

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MİYOSEN VOLKANİTLERİNİN (TRABZON) YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ
ALTINDA FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS

SAMET YETİM

Mayıs 2026
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MİYOSEN VOLKANİTLERİNİN (TRABZON) YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ
ALTINDA FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE CHANGES IN THE PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF MIOCENE VOLCANICS (TRABZON)
UNDER THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE**

YÜKSEK LİSANS

SAMET YETİM

**Mayıs 2026
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE
ÜNİVERSİTESİ**

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MİYOSEN VOLKANİTLERİNİN (TRABZON) YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ
ALTINDA FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE CHANGES IN THE PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF MIOCENE VOLCANICS (TRABZON)
UNDER THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE**

YÜKSEK LİSANS

SAMET YETİM

DANIŞMAN: PROF. DR. SERHAT DAĞ

Mayıs 2026

GÜMÜŞHANE

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Serhat DAĞ danışmanlığında, **Samet YETİM** tarafından hazırlanan “**Miyosen Volkanitlerinin (Trabzon) Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi**” isimli bu çalışma, 07/05/2026 tarihinde yapılan lisansüstü tez savunma sınavı sonucunda **Oy Birliği** ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL (Başkan)

.....
Prof. Dr. Serhat DAĞ (Danışman)

.....
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Oğuz SÜNNETCİ (2. Danışman)

.....
Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ (Üye)

.....
Prof. Dr. Cem YÜCEL (Üye)

Lisansüstü tez savunma sınavında başarılı bulunarak kabul edilen bu tezin ciltlenmiş hali, /..... /..... tarihli ve / sayılı Enstitü Yönetim Kurulu toplantısında görüşülmüş ve tez yazım kılavuzuna uygun bulunarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Miyosen Volkanitlerinin (Trabzon) Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, danışmanımın sorumluluğunda hazırladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

07/05/2026

.....
Samet YETİM

TEŞEKKÜR

Bu tez, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, destek ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Serhat Dağ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Kayaçların petrografik incelemeleri sürecinde değerli katkı ve desteklerini esirgemeyen Hocam Sayın Prof. Dr. Cem Yücel'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve önerileriyle her zaman yanımda olan, laboratuvar ve tez sürecinde büyük destek sağlayan Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Oğuz Sünnetci'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte en büyük manevi destekçilerimden biri olan sevgili eşime ayrıca teşekkür etmek isterim. Göstermiş olduğu sabır, anlayış ile bu süreçte en büyük dayanak noktalarımın biri olmuştur.

Bana hayatım boyunca sevgileri ve destekleriyle yön veren aileme en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Özellikle, bana her zaman inanan ve hayallerimin peşinden gitmem için cesaretlendiren ailem, bu çalışmanın her aşamasında manevi destekleriyle yanımda olmuştur.

Samet YETİM
GÜMÜŞHANE – 2026

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Trabzon İli, Ortahisar İlçesinde yüzeyleyen volkanik kayaların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmada, Ortahisar İlçesi, Pelitli (P), Moloz (Pazarkapı) (M) ve Boztepe (B) mahallelerinden alınan örneklerden standartlarına uygun olarak hazırlanan toplam 234 adet karot numunesi kullanılmıştır. Öncelikle numunelerinin 25 °C sıcaklık koşullarındaki fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, daha sonra sırası ile 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklık kademelerinde ikişer saat bekletilen numunelerde deneyler tekrarlanarak değişimler incelenmiştir. Isıl işlem sonrasında numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımları P grubunda %84,4, B grubunda %70,3, M grubunda %71,3, çekme dayanımları P grubunda %86,8, B grubunda %56,4, M grubunda %66,7 azaldığı görülmüştür. Fiziksel özelliklerde de tüm örneklerde kuru birim hacim ağırlık değerlerinin artan sıcaklıklarla birlikte azaldığı, özgül ağırlık ve gözeneklilik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bütün örneklerde boyuna dalga hızı değerleri 600 °C'ye kadar azalmış daha sonra hemen hemen sabit kalmıştır.

Örneklerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde artan sıcaklıkla birlikte öncelikle mikro-çatlak/kırıkların, daha sonra ise ikincil gözeneklerin oluşmaya başladığı görülmüştür. Sıcaklığın artması ile çatlak ve kırıkların uzunluğunda ve açıklıklarda artış, gözeneklerin boyutlarında da büyüme olduğu, 600 °C ve sonrasında ise bu değişimlerle birlikte tanelerin topaklanmaya başladığı ve 1000 °C'ye gelindiğinde ise orijinal kayaç dokusunun yok olmaya başladığı gözlemlenmiştir. Neticede sıcaklık koşullarındaki değişimlerin volkanik kayalarda dayanım kayıplarına ve birim ağırlıklarında azalmaya neden olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel özellik, Mekanik özellik, Trabzon, Volkanik kaya, Yüksek sıcaklık

ABSTRACT

In this study, changes in the physical and mechanical properties of volcanic rocks exposed to high temperatures in Ortahisar District, Trabzon Province, were investigated. In the study, a total of 234 core samples prepared in accordance with standards from samples taken from the neighborhoods of Ortahisar District, Pelitli (P), Moloz (Pazarkapı) (M), Boztepe (B) and were used. First, the physical and mechanical properties of the samples were determined at room temperature (25 °C). Subsequently, the specimens were subjected to heat treatment at 200, 400, 600, 800 and 1000 °C for two hours at each stage, and the tests were repeated to evaluate the changes. Following thermal treatment, the uniaxial compressive strength values were found to decrease by 84,4% in the P group, 70,3% in the B group, and 71,3% in the M group, while the tensile strength values decreased by 86,8%, 56,4%, and 66,7% in the respective groups. In terms of physical properties, it was observed that the dry unit weight values decreased with increasing temperature, whereas both the specific gravity and porosity values increased. In all samples, the longitudinal wave velocity values decreased up to 600 °C and then remained almost constant.

When the scanning electron microscope (SEM) images of the samples were examined, it was observed that micro-cracks/breaks began to form first, followed by secondary pores, as the temperature increased. With increasing temperature, an increase in the length and width of cracks and fractures, as well as an increase in the size of pores, was observed. At 600 °C and above, along with these changes, the grains began to agglomerate, and at 1000 °C, the original rock texture began to disappear. Overall, the findings indicate that elevated temperature conditions cause significant strength losses and reductions in unit weight in volcanic rocks.

Keywords: Physical properties, Mechanical properties, Trabzon, Volcanic rock, High temperatures

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	3
1.2.1. Çalışma Alanının Konumu.....	3
1.2.2. Jeomorfoloji	4
1.2.3 .İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.2.4. Ulaşım ve Lojistik.....	7
1.2.5. Akarsular	7
1.3. Önceki Çalışmalar	8
1.3.1. Jeolojik Çalışmalar.....	8
1.3.2. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	11
2. MATERYAL VE METOT	16
2.1. Arazi Çalışmaları	16
2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	16
2.2.1. Örneklerin Hazırlanması	16
2.2.2. Fiziksel Özellikler	18
2.2.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	19
2.2.2.2. Özgül Ağırlık	19
2.2.2.3. Gözeneklilik	21
2.2.2.4. Ultrasonik Hız Ölçümleri (Boyuna Dalga Hızı)	21
2.2.3. Mekanik Özellikler.....	22
2.2.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi	22
2.2.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi.....	23

2.2.4. Isıl İşlem Süreci	24
2.2.5. Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler.....	25
2.2.5.1. Mineralojik Özellikler	25
2.2.5.2. SEM Analizi.....	25
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
3.1. Bölgesel Jeoloji	26
3.2. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Genel Jeolojisi	29
3.2.1. Kabaköy Formasyonu (Ev)	29
3.2.2. Kaymaklı Formasyonu (My).....	30
3.2.3. Beşirli Formasyonu (PI).....	30
3.2.4. Kırmızı Killer (Kk)	31
3.2.5. Alüvyonlar (Aly).....	31
3.3. İlksel Özellikler.....	31
3.3.1. İlksel Petrografik, Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler.....	31
3.3.1.1. İlksel Petrografik ve Mineralojik Özellikler	31
3.3.1.2. İlksel Mikroyapısal Özellikler	33
3.3.2. İlksel Fiziksel Özellikler	33
3.3.3. İlksel Mekanik Özellikler.....	34
3.4. Isıl İşlem Sonrası Özellikler.....	35
3.4.1. Isıl İşlem Sonrası Petrografik, Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler.....	35
3.4.1.1. Isıl İşlem Sonrası Petrografik ve Mineralojik Özellikler	35
3.4.1.2. Isıl İşlem Sonrası Mikroyapısal Özellikler	36
3.4.2. Isıl İşlem Sonrası Fiziksel Özellikler	38
3.4.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	38
3.4.2.2. Özgül Ağırlık (Gs)	39
3.4.2.3. Gözeneklilik	40
3.4.2.4. P-Dalga Hızı.....	41
3.4.3. Isıl İşlem Sonrası Mekanik Özellikler.....	42
3.4.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı.....	42
3.4.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımı.....	43
3.5. Tartışma	45
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	47
KAYNAKÇA.....	50
ÖZGEÇMİŞ	58

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Örneklerin alındığı noktaların koordinat bilgileri.....	4
Tablo 2. Trabzon iline ait meteorolojik veriler	6
Tablo 3. P, M ve B grubu örneklerinin başlangıçtaki yoğunluk, kuru birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, gözeneklilik ve P-dalga hızı değerleri.....	34
Tablo 4. P, M ve B grubu numunelerin başlangıç koşulu mekanik özellikleri.....	35
Tablo 5. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait kuru birim hacim ağırlık değerleri.....	38
Tablo 6. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait özgül ağırlık değerleri	40
Tablo 7. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait gözeneklilik değerleri	41
Tablo 8. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait P-dalga hızı değerleri	42
Tablo 9. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri	43
Tablo 10. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait dolaylı çekme dayanımı değerleri	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örneklerin alındığı lokasyonları gösteren yer bulduru haritası	3
Şekil 2. Türkiye don indeksi ve don penetrasyon derinliği haritası.....	6
Şekil 3. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için örneklerin hazırlanması	17
Şekil 4. Dolaylı çekme dayanımı deneyi için örneklerin hazırlanması.....	18
Şekil 5. Kumpas ile boy/çap ölçümü	18
Şekil 6. Etüvde 24 saat boyunca 105 °C’de örneklerin ısıtılması ve kütle ölçümü	19
Şekil 7. Piknometre deneyi için örneklerin hazırlanması.....	20
Şekil 8. Piknometre deneyinin yapılışı	20
Şekil 9. Ultrasonik hız aleti ile P-dalga hızı ölçülmesi	21
Şekil 10. Tek eksenli sıkışma dayanımı deney aleti	23
Şekil 11. Dolaylı çekme dayanımı deneyi.....	24
Şekil 12. Isıtma sürecinde kullanılan kül fırını	24
Şekil 13. SEM analizinde kullanılan deney ekipmanı	25
Şekil 14. İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgenin genel jeoloji haritası	28
Şekil 15. İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgenin stratigrafik sütun kesiti.....	29
Şekil 16. Miyosen yaşlı bazanit/tefrit örneklerinde gözlenen mikroskobik gözlemler: (a, b) kümülofirik doku gösteren klinopiroksenler (Örnek No: P, T.N., Ç.N.); (c, d) opaklaşmış hornblend ve yarı özşekilli klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: M, T.N., Ç.N.); (e, f) yarı özşekilli, dilinim ve alterasyon kırıkları mevcut iri klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: B, T.N., Ç.N.).....	32
Şekil 17. Çalışmada kullanılan kayaç örneklerine ait SEM görüntüleri	33
Şekil 18. Deneysel olarak 1000 °C ısıtılan Miyosen yaşlı bazanit örneklerinde gözlenen mikroskobik gözlemler: (a) kenarlarında elek doku gelişmiş klinopiroksen ve Fe-oksit boyamaları (Örnek No: P, T.N.); (b) zonlu doku gösteren özşekilli klinopiroksen fenokristali (Örnek No: P, Ç.N.); (c, d) özşekilli klinopiroksen fenokristali ve hamurda plajiyoklas mikrolit ve mikro kristalleri (Örnek No: M, T.N., Ç.N.); (e, f) özşekilli ve yarı özşekilli, iyi dilinim izleri gösteren iri klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: B, T.N., Ç.N.).....	35
Şekil 19. Örneklerin mikroyapısal özelliklerinin ısı işlemle değişimi	37
Şekil 20. Örneklerin kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi	39

Şekil 21. Örneklerin özgül ağırlık değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi	40
Şekil 22. Örneklerin gözeneklilik değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi	41
Şekil 23. Örneklerin P dalga hızı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi	42
Şekil 24. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi.....	43
Şekil 25. Örneklerin dolaylı çekme dayanımı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Aly	: Alüvyon
An	: Anortit
Ap	: Apatit
Ar	: Argon
ASTM	: American Society for Testing and Materials
B	: Boztepe
Bt	: Biyotit
BT	: Bazanit–Tefrit
BTB	: Bazalt, Trakibazalt, Bazaltik Trakiandezit
°C	: Santigrat derece
Ç.N.	: Çift Nikol
D	: Çap
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
Ev	: Kabaköy Formasyonu
F	: Yenilme yükü
Fe	: Demir
Fe–Ti oksit	: Demir–Titanyum oksitleri
Foid	: Foid mineralleri (feldspatoid grubu)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
Gs	: Özgül ağırlık
H	: Holosen
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KBHA	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
K-Feld	: Potasyum feldispat
Kk	: Kırmızı Kil
Kpir	: Klinopiroksen
kHz	: kilohertz
L	: Örneğin boyu (cm, mm)
LILE	: Large Ion Lithophile Elements
LN ₂	: Sıvı azot

LREE	: Light Rare Earth Elements
m	: Metre
Mn	: Manganez
MPa	: Megapascal
My	: Milyon yıl
Nd	: Neodimyum
n	: Porozite (gözeneklilik oranı)
op	: Opak mineraller
ör.	: Örnek
P	: Pelitli
Pb	: Kurşun
PI	: Beşirli Formasyonu
Pl	: Plajiyoklas
ρ	: Yoğunluk
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Sr	: Stronsiyum
Sr–Nd–Pb	: Stronsiyum–Neodimyum–Kurşun izotopları
σ_c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
σ_t	: Dolaylı çekme dayanımı
Ti	: Titanyum
T.N.	: Tek Nikol
TT	: Trakit–Trakiandezit
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
V	: Hacim (cm ³)
V _p	: Boyuna dalga hızı (m/sn)
W	: Ağırlık (kN)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)
μm	: Mikrometre
μs	: Mikrosaniye

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kayaçlar, mühendislik ve günlük yaşamın birçok alanında kullanılan temel malzemeler arasında yer almaktadır. İnşaat sektöründe yapı taşı ve agrega olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, enerji üretimi, yol yapımı, takı ve süs eşyası imalatı gibi çok çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. Kayaçlar oluşumlarından itibaren erozyon, donma-çözülme gibi fiziksel süreçler ile oksidasyon ve hidroliz gibi kimyasal olaylara maruz kalmakta, bu etkiler sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişim süreçleri statik ve dinamik yükler ile yüksek sıcaklık gibi çevresel etkilerin varlığında hız kazanarak kayaçların mühendislik davranışını belirgin şekilde etkilemektedir.

Yüksek sıcaklıkların kayaçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerindeki rolü, günümüz malzeme bilimi ve yapı mühendisliği disiplinlerinde dikkat çeken bir araştırma konusudur. Literatürde farklı kayaç türlerinin sıcaklık artışı altında gösterdikleri tepkiyi inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu araştırmalar, sıcaklık artışı ile kayaçların mikroyapısında meydana gelen çatlak oluşumu, gözeneklilik artışı, dayanım ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerdeki değişimlerin yanı sıra renk, parlaklık ve kimyasal yapıdaki farklılıkları kapsamaktadır. Yangın veya yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan kayaçların yapısal performansını anlamak ve bu etkiler doğrultusunda malzeme kullanımına ilişkin uygun stratejiler geliştirmek, bu alandaki çalışmaların temel hedeflerinden biridir.

Yapılan araştırmalar, kayaç türüne, tane boyutuna, gözeneklilik oranına ve dokusal özelliklerine bağlı olarak yüksek sıcaklığın etkilerinin farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı soğuma koşullarının (hava, su veya sıvı azot gibi) kayaçların dayanım özellikleri üzerindeki etkileri de sıkça araştırılmış ve bu faktörlerin kayaçların termal hasar derecesini önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilmiştir (Ersoy vd., 2019; Li vd., 2019).

Yeraltı madenlerinde meydana gelen grizu patlamaları, taş binalardaki yangınlar ve jeotermal alanlar gibi yüksek ısıya maruz kalınan ortamlarda kayaçların termal davranışı mühendislik açısından ciddi önem arz etmektedir. Yangın kaynaklı sıcaklıkların kapalı alanlarda 1000 °C'nin üzerine çıkabildiği, açık alanlarda ise 680 °C seviyelerine kadar ulaşabildiği bilinmektedir. Bu tür sıcaklıklar, yapı ve altyapı

unsurlarının bütünlüğünü zedeleyebilmekte, hatta kullanım dışı kalmasına neden olabilmektedir. Son yıllarda literatürde kayaçların yüksek sıcaklık sonrası fiziksel, mekanik ve mineralojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri ele alan kapsamlı çalışmaların yapılmış olması (Brotons vd., 2013; Özgüven ve Özçelik, 2013; Zhang vd., 2015; Crosby vd., 2018; Yang vd., 2019; Meng vd., 2020), konunun önemini açıkça ortaya koymaktadır. Buna ek olarak termal iletkenliğin belirlenmesi üzerine yapılan araştırmalar (Nasseri vd., 2013; Pei vd., 2018; Villagraga vd., 2018; Abdulagatova vd., 2020; Emirov vd., 2021), kayaçların yüksek sıcaklık koşullarına karşı performansını değerlendirmede önemli veri sağlamaktadır. Termal etki sonrası soğuma sürecinin de kayaç dayanımı üzerinde belirleyici bir unsur olduğunun gösterilmesi (Sha vd., 2019; Han vd., 2019; Wang vd., 2020), bu alandaki mevcut araştırma eğilimlerinin genişliğini desteklemektedir.

Bu çalışmanın amacı, Trabzon ili Ortahisar İlçesinde yüzeyleyen volkanik kayaçların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmaktır. Bu doğrultuda çalışma alanı Ortahisar ilçesinin Pelitli, Pazarkapı ve Boztepe mahalleleri olarak seçilmiş ve bu sahalardan sondaj karotu ve/veya blok örnekler temin edilmiştir. Elde edilen örnekler Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında kesilerek her bir lokasyon için otuz adet olmak üzere toplamda 90 adet karot örneği hazırlanmıştır. Bununla birlikte dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyleri için de 144 adet disk şekilli örnek hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında örneklerin ilksel fiziksel ve dayanım özellikleri uluslararası standartlara uygun olarak belirlenmiş, ince kesit ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleriyle örneklerin ısıtılma öncesi mineralojik ve mikro yapısal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra kayaç örnekleri örnekleri 200 °C'den 800 °C'ye kadar 200 °C'lik artışlarla 2 saat süre ile ısıtılmıştır. Isıl işlem sırasında örneklerin termal şoka maruz kalmaması için ısıtma hızı 10 °C/dk olarak uygulanmıştır. Isıl işlemin ardından örnekler termal çatlakların oluşmasını önlemek amacıyla yavaş bir soğuma süreciyle fırın içinde kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Her bir ısıtım kademesi sonrasında örnekler üzerinde fiziksel, mekanik ve mikro yapısal özellikleri yeniden değerlendirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise örneklerin ısıtım öncesi ve sonrası özellikleri kıyaslanmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

1.2.1. Çalışma Alanının Konumu

Bu çalışmada incelenen volkanik kayaç örnekleri, Trabzon ili Ortahisar ilçesi sınırları içerisindeki Pelitli Mahallesi, Pazarkapı Mahallesi ve Boztepe Mahallesinden temin edilmiştir. Örnekleme noktaları, 1/25.000 ölçekli G43-b1, F43-d3 ve G43-a2 paftalarında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Örneklerin alındığı lokasyonları gösteren yer bulduru haritası

Çalışma kapsamında belirlenen numune alım noktalarına ait koordinat bilgileri, aşağıda sunulan tabloda ayrıntılı olarak verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Örneklerin alındığı noktaların koordinat bilgileri

Yer	Koordinat (DMS)	
Pelitli (P)	40°59'16.65''K	39°48'7.20''D
Pazarkapı (M)	41° 0'23.97''K	39°43'12.46''D
Boztepe (B)	40°59'36.77''K	39°43'35.32''D

1.2.2. Jeomorfoloji

Çalışma alanı Trabzon ili sınırları içerisinde, Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey yamaçlarında yer almaktadır. Çalışma alanındaki başlıca morfolojik birimler; dağlık alanlar, vadiler, kıyı düzlükleri, taraçalar ve tepelik alanlardır.

Doğu Karadeniz Dağları, çalışma alanının güney kesiminde geniş yer kaplayan başlıca morfolojik unsurlardır. Bölge çevresindeki önemli yükseltiler arasında Kaçkar Dağları (3937 m), Zigana Dağları (≈ 2500 m) ve Soğanlı Dağları (≈ 3000 m) yer almaktadır. Bu dağlık alanlar Alp orojenezi etkisiyle yükselmiş olup, neotektonik hareketlerle güncel morfolojilerini kazanmışlardır. Dağlık alanlar genel olarak kuzeydoğu–güneybatı doğrultusunda uzanmakta ve oldukça kırıklı, parçalı bir yapı sunmaktadır (Ketin, 1966).

Kaçkar Dağları, Doğu Karadeniz Dağları sisteminin en yüksek kesimini oluşturmakta olup çalışma alanının doğu-güneydoğu kesiminde etkili olmaktadır. En yüksek noktası Kaçkar Tepesi (3937 m) olan bu kütle, yüksek rölyefli ve dik yamaçlı topoğrafyası ile karakterizedir (Güven 1998).

Zigana Dağları, Trabzon'un güneyinde yer almakta olup Harşit Vadisi ile Değirmendere Havzası arasında su bölümü çizgisini oluşturmaktadır. Bu kütle batıdan doğuya doğru uzanmakta ve yer yer 2000–2500 metre yükseltilere ulaşmaktadır (Güven 1998).

Soğanlı Dağları, Trabzon'un güney kesiminde yer alan diğer önemli dağlık alanlardan biri olup, Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi arasında doğal sınır oluşturan yükseltiler arasında bulunmaktadır.

En önemli akarsu vadileri; Değirmendere Vadisi, Karadere Vadisi ve Solaklı Vadisi'dir. Bu vadiler genellikle kısa boylu, yüksek eğimli ve derin aşınım karakteri gösteren V-şekilli vadilerdir. Akarsular genel olarak güneyden kuzeye doğru akarak Karadeniz'e ulaşmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan Değirmendere Vadisi, Trabzon kent merkezinden geçerek Karadeniz'e ulaşan en önemli akarsu sistemlerinden biridir. Vadi boyunca eğim yüksek olup, akarsu yatağı yer yer dar ve derindir. Vadinin güney

kesimlerinde aşındırma etkisi daha belirgin olup, kuzey kesimlerde alüvyal birikimler gözlenmektedir.

Karadere Vadisi, ilin doğu kesiminde yer almakta olup, geniş bir drenaj alanına sahiptir. Vadi boyunca eğim oldukça yüksek olup, akarsu yer yer dar boğazlar içerisinde akmaktadır.

Solaklı Vadisi, Trabzon'un doğusunda Of ve Çaykara ilçeleri sınırları içerisinde yer almakta olup, bölgenin önemli hidrolojik sistemlerinden biridir. Vadinin yukarı kesimlerinde buzul kökenli şekillerin izlerine rastlanabilmektedir.

Kıyı kuşağı boyunca dar bir kıyı ovası gelişmiş olup, bu alan yer yer falezlerle kesintiye uğramaktadır. Kıyı şeridi genel olarak dar olup, akarsu ağızlarında küçük alüvyal düzlükler gelişmiştir. Bu düzlükler yerleşim ve tarım açısından sınırlı alanlar oluşturmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan önemli yerel yükseltilerden biri Boztepe Tepesi (255 m)'dir. Boztepe, kıyıya yakın konumda yer almakta olup Trabzon şehir merkezinin güneyinde yükselen tepelik alanlardan biridir.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Doğu Karadeniz Bölümü'nün dağlık yapısı içinde yer alan Trabzon ili, kışların ılık geçtiği, yazların ise nispeten sıcak yaşandığı, yılın tüm mevsimlerinde yağışın etkili olduğu bir iklim özelliği göstermektedir. Bu yoğun yağışlı karakterin temel nedeni, dağ sıralarının kıyıya paralel uzanmasıdır. Deniz üzerinden taşınan nemli havanın bu dağlık kütlelere doğru yükselmesi sonucunda, topoğrafyanın etkisiyle yağış oluşmakta ve bölge boyunca yıl boyu nemli bir atmosfere neden olmaktadır.

Bölgede gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklarının düşük olduğu görülmektedir. Tipik Karadeniz ikliminin etkisi altında bulunan Trabzon'da yıllık ortalama sıcaklık 14,8 °C'dir. Sıcaklık değerlerinin en yüksek seviyeye ulaştığı ay 38,2 °C ile Ağustos, en düşük seviyeye gerilediği ay ise -7,4 °C ile Şubat olarak kaydedilmiştir (Tablo 2). İlin yıllık ortalama yağış miktarı 829,1 mm'dir (Tablo 2). Yağışlar yıl boyunca çoğunlukla yağmur şeklinde gerçekleşmekle birlikte, Ocak ve Şubat aylarında kar yağışı da meydana gelebilmektedir. Gece-gündüz sıcaklık farkının düşük olması nedeniyle don olayları ise bölge genelinde oldukça sınırlı düzeydedir (Şekil 2). Yörede hâkim rüzgâr yönü karayel olup yıl boyunca bölgesel hava hareketleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

yapraklı türlerin seyrekleşmesiyle birlikte ladin ve göknar gibi iğne yapraklı ormanlar baskın hâle gelir. Bölgenin daha yüksek dağlık kesimlerinde ise orman sınırının üzerinde çayır ve mera alanları, alpin otsu bitkiler ve mevsimsel olarak gelişen zengin endemik türler görülmektedir. Trabzon'un topoğrafik çeşitliliği, iklimsel özellikleri ve deniz etkisiyle şekillenen bu doğal yapı, ilin biyolojik çeşitliliğinin yüksek olmasını sağlamış ve bölgeyi Türkiye'nin önemli orman alanlarından biri hâline getirmiştir.

1.2.4. Ulaşım ve Lojistik

Trabzon il merkezinin idari sınırları içerisinde yer alan Ortahisar ilçesi, Doğu Karadeniz Bölümü'nün önemli kentsel yerleşim alanlarından biridir. Bu tez kapsamında belirlenen inceleme alanları da Ortahisar ilçe sınırları içerisinde yer almakta ve konumu itibarıyla bölgesel ulaşım ağının merkezinde bulunmaktadır. İlçe, doğu–batı yönünde uzanan Karadeniz Sahil Yolu üzerinde yer alması nedeniyle çevre illerle güçlü karayolu bağlantılarına sahiptir. Ortahisar ilçesi, Rize'ye yaklaşık 75 km, Giresun'a yaklaşık 130 km, Artvin'e ise 170 km mesafededir. Ayrıca Erzurum'a ulaşım Zigana Dağ Geçidi ve Kop Dağı güzergâhı üzerinden sağlanmakta olup kara yolu mesafesi yaklaşık 300 km'dir. İlçe içi ve bölgesel hareketliliği destekleyen havayolu ulaşımı, Ortahisar sınırlarına yaklaşık 6 km uzaklıktaki Trabzon Havalimanı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Karadeniz kıyısında yer alması nedeniyle Ortahisar, deniz taşımacılığı açısından da avantajlı bir konuma sahip olup Trabzon Limanı hem ticari faaliyetler hem de lojistik bağlantılar açısından bölgenin önemli liman tesislerinden biridir.

1.2.5. Akarsular

Ortahisar ilçesinin drenaj ağı, Doğu Karadeniz kıyı kuşağının topografik yapısına bağlı olarak kuzey yönüne, yani Karadeniz'e doğru gelişmiş kısa mesafeli akarsu sistemlerinden oluşmaktadır. İlçe sınırları içerisinde topografyanın güneyde hızla yükselmesi ve yoğun yağışlı iklim koşulları nedeniyle yüzeysel akış oldukça belirgindir. Akarsu ağının ana bileşenlerini Değirmendere, Tabakhane Deresi ve Zağnos Deresi oluşturmaktadır. Bunlardan Değirmendere, havza alanı en geniş olan akarsu olup güneydeki yüksek kesimlerden topladığı suyu dar ve derin vadiler boyunca taşıyıp kent içinden geçerek denize dökülmektedir. Zağnos ve Tabakhane dereleri ise daha küçük yan dereler tarafından beslenen kısa drenaj hatları olup çoğunlukla kentsel morfoloji içinde akışlarını sürdürmektedir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Literatür taraması sonucunda belirlenen önceki araştırmalar iki kategoriye ayrılmıştır. Bunlardan ilki inceleme alanı ve yakın çevresinde gerçekleştirilen genel jeolojiye yönelik çalışmalar olup bölgenin jeolojik özelliklerinin anlaşılmasına katkı sağlayan bulguları kapsamaktadır. İkincisi ise kaya mekaniği alanında yapılan çalışmalardan oluşmakta ve özellikle yüksek sıcaklığın kayaların fiziksel, mekanik ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri üzerine odaklanmaktadır.

1.3.1. Jeolojik Çalışmalar

Ketin (1966) tarafından gerçekleştirilen “*Anadolu'nun Tektonik Birlikleri*” başlıklı çalışmada, Pontid kuşağı litostratigrafik özellikler bakımından birbirinden ayrılan iki farklı zona bölünmüştür. Bu sınıflandırmaya göre, kuzey kesim yoğun magmatik faaliyetlerin etkisi altında kalan Kuzey Zon olarak tanımlanırken güney kesim ise magmatizmanın etki alanı dışında yer alan ve tortul havza çökellerinin yüzeylendiği bölüm olarak Güney Zon şeklinde adlandırılmıştır.

Korkmaz vd. (1995), “*Trabzon Kıyı Bölgesinin Stratigrafisi*” başlıklı yapmış oldukları çalışmalarda, Trabzon yöresinde Üst Kretase'den başlayıp Pliyo-Kuvaterner'e kadar uzanan farklı yaş ve özelliklerdeki jeolojik birimlerin varlığına dikkat çekmiştir. Araştırmada, bölgenin temelini Kampaniyen– Maastrichtiyen yaşlı, tortul ara katkılar içeren andezitik–bazaltik lavlar ile piroklastların oluşturduğu ve bu birimlerin geniş bir alanda yayılım gösteren volkano-tortul bir istif meydana getirdiği vurgulanmaktadır. Söz konusu istifin, yükselen seviyelerde Geç Kampaniyen–Maastrichtiyen yaşlı beyaz kireçtaşları ile marn ardalanmasına geçtiği belirtilmiştir. Bu birimlerin üzerine ise uyumsuz bir ilişkili olarak Eosen yaşlı andezitik–bazaltik lavlar ve piroklastların geldiği ifade edilmiştir.

Şen (2000), Doğu Pontidler'in kuzey kesiminde kıyı şeridi boyunca mostra veren tefrit, fonolitik tefrit, alkalin bazalt, aglomera, bazanit ve tüfler içerisinde, santimetre seviyelerinden desimetre seviyelerine kadar değişen büyüklüklerde koyu renkli ultramafik nodüllerin varlığını belirlemiştir. Bu nodüller, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri dikkate alınarak Grup I ve Grup II şeklinde iki ayrı kategoriye ayrılmıştır. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucunda, söz konusu nodüllerin manto kökenli ksenolitler olmadığı; bunun yerine magmanın farklı derinliklerde kristallenmesiyle oluşmuş mineral birlikteliklerini temsil ettiği ifade edilmiştir.

Yılmaz vd. (2001), Doğu Pontidler'in kuzey kesiminde Kretase döneminde gelişen en erken volkanizmanın, paleontolojik bulgulara göre Geç Koniasiyen–

Santoniyen aralığında başladığını ve bu etkinliğin Tersiyer'in sonuna kadar sürdüğünü ortaya koymuşlardır.

Aydın (2004), Doğu Pontidler'in kuzeyinde bulunan Değirmendere Vadisi boyunca mostra veren volkanik kayaçların petrolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir ve bu veriler ışığında söz konusu kayaçların oluşumunda rol oynayan magmatik süreçleri ortaya koyarak kökenlerine ilişkin değerlendirmelerde bulunmuştur. Elde edilen kayaç kimyası ve mineral verileri, Geç Kretase yaşlı toleyitik-kalkalkali karakterli volkanitlerin ada yayı ortamına ait olup andezitik ve bazaltik bileşimlerden oluştuğunu göstermektedir. Buna karşılık, Neojen yaşlı alkali-şoşonitik özellikteki Trabzon volkanitlerinin ise çarpışma sonrası yay ortamını yansıttığı; bazanit, tefrit ve tefritik fonolitlerden oluşan I. grup ile trakibazalt, alkali bazalt, trakiandezit, riyolit ve trakit bileşimli II. grup olmak üzere iki farklı seri halinde geliştiği ifade edilmiştir.

Arslan vd. (2006), Doğu Pontidler'in kuzey kesiminde, Trabzon çevresinde yüzeylenen Neojen yaşlı alkalin volkanitlerde gerçekleşen kimyasal ayrışmanın, kırmızımsıtrak-kahverengi saprolit oluşumunu teşvik ettiğini ortaya koymuştur. Piroklastik kayaçların kırılma ve parçalanmasıyla birlikte, etkin akışkanların kayaç içerisine sızması sonucu klinopiroksenlerde kloritleşme, plajiyoklaslarda albitleşme ve Fe-Mn-Ti oksitlerinin çökmesi gibi alterasyon süreçlerinin geliştiği belirtilmiştir. Arazi gözlemleriyle desteklenen mineralojik ve jeokimyasal veriler, bu alterasyonun; meteorik suların ya da meteorik su ile deniz suyunun karışımından oluşan akışkanların dolaşımı sırasında meydana gelen kimyasal bozunma süreçleri tarafından denetlendiğini göstermektedir.

Arslan ve Aslan (2006), Doğu Pontidler'in kuzey ve güney kesimlerinde yer alan Eosen yaşlı granitik sokulumları petrokimyasal, petrografik ve mineralojik özellikleri açısından karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. Elde edilen veriler, kuzey kesimdeki sokulumların çarpışma sonrası süreçte gelişmiş, A-tipi ve alkalin monzonitik karakter gösteren bir birlikteliği temsil ettiğini, güney kesimdeki sokulumların ise yine çarpışma sonrası koşullarda oluşmuş, I-tipi granodiyoritik bileşimli ve kalkalkali ile alkali özellikler arasında geçiş sunan bir birliktelik niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, uyumsuz elementler ile nadir toprak elementlerinin dağılım özellikleri, her iki kesimdeki sokulumların da yitim süreçleriyle ilişkili akışkanlarca zenginleşmiş ortak bir magmatik kaynaktan türediğine işaret etmekte; ancak yükselme ve yerleşim evrelerinde farklılaşarak ayrı evrimsel süreçler geçirdiklerini ortaya koymaktadır.

Keskin (2007), Doğu Pontidler'in kuzeyinde, Trabzon kıyı kesiminde yer alan yedi farklı denizel taraçayı; arazi çalışmaları, fotojeolojik analizler ve jeokronolojik yaşlandırma yöntemleriyle incelemiştir. Çalışmada, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) için yıllık kayma hızının 16–25 mm, Doğu Anadolu Fayı (DAF) için ise yaklaşık 9 mm olduğu; buna karşılık Trabzon kıyı şeridindeki fay sistemini oluşturan yapıların hareket hızlarının 0,5–1,4 mm/yıl aralığında kaldığı belirtilmiştir. Bu yükselme oranları birlikte değerlendirildiğinde, yaklaşık $M=7$ büyüklüğündeki depremlerin tekrarlanma aralığının birkaç bin yıl mertebesinde olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Aydin vd. (2008a), Doğu Pontidler'de yayılım gösteren Neojen yaşlı alkalin volkanitlerin petrojenezi ile bölgenin çarpışma sonrası jeodinamik evrimini incelemiştir. Araştırmacılar, kayaçları feldspatsız, feldspatlı-feldspatoidli ve feldspatoidsiz olmak üzere üç ana gruba ayırmış; bu kayaçların geniş bir bileşim aralığında, silisçe doymun olmayan bazik türlerden silisçe aşırı doymun asidik türlere kadar değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Jeokimyasal ve Sr–Nd–Pb izotop verileri, söz konusu magmaların Geç Mesozoyik dalma-batma süreçleriyle metasomatizmaya uğramış, genç ve zenginleşmiş bir litosferik manto kaynağından türediğini göstermiştir. Ayrıca K–Ar yaşlandırmaları, alkalin volkanizmanın Miyosen sonu–Pliyosen döneminde etkin olduğunu ortaya koymuştur.

Yücel (2013), Trabzon ile Giresun arasındaki Tersiyer yaşlı volkanitlerin petrolojik özelliklerini; mineral kimyası, petrografi, ^{40}Ar – ^{39}Ar jeokronolojisi ile bütün kayaç ve Pb–Sr–Nd izotop jeokimyası verilerini birlikte değerlendirerek incelemiştir. Elde edilen bulgular, hafif alkali özellikli Eosen volkanitlerinin (42,4–44,7 My) bazaltik traki-andezit (BTB), bazalt ve traki-bazalt ile trakit ve traki-andezit (TT) gruplarından oluştuğunu göstermektedir. Buna karşılık, orta derecede alkali özellik sergileyen Miyosen volkanitlerinin (5,8–6,0 My) ise bazanit–tefrit (BT) bileşimli bir birliktelik sunduğu ortaya konmuştur.

Yücel vd. (2014), Doğu Pontidler'deki Tersiyer yaşlı alkalin volkanik kayaçlarda bulunan analsim minerallerinin kökenini petrografik, mineralojik ve jeokimyasal yöntemlerle incelemiştir. Çalışmada, tefritik bileşimli kayaçların LILE ve LREE bakımından zenginleşmiş, Nb, Ta ve Ti bakımından ise fakirleşmiş özellikler gösterdiği ve bu durumun metasomatizmaya uğramış litosferik manto kaynağına işaret ettiği belirtilmiştir. Analsim minerallerinin çoğunlukla lösitin yerini alan sekonder ürünler şeklinde geliştiği ve kayaçların düşük $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranlarında etkili olduğu ortaya konmuştur. XRD, SEM ve elektron mikroprob analizleri analsim kristallerinde lösit kökenine işaret eden yapısal ve kimyasal özellikleri desteklemiştir. Sonuç olarak

analsimlerin primer magmatik kökenli değil, magma soğuması sırasında veya sonrasında gelişen sekonder hidrotermal süreçlerle oluştuğu ifade edilmiştir.

Dündar (2017), Çaykara yöresinde yer alan Mavriyas Granitoyidi'nin petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonuçları, söz konusu granitoyidin monzogranit, granodiyorit, granit ve bileşimsel olarak alkali feldispat granitik kayalardan oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, bu magmatik birliğin oluşumunda fraksiyonel kristallenme, magma karışımı, sınırlı asimilasyon süreçleri ile alt kıtasal kabuk ve litosferik manto kökenli bileşenlerin birlikte etkili olduğu ortaya konmuştur.

Rasimgil (2018), Düzköy güneybatısındaki plütonik kayaların petrografik, petrolojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Düzköy plütoniklerinin orta-iri taneli, gri renkli olup başlıca kuvars, plajiyoklas ve alkali feldispat; ikincil olarak biyotit, amfibol ve opak mineraller içerdiğini belirtmiştir. Kayalarda serizitleşme, killeşme ve karbonatlaşma gibi alterasyon süreçleri gözlenmiştir. Plütoniklerin metasedimanter (metagrovak) kökenli magmanın kısmi ergimesiyle oluştuğunu ve gelişimlerinde fraksiyonel kristallenmenin önemli rol oynadığını ifade etmiştir.

Almashramah (2019), Araklı (Trabzon) güneyindeki Kaçkar Batoliti'nin batısında yer alan volkanik ve plütonik kayaların petrolojik, jeokronolojik ve izotopik özelliklerini incelemiştir. U-Pb yaşlandırma sonuçlarına göre Taşlıyayla volkaniklerinin ~92.5 Ma, Gündoğdu plütonunun ~85 Ma ve Boğalı plütonunun ~83 Ma yaşlarında oluştuğunu belirlemiştir. Magma oluşumunda başlıca fraksiyonel kristallenme ve magma karışımının etkili olduğunu, sınırlı kabuksal kirlenmenin de bulunduğunu ortaya koymuştur.

Sivrikaya (2022), Köprüyanı (Trabzon) mevkiinde yer alan Cu-skarn cevherleşmesinin jeoloji, petrografi, cevher mikroskobisi ve mineral kimyası özelliklerini incelemiştir. Sahada aktinolit, tremolit, pirit, kalkopirit, manyetit ve malakit mineralleri ile birlikte çeşitli alterasyon türleri gözlenmiştir. Manyetitlerin düşük TiO₂ ve yüksek Fe içerikleriyle titonamanyetit karakterinde olduğu, kalkopiritlerin ise yüksek Cu ve Fe içeriklerine sahip olduğunu belirlemiştir. Köprüyanı cevherleşmesinin Cu-skarn tipinde olduğunu ve bölgedeki diğer skarn oluşumlarıyla benzer mineralojik ve jeokimyasal özellikler gösterdiğini belirlemiştir.

1.3.2. Konu ile İlgili Çalışmalar

Ferrero ve Marini (2001), çalışmalarında kireçtaşı ve mermerlerin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonucunda, mikroskobik çatlakların genişlediğini ve yeni

çatlakların oluştuğunu belirlemişlerdir. Bu sürecin, malzemelerin gözeneklilik değerlerinde artışa yol açtığını belirtmişlerdir.

Koca vd. (2006), İzmir Mithatpaşa Endüstri Meslek Lisesinde 31.03.1997 tarihinde ortaya çıkan yangın sonrası zarar görmüş taşıyıcı özellikteki mermer sütunları incelemişlerdir. Araştırmada, yangın nedeniyle oluşan yüksek sıcaklığın mermerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, sütunların en fazla 300 °C sıcaklık etkisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu sıcaklık seviyesinin, taşıyıcı mermer sütunların tek eksenli sıkışma dayanımında %23'lük bir azalmaya neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, laboratuvar ortamında 100 °C'den 800 °C'ye kadar 2 saat süreyle ısıtılan mermer örneklerinde, sıcaklık artışı ile içsel sürtünme açısı, kohezyon, tek eksenli sıkışma dayanımı ve poisson oranı değerlerinde düşüş gözlenirken, gözeneklilik değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Ünal vd. (2007), yüksek sıcaklığın yapı taşlarının dayanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla on dört değişik kayaç üzerinde laboratuvar gözlemleri ve ultrasonik ölçümler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, sıcaklık artışının taşlarda bozunmayı artırdığı ve bu bozunmanın ultrasonik dalga hızı ölçümleri ile tespit edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Chaki vd. (2008), granitlerin fiziksel özellikleri üzerinde termal hasarın etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada, granit örnekleri 200 °C'den 600 °C'ye kadar 100 °C'lik artışlarla 2 saat süreyle ısıtılmış ve ardından oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Isıl işlem sonrasında örneklerin gözeneklilik, geçirgenlik ve ultrasonik hız değerleri ölçülmüştür. Araştırma sonucunda, sıcaklık artışının gözeneklilik ve geçirgenliği artırdığı, buna karşılık ultrasonik hız değerlerini azalttığı tespit edilmiştir.

Yavuz vd. (2009), sıcaklık etkisinin karbonatlı kayaçların fiziksel özelliklerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında, kayaç örnekleri 100 °C'den 500 °C'ye kadar 100 °C'lik artışlarla 24 saat süreyle ısıtılmış ve sonrasında fiziksel değişimleri değerlendirilmiştir. Araştırmada, termal etkinin 150 °C'den sonra belirgin hale geldiği ve bu bozunmanın, kayacın yapısal özellikleri, tane boyutu ve gözenekliliğine bağlı olarak farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık artışına paralel olarak ultrasonik hız değerinin azaldığını ve gözenekliliğin arttığını tespit etmişlerdir.

Mao vd. (2009), basınç ve yüksek sıcaklık koşullarının kireçtaşlarının mekanik davranışlarına ilişkin etkilerini incelemişlerdir. Kireçtaşı örneklerini 800 °C'ye kadar ısıtarak birim deformasyon-gerilme eğrilerini oluşturmuşlardır. Ayrıca farklı sıcaklıklar için elastisite modülü hesaplamaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda, mekanik

özelliklerde 600 °C'ye kadar belirgin bir değişim gözlemlenmezken, 600 °C'den sonra ani ve belirgin değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler doğrultusunda termal hasar eşitliği geliştirilmiş ve bu eşitlik sayesinde herhangi bir sıcaklık seviyesinde kayacın maruz kalabileceği termal hasarın önceden tahmin edilebileceği ifade edilmiştir.

Özgüven ve Özçelik (2012), kireçtaşı ve mermeri 200 °C'den 1000 °C sıcaklığa kadar 200'er derecelik artışlarla ısı işleme tabi tutularak ve 1 saat süreyle ısıtarak, bu örneklerdeki fiziksel özellikleri (parlaklık, beyazlık vb.) ve soğuma sırasında ortaya çıkan pH değişimlerini incelemiştir. Çalışmada, sıcaklık yükseldikçe kayaların renginin açıldığı, 600 °C'ye kadar parlaklıklarının korunduğu, ancak dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir.

Malkowski vd. (2012), Polonya'daki Wieczorek madeninde karbonifer yaşlı sedimanter kayaların yüksek sıcaklık etkisiyle mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Kayaç örneklerini 1000 °C'de bir gün süreyle beklettikten sonra, sıcaklık etkisiyle birlikte elastisite modülü, kütle kaybı, çekme ve sıkışma gerilmesindeki değişimleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, 1000 °C sıcaklık etkisinde kalan bütün örneklerde %2 ile %11 arasında kütle kaybının değiştiği, Young modülünün azaldığı, kumtaşlarının sıcaklık etkisiyle sıkışma ve çekme dayanımının arttığı, ancak siltaşlarında bu durumun tam tersine, dayanımların azaldığı tespit edilmiştir.

Brotons vd. (2013), yüksek sıcaklık etkisi altında kireçtaşlarını hem oda sıcaklığında hem de su içinde soğutarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda, su içinde soğutulan örneklerin dayanım değerlerinin oda sıcaklığında soğutulan örneklere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Dağ vd. (2013), Gümüşhane ili sınırları içerisinde yayılım olarak geniş bir alana sahip Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Graniti'nin mekanik ve fiziksel özelliklerinde, donma-çözülme döngülerinin oluşturduğu değişimleri incelemeyi amaçlamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, donma-çözülme uygulamaları sonrasında granitin boyuna dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim hacim ağırlık değerlerinde belirgin bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna karşılık ağırlıkça su emme miktarı ile görünür gözeneklilik değerlerinde artış gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Akbay vd. (2014), oniki farklı kayaç numunesini altı farklı sıcaklık kademesinde (25-200-300-400-500 ve 600 °C) üç saat boyunca ısıtarak, örneklerin nokta yük indeks değerlerindeki değişimleri ve sıcaklıkla birlikte meydana gelen dayanım kayıplarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, sıcaklık değeri arttıkça nokta yük indeksinin tüm

kayaçlarda azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, %58,1 ile en fazla dayanım kaybının andezit örneğinde, %11,5 ile ise en düşük dayanım kaybının mermer örneğinde olduğu belirlenmiştir.

Dağ vd. (2015), piroklastik (andezitik tüf), magmatik (granit, andezit) ve sedimanter (kumtaşı, kireçtaşı) kökenli 5 farklı kayaç grubundan, deney standartlarına uygun olarak numuneler hazırlamışlardır. Bu kayaçlarda nokta yükü dayanım indeksi ve çekilme dayanımı ile gözeneklilik arasında önemli bir bağlantı bulunup bulunmadığını araştırmışlardır. Yapılan incelemeler, farklı kayaç türleri için nokta yükü dayanım indeksi ile çekilme dayanımının dolaylı olarak gözeneklilik değerlerinden yararlanılarak tahmin edilmesini sağlayacak istatistiksel açıdan anlamlı eşitliklerin ortaya konduğunu göstermiştir.

Zang vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda, boyuna dalga hızı ve dayanım değerlerinin 300 °C'ye kadar hafif bir azalma gösterdiği, 300-600 °C arasındaki sıcaklık aralığında ise bu azalmanın çok daha belirgin hale geldiği, 600 °C'den sonra ise bu belirginliğin azaldığı tespit edilmiştir.

Harputlu (2016), Saraftepe (Trabzon) yöresinden alınan tefrit örneklerinin 200–1200°C sıcaklık aralığında ısıtılmasıyla mühendislik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Örnekleri hem oda sıcaklığında hem de su içinde soğutarak termal şok etkisini değerlendirmiştir. 1000 °C'ye maruz kalan numunelerde tek eksenli sıkışma dayanımında %65 (hava) ve %80 (su), ultrasonik dalga hızında ise %64 ve %73 oranında azalma olduğunu belirlemiştir. Oda koşullarında soğuyan örneklerde kütle kaybı %7'ye ulaşırken, özgül ağırlık değerleri %7.4 ve %7.7 oranında artmıştır. Toplam dayanım kaybının yaklaşık %60'ının ve P-dalga hızı kaybının yaklaşık %55'inin 600 °C'ye kadar gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle 600 °C tefrit örnekleri için kritik sıcaklık olarak belirlenmiştir.

Kumari vd. (2017), granit örneklerini 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakmış ve örnekleri fırın içinde çok yavaş bir şekilde ve su içinde ani soğutma yöntemleriyle soğutmuşlardır. Çalışmada, özellikle ısıtılmış örneklerde ani soğumanın dayanım özellikleri üzerinde önemli bir değişim yarattığı vurgulanmıştır.

Han vd. (2019), yeraltı madenciliğinde bir yangın durumunda müdahale sonrası ani soğumanın meydana geleceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kumtaşı örneklerinde, ani soğumanın 500 °C'den daha yüksek sıcaklıklara ısınan örnekler üzerinde daha belirgin bir etki yarattığını tespit etmişlerdir.

Wu vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, 600 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz kalan granit örneklerinde, farklı soğuma koşullarında dayanımın sürekli olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalma en fazla sıvı azot (LN2) ile soğutulan örneklerde, en az ise fırın içinde soğutulan örneklerde görülmüştür.

Sha vd. (2020), 600 °C'ye kadar ısıtılan granit örneklerini farklı soğuma koşullarına maruz bırakmışlardır. Çalışmada, artan sıcaklıklara bağlı olarak granitin dayanımının sürekli olarak azaldığı ve bu azalmanın en fazla sıvı azot (LN2) ile soğutulan örneklerde, en az ise havada soğutulan örneklerde olduğu gözlemlenmiştir.

Ersoy vd. (2021), yaptıkları çalışmada kalkarenitleri kül fırınında belirli sıcaklık seviyelerine kadar ısıtmışlardır. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında örnekleri 2 saat süreyle ısıya maruz bırakmış, ardından soğuma işlemini oda sıcaklığında gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, kalkarenitlerin yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında fiziksel ve dayanım özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Elde edilen bulgulara dayanarak, kalkarenitlerin yalnızca dış kaplama malzemesi olarak kullanılmasının uygun olacağına karar vermişlerdir.

İnaltun (2022), kireçtaşı ve mermer örneklerinin 200, 300, 400, 500, 600 ve 680 °C sıcaklıklarında 2 saat süreyle ısıtılması sonucu dayanım ve mikroyapısal özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. 680 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda karbonat kayaçların fiziksel özelliklerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Kireçtaşlarında sıcaklık artışıyla boşluk oranı azalırken, mermerlerde boşluk oranı artış göstermiştir. Boyuna dalga hızı tüm sıcaklık kademelerinde azalırken, Leeb sertlik değerleri mermerlerde düşmüş, kireçtaşlarında ise artmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı kireçtaşlarında sıcaklıkla birlikte artarken, mermerlerde azalma göstermiştir. Bu durumun temel nedeninin kayaçların kil içeriği ve mikroyapısal özelliklerindeki farklılıklar olduğunu ifade etmiştir.

Kolaylı vd. (2023), "Yangın Sonrası Soğuma Koşullarında Karbonat Yapı Taşlarındaki Mineralojik ve Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmalarında, sıklıkla yapı taşı olarak kullanılan traverten, mermer ve kireçtaşı türündeki karbonat kayaçlarını incelemiştir. Çalışmada, ısıtılan kayaç örnekleri oda sıcaklığında, -20 °C'de ve suda olmak üzere farklı soğuma koşullarına tabi tutulmuştur. Sonuçta traverten ve mermerlerin en çok suda soğuma koşulundan etkilendiği, kireçtaşlarının ise en fazla -20 °C'de havada soğuma koşulundan etkilendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, P-dalga hızı ve çekme dayanımı değerlerinin traverten ve mermerde kireçtaşına kıyasla daha fazla azaldığı belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında arazi çalışmaları ile Pelitli Mahallesi ve Pazarkapı Mahallesi'nde yapılan sondajlardan karot örnekleri temin edilmiştir. Aynı zamanda Boztepe Mahallesi'nden blok örnekler temin edilerek laboratuvara getirilmiş, bunlardan laboratuvar tip karotiyerle silindirik örnekler alınmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında örnekler ısıtma işlemlere tabi tutulmuştur. Oda sıcaklığında soğutulan numunelerin fiziksel ve dayanım özelliklerine ilişkin kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ofis çalışmaları kapsamında elde edilen veriler değerlendirilmiş ve bulgular ortaya konulmuştur.

Tez yazımında Pelitli Mahallesi'nden alınan numuneler kısaca P, Pazarkapı (Moloz) Mahallesi'nden alınan numuneler M ve Boztepe Mahallesi'nden alınan numuneler ise B harfi ile sembolize edilmiştir.

2.1. Arazi Çalışmaları

Trabzon ili Ortahisar ilçesinin farklı mahallelerinde yürütülen arazi çalışmaları kapsamında kaya örnekleri temin edilmiştir. Pelitli Mahallesi 275 ada 15 nolu parsel ile Pazarkapı Mahallesi 92 ada 41 nolu parselde zemin etütleri amacıyla gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen karot sandıklarından kaya numuneleri alınmıştır. Ayrıca Boztepe Mahallesi 1303 ada 55 nolu parselde yapılan kazı sırasında mostradan kayaç blokları örneklenmiştir. Sahalardan alınan numuneler, arazi koşullarında dikkatle korunarak paketlenmiş ve sonrasında laboratuvara taşınarak deneysel çalışmalar ve analiz işlemleri için hazırlanmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Örneklerin Hazırlanması

Kaya mekaniği deneylerinden güvenilir veriler elde edebilmek için standartlarda önerilen boyutta ve nitelikte örneklerin hazırlanması en kritik aşamadır. Karot örneklerinin alınması, kesilmesi ve yüzeylerinin düzeltilmesi işlemleri, delici, kesici, düzleyici ve parlatici gereçler kullanılarak yapılır. Bu işlemler, örneklerin deneylere uygun hale gelmesini sağlar. Örnek hazırlama sürecinde uluslararası standartlara uygunluk doğru sonuçlar elde etmek için büyük önem taşır (Ulusay vd., 2011).

Sahada yapılan sondajlardan elde edilen karot numunelerine ek olarak sahadan alınan kayaç bloklarından laboratuvarında bulunan Euromax marka karot numunesi almamakinesi ile silindir şeklinde örnekler hazırlanmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için karot numuneleri uygun boyutta ($L/D=2,5-3$) kesilmiştir. Kesilen örneklerin alt ve üst yüzeyleri tungsten-karbit aşındırma bıçağına sahip yarı otomatik karot düzeltme makinesiyle düzeltilmiş olup yüzeylerin paralelliği sağlanmıştır. Bu işlem, örneklerin deneylere uygun hale gelmesini ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Karot numuneleri deneylere hazır hale getirildikten sonra numaralandırılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi için örneklerin hazırlanması

Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) deneyi örnekleri, silindirik numunelerin elmas uçlu elektrikli kesici ile kesilmesiyle elde edilmiştir. Örneklerin kalınlık/çap oranları ISRM (2007) tarafından önerildiği şekilde 0,5-1 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Dolaylı çekme dayanımı deneyi için örneklerin hazırlanması

2.2.2. Fiziksel Özellikler

Numaralandırılmış örneklerin alan ve hacim hesabı yapılabilmesi için önce çap (D) ve boy (L) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ölçümler, kumpas yardımıyla 0,01 mm hassasiyetle yapılmıştır (Şekil 5). Çapın belirlenmesi için, örneğin alt ve üst yüzeylerinden 3 ayrı ölçüm alınarak bu ölçümlerin ortalaması hesaplanmış, boy ölçümü için de örneğin uzun eksenine paralel olacak şekilde 3 ayrı ölçüm yapılmış ve bu değerlerin ortalamaları alınarak kaydedilmiştir. Elde edilen çap ve boy değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak örneklerin hacmi ve yüzey alanı hesaplanmıştır.



Şekil 5. Kumpas ile boy/çap ölçümü

$$V = (D/2)^2 \pi \cdot L \quad (1)$$

$$A = (D/2)^2 \pi \quad (2)$$

V: numune hacmi (cm³)

D: karot çapı (cm)

L: karot boyu (cm)

2.2.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

ISRM (2007)'ye uygun bir şekilde hazırlanan karot numuneleri 1 gün süreyle 105 °C'ye ayarlanmış olan etüvde bekletilmiştir. Sonrasında etüvden alınan numuneler hassas terazi kullanılarak tartılmıştır (Şekil 6). Kuru kütleleri belirlenen numunelerin aşağıdaki eşitlikler yardımıyla önce yoğunluk değerleri ve sonrasında kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$d = m/V \quad (3)$$

$$\gamma_k = g.d \quad (4)$$

d: yoğunluk (g/cm³)

m: kütle (g)

V: numune hacmi (cm³)

γ_k : kuru birim hacim ağırlık (kN/m³)

g: 9,81 (m/sn²) yer çekimi ivmesi



Şekil 6. Etüvde 24 saat boyunca 105 °C'de örneklerin ısıtılması ve kütle ölçümü

2.2.2.2. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık deneyi, volkanik kayaç örneklerine ait karot numunelerinde başlangıç, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklık kademelerinde yapılmıştır. Deneyde kullanılan ekipmanlar arasında piknometre, 0,01 g hassasiyetinde terazi, desikatör, damlalık ve huni bulunmaktadır. Deney, ASTM D 854-92 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyin ilk aşamasında, deneyde kullanılacak olan piknometreler saf su ile doldurulmuş ve bu haliyle hassas terazide tartılarak dolu kütleleri belirlenmiştir (m₄). Daha sonra piknometreler etüvde kurutulmuş ve tekrar tartılarak kütleleri belirlenmiştir (m₁). Daha sonra 4 numaralı elekten elenen ve 105 °C'lik etüvde 24 saat kurutulup

öğütülen örneklerden bir miktar alınarak piknometrelere konulmuş ve bu haliyle piknometreler tekrar tartılmıştır (m_2). Sonraki aşamada piknometrelere, yaklaşık 2/3 oranında dolacak kadar saf su eklenmiş ve bu haliyle desikatöre yerleştirilerek vakum yardımıyla havası alınmıştır. Hava kabarcıkları tamamen kaybolduktan sonra piknometreye bir miktar havası alınmış saf su eklenerek kalan boşluk tamamlanmış ve bu haliyle tartılmıştır (m_3). Son olarak, Eşitlik 5 kullanılarak örneklerin özgül ağırlıkları hesaplanmıştır (Şekil 7, 8):

$$G_s = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (5)$$

Burada;

G_s : Özgül Ağırlık

m_1 : piknometre kütlesi (g)

m_2 : piknometre kütlesi + kuru örnek kütlesi (g)

m_3 : piknometre kütlesi + kuru örnek kütlesi + saf su kütlesi (g)

m_4 : piknometre kütlesi + saf su kütlesi (g)



Şekil 7. Piknometre deneyi için örneklerin hazırlanması



Şekil 8. Piknometre deneyinin yapılışı

2.2.2.3. Gözeneklilik

Gözeneklilik hesabı için, kuru yoğunluk ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak işlem yapılmıştır. Bu hesaplama, örneğin içinde bulunan boşlukların oranını belirlemek için yapılır.

$$\%n = 1 - \frac{p_k}{p_s} \times 100 \quad (6)$$

Burada n: gözeneklilik (%)

p_k : kuru yoğunluk (g/cm^3)

p_s : tane yoğunluğu (g/cm^3)

2.2.2.4. Ultrasonik Hız Ölçümleri (Boyuna Dalga Hızı)

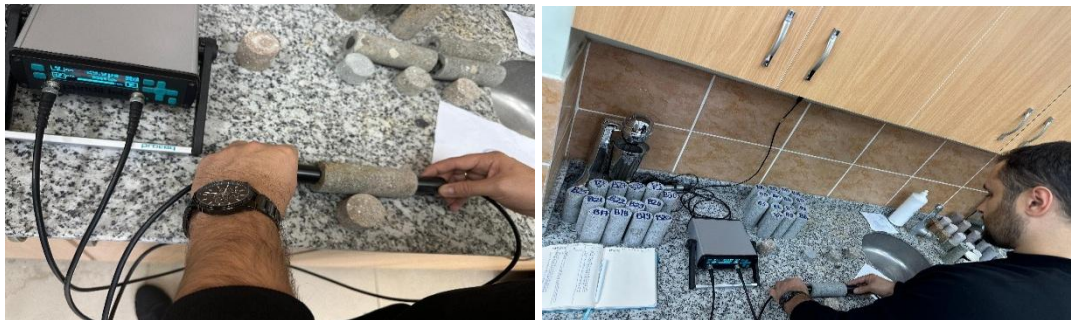
Örneklerin P-dalga hızı (V_p), Proceq® Pundit Lab laboratuvar tipi ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 9). Bu ölçümlerde, transdüserler 54 kHz frekansında çalıştırılmış ve sinyal puls süreleri 0,1 μs olarak seçilmiştir. Deney ASTM D 854-92 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin alt ve üst yüzeylerinin düzgün olmasına özen gösterilmiş, alıcı ve verici arasında tam temas sağlamak amacıyla su bazlı iletken jel kullanılmıştır. Sonrasında, cihaz aracılığıyla P-dalgasının örnekten geçiş süresi mikrosaniye (μs) cinsinden ölçülüp kaydedilmiştir. Elde edilen bu süre Eşitlik 7’de kullanılarak örneklerin P-dalga hızı hesaplanmıştır. Bu deney, başlangıçta tüm örneklere uygulanmış ve ardından her sıcaklık kademesi için tekrarlanmıştır.

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (7)$$

V_p : boyuna dalga hızı (m/sn)

L: örneğin boyu (m)

t: süre (sn)



Şekil 9. Ultrasonik hız aleti ile P-dalga hızı ölçülmesi

2.2.3. Mekanik Özellikler

Kayaçların mekanik özelliklerini doğru bir şekilde belirlemek, mühendislik projeleri, jeoteknik tasarımlar ve madencilik uygulamaları gibi birçok alanda temel bir gerekliliktir. Kayaçların yük taşıma kapasiteleri ve davranışlarının anlaşılması, yapı güvenliğini sağlamak ve ekonomik tasarımlar geliştirmek açısından büyük önem taşır. Bu kapsamda kayaçların dayanım özelliklerini değerlendirmek için en sık başvuru alan yöntemler arasında tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyi yer alır.

2.2.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi

Tek eksenli sıkışma dayanımı, kaya mekaniğinde kayaçların mekanik özelliklerini değerlendirmek için kullanılan temel bir dayanım parametresidir. Bu deney, silindirik (karot) biçimindeki kayaç numunelerinin dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmekte olup, özellikle kaya kütlesi sınıflamaları ve mühendislik tasarımlarında yaygın olarak kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tayinine yönelik uygulanmaktadır (Ulusay vd., 2011). Yapılan bu çalışmada, deneye tabi tutulan volkanik kayaç numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları, ISRM (2007) tarafından ortaya konulan standartlara uygun olarak belirlenmiştir.

Deneylerde, boy/çap (L/D) oranı 2,5-3 arasında olacak şekilde hazırlanan, silindirik yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz olan volkanik kayaç örnekleri kullanılmıştır. Örnekler, deney aletinin ortasındaki yükleme levhasının üzerine dikkatlice yerleştirilmiştir. Silindirler ile presin üst kısmı arasında boşluk kalmayacak şekilde yükseklik ayarı yapılmıştır. Yükleme sırasında, örnek yenilene kadar yükleme hızı sabit tutulmuş ve 5-10 dakika içinde yenilme sağlanacak şekilde ayarlanmıştır. Örneği deformasyona uğratan yük kaydedildikten sonra, gerilme değerinin hesaplanması için yükleme yapılan kesit alanı, karotun çapı (D) ölçülerek belirlenmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi; başlangıç, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılan tüm örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (8)$$

σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı (kN/m²)

F: Yenilme yükü (kN)

A: Yüzey alanı (m²)



Şekil 10. Tek eksenli sıkışma dayanımı deney aleti

2.2.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

Kaya veya beton numunesinin çekme dayanımını dolaylı yoldan belirlemek için kullanılan bir laboratuvar test yöntemidir. Bu yöntem, doğrudan çekme testlerinin uygulanmasının zorluğu nedeniyle geliştirilmiştir ve numune üzerinde daha pratik bir şekilde çekme dayanımını değerlendirme olanağı sağlar. Deney genellikle silindirik bir kaya veya beton numunesi üzerinde gerçekleştirilir. Numune genellikle standart boyutlarda (örneğin, çapı 50 mm, kalınlığı 25 mm) hazırlanır. Silindirik numune, yatay eksenine dik doğrultuda iki paralel plaka arasında yerleştirilir. Plakalar aracılığıyla numunenin üst ve alt yüzeyine doğrusal bir basınç yükü uygulanır. Uygulanan basınç, numunenin merkez düzlemi boyunca çekme gerilimi oluşturur. Yük arttıkça numune, yatay düzlemde çekme gerilimi nedeniyle ortadan ikiye bölünür. Bu kırılma, numunenin çekme dayanımını belirlemek için kullanılır. Çekme dayanımı (σ_t) şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_t = 0,636 \frac{F}{D.t} \text{ ya da } \sigma_t = 2 \frac{F}{\pi.D.t} \quad (9)$$

Burada;

σ_t : Numunenin dolaylı çekme dayanımı (kgf/cm²)

F: Yenilme anındaki yük (kgf)

D: Numunenin çapı (cm)

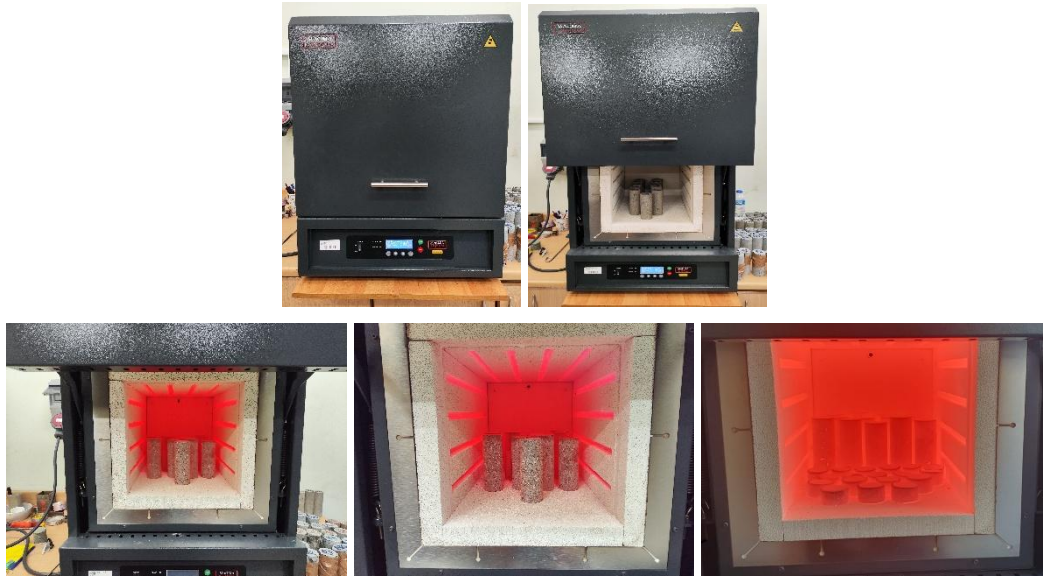
t: Numunenin kalınlığı (cm)



Şekil 11. Dolaylı çekme dayanımı deneyi

2.2.4. Isıl İşlem Süreci

Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerini etkileyen önemli etkenlerden biri de sıcaklıktır. Bu sebeple sıcaklığın volkanik kayaçlar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla numuneler başlangıç, 200, 400, 600, 800, 1000 °C'de, her sıcaklık kademesinde 2 saat süreyle ısıtılma tabi tutulmuştur. Termal şok oluşumunu önlemek için fırının sıcaklığı 10 °C/dk'lık bir hızla artırılmış, hedef sıcaklığa ulaşıldıktan sonra örnek içerisinde termal eşitliğin sağlanması amacıyla 2 saat süreyle bekletilmiştir. Isıtma için Magmatherm MT-1200-40-E4-LU kül fırını kullanılmıştır (Şekil 12). Isıl işlem süreci tamamlandıktan sonra örnekler fırın içerisinde fırın kapağı aralanarak kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 12. Isıtma sürecinde kullanılan kül fırını

2.2.5. Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler

2.2.5.1. Mineralojik Özellikler

Çalışma konusu olan volkanik kayaç örneklerinin mineralojik içeriğini belirlemek amacıyla örneklerden Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan ince kesit hazırlama laboratuvarında ince kesitler hazırlanmıştır. Elde edilen ince kesitler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Araştırma Laboratuvarındaki mikroskop ile incelenmiş ve modal analiz yöntemiyle mineral içerikleri yüzde olarak belirlenerek petrografik tanımlamaları yapılmıştır.

2.2.5.2. SEM Analizi

Örneklerin mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) altında mikro çatlak, mikro kırık, gözenek, boşluk vb. gibi özellikler sayısal olarak belirlenmiştir. Bu analizler ısıtma işlemi sonrasında da tekrarlanarak, yüksek sıcaklıkların volkanik kayaçların mikro yapısal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Örneklerin SEM kayıtları Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Merkezi Laboratuvarında ThermoFisher Scientific Apreo 2 S model cihaz ile alınmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. SEM analizinde kullanılan deney ekipmanı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), Türkiye'nin orojenik evrimini güneyden kuzeye doğru Kenar Kıvrımları ve Toridler, Anatolidler ve Pontidler şeklinde dört ana tektonik birlik altında sınıflandırmıştır. Sonraki çalışmalarda Ketin ve Canitez (1972), yapılan bu sınıflandırmayı tekrar ele alarak litolojik farklılıkları göz önünde bulundurmuş ve Pontid kuşağını Doğu Pontid ve Batı Pontid olmak üzere iki alt birim şeklinde ayırmıştır.

Birçok araştırmacı, Doğu Pontidleri kaya oluşum özellikleri ve litolojik farklılıkları dikkate alarak sınıflandırmalar yapmışlardır. Özsayar vd. (1981), Geç Kretase yaşlı kayaçların özelliklerinde gözlenen farklılıklar nedeniyle bölgeyi Doğu Pontid Güney Zonu ve Doğu Pontid Kuzey Zonu olmak üzere iki ana birim şeklinde tanımlamıştır. Bektaş vd. (1995) ise Doğu Pontidleri Güney Zon, Kuzey Zon ve Eksen Zon şeklinde üç bölgesel alt birim halinde ifade etmiştir.

Kuzey Zon, ağırlıklı olarak Geç Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Güney Zon'da ise magmatik etkinliğin azaldığı Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı sedimanter ve metamorfik birimler ile ultramafik sokulumlar görülmekte olup bunlara ek olarak Geç Kretase volkanitleri, Erken Eosen yaşına sahip adakitler ve Orta-Geç Eosen dönemine ait bazaltik-andezitik volkanik kayaçlar bulunmaktadır. Eksen Zon ise Kop Dağı ve Erzincan civarında yüzeylenen ultramafik birimler ile Orta-Geç Kretase yaşına sahip ofiyolitik melanj tarafından temsil edilmektedir. Söz konusu zonlar, yönelimi farklı tektonik hatlar boyunca birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu fay sistemleri, bölgedeki mineralizasyonu kontrol eden başlıca yapısal unsurlar olarak tanımlanmaktadır (Eyüboğlu vd., 2006). Trabzon, Doğu Pontid Kuzey Zonu içinde yer almakta olup bu zon Pontid Tektonik Birliği'nin bir parçasını oluşturmaktadır.

Doğu Karadeniz Dağları'nın temelini oluşturan ve granitik kayaçlar ile kesilen metamorfik kayaçlar, ilk kez Açar (1977) tarafından isimlendirilen yaşlı Liyas olan Hamurkesen Formasyonu ile uyumsuz bir şekilde örtülmektedir. Hamurkesen Formasyonu, tabanda yer alan konglomera seviyeleriyle başlayarak üste doğru Ammonitico-Rosso fasiyesi özellikleri gösteren kireçtaşları (kırmızı renkli) ile devam etmektedir. Birim, en üst seviyelerde kumtaşı, marn, tuf ve tüfit ardalanması ile

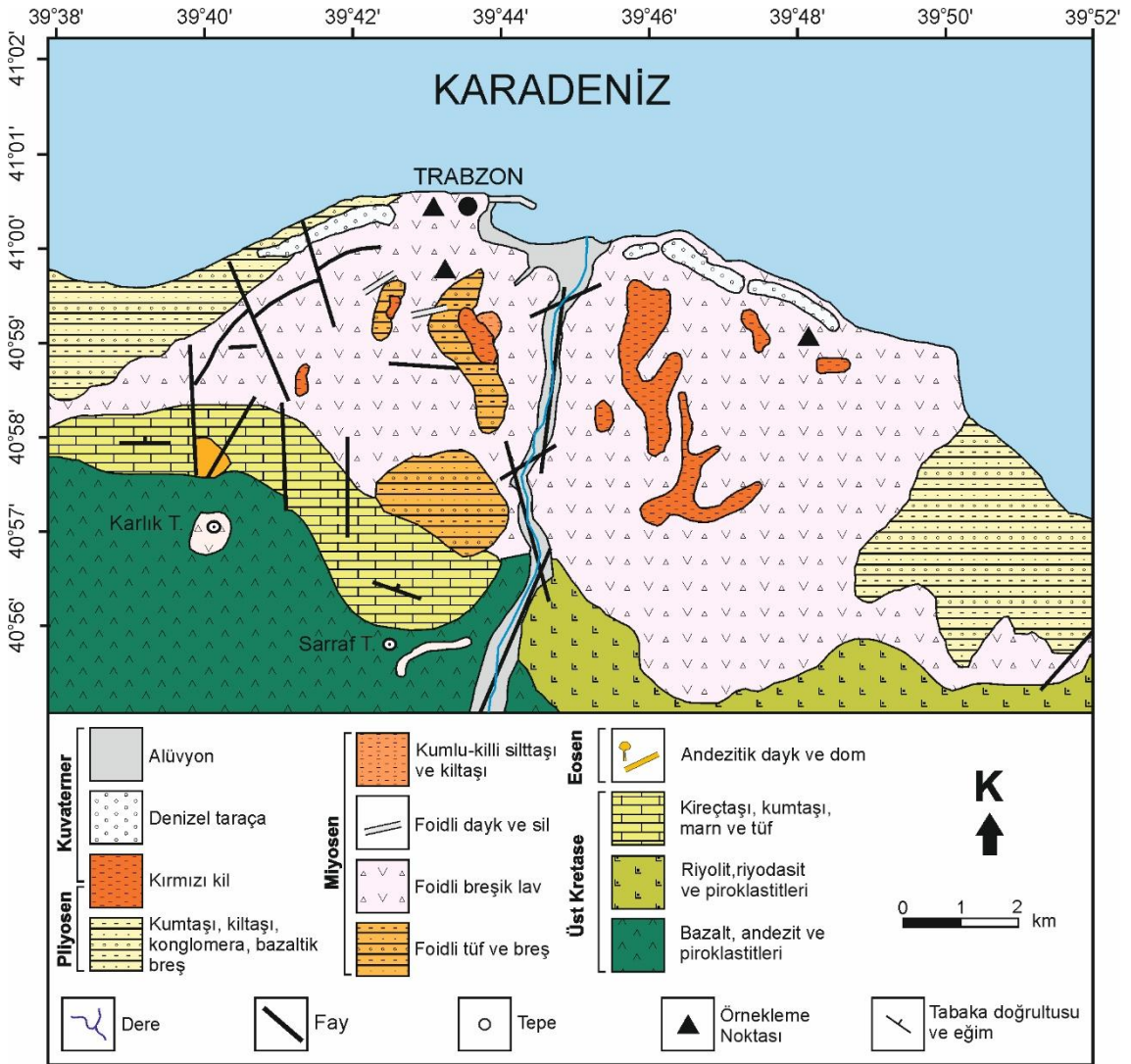
sonlanmaktadır. Bu stratigrafik istif, Eren (1983) 'in çalışmasında Zimonköy Formasyonu adıyla isimlendirilmiştir.

Pelin (1977) tarafından tanımlanan Berdiga Formasyonu (Dogger–Malm–Erken Kretase yaşlı), Hamurkesen Formasyonunun üzerine gelmektedir. Berdiga Formasyonu, Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzey kesiminde çoğunlukla gri-bej renk tonlarına sahip masif kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Güney kesiminde ise orta tabakalı kireçtaşlarıyla karakterize olmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları'nda Geç Kretase istifleri, bölgenin güneyi ve kuzeyinde farklı litolojik özellikler sunmaktadır. Güney kesimde birimler çoğunlukla kırmızı renkli kireçtaşları, sarı renkli kumtaşları ve filiş ar dalanması ile temsil edilmektedir. Kuzey kesimde Güven (1993) tarafından adlandırılan ve alttan üste doğru sıralanan birimler; bazalt ve piroklastitlerden oluşan Çatak Formasyonu, dasit ve piroklastitlerle karakterize edilen Kızılkaya Formasyonu, andezit-bazalt ve piroklastitlerini içeren Çağlayan Formasyonu, Çayırbağ Formasyonu (riyolit–dasit bileşimi ve piroklastitlerle tanımlanır) ile kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marn ar dalanmasından oluşmuş Bakırköy Formasyonu'dur.

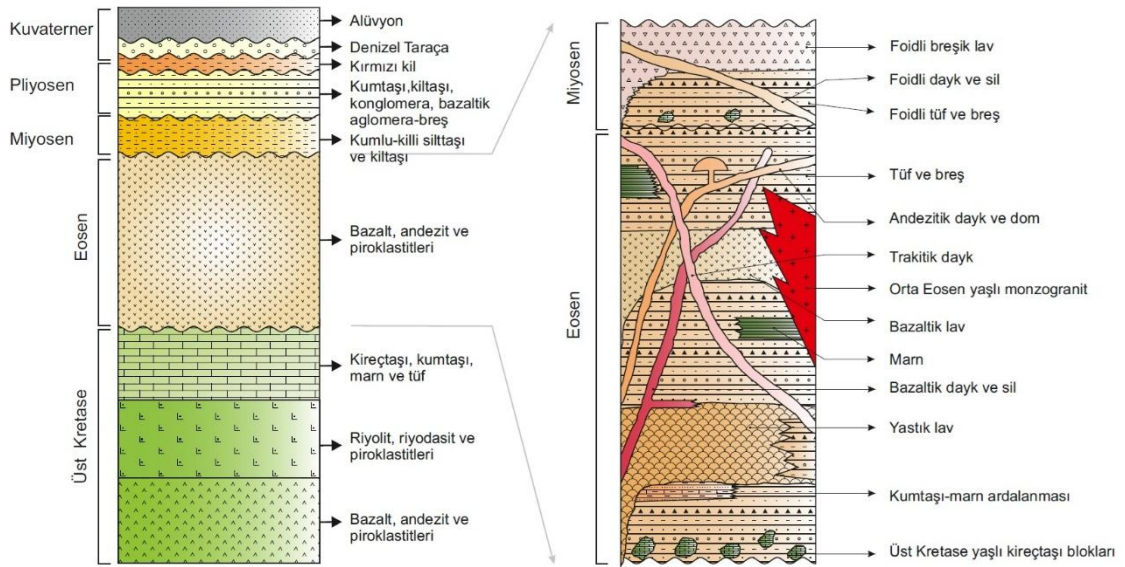
Doğu Karadeniz Dağları boyunca yüzeyleyen ve yaşı Senozoyik olan birimler, bölgenin güneyi ve kuzeyi arasında belirgin litolojik farklılıklar göstermektedir. Güney kesimde, Gümüşhane çevresinde andezitik volkanitler ve tortul kayalardan oluşan Alibaba Formasyonu yer almaktadır. Bu bölgenin güneyinde, Bayburt yöresinde taban konglomerası ile uyumsuz olarak yüzeyleyen ve çoğunlukla kırıntılı seviyelerden oluşan Sırataşlar Formasyonu ile temsil edilen bir istif bulunmaktadır. Bu istifin üzerinde, asidik özellikli piroklastitlerle (Bayburt tüfü; Arslan vd., 2005) ar dalanmalı tortul kayalar içeren Tekçamtepe Formasyonu (Özer, 1984) yer almaktadır. Bölgenin kuzeyinde ise Kabaköy Formasyonu adıyla Güven (1993) tarafından isimlendirilen Paleosen–Eosen yaşlı birim, trakitler, bazaltik andezitler, bazaltlar ve piroklastitlerden oluşmaktadır. Yine Güven (1993) tarafından isimlendirilen granitik sokulumlar (Kaçkar II granitoyidi), hem güney hem de kuzey kesimde Eosen yaşlı birimler içerisine intrüde olmuştur. Söz konusu granitlerin yaşı, gerçekleştirilen jeokronolojik çalışmalar sonucunda Orta Eosen olarak belirlenmiştir (Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2012).

Trabzon volkanitleri adıyla tanımlanmakta olan Neojen yaşlı volkanik kayalar, Trabzon ve çevresinde sınırlı bir alanda yüzeylemektedir. Bu birim genel olarak gri renkli olup foid mineralleri barındıran bazaltik volkanitlerden oluşmaktadır (Aydın vd., 2008b). Güven (1993) tarafından isimlendirilen ve Trabzon volkanitlerinin üzerine uyumsuz şekilde konumlanan Miyosen yaşlı Kaymaklı Formasyonu; gri ve yeşilimsi renkli marnlar, gri-sarımsı renk ihtiva eden kumlu killi silttaşları ve kiltaşlarından

oluşmaktadır. Kaymaklı Formasyonu, andezitik ve bazaltik aglomeralardan, iri taneli kumtaşı seviyelerinden, kıltaşı-marn-kumtaşı, tuf ardalanmasından ve kötü tabakalanma gösteren breşlerden ve gevşek çimentolu konglomeralardan oluşan Beşirli Formasyonu (Güven, 1993) tarafından uyumsuz bir dokanak ilişkisiyle örtülmektedir. İstifin en üst kesimi, Neojen yaşlı volkanik kayaların ayrışması sonucu gelişmiş kırmızı renkli saprolitik killere (Arslan vd., 2006; Ersoy vd., 2014) ve Holosen–Pleyistosen yaşlı denizel taraçalara (Keskin, 2007) karşılık gelmektedir. Bölgedeki Kuvaterner yaşlı taraçalar ve alüvyal çökellerden oluşan birimler ise istifin tamamını uyumsuz bir dokanakla üzerlemektedir.



Şekil 14. İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgenin genel jeoloji haritası (Yücel, 2013).



Şekil 15. İnceleme alanının içinde yer aldığı bölgenin stratigrafik sütun kesiti (Yücel, 2013).

3.2. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı, Ketin (1966) tarafından tanımlanan Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin kuzeydoğu kesiminde konumlanmaktadır. İncelemenin yapıldığı bölgede ve yakın çevresinde bulunan birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (Şekil 15).

Kabaköy Formasyonu	(Eosen)
Kaymaklı Formasyonu	(Miyosen)
Beşirli Formasyonu	(Pliyosen)
Kırmızı Killer	(Pliyosen-Kuvaterner)
Alüvyonlar	(Kuvaterner)

3.2.1. Kabaköy Formasyonu (Ev)

Güven (1993) tarafından literatüre kazandırılan bu birim Gümüşhane ilinin Kabaköy yöresinde yüzeylenmektedir. Tabandan kesiminden itibaren kırıntılı tortullarla başlayan ve üst seviyelere doğru volkanik özellikler kazanan volkanik-tortul nitelikli bir istif ile temsil edilmektedir.

Genellikle koyu renkli volkanitlerin taban kesimlerinde gözlenen sarımsı renkli ve bol fosil içeren tortul kayaçlar, stratigrafik açıdan kılavuz seviye özelliği taşımaktadır. Bu formasyonun içerisinde bulunan tortul kayaçlarda *Assilina cf. Exponens* (Sowerby), *Actinocyclus sp.*, *Nummulites cf. globulus* (Leymerie), *Nummulite sp.*, *Assilina cf. Spira*, *Alveolina sp.*, *Discocyclus sp.* ve *Asterocyclus sp.* fosillerinin tespiti Kabaköy

formasyonunun Erken-Orta Eosen yaşına sahip olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).

Aydın (2003) ile Arslan ve Aslan (2006) tarafından gerçekleştirilen incelemelerde, Trabzon ve yakın çevresinde yüzeylenen volkanik kayaların yaşlarının, Gümüşhane ve yakın çevresinde gözlenen volkanitlere kıyasla daha genç yaşta olduğu ortaya konulmuştur. Radyometrik yaş tayinleri, söz konusu volkanitlerin Orta Eosen–Neojen zaman aralığında oluştuğunu göstermektedir.

Trabzon şehrinin yerleşim alanının genelinde görülen bu birim; yeşilimsi gri renkli andezit lav ve piroklastları, yeşilimsi siyah renkli bol ojit ve hornblendli bazalt, lav ve piroklastları ile ardışıklı olarak bulunan kumtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşur.

3.2.2. Kaymaklı Formasyonu (My)

Trabzon ilinin Kaymaklı Mahallesi'nde en belirgin ve iyi gelişmiş kesitleri gözlenen Kaymaklı Formasyonu, Kalkınma Mahallesi çevresinde de yüzeylenmektedir. Genellikle gri ve sarımsı tonlarda, yer yer koyu gri renklerde gözlenen bu birim, killi–kumlu silttaşı olarak tanımlanmıştır. Oldukça gevşek çimentolu bir yapıya sahip olan kayaç, elle temas edildiğinde kolaylıkla ufalanabilmektedir. Yaklaşık 5–30 m kalınlığa sahip bu birim, Eosen yaşlı olan Kabaköy Formasyonu üzerinde açısız uyumsuzluk ile yer almaktadır. İçeriğinde bulunan makroskobik molusk faunası esas alınarak Özsayar (1971) tarafından Ponsiyen (Geç Ponsiyen) yaşı ile yaşlandırılmıştır.

3.2.3. Beşirli Formasyonu (PI)

Formasyon ilk kez Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Birimin tipik yüzeylemeleri Trabzon il merkezinde bulunan Boztepe Mahallesi'nde gözlenmekte olup batıda 2 No'lu Beşirli ve Akyazı beldesi ile Yıldızlı (Sera) Deresi, Söğütlü (Kalanima) Deresi, Akçaabat yöresi, Vakfikebir–Beşikdüzü çevresi ve doğuda Yomra ile Araklı yörelerinde yaygın olarak izlenmektedir. Formasyon genel olarak gevşek çimentolu, kötü katmanlı, polijenik ve heterojen özellikte breşik bir yapı sunmaktadır. Birim içerisinde kalın katmanlı kireçtaşları (Kireçhane–Akçaabat), yer yer iri taneli kumtaşları ile bazaltik aglomeralar gözlenmektedir.

Beşirli Formasyonu, Boztepe Mahallesi'nde Miyosen (Ponsiyen) yaşlı kumlu–killi silttaşlarının üzerine uyumsuz olarak yerleşmektedir. Genel olarak ise Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu üzerinde uyumsuz bir stratigrafik ilişki sunmaktadır. Yaklaşık 250 m kalınlığa sahip olan formasyonun yaşı, Miyosen formasyonları üzerine uyumsuz

olarak oturması dikkate alınarak göreceli biçimde Pliyosen (?) olarak değerlendirilmiştir (MTA, 1997).

3.2.4. Kırmızı Killer (Kk)

Trabzon çevresinde Boztepe, Soğuksu, Bostancı, Pelitli ve Yalıncağ yörelerinde sınırlı alanlarda yüzeylenen bu birimler, 1–5 m arasında değişen kalınlıklara sahip kırmızı renkli killerden oluşmaktadır. Söz konusu killerin, alttaki volkanik kayaların ayrışması sonucu geliştiği anlaşılmaktadır. İllit grubu kil mineralleri içeren bu birim ile alttaki ana kaya arasında kademeli bir geçiş izlenebilmektedir. Birimlerin yaşının Pliyo–Kuvaterner aralığında olduğu düşünülmektedir (MTA, 1997).

3.2.5. Alüvyonlar (Aly)

İnceleme alanının da içinde bulunduğu, Doğu Karadeniz'in yükseklerinden doğup Karadeniz'e ulaşan akarsuların, denize yakın ağız kesimlerinde yer alan düz alanlarda depoladığı kum, kil, silt ve çakıl boyutlu malzemelerden oluşan, iyi derecelenmemiş güncel alüvyal çökeller izlenmektedir (MTA, 1997).

3.3. İlksel Özellikler

Çalışma kapsamında hazırlanan karot örneklerinin ısıtılma tabii tutulmadan önceki referans özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

3.3.1. İlksel Petrografik, Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler

3.3.1.1. İlksel Petrografik ve Mineralojik Özellikler

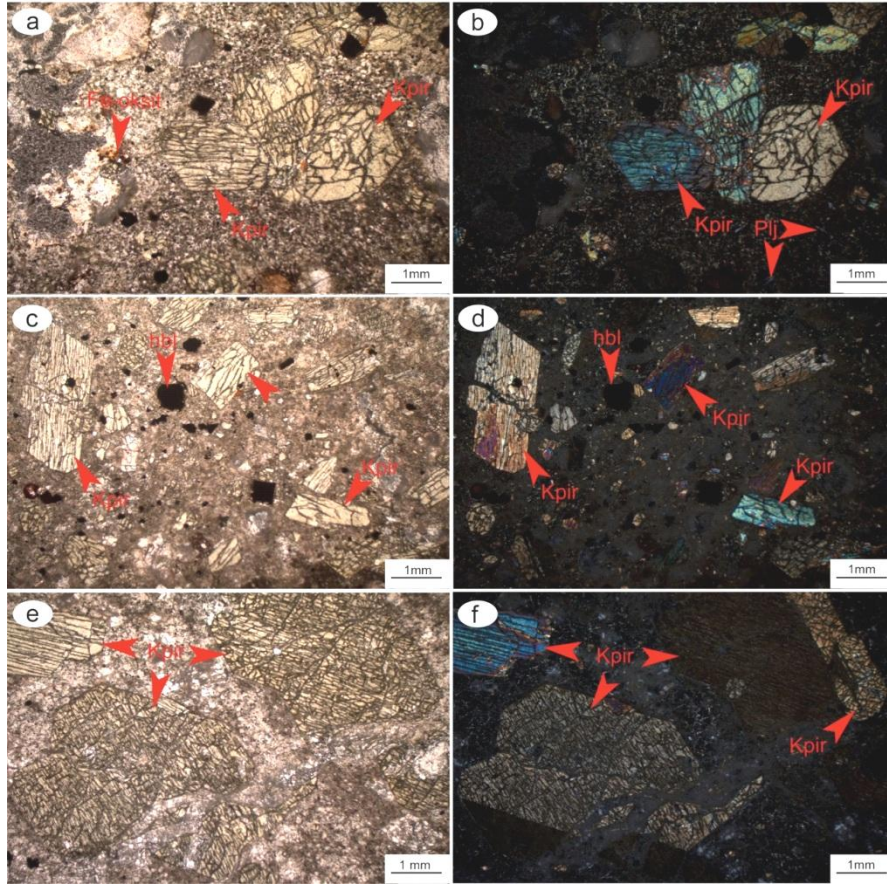
Breşik volkanik kayaların modal mineralojik bileşimi klinopiroksen (kpir), plajiyoklas (pl), analsim (an) ve opak minerallerden (op) oluşmakta olup genellikle hyalo-mikrolitik porfirik, mikrolitik porfirik ve yer yer kümülofirik dokular sergiler.

Bu kayalar, petrografik gözlemler ve kimyasal bileşimleri dikkate alınarak bazanit ve tefrit olarak adlandırılmıştır.

Miyosen yaşlı bazanit/tefrit örneklerinin genel mineralojik bileşimi klinopiroksen, biyotit, hornblend ve opak mineral şeklinde olup hamur içerisinde mikro kristaller halinde lösitten itibaren dönüşmüş analsimler bulunmaktadır (Şekil 16c, d). Bazı örnekler içerisinde farklı büyüklüklerde kayaç parçaları da gözlenmiştir. Plajiyoklas mikrolitleri ve cam fazı bu kayaların hamur kısmını oluşturmaktadır. Genellikle hyalo

mikrolitik porfirik, mikrolitik porfirik (Şekil 16c) ve yer yer de kümülofirik doku (Şekil 16a) sergilerler.

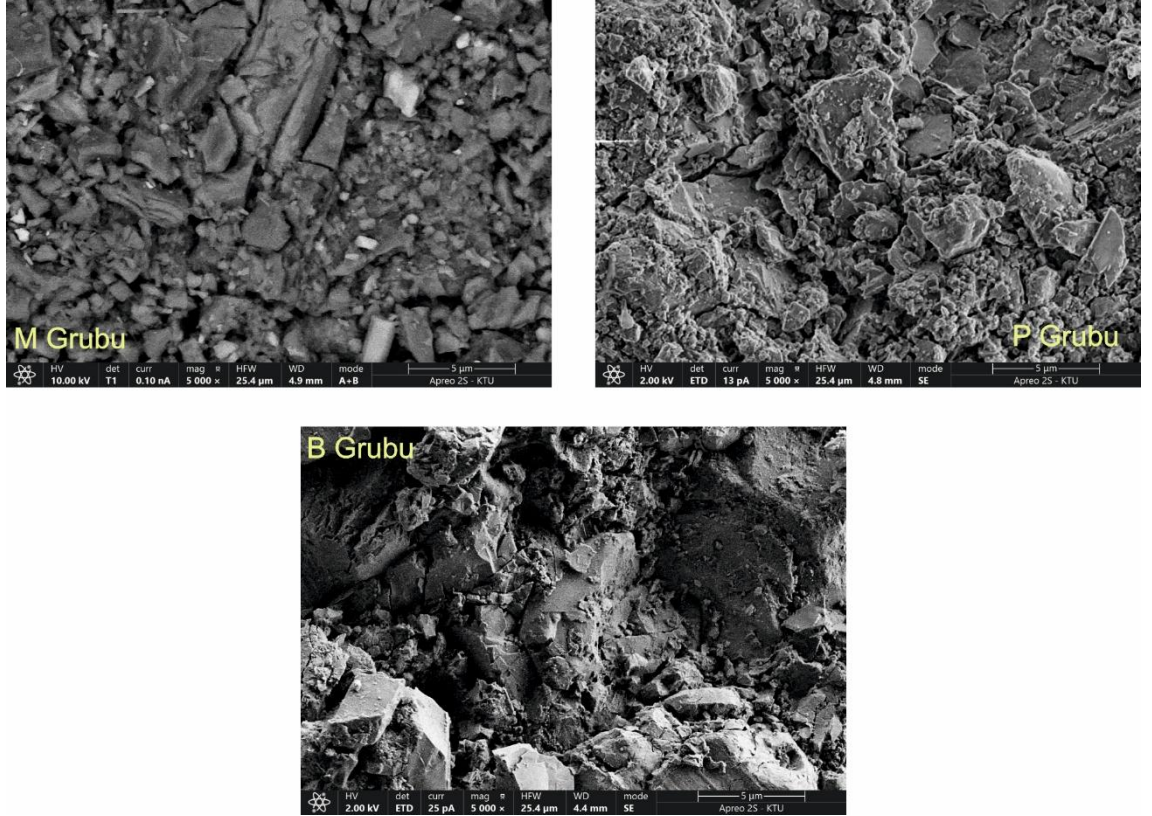
Klinopiroksen, genellikle yarı öz şekilli ve öz şekilsiz (Şekil 16c, e, f) fenokristaller şeklinde, iri kristalli ve iki yönlü iyi gelişmiş dilinimleri ile tanınırlar. Tek nikelde soluk-açık yeşil tonlarda gözlenirken, çapraz nikelde ise II. sıranın canlı girişim renklerini yansıtırlar. Ayrıca, bu kayaların hamur kısmında öz şekilsiz mikrolitler şeklinde yer alırlar. Plajiyoklas, hamurda mikrolitler halinde, tek nikelde renksiz, çapraz nikelde gri-beyaz renklerde ve albit ikizi gösterirler (Şekil 16a). Genellikle öz şekilliden öz şekilsiz kadar değişen şekillerdeki biyotitler tek nikelde kahve tonlarında pleokroizma gösterir ve tek yönde karakteristik dilinimlere sahiptir. Hornblendler genellikle öz şekilsiz opaklaşmış taneler halindedir. Analsim, çoğunlukla hamurda öz şekilli ve yarı özşekilli taneler şeklinde yuvarlağımsı, tek nikelde renksiz, çapraz nikelde ise izotrop özellik sergilerler. Opak mineraller ise genellikle hamurda mikro taneler halinde yer almaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. Miyosen yaşlı bazanit/tefrit örneklerinde gözlenen mikroskopik gözlemler: (a, b) kümülofirik doku gösteren klinopiroksenler (Örnek No: P, T.N., Ç.N.); (c, d) opaklaşmış hornblend ve yarı özşekilli klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: M, T.N., Ç.N.); (e, f) yarı özşekilli, dilinim ve alterasyon kırıkları mevcut iri klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: B, T.N., Ç.N.)

3.3.1.2. İlksel Mikroyapısal Özellikler

Örneklere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 17’de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde P grubu örnekler boşluklu bir yapıda olmanın yanı sıra bir miktar kırık ve çatlak da içermektedir. M grubu örneklerin oldukça ince daneli bir yapıda olduğu, kırık ve çatlak içermediği, ancak boşluklu bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. B grubu örnekler ise görece daha büyük dane boyutuna sahipken çatlak-kırık oranı ve boşluk miktarı diğer gruplara göre daha azdır.



Şekil 17. Çalışmada kullanılan kayaç örneklerine ait SEM görüntüleri

3.3.2. İlksel Fiziksel Özellikler

Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde yüzeyleyen volkanik kayaç örneklerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucu oluşacak fiziksel ve mekanik değişimlerin belirlenebilmesi adına öncelikle oda sıcaklığındaki başlangıç durumları belirlenmiştir. Böylece başlangıç değerleri ile farklı sıcaklık kademelerindeki özellikler karşılaştırılarak ortaya çıkan değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylere başlamadan önce numunelerin çapları ve boyları ölçülerek hacim, yüzey alanı değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında kuru birim hacim ağırlığı hesaplamak için 24 saat süre ile 105 °C sıcaklık altında numuneler bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında etüvden çıkartılan

numuneler tartılarak kütleler belirlenmiştir. Sonrasında ağırlık, yoğunluk, kuru birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, gözeneklilik ve P-dalga hızı hesapları yapılmıştır.

Başlangıç koşullarında, ortalama yoğunluk (ρ) değerleri P, M ve B grubu numuneler için sırasıyla 2,35, 2,25 ve 2,26 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlık açısından bakıldığında, P grubu numunelerin ortalama değeri 23,10 kN/m³, M grubu numunelerin 22,08 kN/m³ ve B grubu numunelerin ise 22,19 kN/m³'tür. P grubu numunelerin ortalama özgül ağırlığı (Gs) 2,82, M grubu numunelerin ortalama özgül ağırlığı 2,82 ve B grubu numunelerin ortalama özgül ağırlığı ise 2,73 olarak belirlenmiştir. Ortalama gözeneklilik (n) değerleri P, M ve B grubu numuneler için %16,64, %20,11 ve %17,28 olarak hesaplanmıştır. Boyuna dalga hızı (Vp) değerleri incelendiğinde ise P grubu numunelerinin ortalama Vp değeri 4.559 m/sn, M grubu numunelerinin 4.182 m/sn ve B grubu numunelerinin 4.005 m/sn olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. P, M ve B grubu örneklerinin başlangıçtaki yoğunluk, kuru birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, gözeneklilik ve P-dalga hızı değerleri

Yer	P	M	B
Sıcaklık			
ρ (g/cm ³)	2,35	2,25	2,26
γ_k (kN/m ³)	23,10	22,08	22,19
25(C ^o)			
Gs	2,82	2,82	2,73
n (%)	16,64	20,11	17,28
Vp (m/sn)	4.559	4.182	4.005

3.3.3. İksel Mekanik Özellikler

P, M ve B grubuna ait numunelerin başlangıç koşullarındaki dayanımlarını belirlemek için öncelikle örnekler 105 °C'lik etüvde 24 saat süre ile kurutulmuş, daha sonra fırın içerisinde soğutulduktan sonra tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. P grubu numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı 83,31 MPa, M grubu numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı 58,50 MPa, B grubu numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı 67,70 MPa olarak bulunmuştur.

Yapılan dolaylı çekme dayanımı deneyleri sonucu P grubu numunelerin dolaylı çekme dayanımı 5,29 MPa, M grubu numunelerin dolaylı çekme dayanımı 3,59 MPa, B grubu numunelerin dolaylı çekme dayanımı 5,54 MPa olarak bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. P, M ve B grubu numunelerin başlangıç koşulu mekanik özellikleri

Yer		P	M	B
Sıcaklık				
25 (C°)	σ_c (MPa)	83,31	58,50	67,70
	σ_t (MPa)	5,29	3,59	5,54

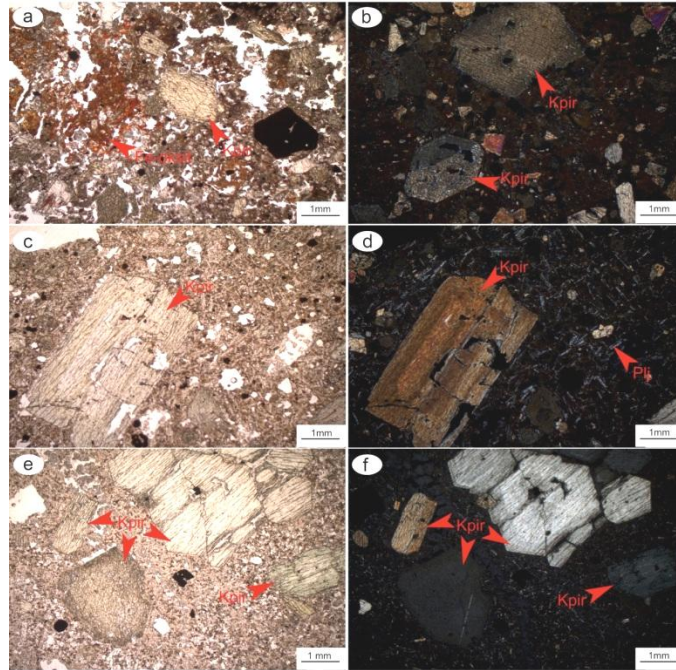
3.4. Isıl İşlem Sonrası Özellikler

Örneklerin ısıtılma işlemi sonrasındaki mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler bu başlık altında incelenmiştir.

3.4.1. Isıl İşlem Sonrası Petrografik, Mineralojik ve Mikroyapısal Özellikler

3.4.1.1. Isıl İşlem Sonrası Petrografik ve Mineralojik Özellikler

Deneyisel olarak 1000 °C'ye kadar ısıtılan örneklerde Fe-oksit boyama miktarında artış gözlenmiştir (Şekil 18a, b). Bununla birlikte bazı örneklerde hamur içerisinde boşlukların arttığı belirlenmiştir (Şekil 18c, d). Ancak örneklerde belirgin bir dokusal ve mineralojik farklılık gözlenmemiştir (Şekil 18e, f).



Şekil 18. Deneyisel olarak 1000 °C ısıtılan Miyosen yaşlı bazanit örneklerinde gözlenen mikroskobik gözlemler: (a) kenarlarında elek doku gelişmiş klinopiroksen ve Fe-oksit boyamaları (Örnek No: P, T.N.); (b) zonlu doku gösteren özşekilli klinopiroksen fenokristali (Örnek No: P, Ç.N.); (c, d) özşekilli klinopiroksen fenokristali ve hamurda plajiyoklas mikrolit ve mikro kristalleri (Örnek No: M, T.N., Ç.N.); (e, f) özşekilli ve yarı özşekilli, iyi dilinim izleri gösteren iri klinopiroksen fenokristalleri (Örnek No: B, T.N., Ç.N.)

3.4.1.2. Isıl İşlem Sonrası Mikroyapısal Özellikler

Isıl işlem aşaması sonrasında tüm örnek grupları üzerinde SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. İnce kesit incelemeleri ise 1000 °C’de ısıl işleme maruz bırakılan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Isıl işleme maruz bırakılan örneklerde, artan sıcaklıkla birlikte mikro-yapısal özelliklerde kademeli ve sistematik değişimler meydana geldiği belirlenmiştir. 200 °C’de dane boyutları ve boşluk oranlarında kayda değer bir değişim gözlenmemesine karşın, 2–4 µm boyutlarında mikro-kırıkların oluşmaya başladığı tespit edilmiştir (Şekil 19). Sıcaklığın 400 °C’ye yükselmesiyle mikro-kırıkların boyutlarının yaklaşık 15 µm’ye ulaştığı, çatlak açıklıklarının arttığı ve özellikle M grubu örneklerde gözenek gelişiminin belirginleştiği gözlenmiştir (Şekil 19). 600 °C’de gözenek boyutlarında belirgin bir artış meydana gelmiş olup buna paralel olarak gözenek yoğunluğunda da önemli bir artış gerçekleşmiştir (Şekil 19). 800 °C’de tüm örnek gruplarında gözeneklerin ve mikro-çatlakların büyümeye devam ettiği, ayrıca daneler arasında topaklanmaların oluşmaya başladığı belirlenmiştir. 1000 °C’de ise gözenek boyutlarının 50 µm’ye kadar ulaştığı, yüzeylerdeki topaklanmaların belirgin şekilde arttığı ve çatlak açıklıklarının 3–4 µm seviyesine çıktığı tespit edilmiştir. Bu bulgular yüksek sıcaklıklarda kayaçların mikro-yapısal bütünlüğünün önemli ölçüde bozulduğunu ortaya koymuştur (Şekil 19).

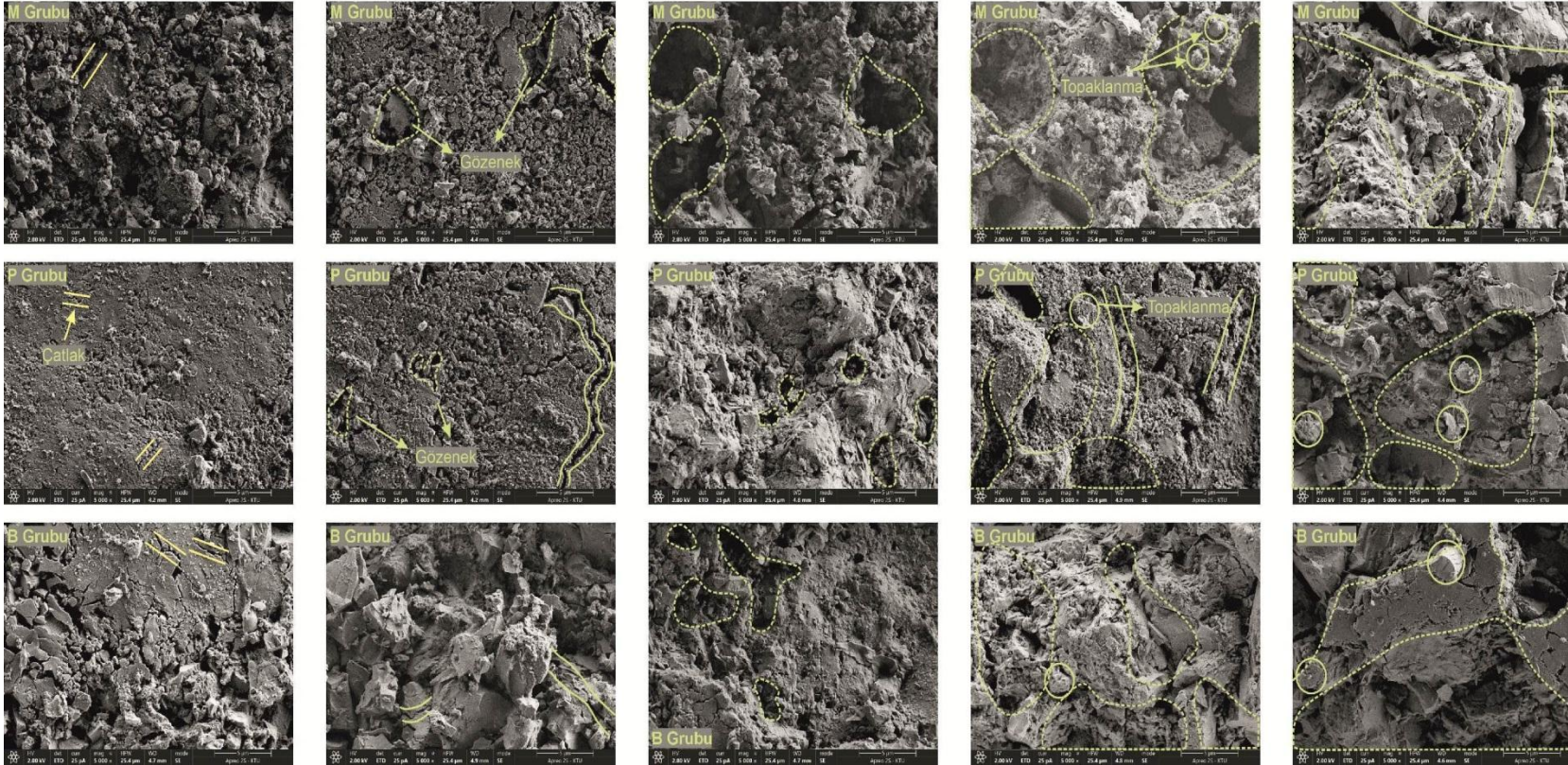
200°C

400°C

600°C

800°C

1000°C



Şekil 19. Örneklerin mikroyapısal özelliklerinin ısı ile değişimi

3.4.2. Isıl İşlem Sonrası Fiziksel Özellikler

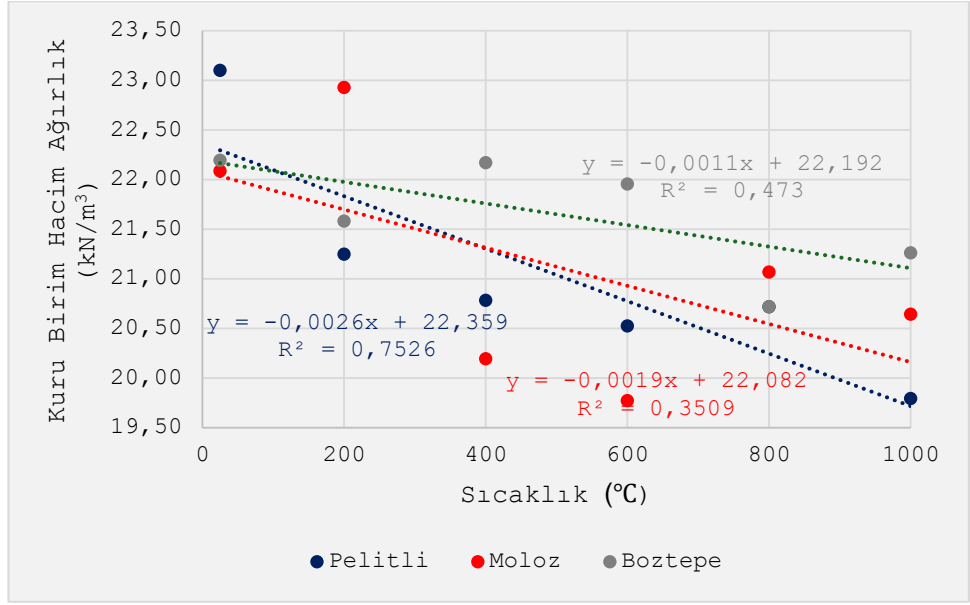
3.4.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

Örneklerin ısı işlem sonrasındaki kuru birim hacim ağırlık değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Şekil 20'de örneklerin ısı işlem sürecinde KBHA'larındaki değişim gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, örneklerin KBHA değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı belirlenmiştir.

Örneklerin KBHA değerlerinin sıcaklık artışıyla azalması, volkanik kayaç bünyesinde gelişen termal hasarın doğrudan bir göstergesidir. Isıl genleşme farkları nedeniyle mineral taneleri arasında oluşan gerilmeler, özellikle camsı fazlar ve farklı genleşme katsayısına sahip mineraller arasında mikro çatlak oluşumunu teşvik etmektedir. Bu mikro çatlakların gelişimi, kayaçların toplam hacmini artırırken kütlede belirgin bir artış yaratmadığından, kuru birim hacim ağırlıkta sistematik bir düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda bağıl nemin tamamen uzaklaşması ve bazı uçucu bileşenlerin kaybı da bu azalmayı destekleyen ikincil bir etken olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait kuru birim hacim ağırlık değerleri

Sıcaklık (°C)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)		
	P	M	B
25	23,10	22,08	22,19
200	21,25	22,93	21,58
400	20,78	20,19	22,17
600	20,52	19,77	21,95
800	20,72	21,06	20,72
1000	19,79	20,64	21,26



Şekil 20. Örneklerin kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

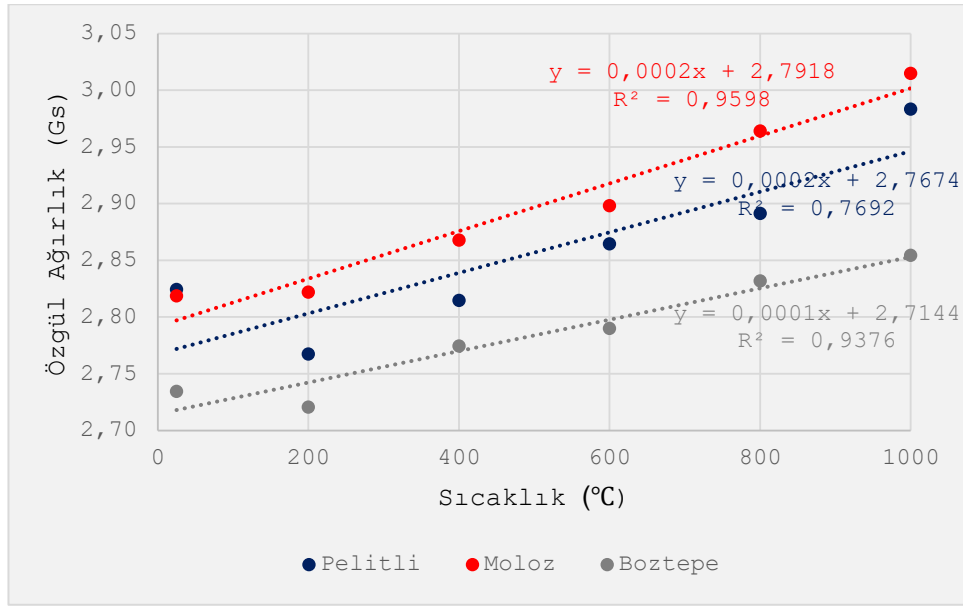
3.4.2.2. Özgül Ağırlık (Gs)

Örneklerin ısı işlem sonrasındaki özgül ağırlık değerleri piknometre deneyi ile belirlenmiş olup Tablo 6'da verilmiştir. Şekil 21'de örneklerin ısı işlem sürecinde özgül ağırlıklarındaki değişim gösterilmiştir. Örneklerin özgül ağırlıklarının artan sıcaklıkla birlikte arttığı gözlemlenmiştir.

Piknometre deneyiyle belirlenen özgül ağırlık değerlerinin artan sıcaklıkla birlikte artış göstermesi, kayaçların katı fazına ilişkin bir yoğunlaşma veya bileşimsel değişime işaret etmektedir. Piknometre deneyinde yalnızca katı mineral fazının dikkate alınması nedeniyle, mikro çatlak ve açık gözeneklerin etkisi büyük ölçüde elimine edilmektedir. Isıl işlem sırasında özellikle düşük yoğunluklu camsı fazların yapısal yeniden düzenlenmeye uğraması, kısmi kristalleşme (devitrifikasyon) veya mineral fazlarda meydana gelen dönüşümler, katı fazın efektif yoğunluğunun artmasına yol açabilmektedir. Bu durum, özgül ağırlıktaki artışı açıklayan temel mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 6. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait özgül ağırlık değerleri

Özgül Ağırlık (Gs)			
Sıcaklık (°C)	P	M	B
25	2,82	2,82	2,73
200	2,77	2,82	2,72
400	2,81	2,87	2,77
600	2,86	2,90	2,79
800	2,89	2,96	2,83
1000	2,98	3,01	2,85



Şekil 21. Örneklerin özgül ağırlık değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

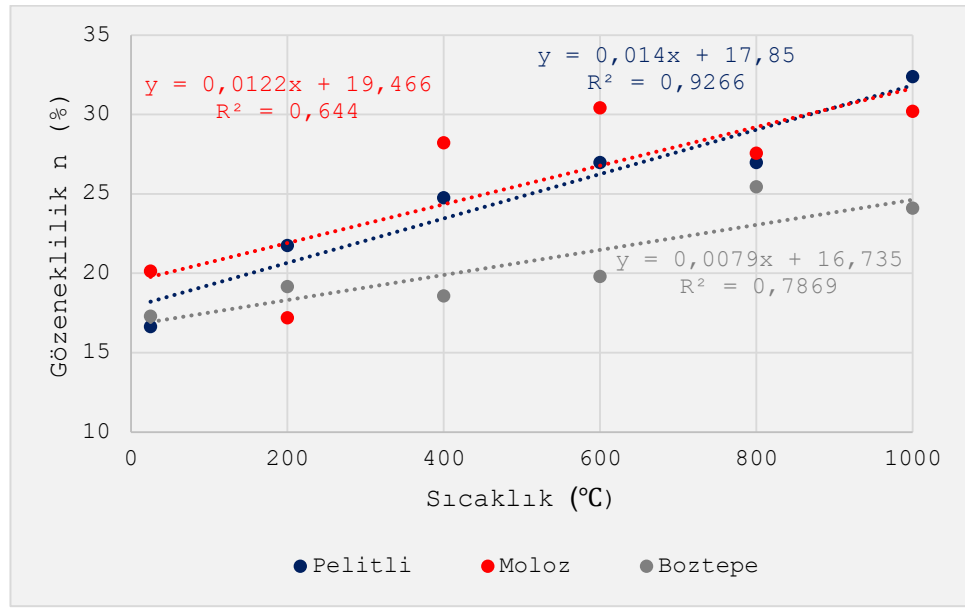
3.4.2.3. Gözeneklilik

Örneklerin ısı işlem sonrasındaki gerçek gözeneklilik değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Şekil 22’de örneklerin ısı işlem sürecinde gözeneklilik değişimi gösterilmiştir. Örneklerin gözenekliliğinin artan sıcaklıkla birlikte arttığı gözlemlenmiştir.

Gerçek gözeneklilik değerlerinin sıcaklıkla birlikte artması, KBHA’daki azalma ile tutarlı bir sonuçtur ve volkanik kayaçların ısı hassasiyetini vurgulamaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte mikro çatlakların sayısının ve sürekliliğinin artması, mevcut kapalı gözeneklerin açılması ve yeni boşlukların oluşması, kayaç bünyesindeki toplam boşluk hacmini artırmaktadır. Volkanik kayaçların doğal olarak sahip olduğu birincil gözeneklilik (veziküler yapı) ile ısı işlem sonucu gelişen ikincil gözeneklilik (mikro çatlaklar) birlikte değerlendirildiğinde, gözeneklilikteki artışın özellikle orta ve yüksek sıcaklık kademelerinde daha belirgin hale gelmesi beklenen bir sonuçtur.

Tablo 7. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait gözeneklilik değerleri

Sıcaklık (°C)	Gözeneklilik (%)		
	P	M	B
25	16,64	20,11	17,28
200	21,74	17,18	19,14
400	24,73	28,21	18,55
600	26,97	30,41	19,79
800	26,96	27,55	25,43
1000	32,37	30,19	24,08



Şekil 22. Örneklerin gözeneklilik değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

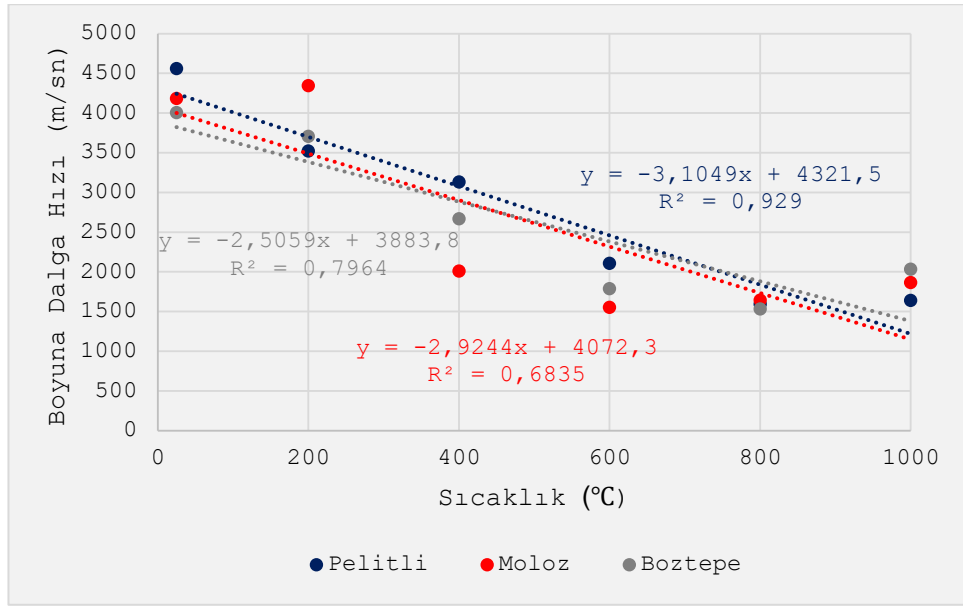
3.4.2.4. P-Dalga Hızı

Örneklerin ısıtılma işlemi sonrasındaki P-Dalga hızı değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Şekil 23’te örneklerin ısıtılma sürecinde P-Dalga hızı değişimi gösterilmiştir. Örneklerin P-Dalga hızının artan sıcaklıkla birlikte azaldığı gözlemlenmiştir.

P, M ve B grubu kayaçlar arasında P-dalga hızındaki değişimlerin farklı eğilimler göstermesi, kayaçların mineralojik bileşimi, dokusal özellikleri ve başlangıçtaki fiziksel özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Özellikle M grubu örneklerde 400 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda P-dalga hızındaki keskin düşüş, bu kayaç grubunda mikro çatlak yoğunluğunun ve yapısal bozulmanın daha belirgin olduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık bazı yüksek sıcaklık kademelerinde P-dalga hızında sınırlı artışların gözlenmesi, mikro çatlakların kısmen kapanması ve sinterleşme etkisiyle kayaç bünyesinde lokal sıkılaşımların meydana gelmesiyle açıklanabilir.

Tablo 8. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait P-dalga hızı değerleri

Sıcaklık (°C)	P-Dalga hızı (m/sn)		
	P	M	B
25	4.559	4.182	4.005
200	3.519	4.342	3.704
400	3.129	2.008	2.666
600	2.104	1.549	1.787
800	1.590	1.642	1.529
1000	1.636	1.863	2.031



Şekil 23. Örneklerin P dalga hızı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

3.4.3. Isıl İşlem Sonrası Mekanik Özellikler

3.4.3.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı

Örneklerin her bir sıcaklık kademesindeki tek eksenli sıkışma dayanımları Tablo 9'da verilmiştir. Şekil 24'te artan sıcaklıkla birlikte UCS değerlerindeki değişim gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı belirlenmiştir.

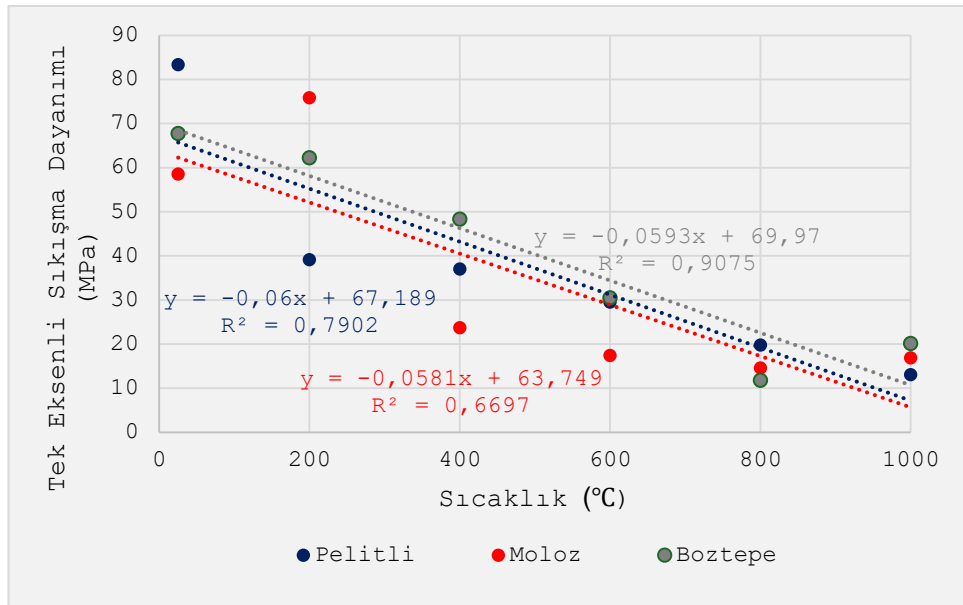
Isıl işlem sürecinde kayaç bünyesinde meydana gelen termal gerilmeler, mineral taneleri arasındaki bağların zayıflaması ve mikro çatlakların gelişimi, dayanım kaybının temel nedenleri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle farklı termal genleşme katsayılarına sahip klinopiroksen, plajiyoklas ve hornblend gibi mineraller arasında oluşan gerilme farkları, tane sınırlarında çatlak yoğunluğunu artırarak kayaçların mekanik bütünlüğünü zayıflatmaktadır. Bunun yanı sıra hornblend ve biyotit gibi

hidratlı minerallerde gerçekleşen dehidratasyon süreçleri ve opak minerallerde meydana gelen oksidasyon reaksiyonları, kayaçların kristal yapısında bozulmalara yol açarak dayanım özelliklerinin azalmasına etki etmektedir.

400 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda tüm kayaç gruplarında UCS değerlerinin hızlı bir şekilde azalması mikroyapısal bozulmaların belirginleştiğini göstermektedir.

Tablo 9. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri

Sıcaklık (°C)	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)		
	P	M	B
25	83,31	58,50	67,70
200	39,08	75,83	62,22
400	36,99	23,66	48,32
600	29,48	17,38	30,45
800	19,75	14,56	11,77
1000	13,03	16,82	20,09



Şekil 24. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

3.4.3.2. Dolaylı Çekme Dayanımı

Örneklerin her bir sıcaklık kademesindeki dolaylı çekme dayanımları Tablo 10'da verilmiştir. Şekil 25'te artan sıcaklıkla birlikte dolaylı çekme dayanımı değerlerindeki değişim gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, örneklerin dolaylı çekme dayanımları değerlerinin artan sıcaklıkla azaldığı belirlenmiştir. Tablo 12 incelendiğinde P grubu Bazanit örneklerinde başlangıç koşullarında 5,29 MPa olan

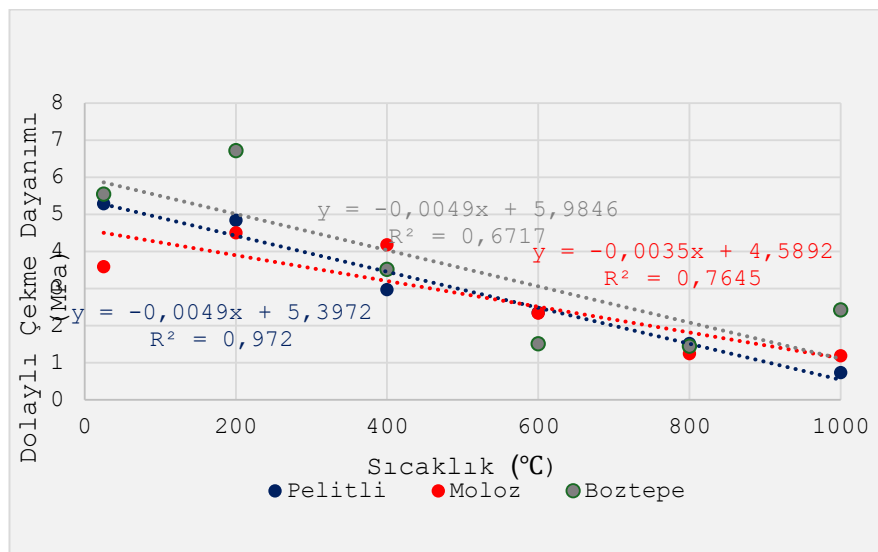
ortalama dolaylı çekme dayanımı değerinin 1000 °C sıcaklık koşullarında 0,73 MPa olarak önemli miktarda azaldığı görülmektedir.

P grubu bazanit örneklerinde yüksek sıcaklık artışıyla birlikte dolaylı çekme dayanımındaki belirgin azalmanın; mineralojik bileşim, porfirik doku, farklı mineraller arasındaki ısıl genleşme ve buna bağlı gelişen mikro çatlak oluşumu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

B grubu bazanit örneklerinde sıcaklık artışıyla birlikte dolaylı çekme dayanımının 800 °C'ye kadar azalmasına karşın, 1000 °C'de tekrar artış göstermesi, yüksek sıcaklıkta gelişen mineralojik ve mikroyapısal değişimlerle ilişkilendirilmektedir. Özellikle 1000 °C civarında kayaç hamurunda kısmi ergime (sinterleşme) ve yeniden kristalleşme süreçlerinin etkili olduğu, bu durumun tane sınırlarında oluşan mikro çatlakların kısmen kapanmasına ve boşlukların azalmasına yol açtığı düşünülmektedir.

Tablo 10. Sıcaklık kademelerine göre P, M ve B grubu kayaçlarına ait dolaylı çekme dayanımı değerleri

Sıcaklık (°C)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)		
	P	M	B
25	5,29	3,59	5,54
200	4,84	4,50	6,72
400	2,97	4,18	3,52
600	2,35	2,34	1,51
800	1,52	1,25	1,44
1000	0,73	1,18	2,43



Şekil 25. Örneklerin dolaylı çekme dayanımı değerlerinin artan sıcaklık koşullarına bağlı değişimi

3.5. Tartışma

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sıcaklık artışına bağlı olarak tüm örnek gruplarında (P, M ve B) tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı değerlerinde önemli oranlarda azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıkların kayaçların dayanım özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Koca vd. (2006) tarafından mermerler üzerinde yapılan çalışmada da sıcaklık artışına bağlı olarak tek eksenli sıkışma dayanımında belirgin düşüşler gözlenmiştir. Aynı çalışmada 100–800 °C aralığında yapılan deneylerde dayanım parametrelerinin azaldığı ifade edilmiştir. Bu bulgular, bu tez kapsamında elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Fiziksel özellikler açısından değerlendirildiğinde, bu çalışmada kuru birim hacim ağırlık değerlerinin sıcaklık artışı ile azaldığı, buna karşılık gözeneklilik ve özgül ağırlık değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, Ferrero ve Marini (2001) tarafından yapılan araştırmada yüksek sıcaklık etkisiyle kayaçlarda mikro çatlakların geliştiği ve bunun gözeneklilik artışına neden olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Chaki vd. (2008) granitler üzerinde yaptıkları çalışmada sıcaklık artışıyla gözeneklilik ve geçirgenliğin arttığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, bu çalışmada belirlenen gözeneklilik artışı ile paralellik göstermektedir.

Ultrasonik hız ölçümleri açısından değerlendirildiğinde, bu çalışmada tüm örneklerde P-dalga hızlarının 600 °C'ye kadar azaldığı ve sonrasında sabit kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, kayaç iç yapısında meydana gelen mikro çatlakların dalga yayılımını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Ünal vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da sıcaklık artışı ile birlikte kayaçlarda bozunmanın arttığı ve bu durumun ultrasonik hız ölçümleri ile tespit edilebildiği ifade edilmiştir. Ayrıca Yavuz vd. (2009) da sıcaklık artışı ile ultrasonik hız değerlerinin azaldığını belirtmiştir. Bu bulgular, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

Mekanik özelliklerde gözlenen değişimlerin sıcaklık seviyelerine bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle 600 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda dayanım kayıplarının daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Bu durum literatürdeki bazı çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. Mao vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, 600 °C'ye kadar mekanik özelliklerde sınırlı değişim gözlenirken, bu sıcaklıktan sonra ani değişimlerin meydana geldiği ifade edilmiştir. Bu bulgular, bu çalışmada özellikle yüksek sıcaklık seviyelerinde gözlenen belirgin dayanım kayıpları ile örtüşmektedir.

Mikroyapısal incelemeler sonucunda, bu çalışmada sıcaklık artışı ile birlikte öncelikle mikro çatlakların oluştuğu, daha sonra bu çatlakların gelişerek ikincil

gözeneklere dönüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla birlikte çatlak genişliklerinde artış ve tane yapısında bozulmalar gözlenmiştir. Ferrero ve Marini (2001) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde mikro çatlak gelişiminin yüksek sıcaklık etkisiyle arttığı belirtilmiştir. Bu durum, mikroyapısal değişimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimlerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında Trabzon ili Ortahisar ilçesi Pelitli (P), Moloz (Pazarkapı) (M) ve Boztepe (B) mahallelerinden alınan volkanik kayaç örneklerinin mineralojik, mikroyapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin 1000 °C'ye kadar artan sıcaklık koşulları altındaki değişimi incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan karot örnekleri üzerinde yoğunluk (ρ), kuru birim hacim ağırlık (KBHA), özgül ağırlık (Gs), gözeneklilik (n), P-dalga hızı (Vs), tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklık kademelerinde 2 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan örnekler üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca örneklerin mineralojik ve mikroyapısal özelliklerini ortaya koymak amacıyla optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar sıcaklık artışının kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde belirgin ve sistematik etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Genel olarak artan sıcaklıkla birlikte P-dalga hızı, kuru birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı değerlerinde azalma; buna karşılık gözeneklilik ve özgül ağırlık değerlerinde artış eğilimi belirlenmiştir. Bu durum, kayaçların mikroyapısında gelişen termal hasar mekanizmalarının hem elastik hem de dayanım parametrelerini doğrudan kontrol ettiğini ortaya koymaktadır.

SEM görüntüleri ve mikroskobik incelemeler, sıcaklık artışıyla birlikte kayaç bünyesinde önce mikro çatlakların ve kırıkların oluştuğunu, daha yüksek sıcaklıklarda ise ikincil gözeneklerin geliştiğini göstermektedir. Sıcaklık arttıkça çatlakların açıklık ve uzunluklarında artış, gözeneklerin boyutlarında büyüme gözlenmiş; 600 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda mineral tanelerinde topaklanma ve yeniden düzenlenme süreçlerinin başladığı belirlenmiştir. 1000 °C'ye ulaşıldığında ise orijinal kayaç dokusunun önemli ölçüde bozulduğu ve mikroyapısal bütünlüğün zayıfladığı gözlemlenmiştir. Bu mikroyapısal değişimler, kuru birim hacim ağırlık ve P-dalga hızındaki azalış ile gözeneklilikteki artışın temel nedenini oluşturmaktadır.

Özgül ağırlık değerleri, tüm örnek gruplarında artan sıcaklıklarla birlikte artmıştır. Bilindiği gibi özgül ağırlık değerleri daneler arası boşluk ve gözeneklerden bağımsızdır ve yalnızca katı fazı dikkate alır. Artan sıcaklıkla danelerde topaklanmaların meydana gelmesi, dane içi gözeneklerin azalmasına ve böylece özgül ağırlık değerlerinin artmasına neden olmuştur.

P grubu bazanit örneklerinde başlangıç koşulları ile 1000 °C arasındaki sıcaklık artışıyla birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinde yaklaşık %14 oranında bir düşüş belirlenmiştir. Bu azalma, kayaç bünyesinde artan boşluk oranı ve mikroyapısal bozulmanın bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Buna paralel olarak P-dalga hızı yaklaşık %64 oranında azalmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama değerleri 83,31 MPa'dan 13,03 MPa'a gerileyerek yaklaşık %84 oranında düşmüştür. Ortalama dolaylı çekme dayanımı değerleri de 5,29 MPa'dan 0,73 MPa'a gerileyerek yaklaşık %86 oranında azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, P grubu kayaçlarda sıcaklık artışının mikro çatlak yoğunluğunu belirgin biçimde artırarak hem tek eksenli sıkışma hem de dolaylı çekme dayanımını önemli ölçüde zayıflattığını ortaya koymaktadır.

M grubu örneklerde sıcaklık artışıyla birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinde yaklaşık %7 oranında bir azalma belirlenmiştir. Özgül ağırlık değerlerinde de sıcaklık artışına bağlı olarak sınırlı bir düşüş gözlemlenmiştir. Buna paralel olarak P-dalga hızının yaklaşık %55 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ise sıcaklık artışıyla birlikte yaklaşık %71 oranında azaldığı belirlenmiştir. Dolaylı çekme dayanımı değerlerinde de artan sıcaklıkla birlikte belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Özellikle 400 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda UCS ve P-dalga hızındaki keskin düşüşler, bu kayaç grubunda termal gerilmelerin ve mikroyapısal bozulmanın daha yoğun gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

B grubu örneklerde UCS değerlerinin yaklaşık %70 oranında azaldığı, P-dalga hızının yaklaşık %49 oranında düştüğü ve gözenekliliğin yaklaşık %39 oranında arttığı belirlenmiştir. Dolaylı çekme dayanımı değerlerinde 800 °C'ye kadar süregelen azalışın ardından 1000 °C'de sınırlı bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda kayaç hamurunda gelişen kısmi ergime (sinterleşme) ve yeniden kristalleşme süreçleriyle ilişkilendirilmiştir. Söz konusu süreçlerin tane sınırlarında oluşan mikro çatlakların kısmen kapanmasına ve boşluk oranının azalmasına neden olarak çekme dayanımında lokal bir iyileşmeye yol açtığı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, genel eğilim dikkate alındığında B grubu kayaçlarda da sıcaklık artışının mekanik dayanım üzerinde olumsuz bir etki yarattığı açıkça görülmektedir.

Jeolojik açıdan değerlendirildiğinde, klinopiroksen, plajiyoklas ve hornblend gibi mineraller arasındaki farklı termal genişleme davranışlarının tane sınırlarında gerilme birikimine ve mikro çatlak oluşumuna neden olduğu anlaşılmaktadır. Hornblend ve biyotit gibi hidratlı minerallerde gerçekleşen dehidratasyon reaksiyonları, mineral yapısında hacimsel değişimlere yol açarak gözeneklilik artışını hızlandırmıştır. Ayrıca opak minerallerde meydana gelen oksidasyon süreçleri ve bazı mineral fazlarında

gerçekleşen rekristalizasyon olayları, kayaçların mikroyapısal bütünlüğünü bozarak elastik ve mekanik özelliklerin zayıflamasına etki etmektedir.

Kaya mekaniği açısından bakıldığında, gözeneklilikteki artış ile tek eksenli sıkışma dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve P-dalga hızındaki azalış arasında belirgin bir ters korelasyon bulunduğu görülmektedir. Mikro çatlak yoğunluğundaki artış kayaçların hem sıkışma hem de çekme dayanımını azaltmıştır. Kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki düşüş ise kayaç bünyesinde artan boşluk oranının ve mikroyapısal bozulmanın doğrudan bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, sıcaklık artışının kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini birlikte kontrol eden temel bir parametre olduğu ve özellikle yüksek sıcaklık koşullarında kayaçların mühendislik davranışında ciddi kayıplara yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan kayaçların davranışlarının belirlenmesi, yangın ve benzeri afetler sonrasında yapı güvenliğinin daha sağlıklı biçimde değerlendirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Özellikle doğal taş kullanılan yapılarda sıcaklığa bağlı dayanım değişimlerinin ortaya konulması, can ve mal kayıplarının azaltılmasına yönelik koruyucu önlemlerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklık etkisi yalnızca yüzey yapıları için değil, nükleer atıkların depolanmasında kullanılan derin jeolojik bariyer sistemleri açısından da kritik bir mühendislik problemi oluşturmaktadır. Bu tür yapılarda kayaçların uzun süreli termal etkiler altındaki fiziksel ve mekanik davranışlarının bilinmesi, güvenli depolama koşullarının sağlanabilmesi açısından temel gerekliliklerden biridir. Ülkemizde yapımı devam eden nükleer enerji santralleri dikkate alındığında, yüksek sıcaklığın kayaçların özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması; mühendislik, çevre güvenliği ve sürdürülebilir enerji politikaları açısından önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdulagatova, Z. Z., Kallaev, S. N., Omarov, Z. M., Bakmaev, A. G., Grigor'Ev, B. A. ve Abdulagatov, I. M. (25 Ekim 2019). Temperature effect on thermal diffusivity and heat-capacity and derived values of thermal-conductivity of reservoir rock materials. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 6, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s40948-019-00131-2>
- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Almashramah, Y. (2020). *The Petrogenesis and Geodynamic Setting of the Late Cretaceous Plutonic and Volcanic Rocks from Çaykara Magmatic Complex (Arakli, Trabzon, NE Turkey)* [Yayımlanmış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=4J_FzTwlrMCH4qBROpXPH73gojZJGp085u8FWbwOA6UoA3u8pHVcaqecMBuQ3whW
- Altuğ, M. (2012). *Sıcaklığın yapı malzemesi olarak kullanılan kayalar üzerindeki etkisi* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=rcbWnuqW6HxCZ_98ARapgvK6jOIPImH1moJP29Yjsx9-j91JRB8r1L-syOteKMK
- Arslan, M. ve Aslan, Z. (2006). Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 177-193. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.03.002>
- Arslan, M., Kadir, S., Abdioğlu, E. ve Kolaylı, H. (1 Haziran 2006). Origin and formation of kaolinite in saprolite of the Tertiary alkaline volcanic rocks, Eastern Pontides, NE Turkey. *Clay Minerals*, 41, 599-619. <https://doi.org/10.1180/0009855064120208>
- ASTM. (1994). (American Society for Testing and Materials), *Annual Book Of ASTM Standards Construction: Soil and Rock*, ASTM Publication. https://www.astm.org/BOOKSTORE/BOS/TOCS_2019/04.08.html
- ASTM D4644-1. (2016). *Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Other Similar Weak Rocks*, ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://store.astm.org/d4644-16.html>

- Aydın, F. (2003). *Değirmendere vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) volkanitlerinin mineral kimyası, petrolojisi ve petrojenezi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi] Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Aydın, F., Karlı, O. ve Chen, B. (2008a). Petrogenesis of the Neogene alkaline volcanics with implications for post-collisional lithospheric thinning of the Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 104(1-4), 249-266. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.010>
- Aydın, F., Karlı, O. ve Sadıklar, M. B. (2008b). Compositional variations and zoning types of low-pressure clinopyroxenes in the Neogene alkaline volcanic rocks with petrogenetic implications, northeastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 18(2): 163-186. <https://doi.org/10.3906/yer-0802-2>
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taşlı, K., AKDAĞ, K., ve Özgür, S., (1995). Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): The formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform. *giornale di geologia*, cilt.57, 233-244. <https://avesis.ktu.edu.tr/yayin/7ccedbae-81d7-4338-b73a-4541314084be/cretaceous-rifting-of-the-eastern-pontide-carbonate-platformne-turkey-the-formation-of-carbonate-breccias-and-turbidites-as-evidence-of-a-drowned-platform>
- Brotons, V., Tomas, R., Ivorra, S., Alarcon, J.C. (2013). Temperature influence on physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite. *Engineering Geology*, 167, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.10.012>
- Chaki, S., Takarlı, M., Agbodjan, W. P. (2008). Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions. *Constr. Build. Mater.* 22, 1456-1461. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.002>
- Crosby, Z. K., Gullet, P. M., Akers, S. A., Graham, S. S. (2018). Characterization of mechanical behavior of salem limestone containing thermally induced microcracks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 101, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.11.002>
- Dağ, S. (2016). Comparison of the apparent porosity and porosity values on different rock types (Gümüşhane-Türkiye). *International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS)*, Saraybosna, 3, page 705-712.
- Dağ, S., Alemdağ, S., Alkan, F. (2015, Eylül, 3-5). *Kayalarda Gözeneklilik ile Dayanım Özellikleri Arasında Görgül İlişkilerin Araştırılması* [Bildiri Sunumu] MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Trabzon.

<http://www.muhsjeoder.org.tr/sempozyum/dosyalar/2015/Muhsjeo2015AbstractBook.pdf>

- Dağ, S., Alemdağ, S., Kaya, A. (2013, Şubat, 5-7). *The Effect of Freezing-Thawing on Geotechnical Properties Example From Gümüşhane Granites* [Kongre Sunumu] IIIrd, International Marble and Natural Stones Congress, İzmir. [https://www.izfas.com.tr/images2/img/1874/File/2013_Kongrebildiri\(1\).pdf](https://www.izfas.com.tr/images2/img/1874/File/2013_Kongrebildiri(1).pdf)
- Dünder, B. (2017). Mavriyas Granitoyidi (Çaykara-Trabzon) ve Çevre Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal Ve Petrolojik Özelliklerinin İncelenmesi, [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi] YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=q3-d9QtLoVA2OMExHskJpeyP6wTmM7OfJIHpCFC84VJGkuA3L5exlQREWjdEniJP>
- Emirov, S. N., Aliverdiev, A. A., Zarichnyak, Y. P. ve Emirov, R. M. (2021). Studies of the effective thermal conductivity of sandstone under high pressure and temperature. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54, 3165-3174. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02353-3>
- Eren, M. (1983). *Gümüşhane-Kale arasının jeolojisi ve mikrofasiyes incelemesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Ersoy, H., Atalar, C., Sünnetci, M. O., Kolaylı, H., Karahan, M. ve Ersoy, A. F. (2021). Assessment of damage on geo-mechanical and micro-structural properties of weak calcareous rocks exposed to fires using thermal treatment coefficient. *Engineering Geology*, 284, 106046. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106046>
- Ersoy, H., Kolaylı, H., Karahan, M., Harputlu Karahan, H., Sünnetci, M. O. (2019). Effect of thermal damage on mineralogical and strength properties of basic volcanic rocks exposed to high temperatures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 1515–1525. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1208-z>
- Ersoy, H., Yalçınalp, B. ve Babacan Erden, A. (2014). Saraftepe (Trabzon) Tefrit Silinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38, 1, 2014, 39-50. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/ce58133153db6e1_ek.pdf
- Eyuboglu, Y., Bektas, O., Seren, A., Maden, N., Jacoby, W. R., ve Özer, R. (2006). Three axial extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the eastern Pontides (NE Turkey), *Geologica Carpathica*, 57, 337–346. https://www.researchgate.net/publication/279586531_Three-

directional_extensional_deformation_and_formation_of_the_Liassic_rift_basins_in_the_Eastern_Pontides_NE_Turkey

- Ferrero, A. M., Marini, P. (2001). Technical note: Experimental studies on the mechanical behaviour of two thermal cracked marbles. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 34, 57–66. <https://link.springer.com/article/10.1007/s006030170026>
- Güven, İ. H. (1993). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250000 ölçekli jeolojik ve metalojenik haritası.*, MTA, Ankara.
- Güven, İ.H. (1998). *1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Doğu Karadeniz Bölgesi.*MTA, Ankara.
- Han, G., Jing, H., Su, H., Liu, R., Yin, Q., Wu, J. (2019). Effects of thermal shock due to rapid cooling on the mechanical properties of sandstone. *Environmental Earth Sciences*, 78, 146. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8151-1>
- Harputlu, H. (2016). *Sarraftepe (Trabzon) Teftirinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Sıcaklık Etkisiyle Değişiminin İncelenmesi* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=cbOXH84ZayrLjc0tI-QXKv-TvXOU1dQ3yC8AM8lgwkKuNH-nIwRZ2UliOdJF2XwP>
- ISRM. (2007). *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods. In: Ulusay R, Hudson JA, eds. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group. Turkey* <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-2007isrmbook.pdf>
- İnaltun, S. (2023). *Yangına Maruz Kalan Kireçtaşı ve Mermerlerin Mikro-Yapısal, Fiziksel, Dayanım Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=G_oJ1rKE4SgJUKomyAKpR2P-D572PRVV3Jdyb2ThvoXaKMNmlKNfy__ghoNE_GbS
- Karslı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Ketenci, M., Chen, B. ve Kandemir, R. (2012). Deciphering the shoshonitic monzonites with I-type characteristic, the Sıdağı pluton, NE Turkey: magmatic response to continental lithospheric thinning, *Journal of Asian Earth Science*, 51, 45-62. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.02.003>
- Keskin, S. (2007). *Güney Doğu (GD) Karadeniz Sahil Kesminin (Trabzon Yöresi) Taraçaları ve Aktif Tektoniği* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=wBmNpkQC9Nhi90NLW7E7-XEOTL99-2uflmDYRI4H0tT-SHhZTRz89AWbbDgMKot2>

- Ketin, İ. (1966). ANADOLU’NUN TEKTONİK BİRLİKLERİ. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66(66), 20-37. <https://izlik.org/JA55LT45PH>
- Ketin, İ., Canitez, N. (1972). *Yapısal Jeoloji*. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.
- Koca, M. Y., Ozden, G., Yavuz, A. B., Kincal, C., Onargan, T. ve Kucuk, K. (2006). *Changes in the engineering properties of marble in fire-exposed columns. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 43, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.09.007>.
- Kolaylı, H., Sünnetci, M. O., Ersoy, H., Karahan, M. (2023). Yangın Sonrası Soğma Koşullarında Karbonat Yapı Taşlarındaki Mineralojik ve Mikro-Yapısal Değişimlerin Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 46(2), 99-119. <https://doi.org/10.24232/jmd.1226600>
- Korkmaz, S., Tüysüz. N., Er, M., Musaoğlu, A. ve Keskin, İ. (1995). Stratigraphy of The Eastem Pontides, *Geology o f the Black Sea Region (eds. Erler at ali.)*, Ankara, 59- 69.
- Kumari, W. G. P., Ranjith, P. G., Perera, M. S. A., Chen, B. K., Abdulagatov, I. M. (2017). Temperature dependent mechanical behaviour of Australian Strathbogie granite with different cooling treatments. *Engineering Geology*, 229, 31-44. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.09.012>
- Li, Z., Fortin, J., Nicolas, A. (2019). Physical and mechanical properties of thermally cracked andesite under pressure. *Rock Mech Rock Eng* 52:3509–3529. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01785-w>
- Malkowski, P., Kaminski, P., ve Skrzypkowski, K. (2012). Impact of Heating of Carboniferous Rocks on Their Mechanical Parameters, *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 36, No:1
- Mao, X. B., Zhang, L. Y., Li, T. Z., ve Liu, H. S. (2009). Properties of Failure Mode and Thermal Damage for Limestone at High Temperature, *Mining Science and Technology*, 19, 290-294. [https://doi.org/10.1016/S1674-5264\(09\)60054-5](https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60054-5)
- Meng, Q. B., Wang, C. K., Liu, J. F., Zhang, M. W., Lu, M. M., Wu, Y. (2020). Physical and microstructural characteristics of limestone after high temperature exposure. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 79, 1259-1274. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01620-0>
- Nasseri, M. H. B., Goodfellow, S. D., Wanne, T., Young, R. P. (2013). Thermo-hydro-mechanical properties of Cobourg limestone. *International Journal of Rock*

- Mechanics and Mining Sciences*, 61, 212-222.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2013.03.004>
- Özer, E. (1984). Bayburt (Gümüşhane) yöresinin jeolojisi, *Karadeniz Üniversitesi Dergisi*, 3, 77-89.
- Özgüven A., ve Özçelik, Y. (2013). Investigation of Some Property Changes of Natural Building Stones Exposed to Fire and High Heat, *Construction and Building Materials*, 38, 813-821. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.072>
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A. (1981). Doğu Pontidlerde Kretase, *KTÜ., Yerbilimleri Dergisi*, 2, 65-114.
- Özsayar, T. (1977). Karadeniz Kıyı Bölgesinde Neojen Formasyonları ve Bunların Molusk Faunasının İncelenmesi. *KTÜ Yay.No.79 TRABZON*.
- Pei, L., Blöcher, G., Milsch, H., Zimmermann, G., Sass, I., Huenges, E. (2018). Thermomechanical Properties of Upper Jurassic (Malm) Carbonate Rock Under Drained Conditions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 23–45. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1313-0>
- Pelin, S. (1977). Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları*, Trabzon.
- Rasimgil, S. (2018). *Düzköy (Trabzon) Plütonik Kayaçlarının Petrografisi, Jeokimyası ve Petrojenezi* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=fS4sqEZr79C_n60Rk6MjFZs_z-usBLrhyukB6IpJpayfenAGOFILrnpjSRq-Olww
- Sha, S., Rong, G., Peng, J., Li, B., Wu, Z. (2019). Effect of open-fire-induced damage on Brazilian tensile strength and microstructure of granite. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 4189-4202. <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01871-z>
- Sivrikaya, A. (2022). *Köprüyanı (Maçka-Trabzon) Cu-Skarn Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Mineral Kimyası Özellikleri* [Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1180273>
- Şen, C. (2000). *Petrography, mineralogy and chemistry of ultramafic of nodules from volcanic rocks of Post Eocene age, Eastern Pontide alkaline province (NE, Turkey)* Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, Ankara, Bild. Kitabı, 1, 55-66.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A. (2011). *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri* JMO yayınları, Ankara.

- Ünal, M., Berber, E., Yatağan, İ., Akkurt, S. (2007). Yüksek sıcaklığın yapı taşlarının dayanımı üzerindeki etkisinin ultrasonik ölçümler ile kestirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22, (1-2), 131-140.
- Villarraga, C. J., Gasc-Barbier, M., Vaunat, J., Darrozes, J. (2018). The effect of thermal cycles on limestone mechanical degradation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 109, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.06.017>.
- Wang, F., Konietzky, H., Frühwirth, T., Li, Y., Dai, Y. (2019). Impact of cooling on fracturing process of granite after high-speed heating. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 125, 104155. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104155>
- Wu, X., Huang, Z., Song, H., Zhang, S., Cheng, Z., Li, R., Wen, H. T., Huang, P. P., Dai, X. W. (2019). Variations of physical and mechanical properties of heated granite after rapid cooling with liquid nitrogen. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52, 2123-2139. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1727-3>
- Yang, J., Yun Fu, L., Zhang, W., Wang, Z. (2019). Mechanical property and thermal damage factor of limestone at high temperature. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 117, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.03.012>
- Yavuz, H., Demirdag, S., Caran, S. (2010). Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.09.014>
- Yılmaz, C., Şen, C. ve Özgür, S. (2001). Timing of the earliest andesitic volcanicity activity in the Eastern Pontide volcanic arc, *Inter. Earth Sci. Coll. On the Aegean Region*, İzmir, 47-55.
- Yücel, C. (2013). *Trabzon-Giresun arasındaki Tersiyer volkanitlerinin petrografisi, ⁴⁰Ar-³⁹Ar jeokronolojisi, petrokimyası, Sr-Nd-Pb izotop jeokimyası ve petrolojisi* [Yayımlanmış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=vVNzTGHHhjH-u3WMToxQ-vAXASzTNUq1TOp0jwsegIHwb6SDTMOtvm8sUz_X2eCq
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Arslan, M. ve Yağcıoğlu, U. C. (2014). Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical and geochemical approach. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, 191(3), 277-299. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2014/0261>

Zhang, L., Mao, X., Liu, R. (2014). Meso-structure and fracture mechanism of mudstone at high temperature. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24, 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.003>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Samet YETİM

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı (Tezsiz)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetler ve Yayınlar¹ :

İş Deneyimi

Stajlar : Trabzon İl Özel İdaresi

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar : TİSKİ, İLBANK

Tarih : 07.05.2026