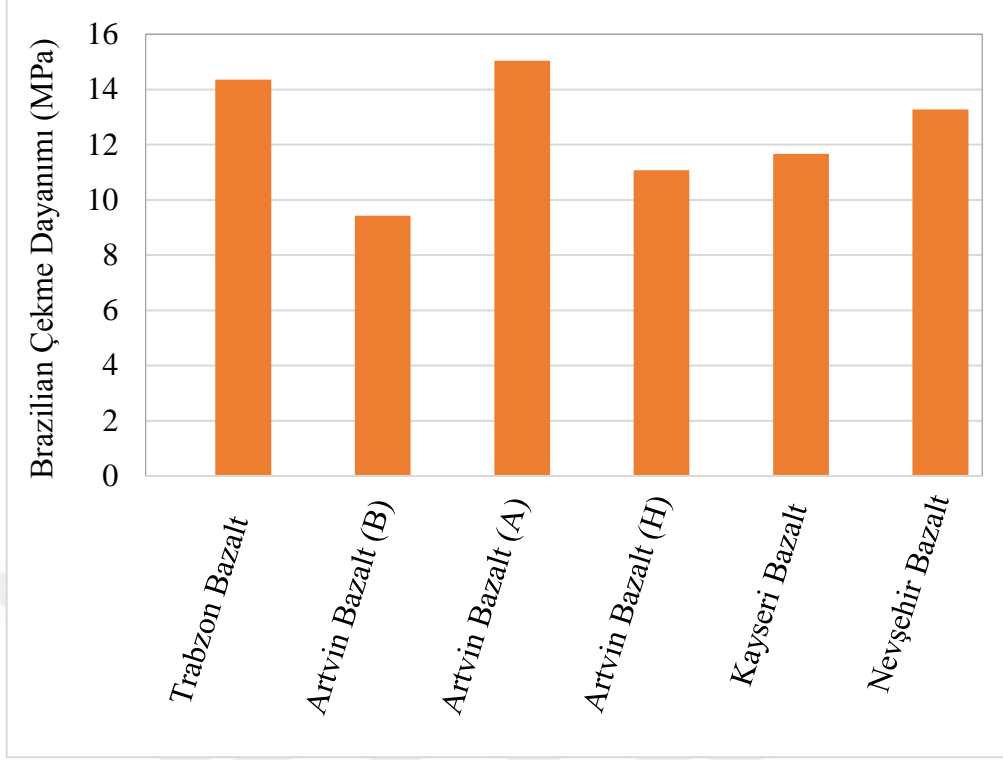
3.8. Kayaçların Nokta Yüğü Dayanımı ve Brazilian Çekme Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamındaki bazaltlar üzerinde ISRM 2007'de önerilen metoda göre hazırlanarak yapılan nokta yüğü indisi sonuçları Şekil 3.11'de verilmiştir. Bazalt numunelerinin nokta yüğü dayanımları Ciria/Cur C683 (2007) kalite ve duraylılık kriterlerine göre değerlendirildiğinde ISRM 1974-2006 için Artvin (B) iyi sınıfta yer alırken diğer bazaltlar mükemmel sınıfta yer almışlardır.



Şekil 3.11. Kayaçların nokta yükü dayanımları

Şekil 3.12’de tez kapsamında çalışılan bazaltların Brazilian dolaylı çekme dayanımları verilmiştir. Ciria/Cur C683 (2007) kalite ve duraylılık kriterleri esas alındığında bazalt numunelerinden Artvin (B) ASTM D3967-95a (2004) ve ISRM 1974-2006’ya göre iyi sınıfta yer alırken diğer bazaltlar mükemmel sınıfta yer almışlardır. Buradaki bulgular nokta yükü dayanım indisi ile paralel sonuçlar vermiştir.

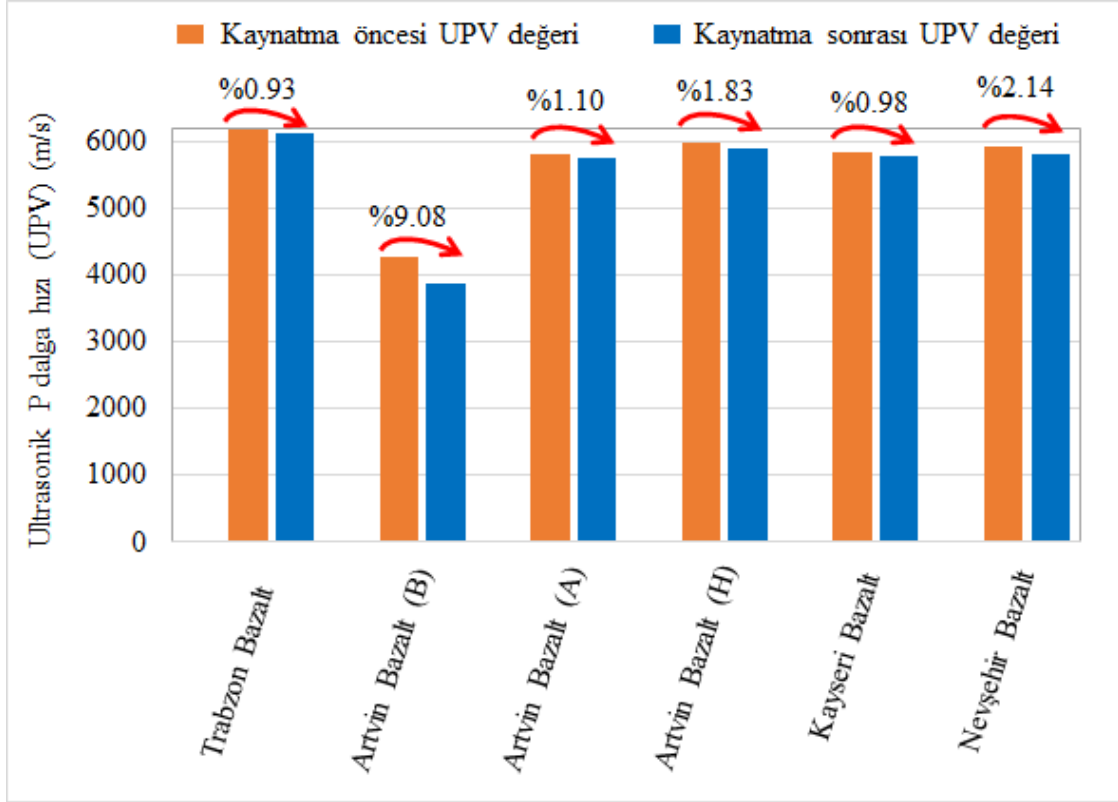


Şekil 3.12. Kayaçların Brazilian dolaylı çekme dayanımları

3.9. Bazaltların Ultrasonik P-Dalga Hızlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında çalışılan bazaltların ultrasonik P-dalga hızı değerleri ve Sonnenbranda kaynatma işlemi sonucunda dayanım kayıp oranları Şekil 3.13'te verilmiştir. Ciria/Cur C683 (2007) kalite ve duraylılık kriterleri esas alındığında bazalt numunelerinden EN 14579:2004'e göre Trabzon bazalt "mükemmel", Artvin (B) "düşük", diğerleri ise "iyi" kayaç sınıfında yer almıştır. En yüksek ultrasonik P-dalga hızı değeri kaybı Artvin (B) numunesinde görülmüştür.

En yüksek ultrasonik P-dalga hızı kaybı %9.08 ile Artvin (B) bazalt numunesine ait olup porozite ve su emme değerleri ile örtüşmektedir. Diğer numunelerde UPV kayıp oranı %0.93-2.14 arasında değişmektedir. Ayrıca, Artvin (B) numunesindeki yüksek oranda görülen UPV azalmasının, kayacın dokusundaki yoğun kimyasal ayrışmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

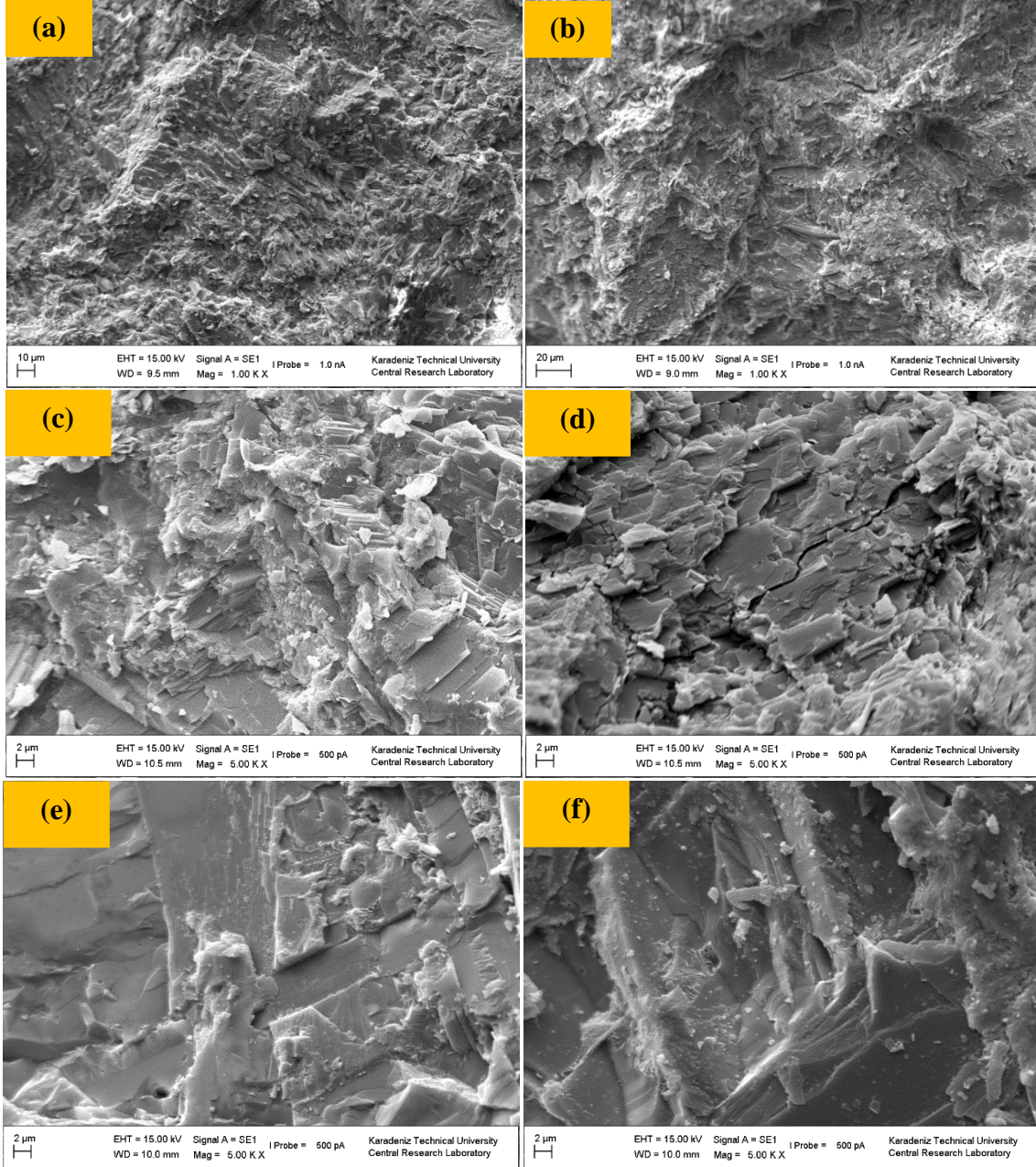


Şekil 3.13. Kayaçların ultrasonik P-dalga hızı değerleri ve Sonnenbranda kaynatma işlemi sonucunda dayanım kayıp oranları

3.10. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Deneyleri

Sonnenbrand kaynatma deneyine tabii tutulan bazalt numunelerinden (%) kütle- ve Los Angeles aşınma kaybı (%) dikkate alındığında en düşük değerleri Trabzon bazalt, en yüksek değerleri ise Artvin (B) bazalt vermiştir. Kütle ve aşınma kayıplarının kayaçların mikroyapıları ile ilgili olup olmadığına yönelik yapılan SEM analizleri/taramalarında kaynatma öncesi kontrol (Şekil 3.14a,c) ve sonrasında (Şekil 3.14b,d) Artvin (B) bazalt numunesinin yapısının kontrol numunesine kıyasla az da olsa zayıfladığı, kristal yapılı dokunun nispeten kadifemsi bir hale dönüştüğü (Şekil 3.14c) görülmüştür. Ayrıca, mikroyapıda farklı bir mineralde sonlanan kılcal çatlakların oluştuğu (Şekil 3.14d) gözlenmiştir. Dolayısıyla, aşınma ve kütle kayıplarının, kayaçların poroziteli yapılarının yanında sonnenbrand etkisi ile mikroyapılarındaki zayıflamadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Trabzon bazalt numunesinin kaynatma öncesindeki kristal yapılı dokusunun (Şekil 3.14e) kaynatma etkisi altında neredeyse değişmediği (Şekil 3.14f), kaynatmanın sadece hamur dokuda çok az da olsa lokal genişlemeye neden olduğu (Şekil 3.14f) gözlenmiştir.



Şekil 3.14. Sonnenbrand kaynatma işlemi öncesinde Artvin (B) (kontrol) (a,c) ile Trabzon bazalt (e) ve kaynatma işlemi sonrası Artvin (B) (b,d) ile Trabzon bazalt (f) numunelerinin mikroyapılarının görünümü

3.11. Trabzon (Akçakale) Bazalt İçin Sonnenbrand Bazalt Saha Gözlemlerinin DeneySEL alışmalarla Birlikte Değerlendirilmesi

Sonnenbrand bazaltlara yönelik saha gözlemleri, Trabzon İli Akçakale mevkiindeki bazalt kayacının alındığı Karadeniz sahili kenarındaki alanı tamamen kapsamayacak şekilde yapılmıştır (şekil 3.15).

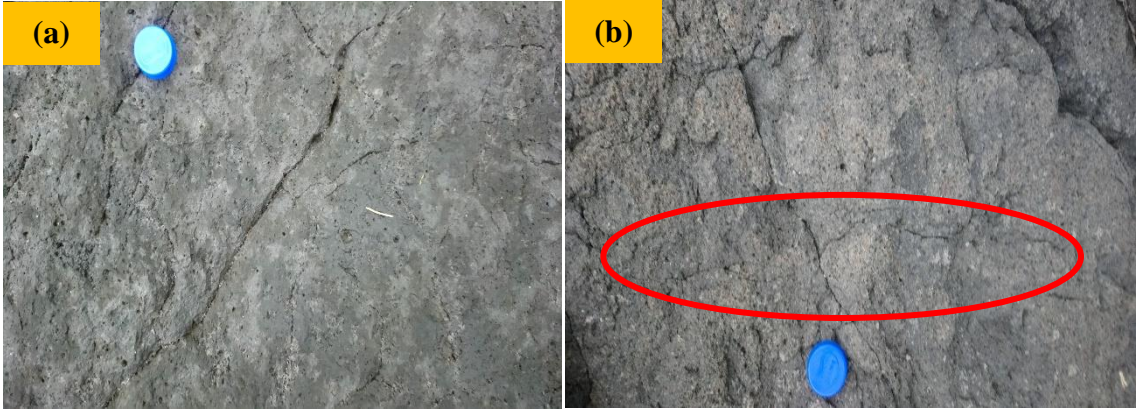


şekil 3.15. Trabzon bazalt için Sonnenbrand bazalt çalışma sahasından görünümler

Sahada yerinde yapılan inceleme ve gözlemsel çalışmalarda, alanda bulunan kayaçlarda makroskobik güneş yanığı şeklinde bir merkezden/bir nokta etrafından başlayıp uzayacak şekilde yıldız şeklinde herhangi bir çatlak gelişimine rastlanmamıştır. Kayaçların oluşumları esnasında oluştuğu düşünölen yaygın süreksizliklerin (Şekil 3.16a) yanında sadece bir noktada güneş yanığından meydana geldiğı düşünölen çatlak gözlenmiştir (Şekil 3.16b).

Bununla birlikte, alanda bulunan bazalt kayaçlarında kütlelel olarak da güneş yanığı kaynaklı parçalanma gözlenmemiştir. Deniz suyuna maruz kalan kayaçların dış yüzeylerindeki dokularının, uzun yıllar boyunca deniz suyuna maruziyetten dolayı kadifemsi bir hal aldığı gözlenmiştir. Ayrıca, kayaçların yüzeylerinde atmosfer ve su/nem etkenlerinden dolayı bazı organik yapıların geliştiğı görölmüştür.

Deneysel çalışmalr ile saha gözlemleri birlikte değeriendirildiğinde, Trabzon bazaltın gerek fiziko-mekanik ve SEM taramaları esnasında gözlemlenen mikroyapı özellikleri, gerekse mineralojik ve kimyasal yapısı gibi laboratuvar ölçekli sonuçları ile saha gözlemlerinin oldukça uyumlu olduğı görölmüştür.



Şekil 3.16. Trabzon bazalt için Sonnenbrand saha gözlemleri

4. SONUÇLAR

Mikroskobik ve petrografik analizlerde Artvin (B) bazaltta yoğun ve Artvin (A) ve Artvin (H) numunelerinde yoğun olmak üzere bütün kayaç numunelerinde alterasyon gözlenmiştir.

Sonnenbrand kaynatma testleri sırasında tez kapsamında üzerinde çalışılan kayaç numunelerinin hiç birinde kopma, parçalanma vb. bir durum gözlenmemiştir. Ancak, kaynatma testlerine maruz kalan kayaçların tamamının tam kurduklarında renklerinin bir ton açıldığı görülmüştür.

Sonnenbrand kaynatma testleri sonunda ağırlıkça en fazla kütle kaybın Artvin (B) bazalt numunesinde görülmüştür. Ağırlıkça kütle kaybı TS EN 1367-3 standardının eşleniği olan DIN EN 1367-3'te belirtilen $\% \leq 1.0$ 'in üzerinde çıkmıştır. Bunun nedeninin Artvin (B), kayacın yüksek porozite ve su emme değerlerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Artvin (B) ve Nevşehir bazalt numunelerinin Los Angeles aşınma kaybı (%), DIN EN 1097-2'de müsaade edilen $\% \leq 8$ değerinden yüksek çıkmıştır.

Sonnenbrand kaynatma testine tabii tutulan bütün kayaçlarda dayanım kaybı görülmüştür. En yüksek dayanım kaybı $\%20.02$ ile Artvin (B) bazalt numunesine ait olup porozite ve su emme değerleri ile örtüşmektedir. Diğer numunelerde dayanım kaybı oranı $\%10$ 'un altındadır.

Kaynatma testi sonucunda bütün bazalt numunelerinin ultrasonik P-dalga hızı değerlerinde azalma görülmüştür. En yüksek ultrasonik P-dalga hızı kaybı $\%9.08$ ile Artvin (B) bazalt numunesine ait olup porozite ve su emme değerleri ile örtüşmektedir. Diğer numunelerde UPV kayıp oranı $\%0.93-2.14$ arasında değişmektedir.

Kayaçların dayanım, aşınma ve UPV değerlerindeki azalmanın dokularındaki yoğun alterasyon ile yüksek porozite ve su emmeden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kütle ve aşınma kayıpları ile tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik P-dalga hızı değerlerindeki azalmanın kayaçların mikroyapıları ile ilgili olup olmadığına yönelik yapılan SEM analizleri ve taramalarında kaynatma testlerinin kayaçların dokularında zayıflamaya yol açtığı ve başka bir mineralde sonlanacak şekilde kılcal çatlakların oluşumuna neden olduğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Sonnenbrand kaynatma testlerinde beyaz-gri beneklenmelere rastlanmamıştır. Bunun, tez kapsamında çalışılan kayaların daha çok bazalt olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ancak, literatür kısmında da belirtildiği üzere bazanit, nefelinit gibi kayalar üzerinde kaynatma testleri ve paralel olarak mikroskop altında petrografi ve mikroyapı analizleri ile Sonnenbrand etkileri daha açık bir şekilde ortaya konulabilir.



6. KAYNAKLAR

- ASTM C295 / C295M – 19, (2019). Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- ASTM E494, 2010. Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken. PA. 14 p.
- Birkenmajer, K., Pecskay, Z., Grabowski, J., Lorenc, M. W. ve Zagożdżon, P. P., 2002. Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. II. K-Ar and palaeomagnetic data from Neogene basanites near Łądek Zdrój, Sudetes Mts. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 72, 119-129.
- Birkenmajer, K., Pecskay, Z..vd..2002.. Radiometric Dating Of The Tertiary Volcanics In Lower Silesia. Poland. II. K-Ar And Palaeomagnetic Data From Neogene Basanites Near Ladek Zdroj. Sudetes Mts.
- Brennan, M.J., Crawley, K., Sheahan, J.N. ve Jordan, J. 2003. Ranking the Performance of Aggregates using CEN Test Results, 4,4, 439-454.
- BS EN 13383-2, 2019. Armourstone, Part 2: Test methods
- Canik, B., 1997. Mühendislik Jeolojisi Ders Notları. A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları. Ankara. 119 s.
- Ceylanoğlu, A., 1996. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri. T.C. C.Ü. yayınları Ders Notları.
- Ciria/Cur C683, 2007. Cemef. The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering. 2nd Edition. (CIRIA, CUR, CETMEF), Ciria, London, pp.1304.
- Cooley, L.A.Jr. and James, R.S., 2003. Micro-Deval Testing of Aggregates in the Southeast, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 1837, 1, 73-79.
- Emir, E., 2014. Kaya Mekaniği Ders Notları. ESOGÜ Maden Mühendisliği Bölümü. Eskişehir. 194 s.
- EN 932-3, 1997. Tests for general properties of aggregates — Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.
- Ercan, T., 1991. Türkiye jeoloji kurultayı bülteni. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını No:6.
- Erguvanlı, K., 1994. Mühendislik Jeolojisi. İstanbul. Seç Yayın Dağıtım. 16-33.

- Erichsen, E., Ulvik, A. ve Sævik, K., 2011. Mechanical Degradation of Aggregate by the Los Angeles-, the Micro-Deval- and the Nordic Test Methods, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44, 333–337.
- Ernst, T., 1960. Probleme des "Sonnenbrandes" basaltischer Gesteine. *Z. Dtsch. Geol. Gesell.*, 112, 178-182.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization. Testing and Monitoring: ISRM suggested Methods*, E.T. Brown (ed.), Pergamon Press.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society of Rock Mechanics Turkish National Group* (In Ed: Reşat Ulusay and J A Hudson), Ankara, Turkey, 628 pp.
- Lafeber, D., 1956. Columnar jointing and intracolumnar differentiation in basaltic rocks. *In Gedenkboek H. A. Brouwer Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap* 16, 1-11.
- Latham, J. P. 1998. *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation*, Geological Society Engineering Geology Special Publication, 13, 201.
- Nováková, L., Schnabl, P. ve Buchner, J. 2018. The characterization of sunburn basalts and their magnetic and petrographic properties, *Journal of Geosciences*, 63, 333–344.
- Nováková, L., Schnabl, P., Navabpour, P., Skácelová, Z., Kdýr, Š. ve Nikolopoulos, G. 2017. Drawback of Sunburn Basalt – Case Study from the Borska Skalka, in: *Basalt 2017 Kadan* (in Magna, T. and Rapprich V. editions), Within-plate Alkaline and Carbonatite Magmatism, 18-22 September 2017, Kadaň / Czech Republic.
- Rangaraju, P.R.P.E. and Edlinski, J., 2008. Comparative Evaluation of Micro-Deval Abrasion Test with Other Toughness/Abrasion Resistance and Soundness Tests, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, 5, 343-351.
- Sharp, K. R., 1994. A core through the Monaro basalt: Bega (BMR) No.7. A reinterpretation and discussion.
- Smith, M. R., 1999. *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 16, pp. 478, (<https://doi.org/10.1144/GSL.ENG.1999.016.01.08>, ISBN 1-86239-029-0).
- Tayebi, A., 2015. Development of a new method for aggregate quality control in civil engineering applications.

Tietz, O., Gärtner A. ve Büchner, J. 2011b. The monogenetic Sonnenberg scoria cone – implications for volcanic development and landscape evolution in the Zittauer Gebirge Mountains since the Paleogene. *Z geol Wiss* 39, 31–334.

TL Gestein-StB 04. Technical Delivery Terms for aggregates in road construction, Road and Transportation Research Association, Working Group Aggregates, Unbound Pavements, Edition 2004/Version 2007 Translation 2012, (URL: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/613_E_PDF.v.pdf).

TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları.

TS EN 12407, 2013. Doğal Taşlar – Deney Yöntemleri – Petrografik İnceleme.

TS EN 1367-3, 2003-01. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler - Bölüm 3: "sonnenbrand bazalt" için kaynatma dene

Ünsal, N., 1993. İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji. Alp Yayınevi. s: 36. İstanbul.

Zagożdżon, P. P., 2003. Sunburn in the Tertiary Basalts of Silesia (SW Poland), *GeoLines* 15, 188-193.

Zagożdżon, P. P., 2001. "Sunburn" ("Sonnenbrand") in Tertiary basalts of Lower Silesia and possibilities of utilizing them (in Polish). Ph.D. Thesis.

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul, ortaokul ve liseyi Trabzon'da tamamladı. 2012 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında çift anadal programı kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. İyi derecede İngilizce konuşmaktadır.

