

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**SARAFTEPE (TRABZON) TEFRİTİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIK ETKİSİYLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Müh. Hilal HARPUTLU**

**HAZİRAN 2016  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Hilal HARPOTLU Tarafından Hazırlanan

SARAFTEPE (TRABZON) TEFRİTİNİN FİZİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
SICAKLIK ETKİSİYLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

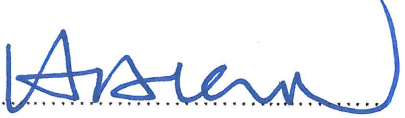


başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 05 / 2016 gün ve 1655 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Doç. Dr. Hakan ERSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Petrografik çalışmalar sırasında yardımcı olan ve yol gösteren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında destek olan, bilgi, eleştiri ve önerileriyle yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY'a ve Arş. Gör. Murat KARAHAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakârlığı için, Yıldız HARPUTLU'ya ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hilal HARPUTLU

Trabzon, 2016

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Saraftepe Tefritlerinin (Trabzon) Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Sıcaklık Etkisiyle Değişiminin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hakan ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16.06.2016

Hilal HARPUTLU

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖN SÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	5
1.3. Coğrafik Durum.....	6
1.4. Bölgesel Jeoloji.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	10
2.1. Petrografik Çalışmalar .....	10
2.1.1. Mikroskopik Tayinler .....	10
2.2. Laboratuvar Çalışmaları .....	11
2.2.1. Örneklerin Hazırlanması.....	11
2.2.2. Birim Hacim Ağırlık .....	12
2.2.3. Özgül Ağırlık .....	14
2.2.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımı .....	15
2.2.5. Ultrasonik Ölçümler .....	17
2.2.6. Örneklerin Yüksek Sıcaklıklarda Isıtılması.....	18
3. BULGULAR.....	20
3.1.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi .....	20
3.1.2. Çağlayan Formasyonu .....	21
3.1.3. Tonya Formasyonu .....	22
3.1.4. Kabaköy Formasyonu.....	24

3.2.	Tefrit Örneklerinin Mikroskopik Özellikleri .....	25
3.3.	Tefrit Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	27
3.4.	Tefrit Örneklerinin Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışı.....	27
3.5.	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	31
3.5.1.	Tek Eksenli Basınç Direnci .....	31
3.5.2.	Ultrasonik Dalga Hızı .....	39
3.5.3.	Özgül Ağırlık .....	43
3.5.4	Kütle Kaybı.....	44
3.5.5.	Isınma Süresinin Etkisi .....	45
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
5.	KAYNAKÇA .....	48
ÖZGEÇMİŞ		

## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

#### SARAFTEPE (TRABZON) TEFRİTİNİN FİZİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIK ETKİSİYLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Hilal HARPUTLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Hakan ERSOY  
2016, 51 Sayfa

Bu çalışma kapsamında, Trabzon ilinin 10 km güneyinde bulunan Saraftepe yöresindeki taş ocağından temin edilen tefrit örneklerinin yüksek sıcaklıklar etkisiyle mühendislik özellikleri üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiş, örnekler için kritik sıcaklık değeri ve bu değer için etkin ayrışma süresi belirlenmiştir. Örnekler 200-1200 °C arasında farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile ısıtılmış, soğuma hem oda sıcaklığında hem de termal şok oluşturmak için su içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin mühendislik özelliklerindeki değişimin belirlenmesi amacıyla tek eksenli basınç dayanımı, ultrasonik dalga hızı ve özgül ağırlık değerleri kullanılmış, sıcaklık kademeleri sonucunda kütle kayıpları hesaplanmıştır. Tüm sıcaklık kademelerinde fiziksel ve mekanik özelliklerde azalma meydana gelmiş, 1000 °C'ye maruz kalmış havada ve suda ayrı olarak soğuyan örneklerde tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde % 65 ve % 80 oranında, boyuna dalga hızı değerlerinde % 64 ve % 73 oranında azalma görülmüştür. Oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış örneklerde kütle kaybı değeri % 7'ye ulaşmış, özgül ağırlık değerlerinde ise % 7.4 ve % 7.7 oranında artış meydana gelmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda tek eksenli sıkışma dayanımındaki toplam azalmanın yaklaşık % 60'ının, boyuna dalga hızındaki toplam azalmanın ise yaklaşık % 55'inin 600 °C sıcaklığa kadar meydana geldiği anlaşılmıştır. Ayrıca bu sıcaklık özgül ağırlık değişiminde de etkin sıcaklık olmuş, bu değerden sonra özgül ağırlıklarda da net bir artış görülmüştür. Bu nedenle tefrit örnekleri için kritik sıcaklığın 600 °C olduğu düşünülmüştür. Kritik sıcaklık değerinde zamanın kayaç örneklerinin mühendislik davranışı üzerinde etkisinin araştırılması için örnekler kritik sıcaklıkta 30, 60, 90 ve 120 dakika ısıtılmış ve 60. dakikadan sonra tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde ani bir düşüşün olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıtışı, sıcaklık, tefrit, fiziko-mekanik özellik



Master Thesis

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF CHANGES IN THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SARAFTEPE TEPHRITES (TRABZON, TURKEY) WITH TEMPERATURE

Hilal HARPUTLU

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geological Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Hakan ERSOY

2016, 51 pages

In this study, the changes in engineering properties with high temperatures and critical temperature values and their effective alteration times were determined on tephrite samples taken from a raw material quarry in Sarraftepe, 10 km south of Trabzon city. The samples were heated for 2 hours at temperatures between 200-1200 °C, and cooled at room temperature and in water in order to apply a thermal shock.

One-dimensional compression tests, ultrasonic wave speed tests and specific gravity tests were conducted to determine the changes in engineering properties of the samples and mass losses at each temperature increment were calculated. Physical and mechanical properties suffered at each increment, with 65% and 80% loss in one-dimensional compression strength, 64% and 73% loss in compressional wave velocity values were determined on samples which exposed 1000 °C and cooled at air and in water, respectively. The mass loss values of the samples which were cooled at room temperatures reached 7%, and 7.4%-7.7% increase were determined in specific gravity values.

According to the test results, the 60% of total loss at one-dimensional compression strength and approximately 55% of total decrease in compressional wave velocity were happened before 600 °C mark. This temperature was also the effective temperature of the change in specific gravity, as a significant increase in the specific gravity values of the samples were observed after this temperature. In order to investigate the effect of exposure time on the engineering properties of the samples at critical temperatures, the samples were exposed to critical temperatures for 30, 60, 90, and 120 minutes, and a significant decrease in one-dimensional compressive strength values of the samples were determined after 60 minute mark.

**KeyWords:** Construction stone, temperature, tephrite, physico-mechanical properties

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Çalışma alanı ve çevresinin yer bulduru haritası .....	6
Şekil 1.2.	Hammadde ocağından genel bir görünüş ve tefritlerin Trabzon'da bulunan yollarda kullanımı .....	7
Şekil 2.1.	Çalışmada kullanılan polarizan mikroskop .....	10
Şekil 2.2.	Blok örneklerden silindirik örnek alma işlemi (karot uçlarının kesilmesi, karotuçlarının düzeltilmesinde kullanılan karot ucu düzeltme makinası, deneyler için hazırlanmış silindirik numuneler) .....	12
Şekil 2.3.	Örneklerin numaralandırılması, hacimlerinin ve ağırlıklarının ölçülmesi, suda 24 saat süreyle doyurulması ve etüvde 105°C'de 24 saat süreyle ısıtılması .....	13
Şekil 2.4.	Deneye tabi tutulmuş örneklerin öğütülmesi için kullanılan çeneli kırıcı, öğütülmüş örneklerden deney için elenmiş 2.5 mm çapındaki numune, deneyde kullanılan malzemeler (vakum pompası, desikatör, hassas terazi ve piknometre), deneyin yapılışı .....	15
Şekil 2.5.	Tek eksenli sıkışma deneyi aleti, deneye tabi tutulan örnekler, örneklerin tek eksenli sıkışma deneyi aletine yerleştirilmesi, deney sonrası kırılan örnekler .....	16
Şekil 2.6.	Ultrasonik hız deney aleti, doğal örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi, doymuş örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi, kuru örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi .....	18
Şekil 2.7.	Örneklerin ısıtılmasında kullanılan kül fırını, örneklerin kül fırınında 2 saat süreyle ısıtılması, örneklerin maşa ile fırından çıkarılması, örneklerin suda ve havada soğutulması .....	19
Şekil 3.1.	Çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojisi .....	20
Şekil 3.2.	Gözalın Mahallesi'nde yüzeyleyen Çağlayan Formasyonuna ait ileri derecede ayrılmış andezit ve bazaltlar (sol üst), tefrit sili (sağ üst), kumtaşı, kilitaşı, kireçtaşı ve marn aralanması (alt) .....	22
Şekil 3.3.	Mevkii'nde yüzeylenen veron Tonya formasyonuna ait orta kalın tabakalı kireçtaşları (üst), ince tabakalı kilitaşı, marn, kireçtaşı ve tuf aralanması(alt) .....	23
Şekil 3.4.	Bulak Mahallesi'nde yüzeylenen veron ve Kabaköy Formasyonu'nun taban kesimlerinde gözlenen tortul birimler (sol) ve bunların üzerine gelen bazaltik kayalar .....	25
Şekil 3.5.	Örneğin streckeisen diyagramında düştüğü alan .....	26
Şekil 3.6.	Saraftepe tefritine ait örneklerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Kpir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Biy: Biyotit, Ze: Zeolit, Lö: Lösit, O: Opak mineral) .....	26
Şekil 3.7.	Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin dayanımında (UCS) meydana gelen değişimler .....	32
Şekil 3.8.	Sıcaklık artışına bağlı olarak normalize edilmiş UCS değerleri .....	33
Şekil 3.9.	Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin dayanımında meydana gelen azalma yüzdesi .....	33
Şekil 3.10.	°C sıcaklığa maruz kalmış suda soğumuş örneklerin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki görünüşü .....	34

Şekil 3.11. 400°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık.....	35
Şekil 3.12. 600°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık.....	36
Şekil 3.13. 800°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık ve pişmiş zonlar.....	37
Şekil 3.14. 1000°C akkor halindeki ve havada soğumuş örnekler .....	38
Şekil 3.15. 1200°C sıcaklıkta erimiş örnekler .....	39
Şekil 3.16. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin boyuna dalga hızlarında meydana gelen değişimler.....	41
Şekil 3.17. Farklı şekillerde soğuyan örneklerle ait normalize edilmiş Vp değerleri .....	41
Şekil 3.18. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin dayanımında meydana gelen azalma yüzdesi.....	42
Şekil 3.19. Havada ve suda soğuyan örneklerle ait normalize edilmiş değerler.....	42
Şekil 3.20. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin özgül ağırlıklarında meydana gelen değişimler .....	43
Şekil 3.21. Sıcaklık artışıyla ile kütle kaybı arasındaki ilişki .....	44
Şekil 3.22. Isıtılma süresi ile dayanım arasındaki ilişki.....	45

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 3.1. Saraftepe Tefritlerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler.....	27
Tablo 3.2. 2 saat süreyle 200 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler .....	28
Tablo 3.3. 2 saat süreyle 400 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler .....	29
Tablo 3.4. 2 saat süreyle 600 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler .....	30
Tablo 3.5. 2 saat süreyle 800 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler .....	30
Tablo 3.6. 2 saat süreyle 1000 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler .....	31
Tablo 3.7. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama ve normalize edilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile azalma yüzdeleri .....	32
Tablo 3.8. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama ve normalize edilmiş boyuna dalga hızı değerleri ile azalma yüzdeleri .....	40
Tablo 3.9. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama özgül ağırlık değerleri .....	42
Tablo 3.10. Havada soğumuş örneklere ait ortalama % kütle kaybı değerleri .....	43
Tablo 3.11. Farklı ısıtılma sürelerine ait örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri.....	44

## SEMBOLLER DİZİNİ

A: Silindirik Örneğin En Kesit Alanıdır

D: Çap

F: Yenilme Anında Kaydedilen Yük

g: Yerçekimi İvmesi

Gs: Özgül Ağırlık

L: örneğin boyu (m)

L: Boy

t: Dalganın Örneği Geçme Zamanıdır (sn)

$\sigma_c$ : Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)

V: Hacim ( $\text{cm}^3$ )

Vp: Boyuna Dalga Hızı (m/sn )

$M_n$ : Doğal Kütle (gr)

$M_s$ : Doygun Kütle (gr)

$M_d$ : Kuru Kütle (gr)

$\gamma_n$  =Doğal Birim Hacim Ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )

$\gamma_s$  =Doygun Birim Hacim Ağırlık, ( $\text{kN/m}^3$ )

$\gamma_d$  = Kuru Birim Hacim Ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1.Giriş

Doğal taşlar, insanlık tarihi boyunca kullanılan en eski inşaat malzemelerinden biri olup günümüzde de doğal taşların kullanımı yaygın bir şekilde devam etmektedir. Yapı malzemesi olarak beton ön plana çıkıncaya kadar, doğal taşlar; anıtlar, camiler, medreseler, hanlar ve diğer mimari yapıların yapı malzemesi olarak, ayrıca iç ve dış mekânlarında kaplama taşı olarak kullanılmıştır. Depreme dayanıklı hafif yapı inşasında beton tercihinin artması ile birlikte doğal taşlar daha çok tarihi eserlerin restorasyonunda, günümüz yapılarının zeminlerinde, bina iç ve dış kaplamalarında, yol ve kaldırım döşemelerinde, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatında, agrega üretiminde, nükleer atıkların bertarafında, jeotermal enerji üretimi projelerinde ve peyzaj amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Yaygın bir kullanım alanına sahip olan doğal taşlar atmosferik şartlarda fiziksel ve/veya kimyasal ayrışmaya uğrarlar ve ayrışma sonucunda yapı taşı olarak kullanılan kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimlere birçok faktör neden olmakla birlikte ıslanma-kuruma, donma-çözünme ve sıcaklık bu faktörlerin içinde en önemli olanlardır. Bununla birlikte sıcaklık tüm diğer faktörlere nazaran daha hızlı ve kısa bir sürede kayaçlarda ayrışmaya neden olmaktadır.

Doğal taşlar çok yüksek sıcaklıklara çoğunlukla yangın esnasında maruz kalırlar. Özellikle kapalı ortamlarda bu sıcaklık 2000 °C'ye ulaşabilir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan doğal taşların renginde, parlaklığında, dayanımda vb. özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Meydana gelen değişimin derecesi maruz kaldığı sıcaklığa, kayacın mineralojisine, kayacın yapısına, gerilmelere ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle doğal taşların fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklığın etkisiyle nasıl değiştiğini konu alan birçok çalışma yapılmıştır.

Yukutake ve Shimada (1995), kayaçların yüksek sıcaklık ve basınç altındaki mekanik davranış ve özelliklerinin tespit edebilmek için 500 °C sıcaklık ve 0.8 GPa basınç kapasitesine sahip üç eksenli test aleti geliştirmişlerdir.

Ferro ve Marini (2001), yaptıkları çalışmada sıcaklığa maruz bırakılan kireçtaşı ve mermerlerde sıcaklığın artışıyla birlikte mikroskobik çatlakların genişleyip büyüdüğünü,

yeni mikroskobik çatlakların oluştuğunu, büyüyen ve yeni oluşan mikroskobik çatlaklar yüzünden gözeneklilik ve porozitede artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Altındağ (2002), hacmin ve sıcaklığın kayaçların Shore sertliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Farklı hacimlerde mermer, kumtaşı ve kireçtaşı örneklerini 20, 60 ve 120 °C de 24 saat beklettikten sonra örnekler soğumadan Shore sertlikleri ölçülmüştür. Yapılan deney sonucunda sıcaklıkla birlikte Shore sertliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Koca vd. (2006), İzmir-Mithatpaşa Endüstri Meslek Lisesi'nde 31 Mart 1997 tarihinde meydana gelen yangında hasar gören taşıyıcı mermer sütunlar üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada yangından kaynaklanan ısının mermerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerindeki değişiklikleri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda taşıyıcı kolonların maksimum 300 °C sıcaklığa maruz kaldığı ve bu sıcaklık etkisi ile mermerin tek eksenli sıkışma dayanımının % 23 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca mermer örnekleri 100 °C den 800 °C'ye 2 saat ısıya maruz bırakılmıştır. Sıcaklığın artması ile mermer örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı, içsel sürtünme açısı, poisson oranı, porozite ve kohezyonunda meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Sıcaklığın artması ile doğru orantılı olarak sadece porozite değerinin arttığı diğer değerlerin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Ünal vd. (2007), yapı taşlarının yüksek sıcaklığa karşı dirençleri ultrasonik ölçümler ile belirlenmeye çalışmışlardır. Çalışma, laboratuvar ortamında yangına maruz kalan yapı taşlarının ultrasonik hızlarındaki değişime odaklanmıştır. Çalışmada farklı petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip 14 farklı yapı taşı kullanılmıştır. Ultrasonik ölçümler ve laboratuvar gözlemleri yapı taşlarının doku ve mineral bileşiminin sıcaklık değişimine bağlı olarak değiştiğini, bu değişimlerin yapı taşlarının dayanımını ve duraylılığını etkilediği tespit etmişlerdir.

Chaki vd. (2008), termal hasarın granitlerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada granit örnekleri 200, 300, 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklarda 2 saat ısıtılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Örnekler farklı sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra örneklerin porozitesi, geçirgenliği ve ultrasonik hız değerleri ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda sıcaklığın artması ile porozite ve geçirgenliğinin arttığı, ultrasonik hızın azaldığını tespit etmişlerdir.

Xu vd. (2008), yüksek sıcaklıkta granitlerin dayanımı ve porozitesinde meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Çalışmada 45 adet granit örneği 1200 °C'ye kadar ısıtılmış ve meydana gelen değişimler incelenmiştir. 800 °C'ye kadar dayanım ve porozitede çok bariz bir değişim görülmediği, 800 °C den sonra dayanımda ani bir düşüş, porozitede ise ani bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

Dwivedi vd. (2008), sıcaklığın granitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Granitik örneklerini değişen sıcaklıklara maruz bırakmış ve değişimler incelenmiştir. Çalışmada ayrıca 5 farklı granite ait önceki çalışmalardan elde edilen verilerde kullanılmıştır. Sıcaklığın artışıyla birlikte geçirgenliğinin arttığı, termal iletkenlik, termal difüzyonun, kohezyonun ve içsel sürtünme açısının azaldığı, elastisite modülünün 200 °C kadar arttığı, 200 °C sonra azaldığı, tek eksenli basınç dayanımının 400 C<sup>0</sup> kadar arttığı, 400 °C sonra azaldığını tespit etmişlerdir.

Yavuz vd. (2009), sıcaklığın karbonat kayaçlarının fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Örnekler 100, 200, 300, 400 ve 500 °C derece sıcaklıklarda 24 saat bekletildikten sonra fiziksel değişimler incelenmiştir. Termal bozunmanın 150 °C sonra başladığı ve bozunma derecesinin kayacın tane boyutuna, gözenekliliğe, yapısal ve dokusal karakterine göre değiştiği gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte ultrasonik hızın azaldığı, porozitenin arttığı tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (2009), yüksek sıcaklık ve basınç altında mermer, kireçtaşı ve kumtaşlarında gerilme ve birim de formasyonda meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Sıcaklık arttıkça gerilme azalırken birim de formasyonun arttığını tespit etmişlerdir.

Mao vd. (2009), yüksek sıcaklık ve basıncın kireçtaşlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kireçtaşları oda sıcaklığından 800 °C'ye kadar ısıtmış, gerilme-birim de formasyon eğrilerini çizerek sıcaklık ile meydana gelen değişimler ve her sıcaklık değeri için elastisite modülünü hesaplamışlardır. Yapılan çalışmalarda 600 °C'ye kadar mekanik özelliklerde açık bir değişimin olmadığı, 600 °C'den sonra mekanik özelliklerin ani bir şekilde değiştiğini belirlemişlerdir. Elde edilen verilerden termal hasar eşitliğini üretmişlerdir. Bu eşitlik ile herhangi bir sıcaklıkta kayacın uğrayabileceği termal hasarın önceden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Wan vd. (2009), granit, andezit ve iki farklı kumtaşının yüksek sıcaklık ve basınç altındaki mekanik davranışları incelemişlerdir. 800 °C'ye kadar ısıtılan örneklerden granit ve kumtaşlarının sıcaklığın artması ile dayanımın azaldığı, andezitte ise dayanımın arttığını tespit etmişlerdir.



Gamega vd. (2012), kumtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada sıcaklığı oda sıcaklığından 950 °C'ye arttırmışlardır. 500 °C'ye kadar kumtaşının dayanımının ve elastik modülünün sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığını, 500 °C'den sonra sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

Zhao vd. (2012), granit örnekleri üzerinde farklı sıcaklıklarda termal deformasyon ve elastisite modülü ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi incelemişler. Sıcaklık artışıyla birlikte şekil değiştirmenin arttığını, elastisite modülünün ise azaldığını belirlemişlerdir.

Chen vd. (2012), granitlerin yüksek sıcaklıklar altındaki dayanım ve deformasyon değişimlerinin incelemişlerdir. Sıcaklık arttıkça kayacın dayanımının ve elastisite modülünün azaldığı, aynı zamanda maksimum şekil değiştirmesinin arttığını görmüşlerdir.

Malkowski vd. (2012), Wierzch (Polonya) madenindeki karbonifer yaşlı sedimanter kayaçların mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklıkla değişimin araştırmışlardır. Örnekleri 1000 °C de 24 saat bekletildikten sonra sıcaklıkla kütle kaybı, elastisite modülü, basınç ve çekme gerilmesinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. 1000 °C'ye maruz kalan tüm örneklerde sıcaklıkla kütle kaybının % 2 ile % 11 arasında değiştiğini, young modülünün azaldığını, kumtaşlarında sıcaklık etkisi ile çekme ve basınç dayanımının arttığını, silttaşlarında ise bu durumun tam tersinin olduğunu tespit etmişler.

Sriapai vd. (2012), Potasyum madenindeki (Tayland) kaya tuzunun farklı sıcaklıklardaki dayanımını araştırmışlardır. 70 ile 100 metreler arasından alınan örnekler küp haline getirilerek 0 ile 194 °C arasında değişen sıcaklığa maruz bırakmışlar. Sıcaklığa maruz kalan örnekler küp örnekler için hazırlanan üç eksenli basınç aletinde kırmışlardır. Deneysel sonucunda sıcaklıkla birlikte kaya tuzunun dayanımının azaldığını tespit etmişler.

Özgüven ve Özçelik (2012), mermer ve kireçtaşını 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca sıcaklığa maruz bırakarak örneklerdeki parlaklık, beyazlık, günlük fiziksel özellikleri ve soğuma ile meydana gelen pH değişimlerini araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça doğal taşların renginin açıldığını, 600 °C'ye kadar parlaklıklarını korudukları, dayanımlarının düştüğünü belirlemişlerdir.

Chen vd. (2012), granit örneklerinin 20, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıkta 6 saat boyunca ısıtmış, örnekleri oda koşullarında soğutarak tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişimi araştırmışlardır. Sıcaklık arttıkça gerilme ve elastisite modülünde azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir. 400 °C'ye kadar mekanik özelliklerde belirgin bir değişiminin olmadığı, 400 °C'den sonra önemli ölçüde değişimin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Wu vd. (2013), doğal taşları 200 °C'den 1200 °C'ye kadar ısıtarak dayanımlarında ve elastisite modülünde meydana gelen değişimi araştırmışlardır. Çalışmada sıcaklık artışıyla birlikte dayanımların ve elastisite modülünün azaldığını tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (2013), yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklıklarda kayacın mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemişler, kayacın dayanımının ve elastisite modülünün 400°C'ye kadar önce bir artış gösterdiğini, 400 °C'den sonra sıcaklık artışıyla birlikte düşmeye başladığını belirlemişlerdir.

Akbay vd. (2014), 12 farklı doğal taş numunesini 6 farklı sıcaklık değerinde (25, 200, 300, 400, 500, 600 °C) 3 saat süreyle maruz bırakıp numunelerin nokta yük indeks değerlerinin değişimini ve sıcaklıkla dayanım kayıp oranlarını belirlemişlerdir. İncelenen 12 farklı örneğin maruz kaldığı sıcaklık değeri arttıkça nokta yük indeksinin tüm kayalar için azaldığının, en çok dayanım kaybının % 58,1 ile andezitte, en az dayanımın ise % 11,5 ile mermerde olduğu tespit etmişlerdir

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, Trabzon İli ve çevresinde dekoratif, kaplama ve döşeme amaçlı olarak kullanılan ve Saraftepe (Trabzon) yöresinde yüzeyleme veren tefritlere ait örneklerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki mühendislik davranışı araştırılmış; kayalarda meydana gelen değişimlerden yararlanılarak kritik sıcaklık değeri belirlenmiş ve bu sıcaklık değeri için etkin bozunma süresi ortaya koyulmuştur.

Bu kapsamda araziden temin edilen blok örneklerden silindirik örnekler alınmış, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen örnekler kül fırınında 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle ısıtılmıştır. Daha önce yapılan çalışmaların çoğunda örneklerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiş ve yangın söndürme sırasında ani su şoku etkisi (termal şok) dikkate alınmamış olması nedeniyle, bu çalışmada örnekler hem oda sıcaklığında hemde ani su şoku etkisi altında soğutulmuştur. Kayalarda meydana gelen değişimler incelenirken, tek eksenli basınç dayanımı, boyuna dalga hızı, özgül ağırlık değerlerinden yararlanılmış, her deney kademesi için kütle kayıpları hesaplanmıştır.

Soğutulan örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edildikten sonra hem oda sıcaklığındaki hemde bir önceki sıcaklık kademesi için belirlenen fiziksel ve mekanik özellikler kıyaslanarak sıcaklık artışı ile meydana gelen değişimler ortaya koyulmuştur.

Bu değişimlere göre belirlenen kritik sıcaklık değerinde örnekler 30, 60 ve 90 dakika süreyle ısıtılarak kritik ısınma süresi, dolayısıyla etkin bozunma süresi tespit edilmiştir.

### 1.3. Coğrafik Durum

Bu çalışmada kullanılan tefrit örnekleri Trabzon İlinin 10 km güneyinde bulunan hammadde ocağından temin edilmiştir. 1/25000 ölçekli Trabzon G43-b1 paftasında yer alan çalışma alanına ulaşım Erzurum-Trabzon devlet karayolundan sağlanmakta, karayolunun 10. kilometresinden batıya sapan 1 km'lik asfalt bir yol ile çalışma konusu hammadde ocağına ulaşılmaktadır (Şekil 1.1). Tefritler halen işletilmekte olup, elde edilen doğal taşlar genel olarak kaldırım ve yol döşemelerinde kullanılmaktadır (Şekil 1.2).

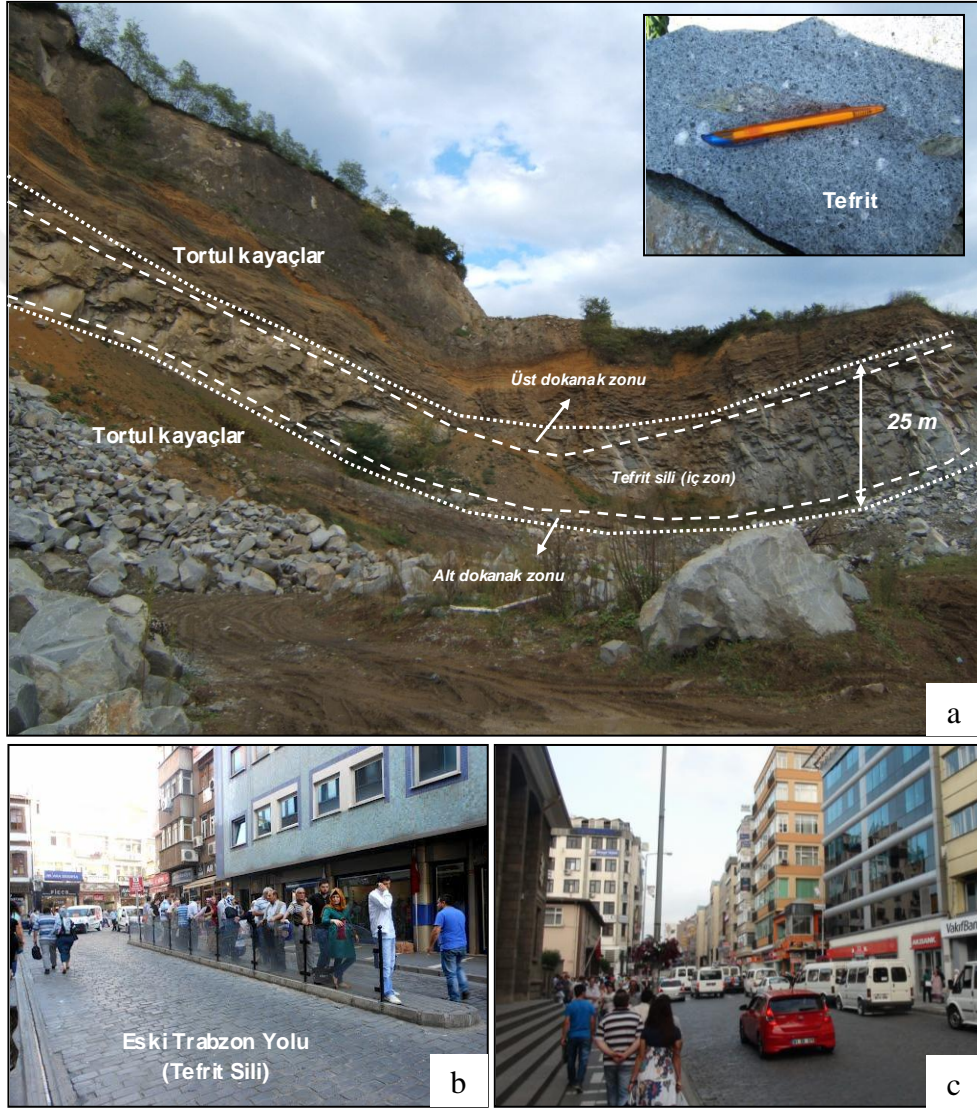


Şekil 1.1. Çalışma alanı ve çevresinin yer bulduru haritası

### 1.4. Bölgesel Jeoloji

Karadeniz kıyısına paralel bir şekilde doğu-batı doğrultusunda uzanan ve eski bir ada yayını temsil eden Doğu Karadeniz Dağları birçok araştırmacı tarafından incelenmiş (Arslan vd., 1997; Şen vd., 1998; Arslan vd., 2002; Şen, 2007) ve ilk olarak Özsayar vd.

(1981) tarafından tektonik, magmatik, sedimentolojik özelliklerine göre iki farklı zona ayrılmıştır. Kuzey ve Güney Zon olarak ikiye ayrılan Karadeniz Dağları, Bektaş vd. (1995). (2006, 2007) tarafından Kuzey, Güney ve Eksen Zonu olarak üçe ayrılmıştır. Kuzey Zon volkanik kayaçlar ve granitik intrüzyonlarla karakterize edilirken, Güney Zon metamorfik masifler, granitik kayaçlar ve baskın olarak sedimanter kayaçlar ile karakterize edilir.



Şekil 1.2. Hammade ocağından genel bir görünüş (a) ve tefritlerin Trabzon'da bulunan yollarda kullanımı (b,c) (Ersoy vd., 2015)

Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Karadeniz Dağları'nın Kuzey Zonunda Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen geniş bir zaman aralığında oluşan kayaçlar yer alır. Karadeniz Dağları'nın temelini oluşturan metamorfik kayaçlar değişik araştırmacılar

tarafından incelenmiş, kloritist, kalkışistler, mikaşist, mermerler, metabazaltlar ve metagabrolardan oluşan bu metamorfikler Pulur Masifi olarak adlandırılmıştır (Korkmaz ve Baki, 1984; Akdeniz, 1988; Tanyolu, 1988; Habiboğlu, 1989; Okay vd., 1997; Topuz vd., 2003 ve 2004; Kormaz ve Baki, 1984). Bu metamorfikler Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Graniti tarafından kesilmektedir.(Topuz vd., 2010; Dokuz vd., 2011; Kaygusuz vd., 2012)

Doğu Karadeniz Dağları'nın tabanını oluşturan metamorfik temel ve bunları kesen granitik kütleler ilk olarak Açar (1977) tarafından tanımlanan Liyas yaşlı Hamurkesen Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Bu formasyon genellikle taban konglomerasıyla başlayıp üste doğru Ammonitico-Rosso fasiyesiyle karakterize kırmızı renkli kireçtaşlarıyla devam eder ve en üstte marn, kumtaşı, tuf-tüfit ardalanmasıyla sonlanır. Aynı birim Eren (1983) tarafından Zimonköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Pelin (1977) tarafından adlandırılan Dogger-Malm-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu Hamurkesen Formasyonu üzerine gelmektedir. Berdiga Formasyonu, Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzeyinde genellikle gri-bej renkli masif kireçtaşları, güneyinde ise orta tabakalanmalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Dağlarında Geç Kretase istifleri güney ve kuzeyde farklı litolojik özellikler göstermektedir. Güneyde genellikle kırmızı kireçtaşı, sarı renkli kumtaşı, ve filişle temsil edilirler. Kuzeyde ise Güven (1993) tarafından tanımlanan alttan üste doğru sırasıyla; bazalt ve piroklastitlerinden oluşan Çatak Formasyonu, dasit ve piroklastitlerinden meydana gelen Kızılkaya Formasyonu, bazalt-andezit ve piroklastitlerinden oluşan Çağlayan Formasyonu, dasit-riyolit ve piroklastitleri ile karakterize edilen Çayırbağ Formasyonu ve marn, kıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan Bakırköy Formasyonu bulunmaktadır.

Doğu Karadeniz Dağları'nda yüzeyleme veren Senozoyik yaşlı birimler güneyde ve kuzeyde farklı özellikler sunmaktadırlar. Güneyde Gümüşhane çevresinde andezitik volkanitlerden ve tortullar meydana gelen Alibaba Formasyonu, daha güneyde Bayburt yöresinde taban konglomerası ile birlikte uyumsuz olarak gelen ve kırıntılılardan oluşan bir istifi içeren Sırataşlar Formasyonu ve asitik karakterli piroklastitlerle (Bayburt tufü; Arslan vd., 2005) ardalanmalı sedimanter kayalardan oluşan Tekçamtepe Formasyonu (Özer, 1984) ile temsil edilir. Kuzeyde ise Güven (1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak isimlendirilen Paleosen-Eosen yaşlı birim genellikle bazaltlar, bazaltik andezitler, trakitler ve piroklastitlerinden meydana gelmektedir. Güven (1993) tarafından Kaçkar II granitoyidi olarak isimlendirilmiş granitler hem güneyde hem de kuzeyde Eosen yaşlı birimlerin

içerisine sokulum yapmıştır. Bu granitlerin yaşı yapılan jeokronolojik çalışmalarla Orta Eosen (Arslan ve Aslan, 2006; Karlı vd., 2012) olarak belirlenmiştir.

Trabzon volkanitleri olarak tanımlanan Neojen yaşlı volkanitler Trabzon ve civarında dar bir alanda yüzeyleme vermektedir. Birim genellikle gri renkte olup foid mineralleri içeren bazaltik volkanitlerden meydana gelmiştir (Aydın vd., 2008). Trabzon volkanitlerinin üzerine uyumsuz olarak gelen, Güven (1993) tarafından adlandırılan Miyosen yaşlı Kaymaklı Formasyonu genellikle açık gri-yeşil renkli marn, sarımsı-gri renkli kumlu killi silttaşı, ve kilaşlarından meydana gelir. Kaymaklı Formasyonu ise yine uyumsuz olarak bazaltik ve andezitik aglomera, iri taneli kumtaşı, tuf, kilaşı-kumtaşı-marn ardalanması ve kötü katmanlı, gevşek çimentolu konglomera ve breşlerden meydana gelen Beşirli Formasyonu (Güven, 1993) tarafından üzerlenmektedir. İstifin en üst kısmını Neojen yaşlı volkanitlerin ayrışması sonucu oluşmuş kırmızı renkli saprolitik killer (Arslan vd. 2006; Ersoy vd., 2014) ve Holosen-Pleyistosen olarak yaşlandırılan denizel taraçalar (Keskin, 2007) oluşturmaktadır. Bölgede Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonlardan oluşan birimler tüm istif uyumsuz olarak örtmektedir.



## 2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1.Petrografik Çalışmalar

#### 2.1.1.Mikroskobik Tayinler

Çalışma kapsamında ilk olarak araziden temin edilen tefrit bloklarından alınan karot örneklerine ait ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler, kayacın mineralojik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesi ve adlamasının yapılabilmesi amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarında, James Swift (Model MP3500MBL) marka polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiştir (Şekil 2.1). İnceleme sonucunda kayacın özelliklerini en iyi şekilde temsil eden alandan mikrofotoğraflar çekilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan polarizan mikroskop

## 2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Yüksek sıcaklığın tefrit örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere araziden blok örnekler alınmıştır. Alınan blok örneklerden karotlar hazırlanmış, örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ultrasonik dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı gibi fiziko-mekanik deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda yapılmış, örneklerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılma işlemi ise Maden Mühendisliği ve Metalurji ve Malzeme Bölümü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Her sıcaklık kademesinden sonra özgül ağırlık, ultrasonik dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı ve kütle kayıpları hesaplanmış ve bulunan değerler oda sıcaklığında ölçülmüş olan değerlerle kıyaslanarak fiziko-mekanik özelliklerin sıcaklığın artışıyla nasıl değiştiği ortaya koyulmuştur.

### 2.2.1. Örnek Hazırlama

Kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte örnek hazırlaması en önemli aşamadır. Laboratuvarda karotların alınması, bunların kesilmesi ve belirli standartlara göre yüzeylerinin düzeltilmesi amacıyla, delici, kesici, düzleyici ve parlaticı gereçler kullanılarak yapılan işlemlerin tümü örnek hazırlama işlemi olarak tanımlanır (Ulusay vd., 2011). Örneklerin deneye hazır hale getirilmesi işleminde ISRM (2007) ve ASTM (1994) standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Araziden getirilen blok örneklerden bölüm laboratuvarındaki Euromax ex-75001 marka karot alma makinesi kullanılarak 140 Adet silindirik örnek temin edilmiştir. 50 mm çapta alınan silindirik örnekler için "boy/çap" oranının 2.5-3 olmasına dikkat edilmiştir (ISRM 2007). Alınan karotlar üzerinde yapılan deneylerin doğru sonuç verebilmesi için karotlar kontrol edilmiş, üzerinde herhangi bir süreksizlik bulunduran örnekler ayrılmıştır. Örneklerin iki yüzünün bir birine paralel olması için karotların iki ucu taş kesme makinesi ile kesilerek düzeltilmiş, UTC1035 otomatik numune yüzeyi aşındırma düzeltme makinesi yardımıyla alt ve üst yüzeylerindeki pürüzlülük alınmıştır.



Bu işlemler tamamlandıktan sonra karotlar numaralandırılarak, deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Blok örneklerden silindirik örnek alma işlemi (a) (karot uçlarının kesilmesi (b), karot uçlarının düzeltilmesinde kullanılan karot ucu düzeltme makinası (c), deneyler için hazırlanmış silindirik numuneler (d))

### 2.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Bu deney, düzenli bir geometriye sahip karot veya prizmatik kayaç örneklerinin birim hacim ağırlıklarının tayini amacıyla yapılır. Deney için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

Düzgün bir geometrik şekle sahip biçimde hazırlanmış (silindirik) en az 3 deney örneğinin boyu (L) ve çapı (D) kumpasla birbirine dik iki ayrı yönde, 0.1 mm duyarlılıkta ölçülmüş ve her bir örnek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçülen boy ve çap değerleri kullanılarak örneklerin hacimleri hesaplanmıştır (V).

Örneklerin doğal birim hacim ağırlık değerinin tayin edilebilmesi için alınan silindirik örnek üzerinde herhangi bir işlem yapmadan doğal kütleleri ( $M_n$ ) hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Doymun birim hacim ağırlık belirlemek amacıyla, örnekler saf su dolu bir kap içerisine yüzeyleri tamamen su ile kaplanacak şekilde konulmuştur.

24 saat sonunda sudan çıkarılan örnekler hassas terazide tartılarak doymuş kütleleri bulunmuştur ( $M_s$ ). Kuru birim hacim ağırlık tayini için, örnekler  $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmış fırında ve en az 24 saat kurutulduktan sonra soğumaları için 30 dakika süreyle desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra hassas terazi kullanılarak örneklerin kuru kütleleri belirlenmiştir ( $M_d$ ). Verilen formüller yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılarak birim hacim ağırlıklar hesaplanmıştır (Eşitlik 1, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3) (Şekil 2.3).

Numunenin doğal birim hacim ağırlığı, ( $\text{kN/m}^3$ )

$$\gamma_n = M_n \cdot g / v = W_n / V \quad (1)$$

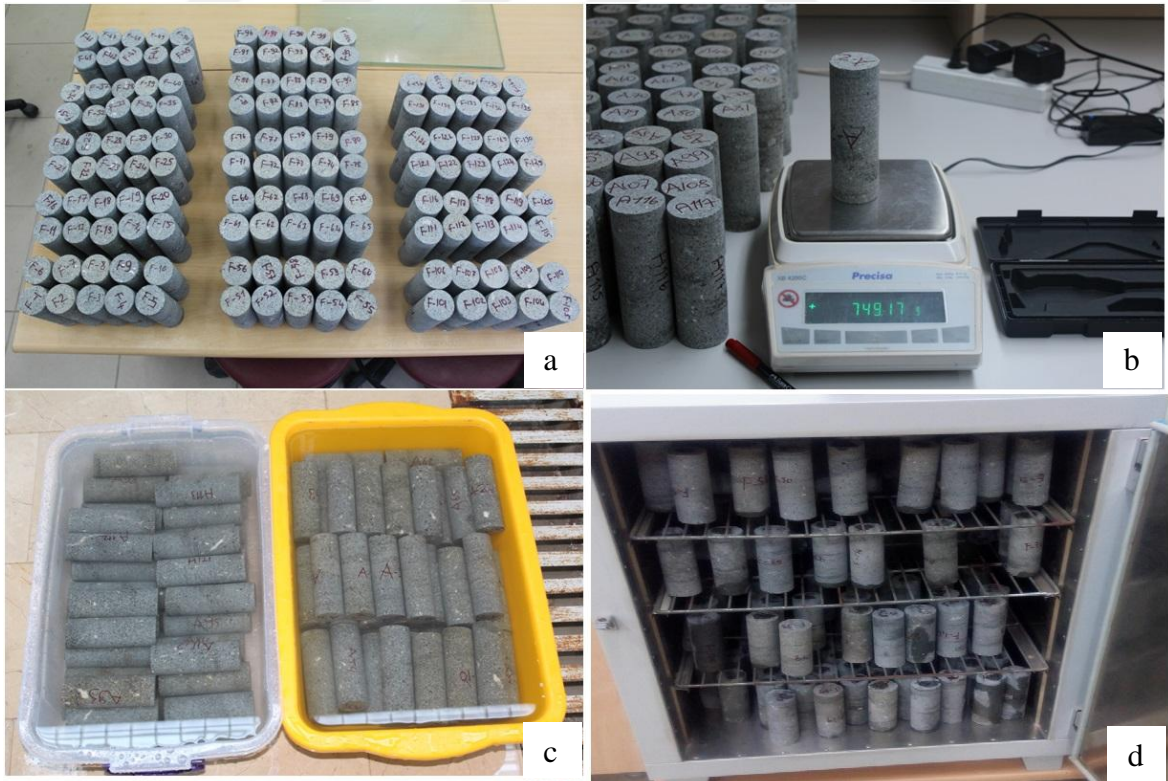
Numunenin doymuş birim hacim ağırlığı, ( $\text{kN/m}^3$ )

$$\gamma_s = M_s \cdot g / v = W_s / V \quad (2)$$

Numunenin kuru birim hacim ağırlığı, ( $\text{kN/m}^3$ )

$$\gamma_d = M_d \cdot g / v = W_d / V \quad (3)$$

Burada;  $\gamma_n$ : kayacın doğal birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ),  $\gamma_s$ : kayacın doymuş birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ),  $\gamma_d$ : kayacın kuru birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ),  $M_n$ : deney numunesinin doğal kütlesi (gr),  $M_s$ : deney numunesinin doymuş kütlesi (gr)  $M_d$ : deney numunesinin kuru kütlesi (gr), ve  $V$ : deney numunesinin hacmidir ( $\text{cm}^3$ )



Şekil 2.3. Örneklerin numaralandırılması (a), hacimlerinin ve kütlelerinin ölçülmesi (b), suda 24 saat süreyle doyurulması (c) ve etüvde  $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat süreyle ısıtılması (d)

### 2.2.3. Özgül Ağırlık

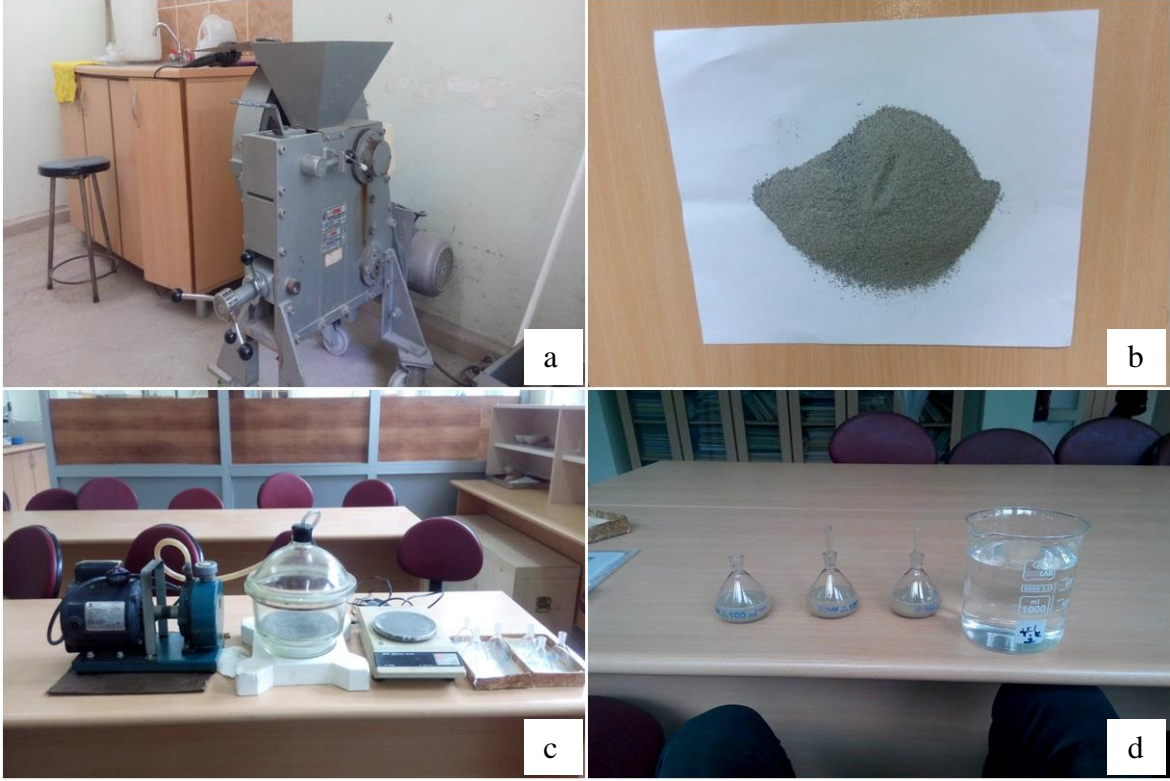
Her sıcaklık kademesinden sonra ısıtılma tabii tutulmuş tefrit örnekleri üzerinde özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Deneyler her sıcaklık kademesi için hava (oda sıcaklığında) ve suda (termal şoka uğramış örnek) soğuyan örnekler için ayrı ayrı yapılmıştır.

Deney için örnekler çeneli kırıcı ile kırılmış, 8 nolu elekten (~2,5 mm) geçen 50 g malzeme alınmış ve değişmez kütleyle kadar kurutulmuştur (ISRM, 2007). Bu malzemeden 8-10 g malzeme elde edilene kadar yarılama yöntemi ile azaltılmıştır. Pıknometre, sıcaklığı 105°C-110°C olan etüve atılarak kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve 0,001 g hassasiyetle tartılmıştır (M<sub>1</sub>). Ardından örnek pıknometreye konulmuş ve örneğin üzerini örtecek kadar saf su ilave edilerek tartılmıştır (M<sub>2</sub>).Pıknometre vakumlu desikatöre yerleştirilerek vakum uygulanmıştır. Bu işlem sırasında hava kabarcıklarının şiddetli köpürmemesine özen gösterilmelidir. Pıknometre, numuneden hava çıkması durana kadar desikatörde bekletilmiştir.

İçinde deney numunesi bulunan pıknometre hacminin ¼'üne kadar su ile doldurulmuş ve yaklaşık 10–15 dakika vakum pompası yardımı ile havası alınmıştır. Vakum pompası kullanıldığı takdirde bu işlem, pıknometre sık sık çalkalanarak kolaylaştırılır ve işleme hava kabarcıkları çıkmayınca kadar devam edilir. Hava alma işlemi sonunda pıknometre su ile tamamen doldurulmuş. Kapağı kapatılarak üzeri kurulanır ve 0.01 gr hassasiyetle tartılmıştır (M<sub>3</sub>). Oda sıcaklığındaki su ile doldurulan pıknometre, kapağı kapandıktan ve üzerindeki su damlaları kuru bir bez ile alındıktan sonra 0,01 gr hassasiyet ile tartılmış (M<sub>4</sub>) (Şekil 2.4) ve Eşitlik 4 yardımıyla özgül ağırlıklar hesaplanmıştır

$$G_s = \frac{(M_2 - M_1) * g}{((M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)) * g} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (4)$$

Burada; G<sub>s</sub>: kayacın özgül ağırlığı, M<sub>1</sub>: pıknometre kütlesi (gr), M<sub>2</sub>: (Pıknometre + kuru deney numunesi) kütlesi (gr), M<sub>3</sub>:(Pıknometre + deney numunesi + su) kütlesi (gr), M<sub>4</sub>:Su ile dolu pıknometre kütlesi (gr) ve g=Yerçekimi ivmesidir (9.81). W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub> örneklerin ağırlığı (kN).



Şekil 2.4. Deneye tabi tutulmuş örneklerin öğütülmesi için kullanılan çeneli kırıcı (a), öğütülmüş örneklerden deney için elenmiş 2.5 mm çapındaki numune (b), deneyde kullanılan malzemeler (c) (vakum pompası, desikatör, hassas terazi ve piknometre), deneyin yapılışı (d)

#### 2.2.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney, silindir (karot) bir şekle sahip kayaç örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ve tasarımlarda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli basınç dayanımının tahmini amacıyla yapılır (Ulusay vd., 2011). Bu çalışmada, deneye tabi tutulan tefrit örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları belirlenirken, ISRM (2007) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Deneyler boy/çap (L/D) oranı 2.5-3 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz ve herhangi bir süreksizlik içermeyen örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnek, presin ortasındaki yükleme plakasının üzerine yerleştirilerek ve örneğin üzerindeki silindirler ile presin üst bloğu arasında boşluk kalmayana değin yükseltilmiştir. Örnekte boşluk kalmadığı elle kontrol edildikten sonra yüklemeye başlanılır ve örnek yenildiği anda yenilme yükü %1 duyarlılıkta göstergeden okunur. Deney sırasında örneğe sabit bir hızla ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres kullanılmıştır. Presin



yükleme hızı örneği 5-10 dakika arasında yenecek şekilde ayarlanmış ve örnekler 0.5 kN/sn lik bir kuvvetle yenilmiştir (Şekil 2.5).

Örneği kıran yük tespit edildikten sonra gerilmenin hesaplanması için yüklemenin yapıldığı kesit alanının hesaplanması gerekir. Silindirik örnekler için bu işlem karotun çapının (D) ölçülmesi ile yapılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi 20, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklığa maruz kalmış ve iki farklı yöntemle soğumuş (havada ve suda) tüm örneklerde yapılmıştır. Böylece sıcaklık artışıyla birlikte tefrit örneklerinin tek eksenli basınç dayanımında meydana gelen değişim araştırılmıştır. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (5)$$

Burada, F: yenilme anında kaydedilen yük ve A: silindirik örneğin en kesit alanıdır ( $\text{cm}^2$ )



Şekil 2.5. Tek eksenli basınç deneyi aleti (a), deneye tabi tutulan örnekler (b), örneklerin tek eksenli basınç deneyi aletine yerleştirilmesi (c), deney sonrası kırılan örnekler (d)

### 2.2.5. Ultrasonik Ölçümler

Ultrasonik yöntem 1945'den bu yana uzun yıllardır madencilik biliminde ve jeoteknik uygulamalar içinde kullanılmaktadır. Yöntem, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvarında saptanmasında kullanılır. Bu yöntemler, uygulanma kolaylığı ve malzemenin örselenmemesinden dolayı, jeoteknik mühendisliğinde gittikçe artarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yöntem; kayaç içerisinden geçirilen ultrasonik dalga boyu hızının ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntem kullanılarak, ölçümler; dayanım deneylerinden daha pratik, ekonomik, hızlı ve en önemlisi yerindeki kayaç üzerinde doğrudan doğruya yapılabilmektedir. Ultrasonik yöntem ile kaya malzemesi deformasyonu karakteristiği ve bozunma derecesi tespit edilir. Ultrasonik ölçümler Pundit Plus aleti kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerde 154 kHz'lik transdüserler (Alıcı-verici) kullanılmış ve sinyal puls süreleri ise 0,1 µs olarak seçilmiştir. P dalga hızı ses dalgalarının karot örnekleri kat etme zamanı ölçülerek hesaplanmıştır. Bu deney ASTM (1994)'ün önerdiği hususlara dikkat edilerek yapılmıştır.

Deney sonuçlarının sağlıklı olması açısından numune alt ve üst tabanları pürüzsüz ve düzgün hale getirilerek karot örneklerin boyu (L), kumpasla 0,1 mm hassasiyette ölçülür. Numunenin alt ve üst yüzeyleri ile alıcı ve verici arasındaki temasın artırılarak tam temas sağlamak için numunelerinin tabanlarına ince bir şekilde jel sürülür. Sonra cihazın dijital göstergesinden P - dalgasının örnekten geçiş süresi mikro saniye (µ sn) olarak ölçülür. Ölçülen bu değerler aşağıda verilen Eşitlik 6'da yerine konarak numunelerin P dalga hızı değeri hesaplanmıştır (Şekil 2.6). Ultrasonik ölçümler her sıcaklık kademesi için ölçülmüş ve sıcak artışıyla birlikte ultrasonik hızdaki değişim incelenmiştir.

$$V_p = L/t \quad (6)$$

Burada;  $V_p$ : boyuna dalga hızı (m/sn), L: örneğin boyu (m) ve t: dalganın örneği geçme zamanıdır (sn).



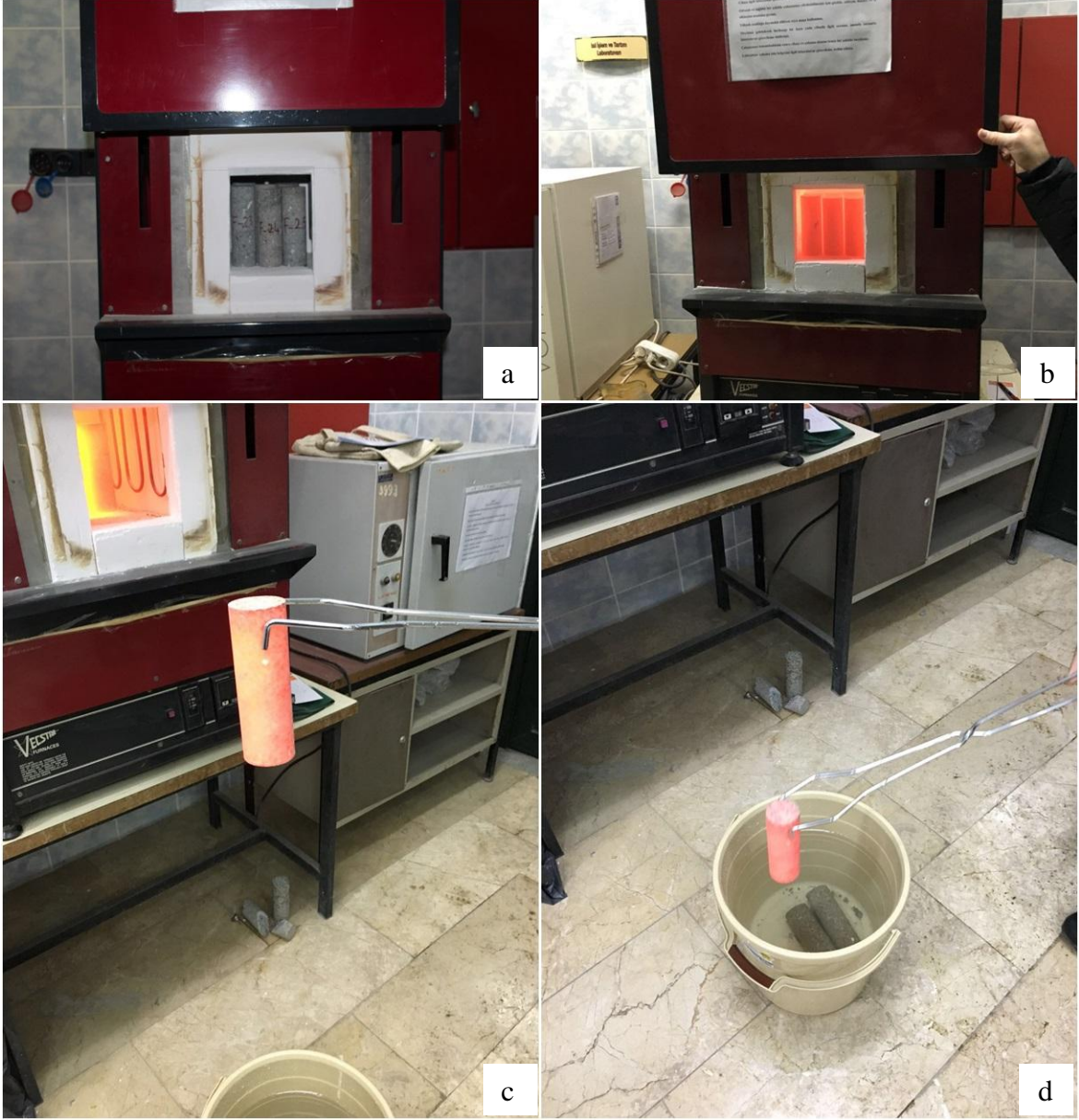
Şekil 2.6. Ultrasonik hız deney aleti (a), doğal örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi (b), doymuş örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi (c), kuru örneklerin P dalga hızlarının ölçülmesi (d)

### 2.2.6. Örneklerin Yüksek Sıcaklıklarda Isıtılması

Sıcaklığın kayaçların fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla hazırlanan tefrit örnekleri Vecstar LF3 marka kül fırınına kullanılarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Deneylerde 10'ar adet örnek 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C ve 1200°C sıcaklık kademelerinde 2 saat süreyle ısıtılmıştır. Örnekler ısıtma işlemi esnasında termal şoka uğramaması için kül fırını 10°C/dk'lık artışla ısıtılmış ve istenilen sıcaklık derecesine ulaştıktan sonra 2 saat süreyle sabit sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca kritik sıcaklıkta (fiziko-mekanik özelliklerin ani değişim gösterdikleri sıcaklık dereceleri) zamanın etkisi de araştırılmıştır. Bu kapsamda kritik sıcaklıklar da örnekler 30, 60 ve 90 dakika süreyle ısıtılmıştır. Deney sonucunda örneklerin fiziko-mekanik özelliklerinin zamana bağlı olarak nasıl değiştiği anlaşılmasına çalışılmıştır. Örnekler kül fırınında ısıtıldıktan sonra soğutma işlemi iki şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk soğuma işlemi hızlı soğuma ile örneklerin termal şoka uğramaması



için soğuma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilirken, ikinci soğuma işleminde ise örneklerin termal şoka uğraması için su içerisinde soğuma sağlanmıştır (Şekil 2.7).



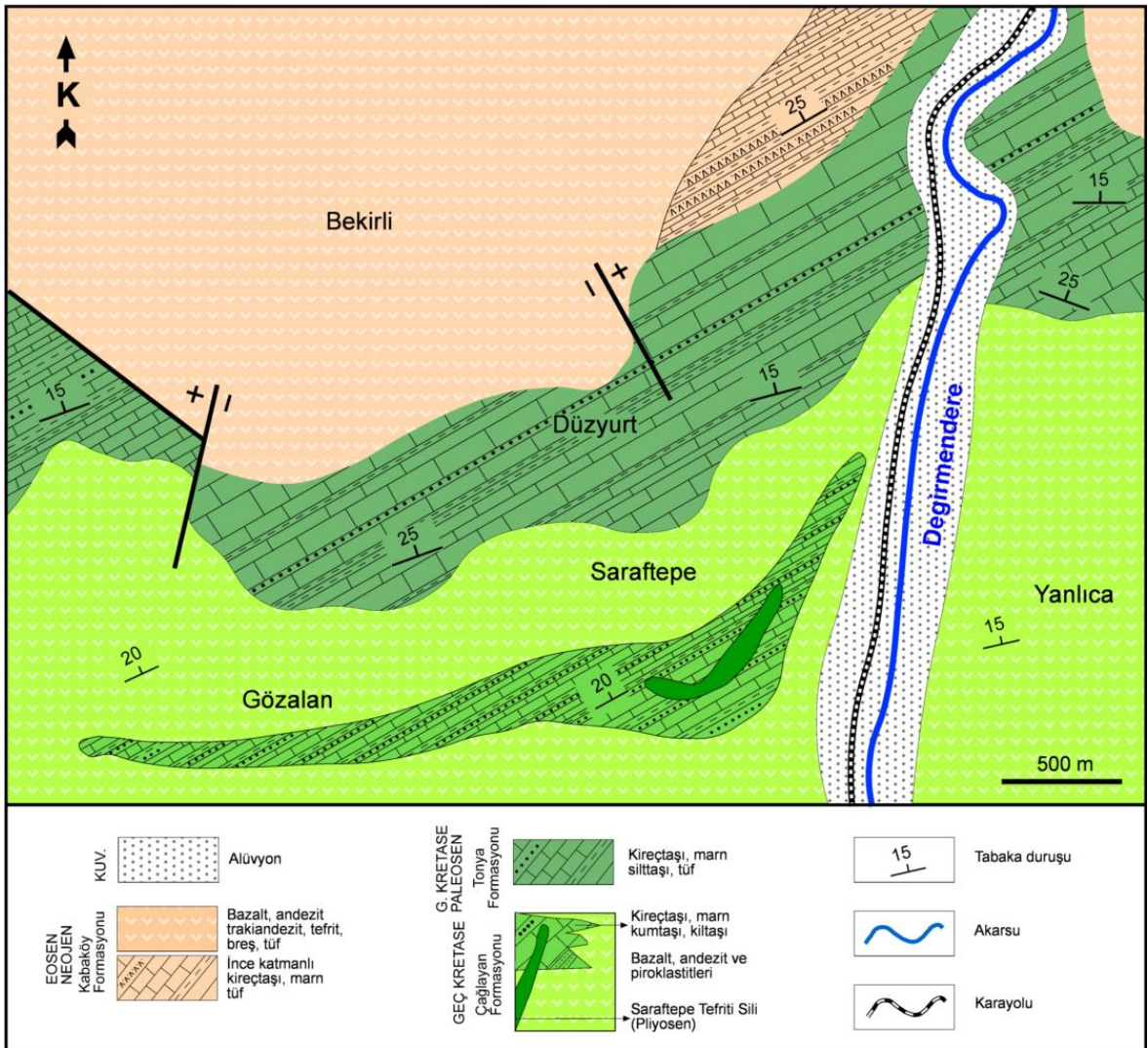
Şekil 2.7. Örneklerin ısıtılmasında kullanılan kül fırını (a), örneklerin kül fırınında 2 saat süreyle ısıtılması (b), örneklerin maşa ile fırından çıkarılması (c), örneklerin suda ve havada soğutulması (d)



### 3. BULGULAR

#### 3.1.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde yapılan çalışmalar sonucunda, bölgede yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu, Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeylenme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojisi (Ersoy vd., 2015)

### 3.1.2. Çağlayan Formasyonu

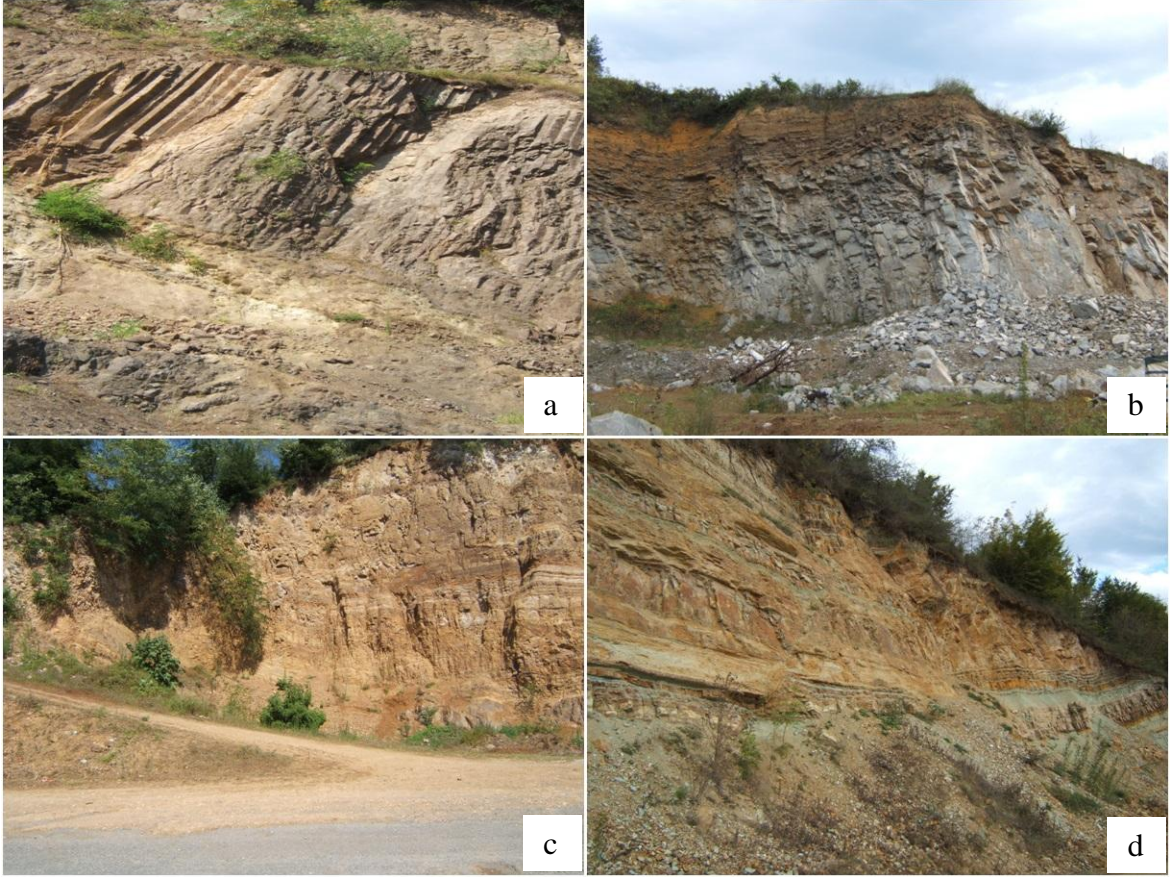
Genel olarak bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve tortul kayalardan oluşan ve Çağlayan Köyü (Trabzon) çevresinde ve Arsin güneyinde (Trabzon) yüzeylenme veren birim, ilk olarak Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim genellikle kumtaşı, marn, kireçtaşı ve killi kireçtaşı ara seviyeleri içeren andezit, bazalt ve bunların piroklastitlerinden oluşmaktadır. Çağlayan Formasyonu'na ait kayalar, genellikle Yanlıca, Saraftepe ve Gözalan Mahalleleri çevresinde yüzeylenme vermektedir. Koyu renkli olan, kırıklı ve çatlaklı yapı gösteren volkanik birimler orta derecede ayrılmış durumdadır. Volkanik birimlerde ayrışma ürünü olarak kloritleşme ve epidotlaşma görülmektedir ve volkanik birimlerdeki boşluklar genellikle kalsit dolguludur.

Gözalan Mahallesi ve çevresinde yüzeylenme veren tortul seviyeler ise genel olarak kumtaşı, kireçtaşı, kiltası, marn ve tüfit araldanmasından oluşmaktadır (Şekil 3.2). Tortul kayalar genellikle ince-orta tabakalı yapı gösterirken, tüfitler kalın tabakalı mercekler şeklinde gözlenmektedir. Kırıntılı tortulların ana bileşenini genellikle volkanik kayaç parçaları oluşturmaktadır.

Çağlayan Formasyonu içerisinde merceğimsi şekilde bulunan bu tortul kayaçların yanal devamlılığı bulunmamaktadır. Formasyon içerisinde ara seviyeler halinde bulunan kırmızı-bordo renkli kireçtaşlarındaki *Globotruncana cf. arca* (Chusman), *Globotruncana lapparenti-tricarinata* (Quereau), *Globotruncana cf. Bulloides* (Vogler), *Globotruncana coronata* (Bolli), *Globigerina sp.* fosilleri, formasyonun yaşının Kampaniyen-Maastrichtiyen olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).

Sil, Çağlayan Formasyonu içerisinde yüzeylenme veren K70D/25KB duruşlu tortul bir mercek içerisinde bulunmaktadır İnce orta tabakalı kırmızımsı mikritik kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, marn ve yer yer kalın tabakalı tüflerden oluşan tortul merceğin yaşı mikro fosil faunasına göre Kampaniyen olarak verilmiştir (Korkmaz ve Van, 1995). Aydın (2003), Aydın vd. (2008) ve Yücel vd. (2012) yapmış oldukları çalışmalarda Saraftepe tefrit silinin 3-5 milyon yıl yaşında olduğunu radyometrik yaş tayinleri ile belirlemişlerdir. Bölgede genç volkanik faaliyetlere paralel olarak tefritler, Üst Kretase yaşlı Çağlayan formasyonu içerisinde mercek şeklinde bulunan ve yanal devamlılığı olmayan tortul birimler arasına sokulmuşlardır.



Şekil 3.2. Gözalan Mahallesi'nde yüzeyleyen Çağlayan Formasyonuna ait ileri derecede ayrılmış andezit ve bazaltlar (a), tefrit sili (b), kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marn ardalanması (c,d)

### 3.1.3. Tonya Formasyonu

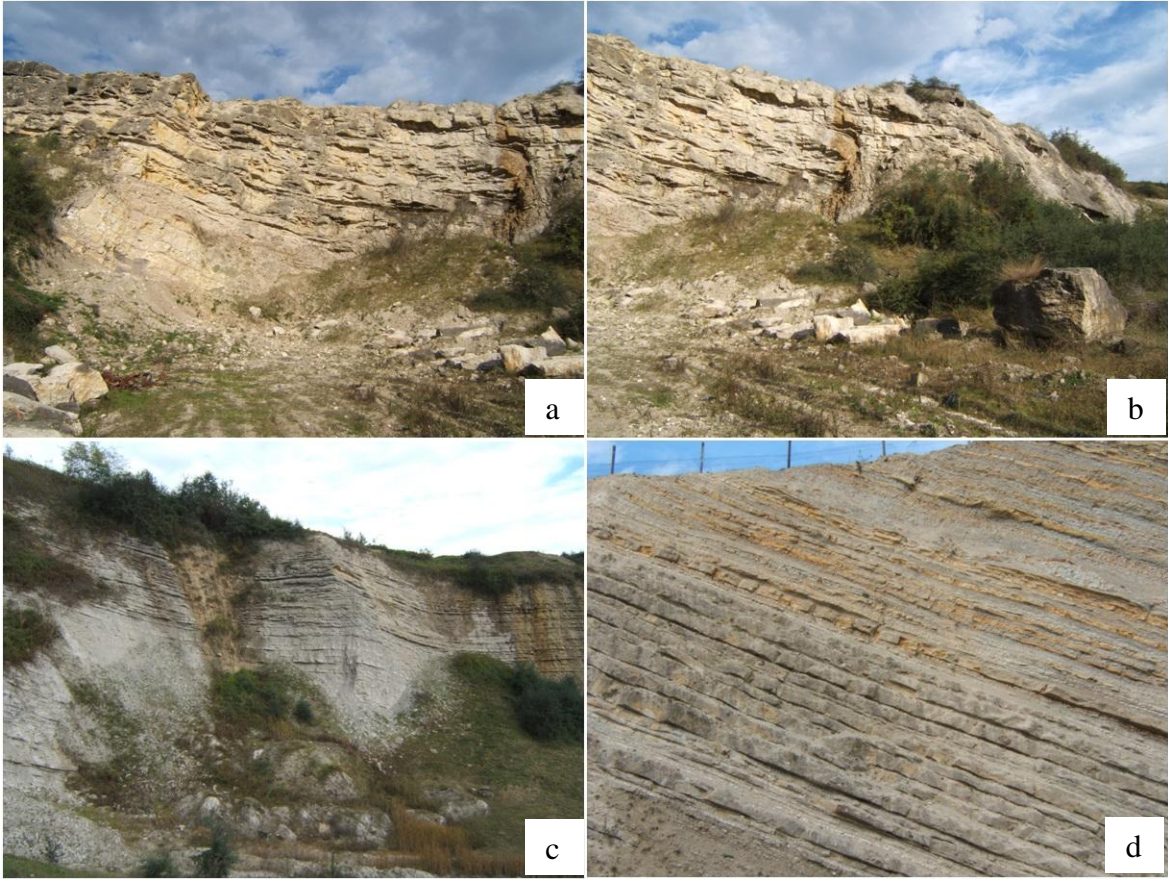
Çağlayan Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen birim bazik karakterli volkanitlerden ve tortul ara seviyelerden oluşmaktadır. Birim ilk olarak Hacımehmet (Trabzon) yöresinde Özsayar (1971) tarafından tanımlanmış, Tonya yöresinde ise Korkmaz (1993) tarafından Tonya Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

Beyaz, açık gri,sarımsı renkli kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, silttaşı ve tuf ardalanmasından oluşan birim bölgede iki farklı fasiyes ile karakteristiktir (Şekil 3.3). İlk fasiyesi oluşturan tane destekli kalsirudit ve kalkarenitler yaklaşık 100 m kalınlığa sahiptir. (Kırmacı ve Akdağ, 2005). Birimin taban seviyeleri genelde orta ve yer yer kalın tabakalıdır. Üst seviyelere kıyasla daha fazla miktarda dasitik kayaç çakılları ve kavkı parçaları içeren taban seviyesi orta yer yer kalın tabakalı bir yapıya sahiptir.



Tonya Formasyonu'nun orta ve üst zonlarını oluşturan diğer fasiyes yaklaşık 80 metre kalınlığında olup, orta-ince tabakalı kumlu kireçtaşı seviyeleri ve kanal dolgusundan oluşmaktadır (Kırmacı ve Akdağ, 2005). Killi, kumlu kireçtaşı, marn, kiltası, tuf ve az oranda kumtaşı ardalanmasından oluşan formasyon doğuya doğru kumlu kireçtaşı ve resifal kireçtaşlarından oluşan Ağıllar Formasyonu ile yanal geçişlidir (Aydın, 2003).

Formasyon içerisindeki kireçtaşlarında bulunan *Globotruncana cf. arca* (Chusman), *Globotruncana lapparenti-tricarinata* (Quereau), *Gümbelina sp.*, *Robulus sp.*, *Discocyclina sp.*, *Siderolites sp.*, *Rosita furnicata*, *Globotruncanita contusa* ve *ineceramus sp.* fosilleri formasyonun yaşının Kampaniyen-Maastrichtiyen olduğu göstermektedir (Aydın, 2003).



Şekil 3.3. Düzyurt Mevkii'nde yüzeylenme veren Tonya formasyonuna ait orta kalın tabakalı kireçtaşları (a,b), ince tabakalı kiltası, marn, kireçtaşı ve tuf ardalanması (c,d)

### 3.1.4. Kabaköy Formasyonu

İlk olarak Güven (1993) tarafından tanımlanan birim tipik olarak Kabaköy (Gümüşhane) yöresinde yüzeylenme vermektedir. Birim genellikle tabanda kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru volkanik karakterde olan volkanotortul istiften oluşmaktadır.

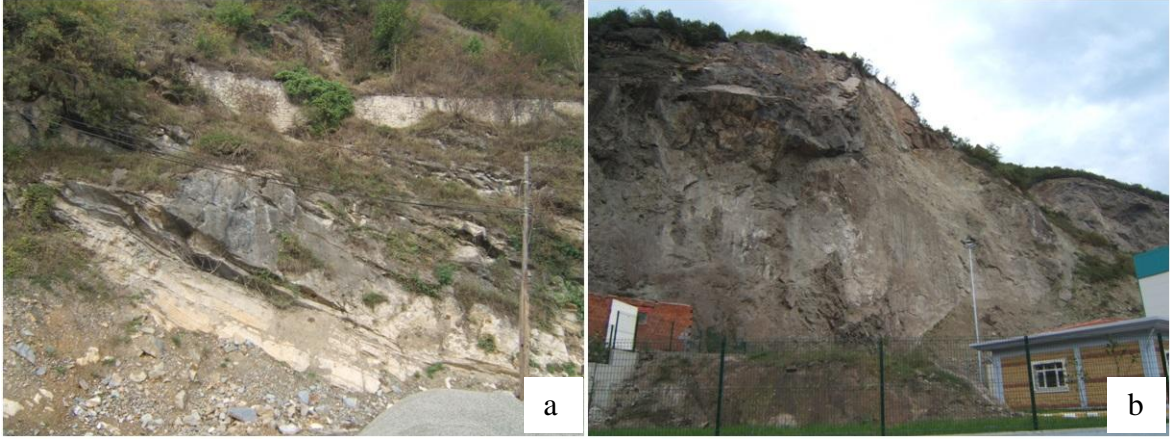
Çalışma alanı ve çevresinin kuzey kesimlerinde geniş yayılım gösteren ve sedimanter arakatkılı andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan birim Kabaköy Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır. Kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn arakatkıları içeren andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşan birim Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban kongloması ile açısal uyumsuz olarak gelmektedir.

Formasyona ait tortul birimler genellikle Değirmendere vadisi boyunca, İncesu Mevkii'nde, volkanik birimler ise Gölçayır, Kireçhane, Hacımehmet ve Bulak Mahalleleri'nde geniş yüzeylenmeler vermektedir. Formasyonun taban kesimi killi, karbonatlı bir matris içindeki yuvarlak şekilli volkanik kayaç çakıllarından ve killi kireçtaşı, marn bloklarından oluşmaktadır.

Tortullar yanal ve dikey yönde bazalt, trakibazalt, trakiandezit ve bunların piroklastitlerinden oluşan volkanitler tarafından örtülmüştür (Aydın, 2003). Şekil 3.4'te formasyonun taban kesimlerinde yüzeylenme veren tortul birimler ve bunların üzerine gelen bazalt ve piroklastitleri görülmektedir

Genellikle koyu renkli olan volkanitlerin tabanında yer alan sarımsı renkli bol fosilli tortul kayaçlar bir kılavuz seviye niteliğindedir. Bu seviye içerisindeki tortul kayaçlarda bulunan *Nummulites cf. globulus (Leymerie)*, *Assilina cf. Exponens (Sowerby)*, *Assilina cf. Spira*, *Nummulite sp.*, *Discocyclina sp.*, *Asterocyclina sp.*, *Actinocyclina sp.* ve *Alveolina sp.* fosilleri formasyonun yaşının Erken-Orta Eosen olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).

Aydın (2003), Arslan ve Aslan (2006) tarafından yapılan son çalışmalarda, Trabzon ve çevresinde yüzeylenme veren volkanitlerin yaşının Gümüşhane ve çevresinde yüzeylenen volkanitlere göre daha genç olduğu (Orta Eosen-Neojen) radyometrik yaş tayinleriyle belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Bulak Mahallesi'nde yüzeyleme veren ve Kabaköy Formasyonu'nun taban kesimlerinde gözlenen tortul birimler (b) ve bunların üzerine gelen bazaltik kayalar (a)

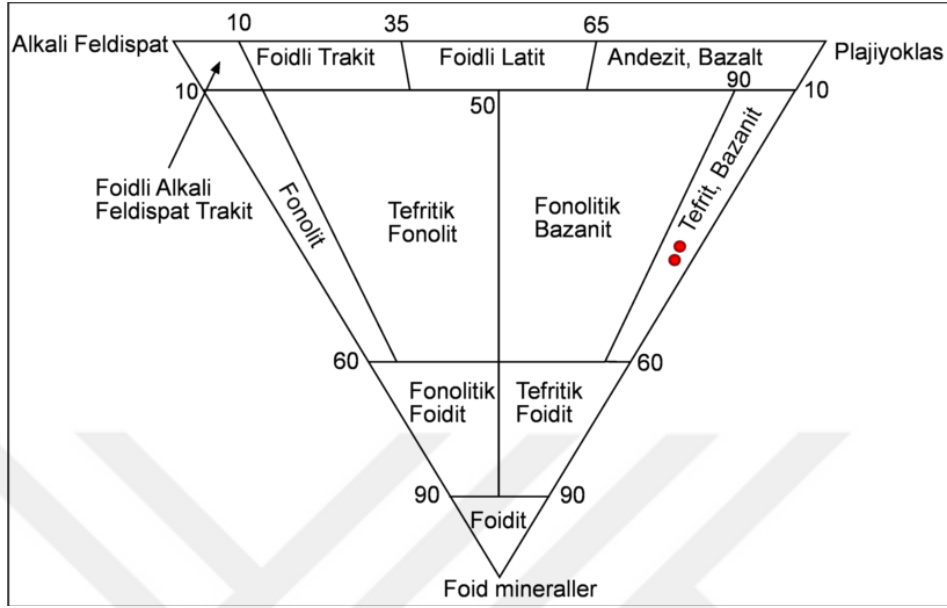
### 3.2. Tefrit Örneklerinin Mikroskobik Özellikleri

Çağlayan Formasyonu içerisinde yer alan Sarraftepe Sili'ne ait örneklerin makroskobik olarak incelenmesi sonucunda bu kayaların genel olarak porfirik, mikrolitik porfirik ve hyalomikrolitik porfirik doku gösterdikleri belirlenmiştir. Kayaların çoğunda gözlenen ana bileşenler klinopiroksen (%30-35), plajiyoklas (%35-40), feldispatoid (%30-35), biyotit (%3-5) ve opak (%3-4) minerallerdir. İkincil oluşumlar ise klorit, kalsit, zeolit ve kil mineralleridir. Mikroskobik incelemelerde sonucunda ise; kesit alanında açık renkli mineral olarak bulunan plajiyoklaslar ile feldispatoid minerallerinin yaklaşık olarak aynı oranda bulunması (%35 plajiyoklas, %35 feldispatoid), kayacın Streckeisen diyagramına göre tefrit/bazanit alanında yer alması ve kesit içerisinde olivin bulunmamasından dolayı kayacın tefrit olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.5).

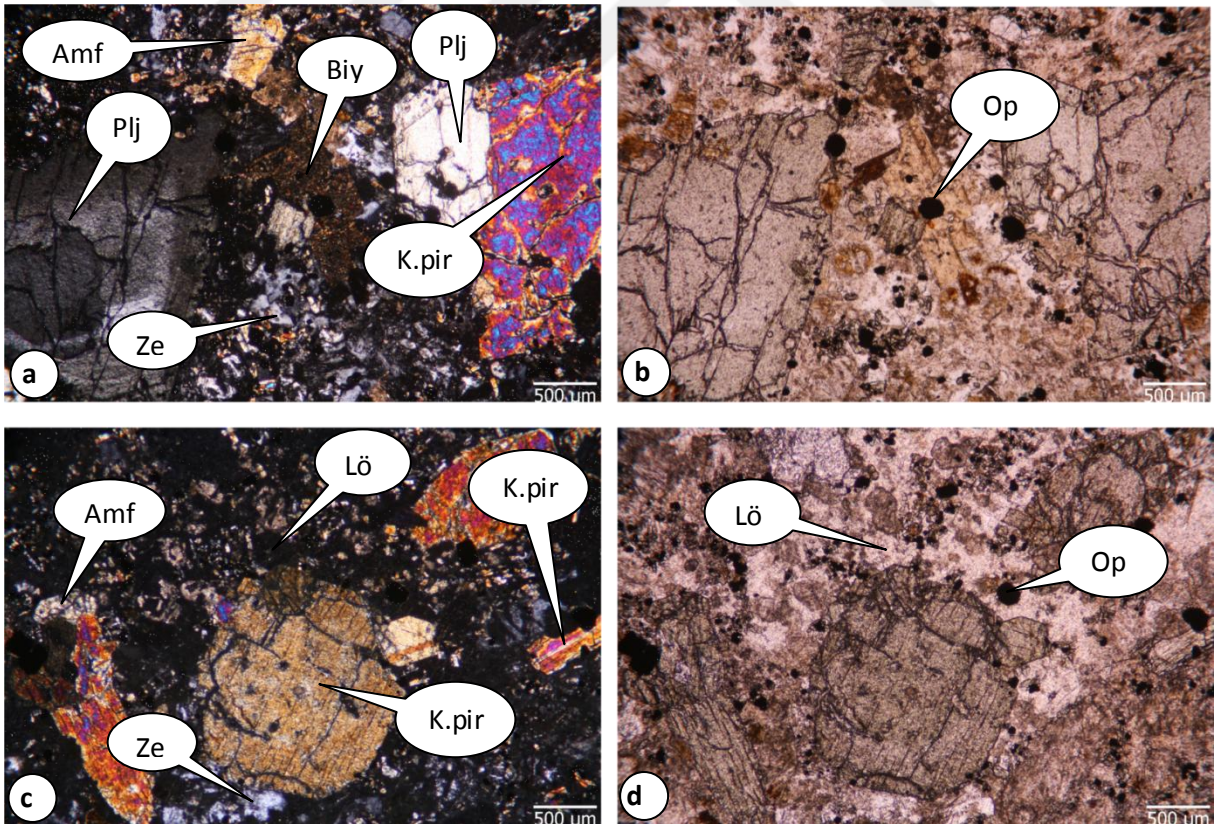
Tefritler bazanitlerden farklı olarak olivin içermezler, bunlar çoğunlukla plajiyoklas, piroksen, feldispatoid, biyotit, nadiren de amfibol mineralleri bulundurlar. Plajiyoklaslar genellikle çubuksu şekillerde gözlenmekte olup, çoğunluğu albitleşmiş ve serizitleşmiş olmalarından dolayı cins tayini yapılamamıştır. Feldispatoidler genellikle yuvarlağımsı, altıgen şekilli lösit bileşiminde gözlenilmiş olup, çoğunluğu ayrışarak kalsit ve zeolite dönüşmüşlerdir. Biyotitler bazen iri, tablamsı (Şekil 3.6), bazen de ince çubuklar halindedirler. Amfibol mineralleri genel olarak ince-orta ve genel olarak yarı öz şekillidirler. Tefritler içerisinde gözlenen klinopiroksenlerde yapılan mikroskobik



incelemeler sonucu öz-yarı öz şekilli klinopiroksenlerin ojit karakterli oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Örneğin Streckeisen diyagramında düştüğü alan



Şekil 3.6. Saraftepe tefritine ait örneklerin polarizan mikroskoptaki görünüşleri (K.pir: Klinopiroksen, Pl: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Biy: Biotit, Ze: Zeolit, Lö: Lössit, O: Opak mineral) (a,c çift nikol, b,d tek nikol)

### 3.3. Tefrit Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Yüksek sıcaklıkların tefrit örnekleri üzerindeki etkisinin araştırılması ve fiziko-mekanik özelliklerdeki değişim oranının belirlenebilmesi için ilk olarak örneklerin oda sıcaklığındaki fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu sayede başlangıç değerleri ile sıcaklığa maruz kalmış örneklerin özellikleri karşılaştırılmış ve sıcaklık artışı ile meydana gelen değişimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Oda sıcaklığında ve her sıcaklık kademesinden sonra havada ve suda soğuyan örneklerin özgül ağırlıkları, tek eksenli basınç dayanımları, boyuna dalga hızları ve kütle kaybı değerleri belirlenmiştir. Doğal, doymuş ve kuru örnekler için boyuna dalga hızı değerleri sırasıyla 5064-5782 m/sn, 5423-5758 m/sn, 5323-5572 m/sn arasında değişmektedir. Özgül ağırlıkları ortalama 2.71 olan tefritlerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri ise 116-140 MPa arasındadır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Saraftepe Tefritlerine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek No	Çap (mm)	Boy (mm)	Kütle (gr)			Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )			Ultrasonik Dalga Hızı (m/s)			$\sigma_c$ (MPa)
			Doğal	Doymuş	Kuru	Doğal	Doymuş	Kuru	Doğal	Doymuş	Kuru	
1	49.47	134.93	684.10	686.18	678.72	25.88	25.96	25.67	5693	5693	5485	126
2	49.41	144.81	725.49	728.21	718.39	25.63	25.73	25.38	5506	5506	5247	125
3	49.45	139.76	704.92	707.02	699.25	25.76	25.84	25.56	5613	5524	5334	132
4	46.78	145.33	729.36	732.44	724.15	28.64	28.77	28.44	5064	5423	5323	140
5	49.35	141.08	713.76	716.86	707.33	25.95	26.06	25.71	5511	5554	5284	116
6	49.56	138.18	698.58	700.93	693.46	25.71	25.80	25.52	5782	5758	5572	125
7	49.59	143.50	721.71	726.84	718.4	25.54	25.73	25.43	5584	5605	5295	119
8	49.51	141.98	711.93	714.21	704.7	25.55	25.63	25.29	5546	5634	5338	128
9	49.48	146.37	740.25	743.3	734.06	25.80	25.91	25.59	5587	5544	5482	140
10	49.46	141.54	713.68	715.79	708.25	25.75	25.82	25.55	5529	5572	5382	123
Std.Sp.	0.86	3.502	16.1	16.5	16.01	0.93	0.93	0.93	189	96	105	8
Ortalama	49.2	141.7	714.4	717	708.7	26	26	25.8	5542	5581.3	5374	127.4

### 3.4. Tefrit Örneklerinin Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışı

Doğal yapı taşları inşaat uygulamalarında geçmişten günümüze kadar birçok amaç için kullanılmıştır. Özellikle geçmiş dönemlerde sütun, kolon ve kiriş gibi taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında tercih edilirken günümüzde çoğunlukla dekoratif amaçlı olarak döşeme, iç ve dış kaplamada tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında yangın olayları karşısında, kaplama ve/veya döşeme olarak kullanılan kayaların mühendislik



davranışlarındaki değişimin ortaya koyulması ve kritik sıcaklık değerinin belirlenmesi amacıyla örnekler farklı sıcaklıklara tabi tutulmuş, 200 ile 1200 °C arasındaki sıcaklıklarda 2 saat süreyle ısıtılan örneklerin hem oda sıcaklığında hem de su içerisinde soğuması beklenmiştir. Su içerisinde soğuyan örneklerin bünyelerine su alabileceği düşünülerek bu örnekler ayrıca etüvde 105 °C’de 12 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Ani sıcaklık artışı nedeniyle örnekler üzerinde gelişebilecek termal şokun engellenmesi için örnekler fırın içine yerleştirildikten sonra sıcaklık dakikada 10 °C artırılarak istenilen deney sıcaklığına ulaşılmış, her deney kademesi için 10 adet örnek kullanılmıştır.

Örneklerin mühendislik özelliklerinin sıcaklık karşısında değişimin incelenmesi için ilk sıcaklık kademesi 200°C olarak seçilmiştir. 2 saat süreyle fırında bekletilen örnekler havada (oda sıcaklığında) ve su içerisinde ayrı ayrı soğutulmuştur. Havada ve su içerisinde ayrı ayrı soğumaya bırakılan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri sırasıyla 121 MPa ve 114 MPa’ya düşmüştür. Deney sonucunda ilksel değere göre % 5 ve % 11 oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir. Havada ve suda soğuyan örnekler için 4700 m/s ve 4924 m/s olarak ölçülen boyuna dalga hızı değerleri; ilksel değere göre sırasıyla % 12 ve % 8 oranında azalma göstermiştir. Deney sonucunda özgül ağırlık değerleri havada ve suda soğuyan örnekler için 2.73 ve 2.78 olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıkla % 0.7 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. 2 saat süreyle 200 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek Sayısı	$\sigma_c$ (MPa)		P- Dalga Hızı (m/s)		Özgül Ağırlık		Kütle Kaybı (%)
	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma
10 (2 deney geçersiz)	110	127	4865	5281	2.71	2.76	0.8
	109	122	4541	4689	2.74	2.77	0.7
	137	111	4706	5024	2.74	2.80	0.7
	128	95	4687	4705	2.73	2.78	0.6
Std.Sp.	13	14	133	283	0.014	0.017	0.081
Ortalama	121	114	4700	4925	2.73	2.78	0.7

Çalışmada bir sonraki sıcaklık kademesi 400 °C olarak seçilmiştir. 2 saat süreyle fırında bekletilen örnekler aynı şekilde havada (oda sıcaklığında) ve su içerisinde ayrı ayrı soğutulmuştur. Havada ve su içerisinde ayrı ayrı soğumaya bırakılan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri sırasıyla 101 MPa ve 77 MPa’ya düşmüştür. Deney sonucunda

ilksel değere göre % 21 ve % 40 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Havada ve suda soğuyan örneklerin boyuna dalga hızı değerleri 3848 m/s ve 3823 m/s olarak ölçülmüş, ilksel değere göre sırasıyla % 24 ve % 28 oranında azalma görülmüştür. Deney sonucunda özgül ağırlık değerleri havada ve suda soğuyan örnekler için 2.73 ve 2.77 olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıkla % 3 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. 2 saat süreyle 400 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek Sayısı	$\sigma_c$ (MPa)		P- Dalga Hızı (m/s)		Özgül Ağırlık		Kütle Kaybı (%)
	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma
10	109	83	3913	3808	2.72	2.78	2.80
	107	67	3932	3600	2.75	2.76	2.90
	88	69	3774	3640	2.73	2.77	3.20
	94	82	3785	4189	2.75	2.76	3.10
	106	82	3813	3879	2.72	2.77	3.00
Std.Sp.	9	8	74	235	0.02	0.01	0.16
Ortalama	101	77	3843	3823	2.73	2.77	3.00

Bir sonraki aşamada 2 saat süreyle 600°C sıcaklığa maruz kalan tefrit örnekleri havada ve suda ayrı ayrı soğutulmuştur. Soğutulan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin sırasıyla 52 MPa ve 49 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın etkisi ile ilksel değerlere göre sırasıyla % 60 ve % 62 oranda azalma meydana gelmiştir. Havada ve suda soğuyan örnekler için 2401 m/s ve 2358 m/s olarak ölçülen boyuna dalga hızı değerleri; ilksel değere göre % 54 ve % 56 oranında azalmıştır. Deney sonucunda özgül ağırlık değerleri havada ve suda soğuyan örnekler için 2.76 ve 2.71 olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıkla % 5 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. 2 saat süreyle 600 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek Sayısı	$\sigma_c$ (MPa)		P- Dalga Hızı (m/s)		Özgül Ağırlık		Kütle Kaybı (%)
	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma
10 (1 Deney geçersiz)	53	25	2336	2091	2.78	2.69	4.60
	61	68	2383	2350	2.79	2.70	4.90
	68	48	2541	2120	2.76	2.71	5.00
	22	53	2344	2871	2.74	2.72	5.30
	54	-	2403	-	2.75	2.71	5.20
Std.Sp. Ortalama	18	18	83	361	0.02	0.01	0.27
	52	49	2401	2358	2.76	2.71	5.00

Bir diğer aşamada 800°C sıcaklığa maruz kalmış tefrit örnekleri havada ve suda soğutulmuş, soğutulan örneklerin tek eksenli basınç dayanımları sırasıyla 34 MPa ve 51 MPa olarak belirlenmiştir. Hesaplanan değerler ilksel değerlere göre % 73 ve % 60 oranda azalmıştır. Havada ve suda soğuyan örneklerin boyuna dalga hızı değerleri 1506 m/s ve 1830 m/s olarak ölçülmüştür. Bu değerler ilksel değere göre sırasıyla % 72 ve % 66 oranında azalma göstermiştir. Deney sonucunda özgül ağırlık değerleri havada ve suda soğuyan örnekler için 2.89 ve 2.78 olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklık kademesinde % 6 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. 2 saat süreyle 800 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek Sayısı	$\sigma_c$ (MPa)		P- Dalga Hızı (m/s)		Özgül Ağırlık		Kütle Kaybı (%)
	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma
10 (1 Deney geçersiz)	30	59	1755	1959	2.92	2.77	5.80
	30	46	1324	1184	2.90	2.78	5.60
	36	42	1197	1648	2.88	2.79	6.30
	38	60	1747	2158	2.87	2.75	6.30
	-	50	-	2199	-	2.79	-
Std.Sp. Ortalama	4	8	288	421	0.02	0.02	0.31
	34	51	1506	1830	2.89	2.78	6.00

1000°C sıcaklık kademesinde havada ve suda soğuyan örnekler için tek eksenli basınç dayanımı 45 MPa ve 25 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değerler dayanımın ilksel

değerlere göre % 65 ve % 80 oranda azaldığını göstermektedir. Havada ve suda soğuyan örnekler için 1897 m/s ve 1428 m/s olarak ölçülen boyuna dalga hızı değerleri; ilksel değere göre sırasıyla % 64 ve % 73 oranında azalmıştır. Deney sonucunda özgül ağırlık değerleri havada ve suda soğuyan örnekler için 2.91 ve 2.92 olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıkla % 7 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. 2 saat süreyle 1000 °C sıcaklık etkisinde kalan örneklere ait fiziksel ve mekanik özellikler

Örnek Sayısı	$\sigma_c$ (MPa)		P- Dalga Hızı (m/s)		Özgül Ağırlık		Kütle Kaybı (%)
	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma	Suda Soğuma	Havada Soğuma
10 (3 Deney geçersiz)	57	24	2112	1200	2.92	2.93	6.80
	56	40	2029	1428	2.90	2.91	7.00
	25	12	1543	1656	2.91	2.92	7.10
	40	-	1906	-	2.91	-	7.10
Std.Sp. Ortalama	15	14	251	228	0.01	0.01	0.14
	45	25	1897	1428	2.91	2.92	7.00

Son sıcaklık kademesi olan 1200 °C’de 10 örnekten 8 tanesi erimiştir. Havada soğuyan örneklerin tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik hız değerleri sırasıyla 45 MPa ve 2609 m/sn olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık kademesinde ilksel değerlere göre tek eksenli basınç dayanımında % 65 oranında, boyuna dalga hızında % 51 oranında azalma meydana gelmiştir.

### 3.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 3.5.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

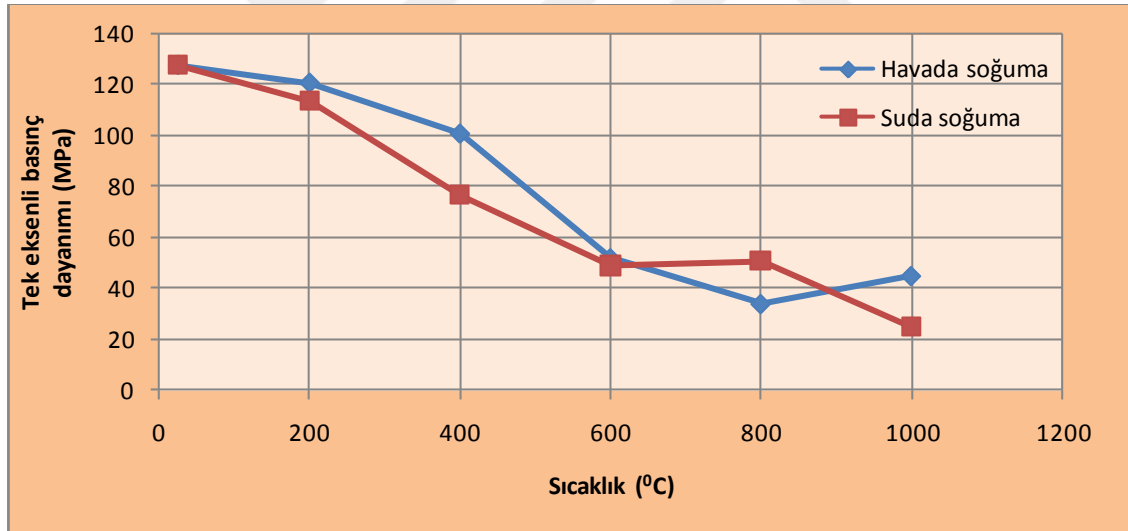
6 farklı sıcaklık kademesinde 2 saat süreyle ısıtılıp havada ve suda soğutulan tüm örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinde ilksel duruma kıyasla azalmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen azalmalar ve ilksel duruma kıyasla normalize edilmiş değerler Tablo 3.7’ de verilmiştir.

Tablo 3.7. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama ve normalize edilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri ile azalma yüzdeleri

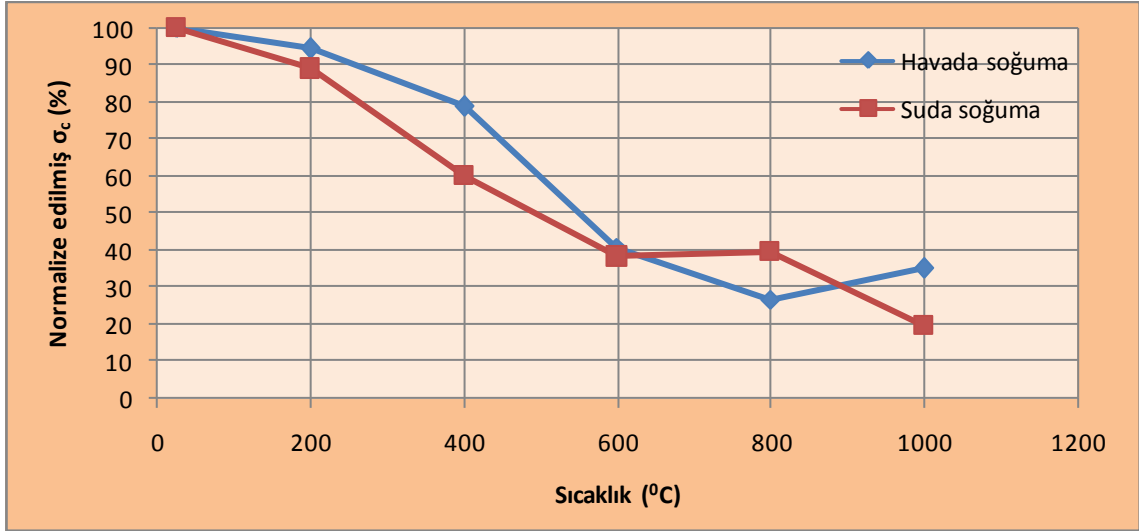
Sıcaklık (°C)	Havada Soğuma (Mpa)			Suda Soğuma (Mpa)		
	$\sigma_{c \text{ ort}}$	$\sigma_{c \text{ nor}}$	$\sigma_{c \text{ azalma}}$	$\sigma_{c \text{ ort}}$	$\sigma_{c \text{ nor}}$	$\sigma_{c \text{ azalma}}$
25	128	100	-	128	100	-
200	121	94.53	5	114	89.06	11
400	101	78.91	21	77	60.16	40
600	52	40.63	59	49	38.28	62
800	34	26.56	73	51	39.84	60
1000	45	35.16	65	25	19.53	80

$\sigma_{c \text{ ort}}$ : ortalama değer,  $\sigma_{c \text{ nor}}$ : normalize edilmiş değer,  $\sigma_{c \text{ ort}}$ : azalma yüzdesi

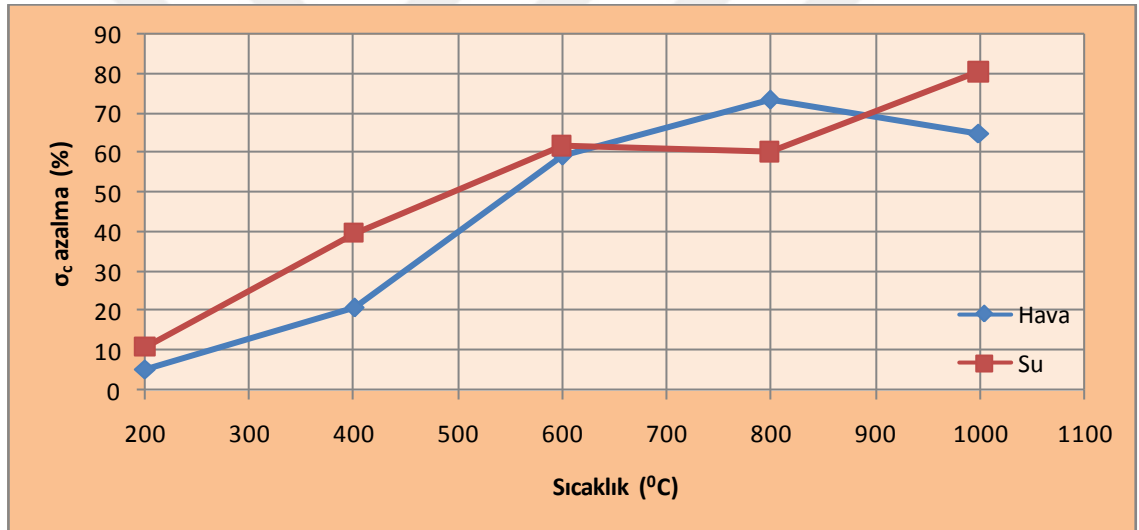
Meydana gelen bu azalmalar her sıcaklık kademesi için ayrı ayrı ele alınıp değişikliklerin nedenleri belirlenmiştir (Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9).



Şekil 3.7. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin tek eksenli basınç dayanımında ( $\sigma_c$ ) meydana gelen değişimler

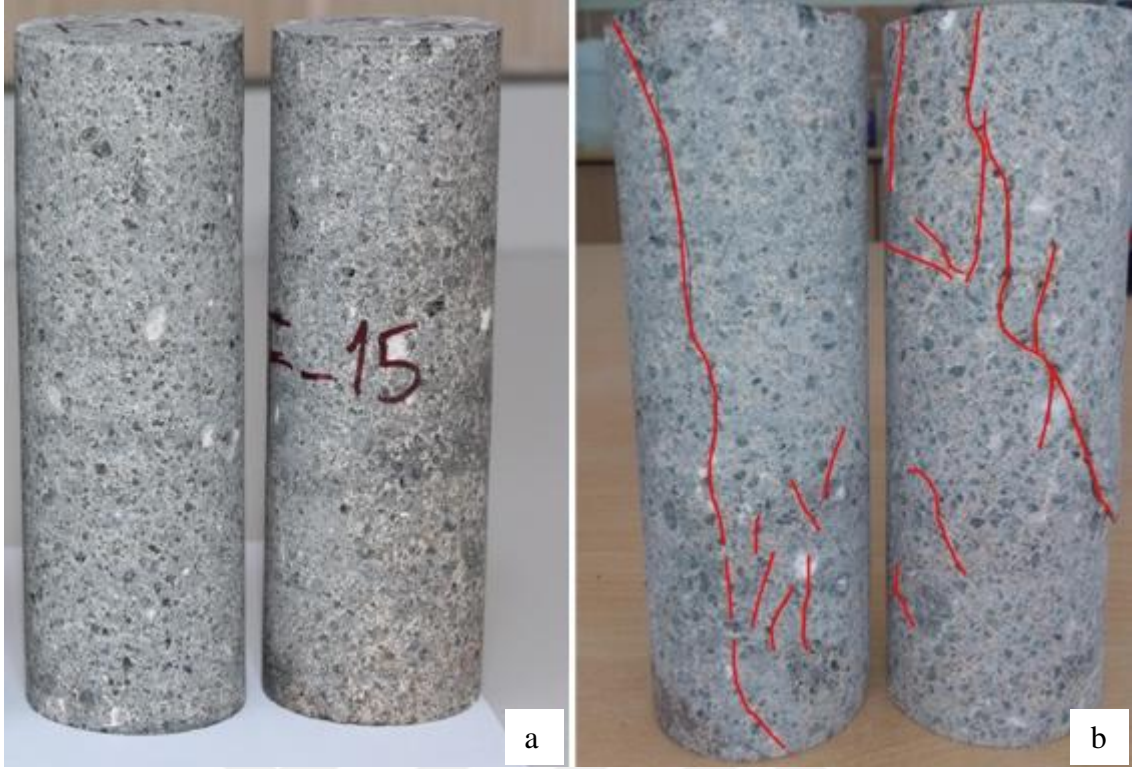


Şekil 3. 8. Sıcaklık artışına bağlı olarak normalize edilmiş  $\sigma_c$  değerleri



Şekil 3.9. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin tek eksenli basınç dayanımında meydana gelen azalma yüzdesi

200 °C sıcaklığa maruz kalan tefrit örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımında ilksel duruma kıyasla havada soğuyan örneklerde % 5 oranında, suda soğuyan örneklerde ise % 11 oranında azalma meydana gelmiştir. Suda soğuyan örneklerin dayanımının havada soğuyan örneklerin dayanımına kıyasla daha düşük olmasının nedeni ani soğuma ile meydana gelen termal şok nedeniyle oluşan kırıklardır. Bu sıcaklık kademesinde termal kırıklar mikro boyutta olup bu kırıklar örneklerde net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.10 incelendiğinde örneğin sünek bir şekilde kırıldığı ve farklı doğrultularda kırıkların geliştiği görülmektedir.



Şekil 3.10. 200°C sıcaklığa maruz kalmış suda soğumuş örneklerin kırılmadan önce (a) ve kırıldıktan sonraki görünüşü (b)

Kül fırında 400 °C sıcaklıkta iki saat süreyle ısıtılan örnekler iki farklı şekilde soğutulduktan sonra tek eksenli basınç dayanımında meydana gelen değişimler bir önceki sıcaklık kademesi ile kıyaslanmış, havada soğuyan örneklerde % 16 oranında, suda soğuyan örneklerde ise % 32 oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık kademesinde de suda soğuyan örneklerin dayanımı havada soğuyan örneklerin dayanımından düşüktür. Bu durumun sebebi örneklerin fırından çıkarılır çıkarılmaz suya atılmasından kaynaklanmaktadır. Suyu atılan örnekler ani soğuma yüzünden termal şoka uğrar ve bunun sonucunda çeşitli boyutlarda ve yönlerde kırıklar meydana gelmiştir. Ayrıca bu sıcaklık kademesinde azda olsa minerallerde sıcaklık değişimi yüzünden farklı hacimsel değişikliklerin meydana geldiği düşünülmüştür. Bu durumda mevcut kırıklar büyümüş ve yeni termal kırıklar oluşmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. 400°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık

600°C sıcaklık kademesinde soğuyan örneklerin dayanımı 400°C sıcaklıktaki örneklerin dayanımı ile kıyaslandığı zaman havada soğuyan örneklerde % 35 oranında, suda soğuyan örneklerde % 5 oranında azalmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. 600°C sıcaklıktaki dayanımlar ilksel durumla kıyaslandığında sırası ile % 59 ve % 62 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu sıcaklık kademesinde havada ve suda soğuyan örneklerin tek eksenli basınç dayanımının hemen hemen aynı oranda azaldığı anlaşılmıştır. Bu durumun ısınma-soğuma ile meydana gelen genişleme-büzülmeden kaynaklanmaktadır. Farklı minerallerde değişik oranlarda hacimsel genişleme-büzülme meydana gelmiş minerallerdeki farklı hacimsel değişimler yüzünden örnekler içerisinde yeni termal kırıklar oluşmuş, yeni termal kırıkların oluşması ve mevcut kırıkların büyümesi dayanımda azalmaya neden olmuştur. Suda soğuyan örneklerde dayanımın daha düşük olmasının nedeni genişleme-büzülme ile meydana gelen termal kırıklara ek olarak termal şok etkisi ile oluşan kırıklardır (Şekil 3.12).

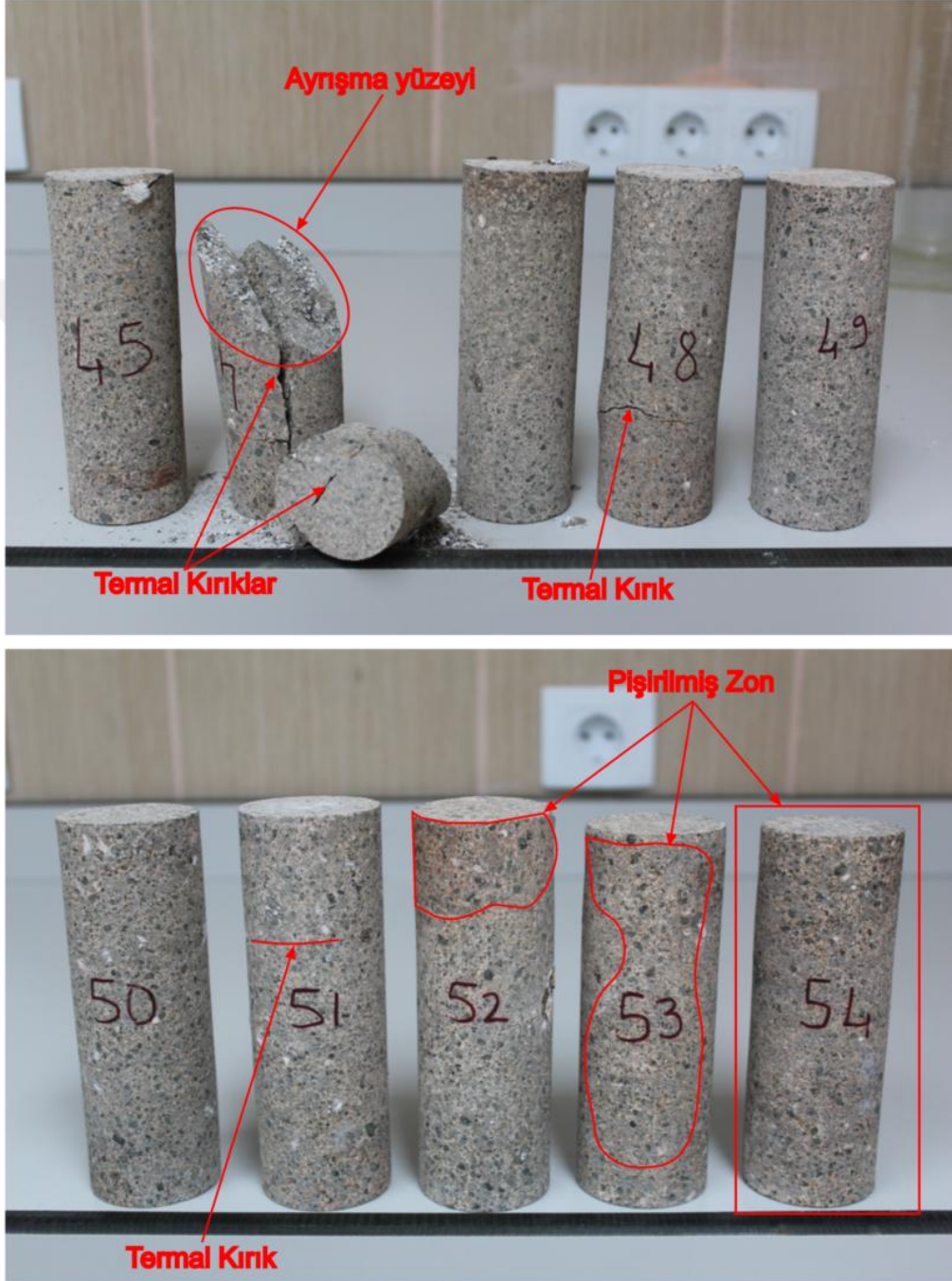




Şekil 3.12. 600°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık

800°C sıcaklık kademesinde örneklerin dayanımında her iki soğuma şeklinde ilksel duruma göre azalma meydana gelmiştir, bir önceki sıcaklık kademesine göre havada soğuyan örneklerde % 35 azalma, suda soğuyan örneklerde % 5 oranında artış görülmüştür. Her iki soğuma şeklidenden de ilksel duruma göre azalma meydana gelmiştir. İlksel duruma göre dayanımdaki azalmanın nedeni genişleme-büzülme, termal şok ile meydana gelen termal kırıklar ve termal ayrışmadır. Örnek ısındıkça önce termal kırıklar oluşmuş, sıcaklık 800°C ulaştığı zaman minerallerde ergimler başlar ve ergiyen mineraller daha önceden oluşan termal kırıkların içine nüfuz eder. Havada soğuyan örneklerde termal kırıklar içindeki ergimiş mineraller tekrardan kristallenmek için yeterli zaman bulmuştur. Minerallerin yeniden kristallenmesi esnasında meydana gelen hacimsel artış termal kırıkların genişlemesine, büyümesine ve ilerlemesine neden olmuştur. Suda soğuyan örneklerde ise termal kırıklar içindeki ergimiş mineraller ani soğuma (termal şok)

yüzünden cama dönüşmüştür. Bu durum bir önceki sıcaklık kademesine oranla dayanımda artışa neden olmuştur. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi havada soğuyan örneklerde termal kırıklar net bir şekilde görünürken suda soğuyan örneklerde termal kırıklar görülmemektedir sadece pişirilmiş zonlar görülmektedir.



Şekil 3.13. 800°C sıcaklığa maruz kalmış havada soğumuş örneklerde meydana gelen termal kırık ve pişmiş zonlar

1000°C de sıcaklıkta örnekler akkor haline gelmiştir. Bu sıcaklık değeri tefrit örneklerinin ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıktır (Şekil 3.14). Dayanım bir önceki sıcaklık kademesine kıyasla havada soğuyan örneklerde artış, suda soğuyan örneklerde ise azalma meydana gelmiştir. Oda sıcaklığına kıyasla her iki soğuma koşulunda dayanımda ilksel duruma göre ortalama % 73 azalma meydana gelmiştir. 1000°C sıcaklıkta örneklerde daha düşük sıcaklık kademelerinde genişleme ile meydana gelen termal kırıklar 1000°C sıcaklıkta minerallerin ergimesi sonucunda kısmen yok olmuştur. Bu sıcaklık değerinde havada soğuyan örnekler termal şoka uğramadan soğumuş ve sadece büzülme sonucunda termal kırıklar oluşmuştur. Bu durum nedeniyle bir önceki sıcaklık kademesine kıyasla dayanımda artış meydana gelmiştir. 600°C sıcaklık değeriyle kıyaslandığında tek eksenli basınç dayanımı neredeyse aynıdır. Çünkü iki durumda da dayanım minerallerin genişleme-büzülme sonucunda meydana gelen termal kırıklardan dolayı azalmıştır. 1000°C sıcaklıkta suda soğuyan akkor halindeki örnekler termal şoka uğramıştır. Bu durum ani soğumaya böylece örnek içindeki cam miktarının artışına ve termal kırıkların oluşmasına neden olabilir. Cam miktarının artması ve termal kırıkların etkisi ile tefrit örneklerinin dayanımı ilksel duruma kıyasla % 80 azalmıştır.



Şekil 3.14. 1000°C akkor halindeki ve havada soğumuş örnekler

1200°C sıcaklık kademesinde 8 örnek tamamen ergimiş, 2 örnek kısmen ergimiştir (Şekil 3.15). Kısmen ergiyen örnekler üzerinde yapılan deneylerde tek eksenli basınç dayanımı 45 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklık kademesinde bir önceki sıcaklık kademesine kıyasla dayanımda herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. Çünkü iki durumda da örnekler aynı koşullara maruz kalmıştır. Bu durum tefrit örnekleri için ergime sıcaklığı 1000°C ve 1100°C arasında olduğunun göstermektedir.



Bütün değişim ve azalma miktarları değerlendirildiğinde ilksel duruma göre tek eksenli basıncı dayanımı değerlerinde azalmanın % 62' nin 600°C'ye kadar gelişmesi bu sıcaklık değerinin kritik değer olabileceğini göstermektedir (şekil 3.5, şekil 3.6, şekil 3.7).



şekil 3.15. 1200°C sıcaklıkta erimiş rnekler

### 3.5.2. Ultrasonik Dalga Hızı

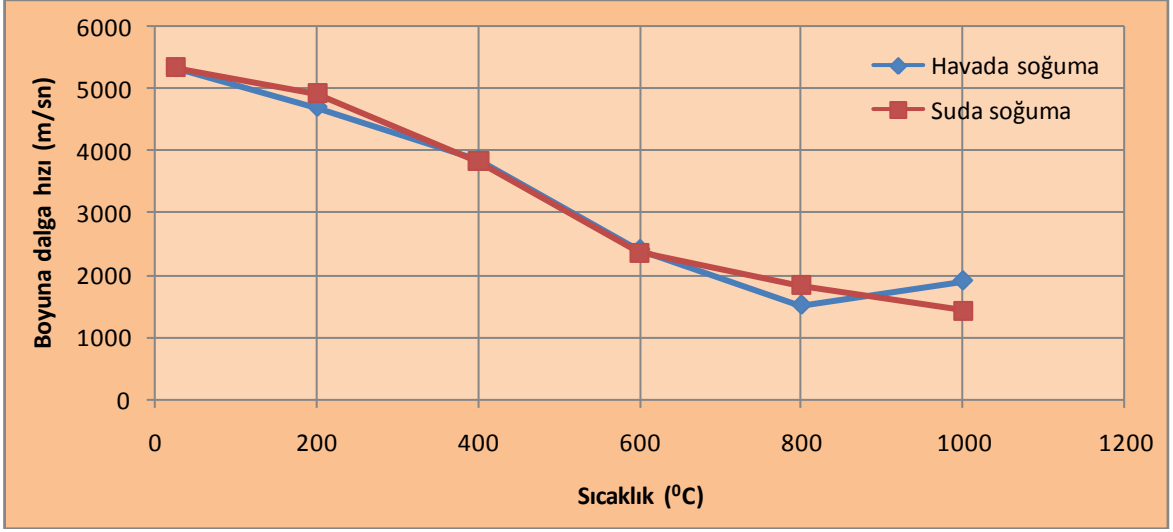
Farklı sıcaklık değerlerinde 2 saat süreyle ısıtılan tefrit örneklerinde sıcaklık artışıyla birlikte ilksel duruma kıyasla boyuna dalga hız değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir (şekil 3.16, şekil 3.17 ve şekil 3.18). Boyuna dalga hızları bir önceki sıcaklık kademesiyle kıyaslandığı zaman suda soğuyan örneklerde sürekli bir azalmanın, havada soğuyan örneklerde 1000 °C sıcaklıkta bir önceki sıcaklık kademesine kıyasla artışı meydana geldiği görülmüştür. 200, 400, 600 ve 800 °C derece sıcaklıklarda havada ve suda soğuyan örnekler bir önceki sıcaklık kademesiyle kıyaslandığında hesaplanan azalma yzdeleeri sırasıyla; % 12 ve % 7, % 18 ve % 22, % 37 ve % 38, % 37 ve % 22 dir. 1000°C sıcaklıkta havada soğuyan örneklerde artış, suda soğuyan örneklerde % 21 oranda azalma meydana gelmiştir (Tablo 3.8). 200°C-800°C sıcaklık değerleri arasında boyuna dalga hızları

sıcaklık artışıyla birlikte azalmaktadır. Bu durum ısınma-soğuma ile meydana gelen termal kırıklardan kaynaklanmaktadır. Sıcaklık arttıkça örnek içindeki termal kırık yoğunluğu artmıştır. Bu durum boyuna dalga hızlarında azalmalara neden olmuştur. Bu sıcaklık değerleri arasında suda soğuyan örneklerde azalma oranı daha fazladır. Bu durum suda soğuyan örneklerin daha yoğun termal kırık içermesinden kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da örneklerde soğuma esnasında termal kırıklar oluşmasına rağmen termal şoka uğrayan örneklerde oluşan kırık miktarı daha fazladır. 1000°C sıcaklıkta örneklerde yüksek sıcaklık yüzünden kısmen de olsa ergimeler başlamıştır. Ergime olayı ile bir önceki sıcaklık kademesinde oluşan termal kırıklar yok olmuştur. Bu olayın sonucunda boyuna dalga hızında 800°C'den sonra sabitlik sağlanmıştır. Oda sıcaklığına kıyasla meydana gelen azalma soğuma ile gelişen termal kırıklardan kaynaklanmaktadır. Örneklerde sıcaklık artışıyla birlikte mevcut kırık ve çatlaklar gelişirken aynı zamanda yeni kırık ve çatlaklar meydana gelmektedir. Gelişen termal kırıklar yüzünden örnek içindeki ikinci boşluk oranı artar. Boşluk oranının artışıyla birlikte elastik dalganın geçiş süresi artar ve buna bağlı olarak örneklerin boyuna dalga hızı değerlerinde azalma meydana gelir.

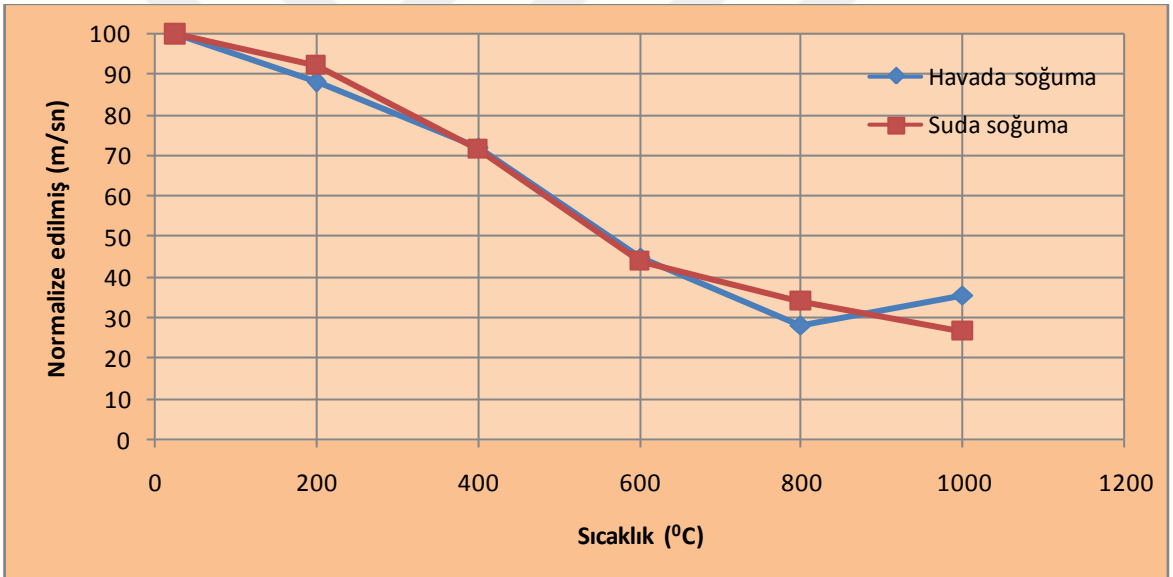
Tablo 3.8. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama ve normalize edilmiş boyuna dalga hızı değerleri ile azalma yüzdeleri

Sıcaklık (°C)	Havada Soğuma(m/sn)			Suda Soğuma(m/sn)		
	Vp <sub>ort</sub>	Vp <sub>nor</sub>	Vp <sub>azalma</sub>	Vp <sub>ort</sub>	Vp <sub>nor</sub>	Vp <sub>azalma</sub>
25	5335	100	-	5335	100	-
200	4700	88.1	11.9	4925	92.31	7.69
400	3843	72.03	27.97	3823	71.66	28.34
600	2401	45	55	2358	44.2	55.8
800	1506	28.23	71.77	1830	34.3	65.7
1000	1897	35.56	64.44	1428	26.77	73.23

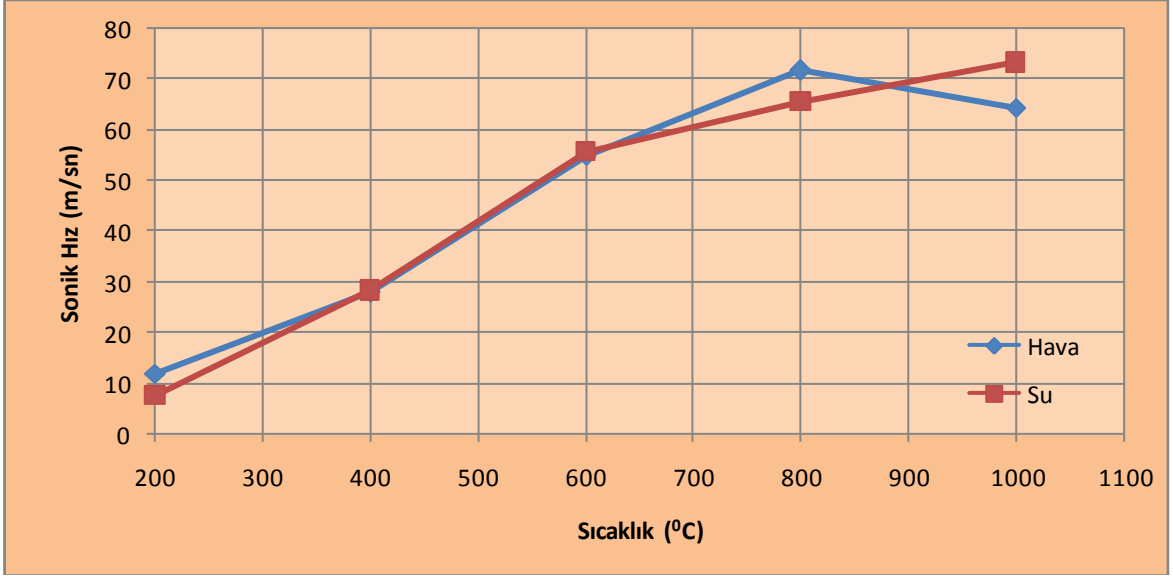
Vp<sub>ort</sub>: ortalama değer, Vp<sub>nor</sub>: normalize edilmiş değer, Vp<sub>azalma</sub>: azalma yüzdesi



Şekil 3.16. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin boyuna dalga hızlarında meydana gelen değişimler

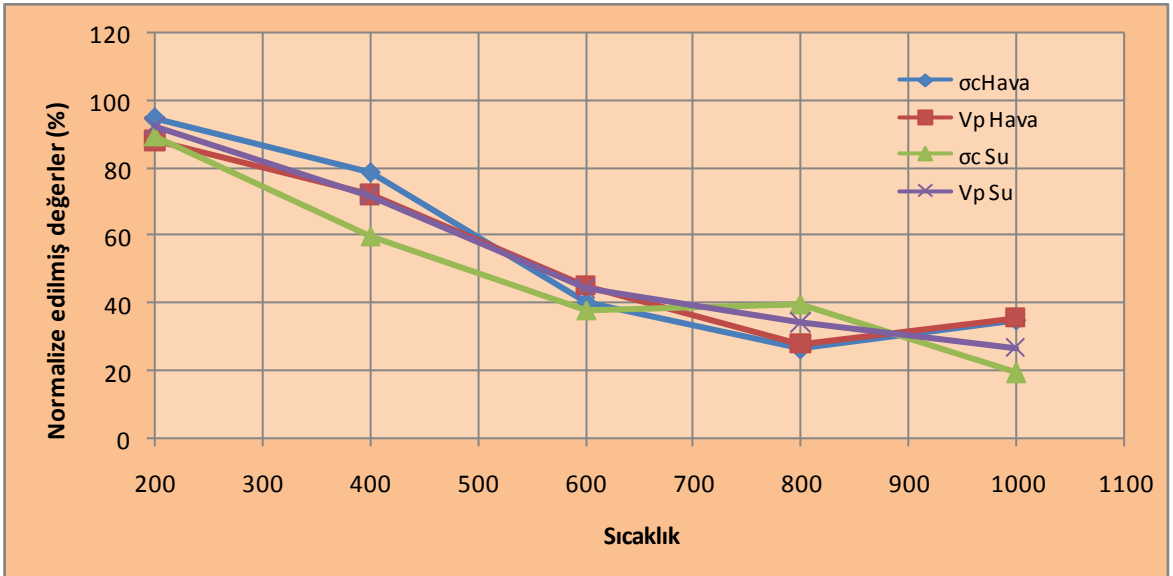


Şekil 3.17. Farklı şekillerde soğuyan örnekler için normalize edilmiş  $V_p$  değerleri



Şekil 3.18. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin dayanımında meydana gelen azalma yüzdesi

Şekil 3.19'da oda sıcaklığına kıyasla normalize edilmiş havada ve suda soğumuş örnekler için tek eksenli basınç dayanımı ve boyuna dalga hızı değişimi grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde sıcaklık artışıyla birlikte havada ve suda soğuyan örnekler için tek eksenli sıkışma dayanımında ve boyuna dalga hızında aynı oranlarda azalmaların meydana geldiği görülmüştür.



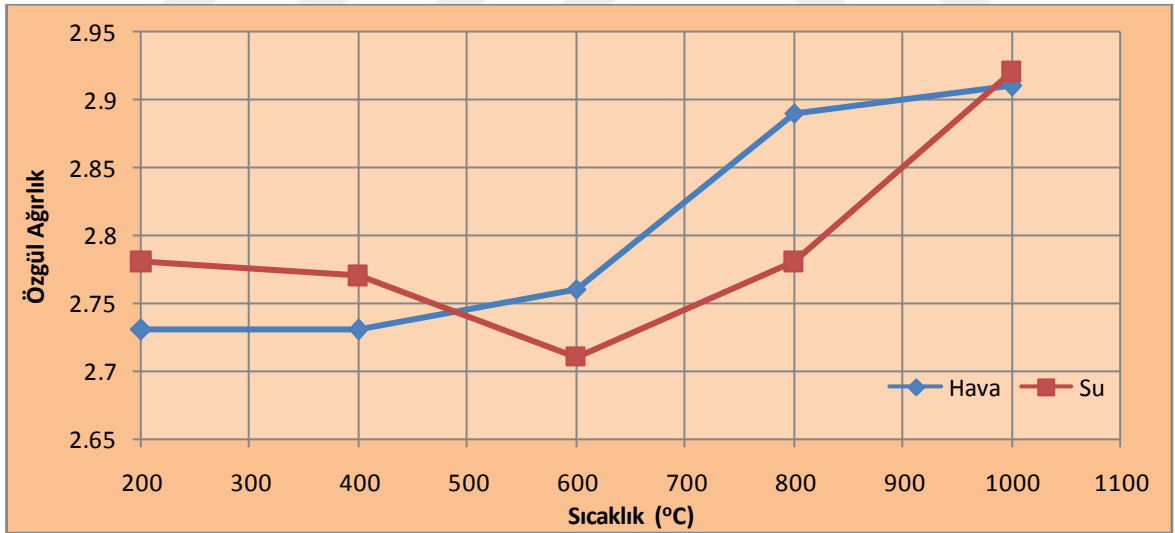
Şekil 3.19. Havada ve suda soğuyan örnekler için normalize edilmiş değerler.

### 3.5.3. Özgül Ağırlık

Sıcaklık artışıyla birlikte tefrit örneklerinin özgül ağırlıklarında 600°C'den sonra artış meydana gelmiştir (Şekil 3.20). Tablo 3.9'da her sıcaklık kademesi için havada ve suda soğuyan örnekler için özgül ağırlık değerleri verilmiştir. Genel olarak 600°C'ye kadar özgül ağırlık değerlerinde azalma kaydedilirken bu sıcaklıktan sonra özgül ağırlık değerlerinde ani artışlar görülmüştür. Bu durum 600°C'den sonra ergimenin başlayarak boşluk oranını azalttığı ve dane birim hacim ağırlığının arttığını göstermektedir. Şekil 3.17' de bu örnekler için kritik sıcaklık değerinin 600°C olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.9. Havada ve suda soğumuş örneklere ait ortalama özgül ağırlık değerleri

Sıcaklık(°C)	Havada soğuyan örnekler	Suda Havada soğuyan örnekler
200	2.73	2.78
400	2.73	2.77
600	2.76	2.71
800	2.89	2.78
1000	2.91	2.92



Şekil 3.20. Sıcaklık artışıyla birlikte örneklerin özgül ağırlıklarında meydana gelen değişimler



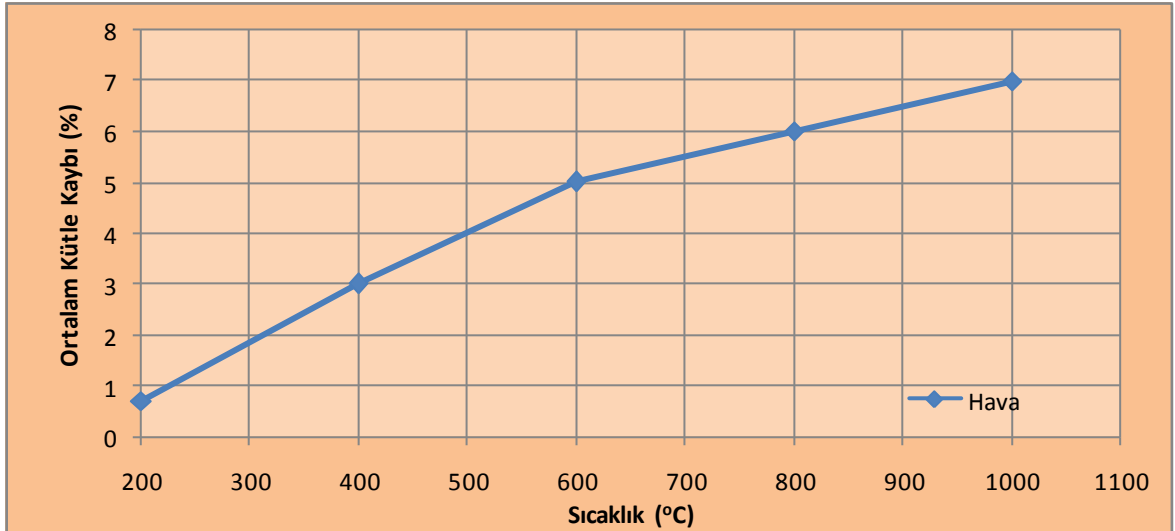
### 3.5.4. Kütle Kaybı

Yapılan deney sonuçlarında sıcaklık ile kütle kaybı arasında doğru bir orantı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.21). Kütle kayıpları 200 °C ve 400°C sıcaklıkta bağlı suyun, , 600°C, 800°C,1000°C sıcaklıkta ise minerallerin kristal ağında yer alan sabit suyunun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Her sıcaklık kademesi için havada soğuyan örnekler için ortalama kütle kaybı değerleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Havada soğumuş örneklere ait ortalama % kütle kaybı değerleri

Sıcaklık (°C)	Örnek Sayısı (Adet)	Kütle Kaybı (%)
200	3	0.7
400	3	3
600	12	5
800	10	6
1000	7	7

Şekil 3.21 incelendiğinde toplam kütle kaybının %70'inin ilk 600°C'de olmuş, bu sıcaklıktan sonra daha az oranda kütle kay değerleri kaydedilmiştir. Bu durum bize kritik sıcaklık değerinin 600°C olabileceğini göstermiştir.



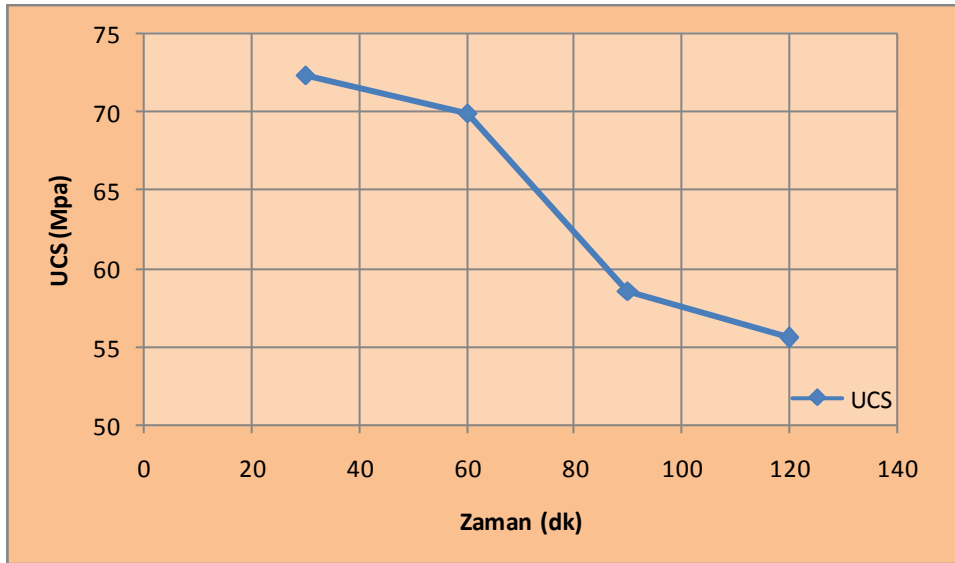
Şekil 3.21. Sıcaklık artışıyla kütle kaybı arasındaki ilişki

### 3.5.5. Isınma Süresinin Etkisi

Yüksek sıcaklık değerlerinde tefrit örneklerinin sıcaklığa maruz kalma süresi ile dayanımı arasındaki ilişkinin tespit edilmesi amacıyla belirlenen kritik sıcaklıkta örnekler farklı zaman aralıklarında ısıtılmıştır. Isıtılan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı tespit edilerek ısıtılma süresinin etkisi araştırılmıştır. Dayanımdaki ve kütle kaybındaki ani düşüşler ile özgül ağırlıktaki ani artışların olduğu sıcaklık değeri dikkate alındığında kritik sıcaklık 600°C olarak seçilmiştir. Seçilen bu sıcaklık değerinde örnekler 30, 60 ve 90 dakika süreyle ısıtılmıştır. Isıtılan ve havada soğuyan örneklerle ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri sırasıyla; 72, 69 ve 58 MPa dır (Tablo 3.11). Dayanım değerleri incelendiğinde ısıtılma süresi arttıkça örneklerin dayanımında azalmalar meydana geldiği anlaşılmıştır (Şekil 3.22)

Tablo 3.11. Farklı ısıtılma sürelerine ait örneklerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Zaman (dk)	Örnek Sayısı (Adet)	$\sigma_c$ (MPa)
30	3	72.31
60	3	69.91
90	3	58.52
120	5	55.55



Şekil 3.22. Isıtılma süresi ile dayanım arasındaki ilişki

Şekil 3.22 incelendiğinde tefritler için kritik sıcaklıkta kritik sürenin 60-90 dk arasında olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geç Kretase yaşlı volkano-tortul seri içerisinde sil şeklinde yerleşmiş olan tefritler, uzun yıllardan beri Trabzon ve çevresinde yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da Trabzon ilinin 10 km güneyinde bulunan Saraftepe yöresindeki hammadde ocağından temin edilen tefrit örneklerinin yüksek sıcaklıklar etkisiyle mühendislik özellikleri üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiş, elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Çalışma alanı ve çevresinde genel olarak Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu'na ait kayalar yüzeyleme vermektedir. Marn, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşan tortul kayalar, bazalt, andezit ve piroklastitlerin hakim olduğu formasyon içerisinde mercek şeklinde bulunmaktadır. Saraftepe tefritleri bu tortul kayalar içerisinde uyumlu olarak sil şeklinde yerleşmiştir.
2. Tefritler, Trabzon ili ve çevresinde çoğunlukla yol döşemelerinde kullanılmak için tercih edilmekte, daha az oranda tarihi binaların restorasyonunda veya yapılarda döşeme ve cephe kaplanmasında kullanılmaktadır.
3. Doğal taşların bazen yangın ve benzeri nedenlerle çok yüksek sıcaklıklara maruz kalabildiği ve maruz kalınan sıcaklık derecesi ve süresine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin değiştiği bilindiği için, bu çalışmada tefritlerin ilksel özellikleri ile farklı sıcaklık koşullarında belirlenen özellikleri karşılaştırılmış, çalışmanın ilk aşamasında örneklerin oda sıcaklığında fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya koyulmuştur.
4. Örnekler 200-1200 °C arasında farklı sıcaklıklarda 2 saat süre ile ısıtılmış, soğuma hem oda sıcaklığında hem de termal şok oluşturmak için su içerisinde gerçekleştirilmiş, tefritlerin mühendislik özelliklerindeki değişim belirlenmesi amacıyla tek eksenli basınç direnci, ultrasonik dalga hızı ve özgül ağırlık değerleri belirlenmiş, sıcaklık kademeleri sonucunda kütle kayıpları hesaplanmıştır.
5. Yapılan çalışmalar sonucunda, her sıcaklık kademesi için fiziksel ve mekanik özelliklerde azalmanın meydana geldiği, 1000 °C'ye maruz kalmış havada ve suda ayrı olarak soğuyan örneklerde tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinde % 65 ve % 80 oranında, boyuna dalga hızı değerlerinde % 64 ve % 73 oranında azalma görüldüğü ortaya koyulmuştur.

6. Oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış örneklerde 1000 °C’de kütle kaybı değeri % 7’ye ulaşmış, özgül ağırlık değerlerinde ise % 7.4 ve % 7.7 oranında artış meydana gelmiştir.
7. Elde edilen veriler sonucunda, boyuna dalga hızındaki toplam azalmanın yaklaşık % 55’inin, tek eksenli sıkışma dayanımındaki toplam azalmanın ise yaklaşık % 60’ının, 600 °C sıcaklığa kadar meydana geldiği bu sıcaklıktan kademesinden sonra değişimin azaldığı anlaşılmıştır.
8. 600 °C, özgül ağırlık değişiminde de etkin sıcaklık olmuş, bu değerden sonra özgül ağırlıklarda da net bir artış görülmüştür. Bu nedenle tefrit örnekleri için kritik sıcaklığın 600 °C olduğu düşünülmüştür.
9. Kritik sıcaklık değerinde zamanın kayaç örneklerinin mühendislik davranışı üzerinde etkisinin araştırılması için örnekler kritik sıcaklıkta 30, 60, 90 ve 120 dakika ısıtılmış ve 60. dakikadan sonra tek eksenli basınç direnci değerlerinde ani bir düşüşün olduğu belirlenmiştir.
10. Elde edilen tüm sonuçlar tefrit örnekleri için kritik sıcaklık değerinin 600 °C, etkin sıcaklık zamanının ise 60 dakika olduğunu göstermektedir.
11. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda doğal yapı taşı olarak kullanılan farklı kökene sahip kayaçlarda da sıcaklık etkisinin araştırılması, bununla birlikte özellikle kritik ve etkin sıcaklık zamanı için örneklerin mineralojik özelliklerinin nasıl değiştiğinin ortaya koyulması önerilmektedir.
12. Ayrıca, bir yangın için 600 °C’ın çok düşük sıcaklık olduğu, bu sıcaklığın bile tefrit örneklerinin mühendislik davranışının olumsuz etkilediği düşünüldüğünde, doğal yapı taşı standartlarında sadece ilksel durum için belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklerin yeterli olmayacağı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, standartlara farklı fiziksel koşullar karşısında kayaçların mühendislik davranışlarında meydana gelebilecek sınır değerlerin eklenmesi önerilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akdeniz, N., 1988. Demirözü Karboniferi ve Bölgesel yapı İçindeki Yeri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 31, 1,70-80.
- Altındağ, R., 2002. Effects of Specimen Volume and Temperature on Measurements of Shore Hardness, Rock Mechanics and Rock Engineering, 35, 2, 109-113.
- Altuğ, M., 2012 Sıcaklığın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçlar Üzerindeki Etkisi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey, *Chemie der Erde*, 57, 157-187.
- Arslan, M., Temizel, İ. ve Abdioğlu, E., 2002. Subduction input versus source enrichment and role of crustal thickening in the generation of Tertiary magmatism in the Pontid Paleo-Arc setting, NE Turkey, In: B. De Vivo, B., R.J. Bodgar, R.J. (Eds.) Workshop-Short Course on Volcanic Systems, Geochemical and Geophysical Monitoring, Melt inclusions: Methods, applications and problems, Napoli, Italy.
- Arslan, M., Kolaylı, H. ve Temizel, İ., 2004. Güre (Giresun, KD Türkiye) granitoidinin petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri, *Yerbilimleri (Earth Sciences)*, 30, 1-21.
- Arslan, M., Kadir, S., Abdioğlu, E. ve Kolaylı, H., 2006. Origin and formation of kaolinite in saprolite of the Tertiary alkaline volcanic rocks, Eastern Pontides, NE Turkey. *Clay Minerals*, 41, 599-619.
- 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.
- ASTM, 1994. (American Society for Testing and Materials), Annual Book Of ASTM Standards Construction: Soil and Rock, *ASTM Publication*.
- Aydın, F., 2004. Değirmendere vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) volkanitlerinin mineral kimyası, petrolojisi ve petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, F., Karslı, O. ve Sadıklar, MB., 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, 1-24.

- 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, *Geologia*, 57, 233- 244.
- Chen, Y.L., Ni, J., Shao, W., ve Azzam, R., 2012. Experimental Study on The Influence of Temperature on The Mechanical Properties of Granite Under Uni-Axial Compression and Fatigue Loading, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 56, 62-66.
- Dokuz, A., 2001. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: the Koşse composite pluton. *Gondwana Research*, 19, 926–944.
- Dwivedi, R.D., Goel, R.K., Prasad, V.V.R, ve Sinha, A., 2008. Thermo-Mechanical Properties of Indian and Other Granites, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 303-315.
- 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.
- Eyuboglu, Y., Bektaş, 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.
- Eyuboglu, Y., Bektaş, O., ve Pul, D., 2007. Mid-Cretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the Eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *International Geology Review* 49 (12), 1103–1126.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250000 ölçekli jeolojik ve metalojenik haritası, MTA, Ankara.
- Habiboğlu, Y.E., 1989. Doğu Pontid Güney Zonu'ndaki (Bayburt-Demirözü) Metamorfite-Ofiyolit Birliğinin (Pulur Masifi) Jeotektonik Anlamı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- ISRM, 1981. (International Society for Rock Mechanics), Rock characterization, testing and monitoring: *ISRM Suggested methods*, Pergamon Pres, Oxford, E.T. Brown (ed.), 1981.
- Karlı, 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.



- Keskin, M., 2007. Eastern Anatolia: a hotspot in a collision zone without a mantle plume. In: Foulger, G.R., Jurdy, D.M. (Eds.), *Plates, Plumes, and Planetary Processes*, Geological Society of America Special Paper, 430, 693–722.
- Korkmaz, S., ve Baki, Z., 1984. Demirözü (Bayburt) güneyinin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 5, 107-115.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., ve İlbeyli, N., 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest 271 Trabzon area, eastern Pontides, Turkey, *International Geology Review*, 54, 15, 1776–1800.
- 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.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides. In: Robinson, A.G. (ed.), *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 68, 291-311.
- 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.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidlerde Kretase, *KTÜ., Yerbilimleri Dergisi*, 2, 65-114.
- Sriapai, T., Walsri, ve C., Fuenkajorn, K., 2012. Effect of Temperature on Compressive and Tensile Strengths of Salt, *ScienceAsia*, 38, 166-174.
- Şen, C., Arslan, M. ve Van, A., 1998. Doğu Pontid (Kd Türkiye) Eosen (?) Alkalin Volkanik Provensinin Jeokimyasal ve Petrolojik Karakteristikleri, *Tübitak Yayınları, Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 231-239.
- Şen, C., 2007. Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related?, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.

- Tanyolu, E., 1988. Pulur Masifi (Bayburt) Doğu Kesiminin Jeolojisi, MTA Dergisi, 108, 1-17.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, WH., 2004a. Low-grade metamorphic rocks from the Pulur complex, NE Turkey: implications for the pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. *Int J Earth Sci*, 93, 72–91.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O. ve Schwartz, WH., 2004b. Aluminous granulites from the Pulur Complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallisation. *Lithos*, 72, 183–207.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, WH., Zack, T., Hasözbek, A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous high-potassiumI-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: the Gümu's,hane pluton (NE Turkey). *Lithos* 116, 92–110.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleleri, *JMO yayınları*, Ankara, 2011.
- Yavuz, H.,Demirdağ, S., ve Caran, S., 2010. Thermal Effect on The Physical Properties of Carbonate Rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 1, 94-103.
- Yukutake, H.,Shimada M., 1995. A Novel Triaxial Testing Apparatus for Deformation, Fracture and Frictional Sliding of Rocks at High Pressure and Temperature, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. &Geomech. Abstr.*,32, 181-184.
- Zhang, L.Y., ve Mao, X.B., 2009. Experimental Study on The Mechanical Properties of Rocks at High Temperature, *Sciencein ChinaSeries E: Technological Sciences*, 52, 641-646.
- Wan, Z.J.,Zhao, Y.S., Zhang Y., ve Wang, C., 2009. Research Status Quo and Prospection of Mechanical Characteristics of Rock Under High Temperature and High Pressure, *Procedia Earth and PlanetaryScience* 1, 565-570.
- XU, X.L.,Gao, F., Shen, X.M., ve Xie, H.P., 2008. Mechanical Characteristics and Microcosmic Mechanisms of Granite Under Temperature Loads, *J China Univ Mining&Technol*, 18, 413-417.

## ÖZGEÇMİŞ

Hilal HARPUTLU, 25.01.1989 yılında Merzifon/Amasya’da doğdu. İlkokulu ve ortaokulu İzmir Mevlüt Özer İlköğretim Okulu’nda Liseyi Gazıemir lisesinde tamamladı. 2008–2009 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2013-2014 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa başladı.

