

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANGIN KAYNAKLI AFETLERİN TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN
DOĞAL YAPI TAŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Enes KILIÇ

ARALIK 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YANGIN KAYNAKLI AFETLERİN TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN
DOĞAL YAPI TAŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Muhammed Enes KILIÇ

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 11 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 09 / 12 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sabriye Banu İKİZLER

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, yangın kaynaklı afetlerin tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışmam boyunca bana rehberlik eden, desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan değerli danışman hocam Prof. Dr. Sabriye Banu İKİZLER'e en içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Araştırmamın her aşamasında bilimsel bakış açısı kazandıran ve çalışmama yön veren değerli hocalarım Prof. Dr. Hakan ERSOY ve Prof. Dr. Arzu FIRAT ERSOY'a, özverili destekleri, derin bilgi birikimleri ve yol göstermeleri sayesinde bu çalışmayı tamamlayabilmem mümkün oldu. Her zaman yanımda olduğunuz için teşekkür ederim.

Ayrıca, araştırmam süresince yanımda olan ve beni her konuda destekleyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Oğuz Sünneci'nin değerli katkısı ve kıymetli rehberliği, tez çalışmamın başarıyla sonuçlanmasında büyük rol oynadı.

Bu süreçte, her zaman yanımda olan hayat arkadaşım Kübra BULUT'a, zor anlarımda motivasyon kaynağım olan ve her durumda bana güç veren aileme minnettarım. Sabrınız, anlayışınız ve sevginiz olmadan bu yolculuğu tamamlamam mümkün olmazdı.

Muhammed Enes KILIÇ
Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yangın Kaynaklı Afetlerin Tarihi Yapılarda Kullanılan Doğal Yapı Taşları Üzerindeki Etkileri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Sabriye Banu İKİZLER’in 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. 09/12/2024

Muhammed Enes KILIÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Literatür Özeti	3
1.4. Yangının Oluşumu ve Yayılma Dinamikleri.....	6
1.5. Tarihi Yapılardaki Yangınlar	8
1.5.1. Yangınların Tarihi Yapılar Üzerindeki Etkileri	8
1.5.2. Yurt Dışındaki Tarihi Yapılardaki Yangınlar	8
1.5.3. Türkiye’deki Tarihi Yapılarda Yangın	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
2.1. Doğal Yapı Taşlarının Temin Edilmesi.....	14
2.2. Bloklardan Karot Örneği Hazırlama	14
2.3. Numunelerin Özelliklerinin Belirlenmesi	16
2.3.1. Kuru Yoğunluk	17
2.3.2. Özgül Ağırlık	18
2.3.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	20
2.3.4. Ultrasonik Hız Ölçümü	21
2.3.5. Brazilian Deneyi (Dolaylı Çekme Dayanımı).....	23
2.3.6. Numunelere Yüksek Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulaması	24
2.3.7. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi).....	26
3. BULGULAR.....	28
3.1. İlksel Numunelerin Kuru Yoğunluk ve Özgül Ağırlık Değerleri.....	28

3.1.1.	İlksel Numunelerin Ultrasonik Boyuna Dalga Hızı	30
3.1.2.	İlksel Numunelerin Tek Eksenli Dayanım Değerleri.....	31
3.1.3.	İlksel numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı	33
3.2.	Yangın Sıcaklığı Altında İşlem Görmüş Numunelerin Özellikleri	35
3.2.1.	Mikro-Yapısal Değişimler	35
3.2.2.	Numunelerin Kuru Yoğunluk ve Özgül Ağırlık Değişimleri	40
3.2.3.	Boyuna Dalga Hızındaki Değişim	44
3.2.4.	Tek Eksenli Basınç Dayanımının Değişimi	48
3.2.5.	Dolaylı Çekme Dayanımının Değişimi	52
3.2.6.	Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim Yüzdeleri	55
4.	SONUÇLAR.....	57
5.	ÖNERİLER.....	59
6.	KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YANGIN KAYNAKLI AFETLERİN TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN DOĞAL YAPI TAŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Muhammed Enes KILIÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. S. Banu İKİZLER
2024, 62 Sayfa

Bu tez çalışmasında, yangın kaynaklı afetlerin tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşları üzerindeki etkileri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Tarihi yapılarda, yangın afetleri nedeniyle hem fiziksel hasar hem de kültürel miras kaybı gibi geri dönüşü olmayan sonuçlarla karşılaşılabilir. Yangın etkisine maruz kalan kayaçların dayanım özelliklerindeki değişimlerin anlaşılmasıyla literatürdeki önemli bir eksikliğin giderilmesi ve yangından zarar gören tarihi yapılara uygun restorasyon malzemelerinin seçimine ışık tutularak, tarihi yapıların yangın sonrası korunması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada, Eurocode 1 (2002) standartlarına uygun olarak, dış yangın sıcaklığı olan 680 °C'ye kadar ısıtılan kayaç numunelerinin, kuru yoğunluk, özgül ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiklikler incelenmiş; mikro-yapısal değişimler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir. Isıl işlem sonrasında numunelerin kuru yoğunluk değerlerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir, ancak tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarında belirgin bir düşüş ortaya çıkmıştır. Özgül ağırlık değerlerinde ise, diğer sonuçların aksine, yangın sırasındaki ergime sonucunda oluşan minerallerle artış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Afet, Tarihi Yapılar, Yapı Taşları

Master Thesis

SUMMARY

EFFECTS OF FIRE-INDUCED DISASTERS ON NATURAL BUILDING STONES USED IN HISTORICAL STRUCTURES

Muhammed Enes KILIÇ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Sabriye Banu İKİZLER
2024, 62 Pages

This thesis investigates the effects of fire-related disasters on natural building stones used in historical structures in a controlled laboratory environment. In historical structures, disasters fires can result in irreversible outcomes, including both physical damage and the loss of cultural heritage. By understanding the changes in the durability properties of stones exposed to fire, this study aims to address a critical gap in the literature and provide insights for selecting appropriate restoration materials for fire-damaged historical buildings, thus aiding in the post-fire preservation of these structures. For this purpose, in compliance with Eurocode 1 (2002) standards, rock samples were heated to an external fire temperature of 680 °C, and changes in their physical and mechanical properties, such as dry density, specific gravity, uniaxial compressive strength, and indirect tensile strength, were examined; microstructural alterations were observed using Scanning Electron Microscopy (SEM). After the thermal treatment, no significant changes were observed in the dry density values of the samples; however, a notable decrease was evident in both uniaxial compressive and indirect tensile strengths. In contrast to the other results, specific gravity values increased due to minerals formed by melting during the fire.

Key Words: Fire, Disaster, Historical Structures, Building Stones

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yangın üçgeni.....	7
Şekil 2. 1923 Kanto depremi sonrası çıkan yangın.....	9
Şekil 3. 1995 Kobe Yangını.....	10
Şekil 4. 1917’de meydana gelen patlamanın ardından Haydarpaşa Garı	11
Şekil 5. 28.11.2010 Haydarpaşa Garı yangını	11
Şekil 6. Yangın sırasında Rauf Paşa Konağı	12
Şekil 7. Tarihi Galatasaray Üniversitesi binasının yangın sonrası	13
Şekil 8. Silindirik karot uçlarının kesilmesi (a), Blok örneklerden silindirik karot çıkarma işlemi (b), Karot uçlarının düzeltilmesinde kullanılan karot ucu düzeltme cihazı (c).....	15
Şekil 9. Deneyler için numaralandırılarak hazırlanmış silindirik numuneler	16
Şekil 10. Silindirik numunelerin çap ve boylarının kumpas aracılığıyla ölçülmesi	17
Şekil 11. Numunelerin kuru kütlelerinin belirlenmesi.....	18
Şekil 12. Vakum pompası, desikatör, hassas terazi ve piknometre ile özgül ağırlık tayini deneyinin yapılışı.....	20
Şekil 13. Tek eksenli basınç deneyi.....	21
Şekil 14. Silindirik numunelerin P dalga hızlarını ölçmek için kullanılan ultrasonik hız test cihazı	22
Şekil 15. Brazilian deneyinde kullanılması için hazırlanan numuneler.....	24
Şekil 16. Brazilian deneyi sonucunda numunelerin son hali (a), Örnek numunenin yükleme çenesindeki konumu (b).....	24
Şekil 17. Yangın-sıcaklık eğrisi	25
Şekil 18. Isıl işlem görmüş silindirik numuneler(a), Dolaylı çekme dayanımı için ısıtıl işlem görmüş numuneler(b)	26
Şekil 19. Örneklerin 1 cm ³ haline getirilmesi (a), SEM analizi için örneklerin tabakaya dizilmesi (b), Örneklerin altın ile kaplanması (c), SEM ile elde edilen görüntülerin analiz edilmesi (d)	27
Şekil 20. Ankara numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıtıl işlem sonrasında Ankara numunelerinin SEM görüntüsü (b).....	36
Şekil 21. Erzurum numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıtıl işlem sonrasında Erzurum numunelerinin SEM görüntüsü (b).....	37

Şekil 22.	Rize numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıt işlem sonrasında Rize numunelerinin SEM görüntüsü (b).....	38
Şekil 23.	Trabzon numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıt işlem sonrasında Trabzon numunelerinin SEM görüntüsü (b).....	39
Şekil 24.	680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki kuru yoğunluğunun karşılaştırılması.....	43
Şekil 25.	680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki özgül ağırlıklarının karşılaştırılması.....	44
Şekil 26.	680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki boyuna dalga hızlarının karşılaştırılması	48
Şekil 27.	680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması	51
Şekil 28.	680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki brazilian dolaylı çekme dayanımlarının karşılaştırılması	55

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Kültürel miras alanlarındaki (2014-2019) büyük yangınlar	2
Tablo 2. Çalışmada kullanılan kayaç türleri, bulundukları lokasyonlar ve yapım/restorasyondaki tarihi yapılar	14
Tablo 3. Erzurum ilinden temin edilen andezitlere ait ilksel örneklerin ait fiziksel özellikleri	28
Tablo 4. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler	29
Tablo 5. Trabzon-Merkez ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler	29
Tablo 6. Rize-İyidere ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler	29
Tablo 7. Erzurum ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları	30
Tablo 8. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları	30
Tablo 9. Trabzon ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları	31
Tablo 10. Rize-İyidere ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları	31
Tablo 11. Erzurum ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları	32
Tablo 12. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları	32
Tablo 13. Trabzon ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları	32
Tablo 14. Rize-İyidere ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları	33
Tablo 15. Erzurum ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları	34
Tablo 16. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları	34
Tablo 17. Trabzon-Merkez ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları	35
Tablo 18. Rize-İyidere ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları	35
Tablo 19. Yangın sıcaklığının etkisiyle Erzurum-Merkez numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi	40
Tablo 20. Yangın sıcaklığının etkisiyle Ankara-Gölbaşı numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi	41
Tablo 21. Yangın sıcaklığının etkisiyle Trabzon-Merkez numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi	42
Tablo 22. Yangın sıcaklığının etkisiyle Rize-İyidere numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi	43
Tablo 23. Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi	45

Tablo 24.	Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi.....	45
Tablo 25.	Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi.....	46
Tablo 26.	Rize-İyidere numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi.....	47
Tablo 27.	Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri	49
Tablo 28.	Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri	49
Tablo 29.	Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri	50
Tablo 30.	Rize-İyidere numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri	50
Tablo 31.	Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri	52
Tablo 32.	Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri	53
Tablo 33.	Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri	53
Tablo 34.	Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri	54
Tablo 35.	Yangın ve İlksel numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüzdesel olarak karşılaştırılması.....	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Yüzey Alan (m^2)
D	: Silindirik Numune Çap (cm)
F	: Çatlağın oluştuğu andaki kuvvet (MPa)
L	: Silindirik Numune Boy (cm)
V	: Örnek Numunenin Hacmi (cm^3)
V_p	: Boyuna Dalga Hızı (m/sn)
G_s	: Özgül Ağırlık
M_1	: Piknometre Kütlesi (gr)
M_2	: Piknometre Kütlesi (gr) + Kuru Örnek Kütlesi (gr)
M_3	: Piknometre Kütlesi (gr) + Kuru Örnek Kütlesi (gr) + Saf Su Kütlesi (gr)
M_4	: Piknometre Kütlesi (gr) +Saf Su Kütlesi (gr)
M_d	: Zeminin Kuru Ağırlığı (gr)
γ_k	: Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)
σ_c	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
σ_T	: Brazilian (Dolaylı Çekme Dayanımı)
ρ_k	: Kuru Yoğunluk (Mg/m^3)
g	: Yer Çekimi İvmesi (m/sn^2)
P_{max}	: Numunenin Kırıldığı Andaki Maksimum Yük (kN)
t	: Süre (sn)
DBÇB	: Dolaylı Brazilian Çekme Dayanımı
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
ISRM	: Uluslararası Sonuç Yönetimi Standardı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yangına bağılı afetlerin ulusal ve uluslararası düzeyde yarattığı tahribat, göz ardı edilemeyecek öneme sahiptir. Bu tür yangınların sonuçlarına bakıldığında, meydana gelen zararın yalnızca fiziksel alanlarla sınırlı kalmayıp, o bölgede yaşayan insanlar üzerinde derin etkiler bıraktığı görülmektedir. Doğal yapı taşlarıyla yapılan tarihi yapılar, yangının zarar verdiği yapı türleri arasında özel bir yere sahiptir; çünkü bu yapıların yangından etkilenmesi hem tarihsel mirasın hem de kültürel değerlerin kaybına yol açmaktadır. Küresel ölçekte farklı bölgelerde meydana gelen afetler, kültürel değerlerin devamlılığını tehdit eden en önemli etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yangın afetinin türü ne olursa olsun, etkili yönetim stratejileriyle önlenabilen veya etkileri azaltılabilen bir tehlikedir. Bu nedenle özel bir dikkat gerektirmektedir. Toplumsal afetler sınıfında yer alan yangınlar, tarihi yapılar için ciddi bir tehlike oluşturarak, bu yapıların içinde barındırdığı değerli koleksiyonlar ve kültürel unsurlarla birlikte insan hayatını da tehdit etmektedir. Sonuç olarak, birçok yapıda geri dönüşü olmayan kayıplara neden olmaktadır. Tarihsel süreçte, dünyanın çeşitli bölgelerinde özellikle tarihi yapılar üzerinde farklı sebeplerle ortaya çıkan yangın kaynaklı afetler sıkça yaşanmış ve günümüzde de yaşanmaya devam etmektedir.

Son yıllarda kültürel miras alanlarında yaşanan yangın felaketleri, dünyanın ortak kültürel değerleri üzerinde kalıcı hasarlar bırakmıştır. Gerçekleşen bu yangınlar kültürel tarihi yapıların korunmasının gerekliliğini kanıtlar niteliktedir. Yangın kaynaklı afetlerden etkilenmeyen tarihi yapıların belirlenmesi, bu yapıların yapısal ve malzeme özelliklerinin detaylı analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizler, literatürdeki mevcut eksikliklerin giderilmesine katkı sağlayarak, olası yangın risklerine karşı daha kapsamlı ve etkili önlemlerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır (Tablo 1).

2014-2019 yılları arasındaki beş yıllık süreçte, farklı kıtalarda meydana gelen yangınlar, pek çok tarihi yapıyı etkileyerek geri dönülmesi imkânsız can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Bu afetler, birçok medeniyetin kültürel zenginliğini temsil eden mirasların yok olmasına da yol açmıştır. Gerçekleşen bu yangınlar kültürel tarihi yapıların korunmasının gerekliliğini kanıtlar niteliktedir. Yangın kaynaklı afetlerden etkilenmeyen tarihi yapıların belirlenmesi, bu yapıların yapısal ve malzeme özelliklerinin detaylı analiz

edilmesi gerekmektedir. Bu analizler, literatürdeki mevcut eksikliklerin giderilmesine katkı sağlayarak, olası yangın risklerine karşı daha kapsamlı ve etkili önlemlerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır.

Tablo 1. Kültürel miras alanlarındaki (2014-2019) büyük yangınlar (FM Global, 2019)

Kültürel Miras Alanı	Yıl	Yer
Glasgow Sanat Okulu	2014	Glasgow, Birleşik Krallık
Dukenzong Kenti, Shangri-La	2014	Yunnan Eyaleti, Çin
Sosyal Bilimler Bilimsel Bilgi Enstitüsü	2015	Moskova, Rusya
Clandon Park Evi	2015	Surrey, Birleşik Krallık
Ulusal Doğa Tarihi Müzesi	2016	Yeni Delhi, Hindistan
Aziz Sava Katedrali	2016	New York, USA
Lingguan Konağı	2017	Sichuan Eyaleti, Çin
Jakarta Denizcilik Müzesi	2018	Jakarta, Endonezya
Glasgow Sanat Okulu	2018	Glasgow, Birleşik Krallık
Jokhang Tapınağı	2018	Tibet, Çin
Ulusal Müze	2018	Rio de Janerio, Brezilya
Notre Dame Katedrali	2019	Paris, Fransa

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, yangın kaynaklı afetlerin tarihi yapılarda kullanılan doğal yapı taşları üzerindeki etkilerini laboratuvar koşullarında inceleyerek, 680°C dış yangın sıcaklığına maruz kalan kayaçların fiziksel ve mikro-yapısal özelliklerindeki değişimleri değerlendirmektir. Çalışmada, Eurocode 1 (2002) tarafından önerilen sıcaklık eğrisi kullanılarak, maksimum 680 °C'ye kadar yükselen bir ısıtma yöntemi uygulanarak, Erzurum, Ankara, Rize andezitleri ile Trabzon bazaltından elde edilen numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru yoğunluk, özgül ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı gibi parametreler ölçülmüştür; ayrıca yangın sonrası mikro-yapısal değişimler SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile gözlemlenmiştir. Tüm deneyler hem başlangıç numuneleri hem de yangın sıcaklığına maruz kalmış numuneler üzerinde tekrarlanarak, sıcaklığın yapı taşlarının dayanım özellikleri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Böylece, yangın etkisine maruz kalan kayaçların dayanım özelliklerindeki değişimlerin anlaşılmasıyla, literatürdeki önemli bir eksiklik giderilmiş ve yangından zarar gören tarihi yapılara uygun

restorasyon malzemelerinin seçimine ışık tutularak, tarihi yapıların yangın sonrası korunması ve restorasyonu alanına özgün bir katkı sağlaması amaçlanmıştır.

1.3. Literatür Özeti

Kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişime neden olan çalışmalar günümüzde devam ederek önemini korumaktadır. Kayaların fiziksel değişimine sebep olan en önemli etkenlerden birisi de yüksek sıcaklıklardır. 19. yüzyıldan şimdiki yaşamımıza kadar olan çalışmalar zemin ve kaya mekaniği alanlarında ani ve yüksek ısıya maruz kalan kayaların mekanik özellikleri açısından incelenmesine öncülük etmiştir.

Bieniawski (1974) kumtaşı, silttaşı, kiltası, kuvarsit ve norit olmak üzere 5 farklı kaya türünde, tek eksenli ve üç eksenli basınç deneyleri yapmıştır. Ampirik mukavemet formülleri kullanarak üç eksenli basınç dayanımını tahmin etmiştir. İlk ampirik formülünde tek eksenli basınç verilerini kullanarak üç eksenli basınç mukavemetini tahmin etmeye çalışmıştır. İkinci ampirik formülünde ise normal gerilme ve kesme gerilmesi kullanılarak üç eksenli basınç mukavemetini tahmin etmiş ve kaya malzemelerinin niteliklerinin belirlemede hızlı bir yöntem olmasını amaçlamıştır.

Heuze (1983), çalışmasında granit kayalarda artan sıcaklık ölçümleriyle; akmaya karşı gösterdiği direnç, poisson oranı, basınç ve çekme dayanımı, erime sıcaklığı, geçirgenlik, özgül ısı, sıcaklık iletkenliği özelliklerini tespit etmiştir. Yaptığı deneyler sayesinde yüksek sıcaklıktaki nükleer atık depolama alanlarında ve kendinden sonraki çalışmalarda granit kayaçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin modellenmesinde öncü olmuştur.

Allison vd. (1999), çalışmasında yüksek sıcaklıktaki deneyler sonucunda kayaçlarda oluşan deformasyonu ölçmeyi amaçlamışlardır. Gerçeğe yakın modellerle yapılan yağmur deneyinde kayaç numunelerinin, yüksek sıcaklık deneyine başlamadan önce nemlendirilmesi sağlanarak suya doymun duruma getirilmiştir. 500°C gerçekte oluşacak bir yangın parametresi olarak seçilmiştir. Serpantinit ve Gabbro kayaç türlerinde 500°C sıcaklıktaki deney sonuçlarında elastisite modülünde belirgin azalmalar gözlemlenmiş fakat Kireçtaşı ve Dolerit de ise 500°C sıcaklıkta değişim göstermemiştir. Yapılan deneylerle kayaçların gerçek dünya şartlarındaki deformasyonunu ölçmek amaçlanmıştır.

Homend-Etienne (1989), çalışmasında farklı çeşit granitler kullanarak (Senones ve Remiremont) termal çatlama durumunu incelemiştir. Numunelerde yüksek sıcaklıklarda

(200°C -600°C) oluşan çatlamlar incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemleri ile örneklerin çatlak uzunlukları, şekilleri ve çatlakların genişlikleri detaylı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülünün sıcaklık artışına bağlı değişimleri değerlendirilmiştir. Özellikle 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, çekme dayanımı, basınç dayanımı ve elastisite modülünde belirgin bir azalma görülmüştür. Bu azalmaların, 500°C-600°C aralığında çatlak uzunluğu ve yoğunluğundaki artışla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Chakrabarti vd. (1996), araştırmasında yangından etkilenmiş binalardaki doğal taşların deformasyona uğradıklarını gözlemlemişlerdir. 600°C-800°C arasındaki sıcaklıklara maruz kalmış taşın önemli ölçüde etkilenebileceğini aynı zamanda termal şok durumunda taşın parçalanabileceği tespit edilmiştir. 200°C-300°C'deki düşük sıcaklıklarda taşın deney sonucundaki oluşan deformasyonu sadece taşın rengindeki değişimle limitlidir. Görülen bu renk değişiminin sebebi demir içerikli bir maden olmasıdır.

Chaki vd. (2008), araştırmasında granit kayaların yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla porozite, geçirgenlik ve P dalga hızı değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Deneyler 105°C-600°C arasında gerçekleşmiştir. Porozite 500°C-600°C arasında artış göstermiş ve daha sonrasında artmaya devam etmiştir. Geçirgenlik 300°C-500°C arasında ani bir artış göstermiş ve artarak devam etmiştir. Ancak P dalga hızı ise 105 °C-300°C de küçük miktarda bir azalma göstermiş, 500°C' den sonra önemli ölçüde bir azalma göstermiştir.

Lam dos Santos vd. (2011), 3 farklı yapay taş ve iki farklı doğal taş kullanarak 20°C ve 200°C arasındaki değişen sıcaklıklarda taşların eğilme ve elastisite modülüne karşı gösterdikleri direnç incelenmiştir. 3 değişik yolla bu ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bunlardan birincisi, taşlar belli bir sıcaklıkla ısıtılmış ve 24 saat bu sıcaklıkta sabit tutulmuş. İkincisi aynı şekilde ısıtılmış fakat soğuduktan sonra ölçüm yapılmıştır. Bu aşamayı sıcaklık ile yaşlanma olarak değerlendirmiştir. Üçüncü aşamada ise yine ısıtılmış ve ani bir şekilde soğutularak termal şok olarak adlandırılmıştır. Yapay taşların eğilmeye karşı gösterdiği dirençte belirgin bir azalmanın olduğu fakat elastik modülünde belirgin bir değişiklik olmamıştır. Sonuçta yapay ve doğal taşlar karşılaştırıldığında, yapay taşların daha yüksek eğilme dayanımı tespit edilmiştir.

Mao, X. Vd. (2009), yapılan bu çalışmada ise kalkerin en yüksek sıcaklık değerinde deney yapılarak, kalkerin mekanik özelliklerinden dayanımı, elastisite modülü, çekme ve basınç dayanımları incelenmiştir. 800°C sıcaklıkta dayanımı, elastik modülü ve çekme

dayanımı belirgin bir şekilde azalmıştır. Son aşamada kalkerin kalıcı bir şekilde şekil değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Chen vd. (2012), göre iki farklı deney yapılarak granitin yüksek sıcaklıktaki mekanik özelliklerine bakılmıştır. Bu deneylerden ilki olan tek eksenli basınç testi 20°C-1000°C arasındaki sıcaklıktaki granitlere uygulanmış. 400°C sıcaklık değeri ve üstü granit için belirgin bir değişim gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. 1000°C'ye ulaşan sıcaklıktaki granitin tek eksenli basınç dayanımının tepe değerindeki gerilme ve elastisite modülü, oda sıcaklığındaki numunelerle kıyaslandığında sırasıyla %20 ve %5 değerlerine kadar azalarak belirgin bir düşüş yaşanmıştır. İkinci yapılan deney ise granitin yüksek sıcaklık değerleriyle aşamalı olarak yorgunluk dayanımı testi yapılmış ve yorgunluk süresi incelenmiştir. Yorgunluk ömrü, sıcaklık seviyesi 400°C ve üstünde arttıkça azalmıştır.

Dwivedi vd. (2007), Hint graniti ve diğer granitler üzerine yüksek sıcaklıklı bir test odasında diğer çalışmalardan farklı olarak granit taşa oluşan küçük çatlakların değişimini taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak ölçmüşlerdir. Ayrıca granit taşlarının sızdırma ve akmaya karşı olan tutumu, çeşitli sıcaklık ve basınç seviyelerinde incelenmiştir.

Becattini vd. (2017), araştırmasında altı tane alp kaya numunesini 100°C-600°C arasında 2,6°C/dak bir ısıtma hızında döngüsel olarak gerçekleştirildi. Yapılan deney sonucunda döngü, özgül ısı kapasitesini düşürmüş ancak gözenekliliğini arttırmıştır. Bazalt, diyabaz ve gnays kayaçlarının yüksek sıcaklıkta termal enerji depolanması için elverişli olduğu tespit edilmiştir. Gnaysın 550°C, bazaltın ise 537°C'ye kadar elverişli olduğu sonuçlandırıldı. Sonuçların belirlenmesinde tek eksenli basınç deneyi dayanımı, çekme dayanımı, ağırlıktaki azalma, uzunluktaki değişim, öz ısı kapasitesi ve porozite deney ölçümleri yapıldı.

Darot vd. (2000), çalışmada yüksek ısıya maruz bırakılan çatlamış granitin basınçlı bir kap içerisindeki ses dalga hızı ve su geçirgenliği ölçülmüştür. Su geçirgenliği deneyinde granite basınç darbesi verilmiş, taşın içinden yayılması gözlemlenmiştir. Granite toplam boyu uzunluğunda akustik bir darbe vererek ses dalgalarının nasıl yayıldığı gözlemlenmiş ve dalga hızını ölçmüşlerdir.

Zhang vd. (2009), mermer, kireçtaşı, kumtaşı kayaç çeşitlerinin yüksek sıcaklıkta tepe dayanımını eğrilerini, tepe gerilmesi eğrilerini ve elastisite modülünü deneysel yöntemlerle incelemiştir. 20°C-800°C sıcaklıkta kayaçların mekanik özellikleri incelenerek nükleer atık depolama gibi alanlar inşa etmek için önemli kaynak oluşturmuştur.

Sun vd. (2016), araştırmasında kumtaşının 25°C-200, 200°C-400°C, 400°C-600°C ve 600°C üzerindeki sıcaklıklarda minerallerin kimyasal reaksiyonları, su kayıpları ve yapısal deformasyonlarını incelenmiştir. Kumtaşının ısıtılmadan önce porozite, özgül ısı, termal difüzyon ve termal iletkenlik özelliklerini ölçerek numunenin ısı transfer parametrelerini ölçülmüştür. Ayrıca kumtaşının X ışını kırınım analizi ve mineral bileşenleri tespit edilmiştir. Feldspat, kuvars, dolomit ve hematit ana bileşenlerinden olduğunu belirlemişlerdir. Endüstriyel uygulamalar için termal parametrelerin etkisiyle ilgili geniş kapsamlı bir analiz yapmışlardır.

Ersoy vd. (2019), volkanik kayaçların yüksek sıcaklık etkisindeki teknik davranışları ve 200°C -1000°C arasındaki mineralojik değişimler incelenmiştir. Hızlı ısıtmanın etkisini düşürmek ve kayaçtaki termal çatlak oluşumunu önlemek için 10 °C/dakika ısıtma hızında her derece için iki saatlik ısınma süresi belirlenmiştir. Kayaçlar, ısıtma işlemi bittikten sonra su içinde ve oda sıcaklığında olmak üzere iki farklı soğutma işlemi uygulanarak dayanımları gözlemlenmiştir. Kayaçların dayanımları 125 Mpa'dan 25 Mpa seviyesine kadar kademeli düşüş gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında soğutulduğunda dayanımı %70 azalmış, su içinde soğutma işleminde yaklaşık %80 bir düşüş incelenmiştir. Dayanımdaki belirgin azalmaların büyük kısmı 600°C ile 700 °C arasında gerçekleşmiştir. Özellikle 800°C üzerindeki sıcaklıklarda farklı minerallerin oluşumu keşfedilmiştir. 1000°C üzerinde kayaçta erimeler gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklığın kayaç üzerindeki hasarı tespit etmesi için tahmin modeli önerildi. Tahmin modeli hasarın tespiti için iki denklem içermektedir. Birinci denklemde hasarın tespiti için tek eksenli basınç dayanımı değerlerini kullanmaktadır. İkinci denklemde, P-dalga hızı değerlerini kullanarak termal hasar tespit etme olarak tanımlanmıştır. Artan sıcaklık ve kayaçların dayanım değerleri arasındaki istatistik yaklaşımı gösteren grafiklerle desteklenmiştir. Çalışma sonucunda termal hasara uğrayan volkanik kayaçların mineralojik ve mekanik değişimlerini tahmin etmek için yeni bir modelin geliştirilmesine öncü olmuştur.

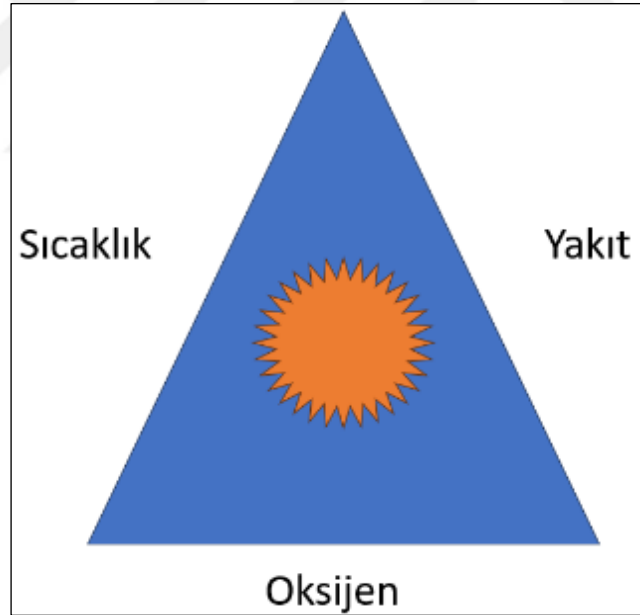
1.4. Yangının Oluşumu ve Yayılma Dinamikleri

Yanma, yanıcı bir maddenin ısıya maruz kaldığında oksijenle birleşip enerji açığa çıkardığı bir reaksiyondur. Başka bir deyişle, madde ısındıkça moleküller daha hızlı hareket eder, bu da serbest atomların ve atom gruplarının ortaya çıkmasına yol açar. Bu şekilde madde oksijenle kolayca etkileşime girer ve bu süreç yanma olarak tanımlanır. Yanma,

ortamdaki oksijenin kullanılmasıyla gerçekleşen ve bu süreçte ısı ya da alev oluşumuna neden olan bir kimyasal reaksiyondur.

Yangın hem fiziksel hem de kimyasal özellikler taşıyan ve başlangıçta belirli bir noktada ortaya çıkmasına rağmen kontrolsüz bir şekilde ilerleme eğiliminde olan bir yanma süreci şeklinde tanımlanmaktadır. Yangın sırasında sıcaklık değerleri, çeşitli etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, hava dolaşımının sınırlı olduğu durumlarda sıcaklık 6 saat içinde 900 °C'ye ulaşabilirken, hava sirkülasyonunun daha yoğun olduğu koşullarda bu değer 2.5 saat içinde 1200 °C'ye kadar yükselebilir.

Yangın, yanıcı maddelerin oksijenle kimyasal etkileşime girerek enerji salınımına yol açtığı bir doğal afet türüdür. Bu kimyasal reaksiyon, yanıcı madde ve oksijenin yeterli ısı düzeyine ulaştığı anda başlar. Yanma sürecinin devam edebilmesi için yakıt kaynağı, ısı ve oksijenin eşzamanlı olarak ortamda bulunması zorunludur. Literatürde bu üç temel unsur, Şekil 1'de gösterildiği gibi "yangın üçgeni" olarak adlandırılan yapıyı oluşturur.



Şekil 1. Yangın üçgeni

Uzun bir süredir, yangın üçgeni basit ve anlaşılır bir model olarak yangını açıklamaktadır. Ancak, 20. yüzyılın sonlarında alevlenme sürecini daha derinlemesine anlamak amacıyla yürütülen araştırmalar, dört yüzlü tetrahedron (üçgen tabanlı piramit) adı verilen daha kapsamlı ve kesin bir yangın örnek modelinin geliştirilmesine yol açmıştır (Jones, 2009).

Yangının başlangıcını takiben, sıcaklık değerleri önemli ölçüde yükselir: İlk 10 dakikada yaklaşık 600 °C'ye, 15 dakikada 700 °C'ye, 30 dakikada 800 °C'ye, 90 dakikada 1000 °C'ye ve 3 saat sonrasında yaklaşık 1100 °C'ye ulaşmaktadır. Bu sıcaklıkların 1500-1700 °C seviyelerine kadar çıkabildiği de bilinmektedir (Kılıç, 2010a).

1.5. Tarihi Yapılardaki Yangınlar

1.5.1. Yangınların Tarihi Yapılar Üzerindeki Etkileri

Tarihi yapılarda meydana gelebilecek yangınlar, boyutlarına ve etkiledikleri alanların genişliğine bağlı olarak kültürel mirasın devamlılığına yönelik ciddi tehditler oluşturmaktadır. Yangın anında ortaya çıkan aşırı sıcaklık, yanma sonucu açığa çıkan gazlar, duman ve diğer yanma ürünleri, tarihi yapıların ve iç dekorasyon unsurlarının yanı sıra, tarihi çevreler ve kültürel peyzaj alanlarında hasara yol açarak bu alanların kısmen ya da tamamen ortadan kalkmasına sebep olabilir.

Birçok tarihi binada, özgün yapısal ve benzeri özellikler, bu yapıları algılama ve söndürme sistemleri entegre edilmesini oldukça güçleştirmektedir. Modern yapılarda basit önlemlerle kolayca çözülebilen pek çok sorun, bu tür tarihi yapılarda aynı kolaylıkla giderilememekte veya yüksek maliyetli yatırımların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

1.5.2. Yurt Dışındaki Tarihi Yapılardaki Yangınlar

Tarihin erken dönemlerinde, şehirlerin sıkışık sokakları ve yanıcı malzemelerle inşa edilmiş yoğun yapıları, yangınların küçük bir kıvılcımdan tüm kenti saran felaketlere dönüşmesine zemin hazırlamıştır. 1666'da Londra'da çıkan büyük yangın, bu durumun en çarpıcı örneklerinden biridir. Günlerce süren ve kontrol altına alınamayan alevler, sayısız ev, kilise, ahır ve araziye zarara uğratmıştır. Bu yıkım, yangınla mücadelede yeni deneyimlerin kazanılmasına ve daha etkili önlemlerin araştırılmasına neden olmuştur.

1923'te Tokyo merkezli 7.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve ardından gelen tsunami ve yangın felaketi, kente büyük zarar vermiştir. Depremin ardından üç gün boyunca söndürülemeyen yangın, şehrin %40'ını yok ederek 100.000'den fazla can kaybına neden olmuştur. Bu büyük afetler sonucunda toplamda 140.000'i aşkın insan yaşamını yitirmiş ve 1.5 milyonun üzerinde insan evsiz kalmıştır. Yangının başlaması ve söndürülememesinin ana sebeplerinden biri, Tokyo'da doğalgaz borularının hasar görerek

ayrılması ve aynı anda 40'tan fazla bölgede gaz depolarının patlamasıdır. Şekil 2'de görülen deprem sonrası oluşan tsunami ise petrol depolarında patlamalara yol açarak yangını daha da büyütmüş; yangın kontrol altına alınamadan yayılmış ve şehir neredeyse tamamen harap olmuştur.



Şekil 2. 1923 Kanto depremi sonrası çıkan yangın (Demirkan ve Soyluk, 2023)

1995 yılında Japonya'nın Kobe kentinde gerçekleşen 7.2 büyüklüğündeki deprem, yollar ve altyapı sistemlerinde büyük hasarlara yol açmış ve bu hasarlar sonucunda yangınlar meydana gelmiştir. Şekil 3'te gösterilen bu olay, yangının doğrudan birincil bir tehdit olmayıp, büyük afetlerin ardından ortaya çıkabilecek ikincil bir tehlike olarak değerlendirilmesi gerektiğini gözler önüne sermektedir. Deprem bölgesinde yer alan Türkiye için de bu riskin ciddiyle ele alınması; yangın tehlikesine karşı gerekli önlem ve müdahale planlarının önceden hazırlanması önem taşımaktadır.



Şekil 3. 1995 Kobe Yangını (Shiozaki, Nishikawa, Deguchi, & Watanane, 2006)

1.5.3. Türkiye’deki Tarihi Yapılarda Yangın

Birinci Dünya Savaşı sırasında, 6 Eylül 1917’de Haydarpaşa Garı’nda büyük bir sabotaj girişimi gerçekleşmiştir (Şekil 4). Garın cephanelerinin trenlere yüklenmesi sırasında meydana gelen sabotajla hedef alınması ciddi sonuçlar doğurmuştur. Sabotaj sonucunda yaşanan iki büyük patlama, Haydarpaşa Garı’nın yapısına ağır hasar vermiş, çatısı ve kule külahları tamamen tahrip olmuştur. Bu yıkıcı olaydan sonra, garın bu bölümleri neredeyse yirmi yıl boyunca bakımsız kalmış; yapı, 1930’lara kadar herhangi bir restorasyon çalışması yapılmamıştır. 1938 yılında Haydarpaşa Garı’nın tarihi dokusuna sadık kalınarak kapsamlı bir restorasyon sürecine girilmiş; çatısı ve kule külahları aslına uygun şekilde onarılmıştır. Bu onarım çalışmaları, yapının hem mimari bütünlüğünü hem de tarihi kimliğini yeniden kazanmasına olanak sağlamıştır (Eyici, 1998).



Şekil 4. 1917’de meydana gelen patlamanın ardından Haydarpaşa Garı (Eyici, 1998)

28 Kasım 2010 tarihinde meydana gelen yangın sonucunda, Haydarpaşa Garı’nın 4. katı kısmen yanarak yapı büyük ölçüde zarar görmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. 28.11.2010 Haydarpaşa Garı yangını (URL-1, 2012)

İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü olarak kullanılan Rauf Paşa Konağı’nın cephesi tamamen sıva ile kaplanmıştır. Köşe noktaları ise taş kaplama olup, döşeme seviyesindeki

taşlarda çizilmeler ve lekeler belirginleşmiştir. Yapıda meydana gelen yangın, şekil 6’da da görüldüğü gibi geniş bir alanı etkilemiş olup, Fatih ve çevre ilçelerden itfaiye ekiplerinin yoğun müdahalesiyle uzun bir çalışma sonucunda kontrol altına alınarak söndürülmüştür.



şekil 6. Yangın sırasında Rauf Paşa Konağı (URL-1, 2010)

Günümüzde Galatasaray Üniversitesi olarak kullanılan İbrahim Tevfik Efendi Sarayı şekil 7’de görüldüğü gibi ciddi bir yangın sonucunda büyük hasar görmüştür. Yangın, ilk olarak binanın ikinci katındaki bir odada fark edilmiştir; ancak yangının asıl çıkış noktası, binanın çatısında bulunan asansör makine dairesi ve çevresidir. Bu alanda yer alan elektrik panosuna bağlı kablolar, aşırı ısınmanın etkisiyle erimiş ve yalıtım malzemesinin tutuşmasına neden olmuştur. Yalıtım malzemesinin tutuşması sonucu alevler hızla yayılmaya başlamış ve elektrik kabloları boyunca ilerleyerek ikinci katın tavanından odalara sıçramıştır. Bu durum, yangının kısa sürede binanın diğer bölümlerine de yayılmasına yol aarak ciddi boyutlara ulaşmasını kolaylaştırmıştır.



Şekil 7. Tarihi Galatasaray Üniversitesi binasının yangın sonrası (URL-3, 2018)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Doğal Yapı Taşlarının Temin Edilmesi

Bu çalışma, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan tarihi eserlerin yapımında ve restorasyonunda kullanılan doğal yapı taşlarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, bölgedeki tarihi yapılar için tercih edilen taşların özellikleri ve temin süreçleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Tablo 2'de gösterilen Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum illerindeki çeşitli hammadde ocaklarından alınan doğal yapı taşları araştırmanın merkezini oluşturmuştur.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan kayaç türleri, bulundukları lokasyonlar ve yapım/restorasyondaki tarihi yapılar

Kullanılan Tarihi Yapılar	Kayaç Türü	Temin Edilen Yer
Fatih Camii (Trabzon) Ayasofya Camii (Trabzon)	Andezit	Erzurum (Merkez)
Tabakhane Camii (Trabzon) Kapu Camii (Giresun)	Andezit	Ankara (Gölbaşı)
Musapaşa Camii (Trabzon) Taşören Camii (Çaykara, Trabzon)	Bazalt	Trabzon (Merkez)
Gümüşhane Emirler Camii	Andezit	Rize (İyidere)

2.2. Bloklardan Karot Örneği Hazırlama

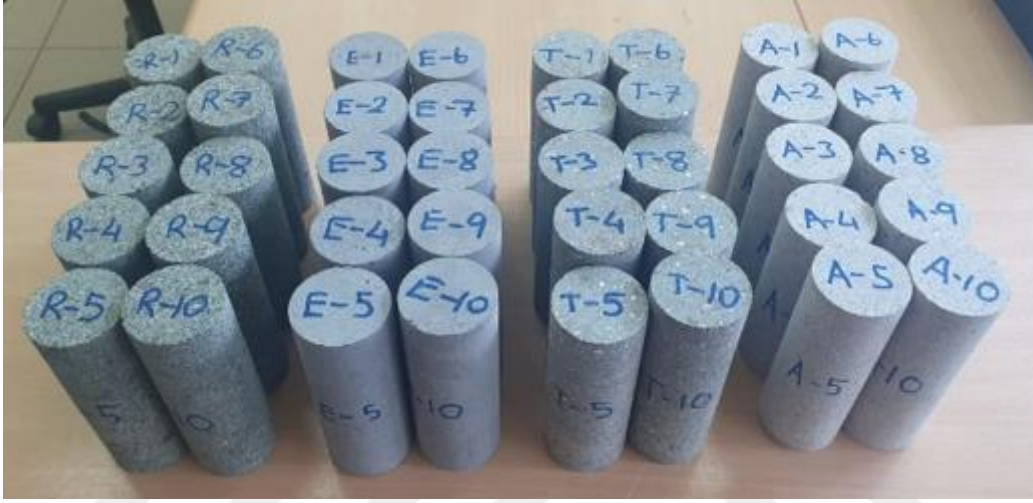
Kaya mekaniği deneylerinin güvenilir sonuçlar verebilmesi için, numunelerin uluslararası standartlara uygun olarak hazırlanması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, numuneler belirlenerek, standartlar çerçevesinde karot numuneleri hazırlanmıştır. Elde edilen karot numunelerine kesme ve yüzey düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Numune hazırlığı sırasında, ASTM (2013) tarafından önerilen prensiplere titizlikle uyulmuştur. İlk aşamada, Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum illerinden temin edilen kaya bloklarından silindirik karot çıkarma makinesi kullanılarak her bir bölgeden 10 adet olmak üzere toplam 40 adet silindirik karot numunesi Şekil 8'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Deney için hazırlanan bu karotların herhangi bir boşluk, ayrışma ya da hasar içermemesine özen gösterilmiştir.



Şekil 8. Silindirik karot uçlarının kesilmesi (a), Blok örneklerden silindirik karot çıkarma işlemi (b), Karot uçlarının düzeltilmesinde kullanılan karot ucu düzeltme cihazı (c)

Kullanılan karotiyerin çapı 50 mm olup, örneklerin deney için hazırlanması sürecinde, ASTM (2013) standartlarında belirtilen kriterlere göre karot numunelerinin boy/çap oranının 2.5 ile 3 arasında olması gerekmektedir. Bu nedenle, numuneler 12 ila 13.5 cm uzunluğunda olacak şekilde kesilmiştir. Kesim işlemi sonrasında, Şekil 9'daki gibi numunelerin üst ve alt yüzeyleri tıraşlanarak birbiriyle paralel hale getirilmiştir. Yüzeylerin 0.01 mm hassasiyetle paralellliğini sağlamak amacıyla UTC1035 taşlama makinesi ile tıraşlama işlemi

uygulanmıştır. Son aşamada, hazırlanan numuneler numaralandırılarak numune hazırlama işlemi bitirilmiştir. Şekil 9'da gösterilen numunelerin numaralandırılması sırasında, silindirik karotlara kaynak bölgelerini temsil eden semboller atanmıştır. Rize'den alınan andezit örnekleri "R", Trabzon'dan temin edilen bazalt örnekleri "T", Ankara'dan getirilen andezit örnekleri "A" ve Erzurum'dan alınan andezit örnekleri "E" sembolü ile etiketlenerek numuneler adlandırılmıştır.



Şekil 9. Deneyler için numaralandırılarak hazırlanmış silindirik numuneler

2.3. Numunelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

Silindirik formdaki numunelerin çapı (D) ve boyu (L), kumpas kullanılarak 0.1 mm hassasiyetle, iki ayrı doğrultuda ölçülmüştür. Şekil 10'da çap ölçümleri, numunenin alt ve üst yüzeylerinden alınarak bu değerlerin ortalaması hesaplanmıştır; boy ölçümleri ise birbirine dik iki farklı yönden yapılarak ortalaması alınmıştır. Bu ortalama değerler, her bir numune için çap ve boy bilgilerini oluşturmaktadır. Bu veriler kullanılarak, numunelerin yüzey alanı ve hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 10. Silindirik numunelerin çap ve boylarının kumpas aracılığıyla ölçülmesi

Belirlenen parametrelere göre, örneklerin hacmi ve yüzey alanı Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \times L \quad (1)$$

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \quad (2)$$

Burada;

L : Silindirik Numune Boy (cm)

D : Silindirik Numune Çap (cm)

V : Örnek Numunenin Hacmi (cm^3)

A : Yüzey Alan (m^2)

ifade etmektedir.

2.3.1. Kuru Yoğunluk

Numunelerin kuru yoğunluğu belirlemek amacıyla, örnekler 105 °C'lik etüvde en az 24 saat boyunca kurutulmuş, ardından yaklaşık 30 dakika soğumaya bırakılmış ardından soğuyan örneklerin kuru kütleleri tekrar hassas terazi ile ölçülmüştür (Şekil 11). Bu veriler doğrultusunda Eşitlik 3 kullanılarak hesaplama yapılmış ve birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.



Şekil 11. Numunelerin kuru kütlelerinin belirlenmesi

$$\gamma_k = \frac{M_d \times g}{V} \quad (3)$$

Burada;

γ_k : Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)

M_d : Zeminin Kuru Ağırlığı (gr)

V : Örnek Numunenin Hacmi (cm^3)

g : Yer Çekimi İvmesi (m/sn^2)

ifade etmektedir.

2.3.2. Özgül Ağırlık

Katı tanelerin özgül ağırlığını (G_s) belirlemek amacıyla ASTM D-854 standardına uygun olarak piknometre deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılacak numuneler kırıcı ile öğütüldükten sonra elekten elenecek düzeye getirilmiştir.

Deneyde kullanılacak piknometreler, öncelikle detaylı bir temizlik ve kurutma işleminden geçirildikten sonra hassas bir terazide tartılarak başlangıç ağırlığı kaydedilmiştir. Kalibrasyon çizgisine kadar saf su ile doldurulan piknometrede bulunan hava kabarcıkları, vakum pompası kullanılarak dikkatlice uzaklaştırılmıştır. Hava giderme işlemi sırasında, piknometrenin çalkalanması işlemi hızlandırmak için önerilmektedir. Kabarcıkların tamamen giderilmesi sonrası, piknometre tekrar tartılmış ardından, bir miktar su bırakılarak piknometrenin bir kısmı boşaltılarak numune ekleme aşamasına geçilmiştir. Şekil 12’de deney numunesi, önceden 4 numaralı elekten geçirilmiş ve 105°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat boyunca kurutulmuş malzemeden oluşmaktadır. Kurutulmuş numunenin bir kısmı piknometreye dikkatlice yerleştirilmiştir. Hava boşluklarının tamamen ortadan kaldırılması amacıyla, numunenin eklenmesinin ardından vakum işlemi tekrar uygulanmıştır. Son olarak, piknometre kalibrasyon çizgisine kadar su ile doldurulup ve kapağı kapatılarak dışı kurutulmuştur. Bu aşamada piknometre, 0.01 gram hassasiyetle tartılarak deneye hazır hale getirilmiştir ve Eşitlik 4 kullanılarak özgül ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

$$G_s = \frac{(M_2 - M_1) \times g}{((M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)) \times g} \quad (4)$$

Burada;

G_s : Özgül Ağırlık

M_1 : Piknometre Kütlesi (gr)

M_2 : Piknometre Kütlesi (gr) + Kuru Örnek Kütlesi (gr)

M_3 : Piknometre Kütlesi (gr) + Kuru Örnek Kütlesi (gr) + Saf Su Kütlesi (gr)

M_4 : Piknometre Kütlesi (gr) +Saf Su Kütlesi (gr)

g : Yer Çekimi İvmesi (m/sn^2)

ifade etmektedir.



Şekil 12. Vakum pompası, desikatör, hassas terazi ve piknometre ile özgül ağırlık tayini deneyinin yapılışı

2.3.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu çalışmada, dört farklı lokasyondan alınan numuneler silindirik hale getirilerek ASTM D-7012 standartlarına uygun olarak tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Deneyde kullanılan numuneler, boy/çap oranı 2.5 ile 3 arasında olacak şekilde hazırlanmıştır. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri paralel, yan yüzeyleri ise düzgün ve süresiz olacak şekilde özenle seçilmiştir. Şekil 13'te görüldüğü gibi numuneler, pres cihazının yükleme plakasının merkezine yerleştirilmiş ve üst kısmında bulunan silindirlerle presin üst bloğu arasında boşluk kalmayacak şekilde hizalanmıştır. Numune ile pres düzeneği arasında boşluk kalmadığı manuel olarak kontrol edildikten sonra yükleme süreci başlatılmıştır. Numuneye sabit bir hızda eksenel yük uygulanmış ve bu yükleme, numuneyi 5-10 dakika içerisinde kırarak biçimde ayarlanmıştır. Numunenin kırılma anında oluşan maksimum yük, %1 hassasiyetle kaydedilmiştir. Aynı deneyler, 680°C'de yangın sıcaklığına tabi tutulan diğer numuneler üzerinde de tekrarlanmış ve bu numunelerin de tek eksenli basınç dayanımı değerleri aynı yöntemle ölçülmüştür. Silindirik numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımı,

numunenin kırıldığı andaki maksimum yükün kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Bu dayanım, Eşitlik 5 yardımıyla bulunarak, numunelerin sıkışmaya karşı gösterdiği direnci değerlendirmede kullanılmıştır.

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \quad (5)$$

σ_c : Tek Eksenli Basınç Dayanımı

P_{max} : Numunenin Kırıldığı Andaki Maksimum Yük (kN)

A : Yüzey Alan (m^2)



Şekil 13. Tek eksenli basınç deneyi

2.3.4. Ultrasonik Hız Ölçümü

Doğal yapı taşlarının kalitesini değerlendirmek amacıyla uygulanan ultrasonik dalga hızı testi, yıkıcı olmayan bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Bu test kapsamında, sağlam kayaların dayanımı ve bütünlüğü, ultrasonik dalgaların doğal kayaç malzemesi içerisindeki yayılma hızının ölçülmesiyle analiz edilmiştir. İncelenen silindirik numunelere ultrasonik

dalgalarda gönderilmiş ve dalgaların örnek boyunca kat ettiği mesafe için geçen süre hassas bir şekilde kaydedilmiştir. Elde edilen yüksek dalga hızları, malzemenin üstün kalitede ve kesintisiz bir yapıya sahip olduğunu göstermiş; düşük hız değerleri, kaya örneklerinde çok sayıda kırıklar veya gözenekler bulunduğuna işaret etmiştir.

Deney sonuçlarının güvenilirliği için, numunelerin alt ve üst yüzeyleri özenle düzleştirilerek pürüzsüz bir hale getirilmiştir. Silindirik karot numunelerinin uzunluğu hassas ölçüm yapabilen bir kumpas aracılığıyla belirlenmiştir. Alıcı ve verici cihazlarla silindirik karot numunesi arasındaki temasın mükemmelleştirilmesi amacıyla, numunelerin tabanlarına ince bir jel tabakası uygulanmıştır. Kullanılan cihazın dijital ekranından, P-dalgasının numuneden geçiş süresi mikrosaniye (μs) cinsinden kaydedilmiştir. Bu veriler ile numunelerin P dalga hızını hesaplamak Eşitlik 6 kullanılmıştır. Şekil 14’de görüldüğü üzere her bir sıcaklık basamağında ultrasonik ölçümler gerçekleştirilmiş ve sıcaklık artışının ultrasonik hız üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir ve Eşitlik 6 ile hesaplanmıştır.

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (6)$$

Burada;

V_p : Boyuna Dalga Hızı (m/sn)

L : Silindirik Numune Boy (cm)

t : Süre (sn)

ifade etmektedir.



Şekil 14. Silindirik numunelerin P dalga hızlarını ölçmek için kullanılan ultrasonik hız test cihazı

2.3.5. Brazilian Deneyi (Dolaylı Çekme Dayanımı)

Bu çalışma kapsamında, kaya malzemesinin dolaylı çekme dayanımını belirlemek amacıyla Brazilian deneyleri uygulanmış ve sonuç olarak kaya malzemesinin Brazilian çekme dayanımı hesaplanmıştır. İlk kez Akazawa (1943) ve Carneiro (1943) tarafından farklı çalışmalarla önerilen bu deney yöntemi, ilerleyen yıllarda ISRM (2007) ve ASTM D3967 (2008b) standartları ile resmileştirilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntem temel alınmış ve deneylerin uygulanmasında belirli kriterlere uyulmuştur. Numunelerin çapı en az 54 mm seçilmiş, kalınlıkları yarıçaplarına eşit tutulmuş ve süreksizlik içermeyen örnekler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan çenelerin yarıçapı, numunelerin yarıçapının 1.5 katı olacak şekilde tasarlanmış, çenelerin genişliği ise numune kalınlığının 1.1 katı olarak belirlenmiştir. Üst çenede, 25 mm çapında yarı küresel bir elemandan oluşan küresel bir başlık kullanılmıştır. Yükleme hızı, numunelerdeki kırılmanın yaklaşık 15-30 saniye içinde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu koşullar altında gerçekleştirilen Brazilian deneyleri sonucunda, kaya malzemesinin dolaylı Brazilian çekme dayanımı (DBÇD) belirlenmiş ve Eşitlik 7 ile hesaplanmıştır (Demirbağ, 2021).

$$DBÇD = \frac{0,636 \times F}{D \times L} \quad (7)$$

Burada;

DBÇB : Dolaylı Brazillian Çekme Dayanımı

F : Çatlağın oluştuğu andaki kuvvet (MPa)

D : Silindirik Numune Çap (cm)

L : Silindirik Numune Boy (cm)

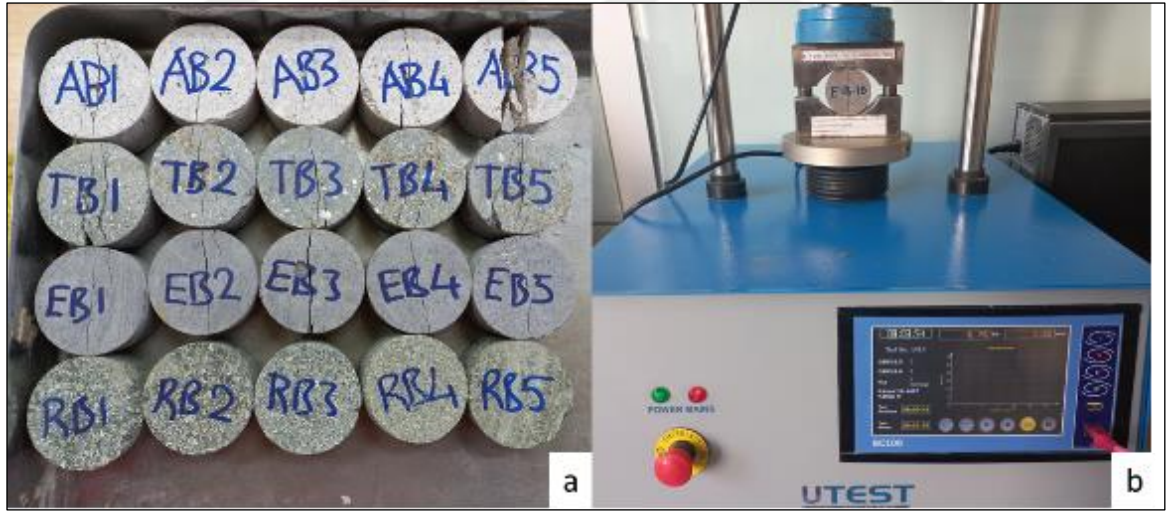
ifade etmektedir.

Şekil 15'te deneye hazır hale getirilen numuneler, Rize'den alınan andezit örnekleri "RB", Trabzon'dan temin edilen bazalt örnekleri "TB", Ankara'dan getirilen andezit örnekleri "AB" ve Erzurum'dan alınan andezit örnekleri "EB" sembolleriyle etiketlenmiştir. Numuneler, Brazilian deneyini gerçekleştirmek amacıyla deney aletinin konumlandırılacağı yere uygun şekilde kesilip hazırlanmıştır. İlksel ve ısıl işleme tabi tutulacak numuneler için her bir lokasyondan 5'er adet olmak üzere toplamda 10 numune, yani toplamda 40 numune hazırlanmıştır. Yapılan deneyin geçerli kabul edilebilmesi için, Şekil 16'da gösterildiği gibi,

yükün numunenin tam ortasından uygulanması sonucu çatlama meydana gelmesi gerekmektedir. Paragrafta belirtilen sembollerdeki "B" harfi, karot numunelerinin karışmaması için Brazilian deneyini temsil etmekte olup; "A" harfi Ankara, "R" harfi Rize, "E" harfi Erzurum ve "T" harfi Trabzon lokasyonlarını ifade etmektedir.



Şekil 15. Brazilian deneyinde kullanılması için hazırlanan numuneler

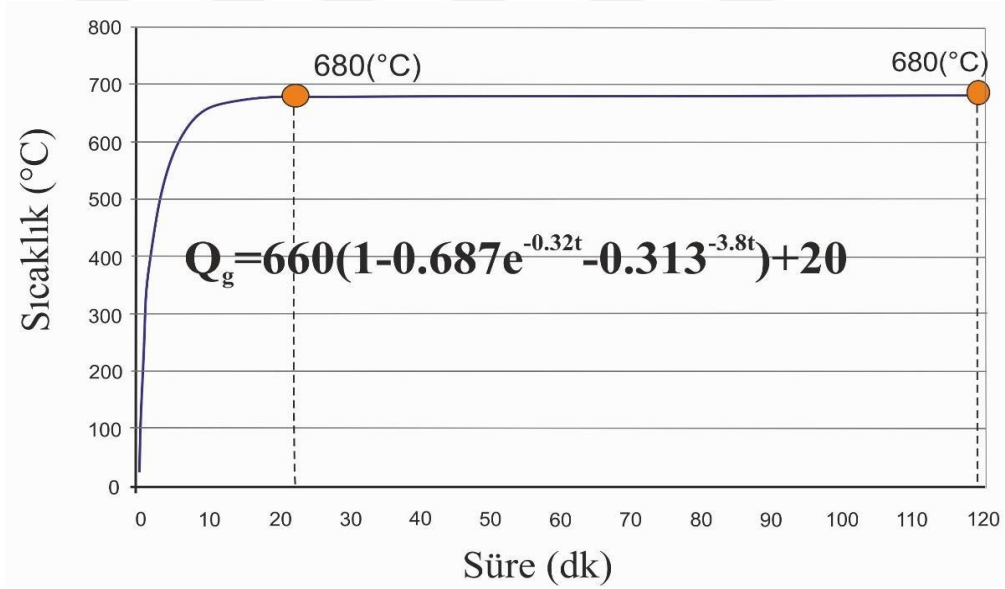


Şekil 16. Brazilian deneyi sonucunda numunelerin son hali (a), Örnek numunenin yükleme çenesindeki konumu (b)

2.3.6. Numunelere Yüksek Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulaması

Çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda bulunan Protherm marka kül fırını kullanılarak numunelere ısı işlem uygulanmıştır. Maksimum sıcaklık olarak 680°C seçilmiş olup, bu değer Eurocode 1

(2002) standartlarına göre bir dış yangının temsil ettiği sıcaklığa karşılık gelmektedir. Fırının ısıtılması sırasında, Şekil 17’de gösterilen Eurocode 1 (2002) tarafından sunulan sıcaklık-zaman eğrisi takip edilmiştir. Ani ısınma ve soğuma nedeniyle oluşabilecek çatlakları ve hasarları önlemek amacıyla, sıcaklık artış hızı dikkatlice kontrol edilmiştir. Hedef sıcaklığa ulaşıldığında, numuneler kayaç içinde ısının homojen dağılmasını sağlamak amacıyla bu sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmiştir (Şekil 18). Bu süre, literatürde genellikle belirtilen 1 saatlik bekleme süresinden daha uzundur. Isıtma işleminden sonra, fırının kapağı açılarak numunelerin oda sıcaklığına kadar yavaşça soğuması sağlanmış ve böylece termal çatlama ve şok etkisi önlenmiştir. Daha sonra, soğutulan numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu tezde, ısıl işlem gören numuneler "Yangın" olarak, herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmamış numuneler ise "İlksel" olarak adlandırılmıştır.



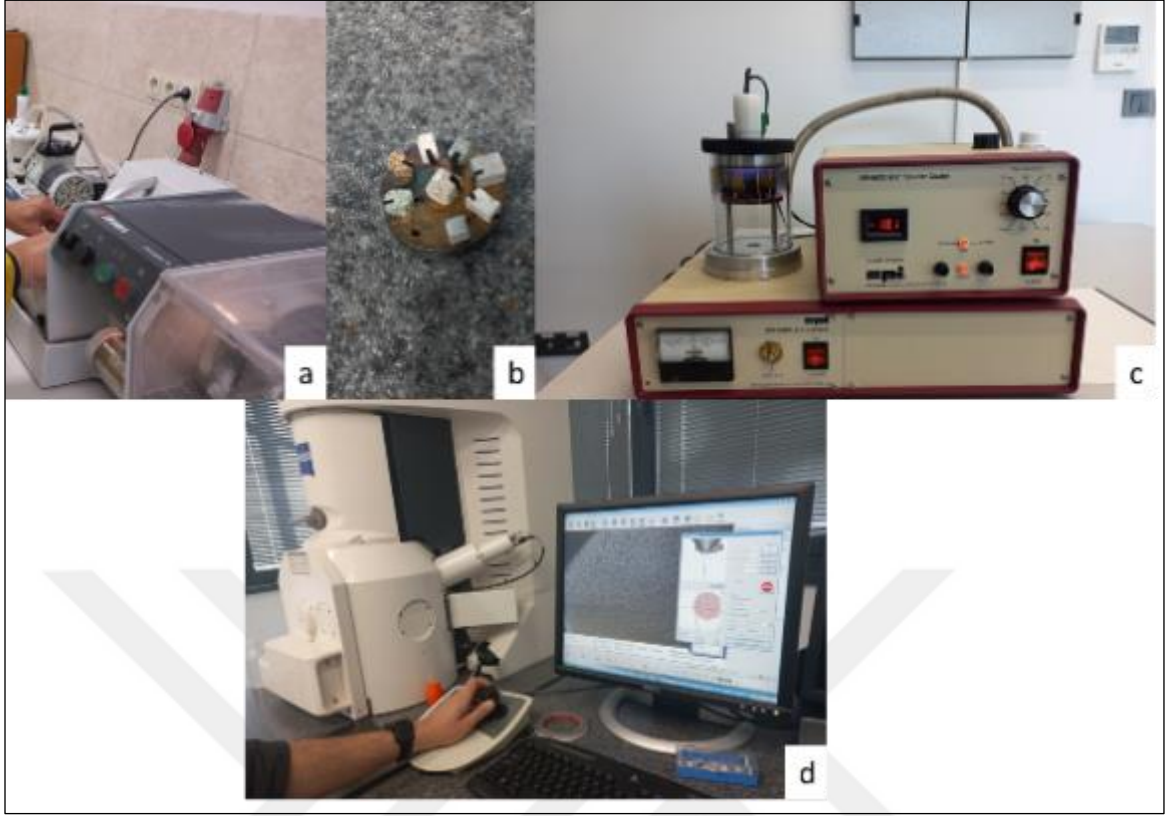
Şekil 17. Yangın-sıcaklık eğrisi (Eurocode 1, 2002)



Şekil 18. Isıl işlem görmüş silindirik numuneler (a), Dolaylı çekme dayanımı için ısıl işlem görmüş numuneler (b)

2.3.7. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntüleme sağlayan bir analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analizde, yaklaşık 1 cm³ hacmindeki küp formunda kesilmiş numuneler Brazilian deneyi sonrası hazırlanan örneklerden seçilmiştir. Alınan numuneler, daha sonra analiz amacıyla küp şekline getirilmiş ve yüzeylerinin daha net gözlemlenebilmesi için özel bir ön işlemden geçirilmiştir. Şekil 19’da görüldüğü üzere, Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı’nda vakumlu bir ortamda altın ile kaplama işlemi uygulanmış ve bu sayede elektron mikroskobu ile daha ayrıntılı görüntüler elde edilmiştir. Görüntüleme işlemi Zeiss Evo LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak, 10 kV hızlandırma voltajı altında ve bin kata kadar büyütme oranıyla gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar altında gerçekleştirilen analizler, numune yüzeyindeki detayları yüksek çözünürlükte gözlemlemeye olanak tanımış ve deneyin farklı sıcaklık basamaklarının numune mikroyapısına etkilerini belirgin şekilde ortaya koymuştur.



Şekil 19. Örneklerin 1 cm³ haline getirilmesi (a), SEM analizi için örneklerin tabakaya dizilmesi (b), Örneklerin altın ile kaplanması (c), SEM ile elde edilen görüntülerin analiz edilmesi (d)

3. BULGULAR

3.1. İlksel Numunelerin Kuru Yoğunluk ve Özgül Ağırlık Değerleri

Numunelerin yüksek sıcaklıklara maruz kalmasının fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini ve bu özelliklerdeki değişim oranlarını belirlemek amacıyla, öncelikle örneklerin oda sıcaklığındaki fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu yaklaşım, başlangıç değerlerinin yüksek sıcaklığa tabi tutulan örneklerle ait değerlerle karşılaştırılmasına ve sıcaklık artışının neden olduğu değişimlerin tespit edilmesine olanak sağlamıştır.

Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum illerinden temin edilen ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerle ait özelliklerin sıcaklığa bağlı değişimlerini incelemek için, ilk etapta ilksel çap ve boyları ölçülmüş, bu ölçümler temel alınarak örneklerin hacimleri, kuru yoğunlukları ve özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. Tablo 3'te sunulan Erzurum'dan temin edilen numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları incelendiğinde, kuru birim hacim ağırlıklarının 25.70-26.29 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Numunelerin kuru yoğunluklarının medyan değeri 2.66 Mg/m³ olarak saptanmıştır. Ayrıca, özgül ağırlık değeri 2.74 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Erzurum ilinden temin edilen andezitlere ait ilksel örneklerin ait fiziksel özellikleri

E Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/m ³	G_s
İLKSEL	E-1	4.930	12.861	245.464	2.625	25.755	2.74
	E-2	4.929	12.885	245.856	2.670	26.190	
	E-3	4.930	13.171	251.462	2.680	26.294	
	E-4	4.932	13.015	248.618	2.620	25.703	
	E-5	4.931	12.901	246.407	2.662	26.117	

Ankara-Gölbaşı bölgesinden alınan andezit numunelerine ait Tablo 4'te verilen deney sonuçları incelendiğinde, kuru birim hacim ağırlıklarının 22.47 kN/m³ ile 23.24 kN/m³ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Numunelere ait kuru yoğunlukların medyan değeri 2.32 Mg/m³ olarak belirlenirken, özgül ağırlık değeri 2.57 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler

A Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/m ³	G_s
İLKSEL	A-1	4.940	12.743	244.279	2.299	22.549	2.57
	A-2	4.940	12.755	244.509	2.357	23.120	
	A-3	4.936	12.634	241.764	2.291	22.471	
	A-4	4.936	12.580	240.718	2.320	22.762	
	A-5	4.941	13.284	254.705	2.369	23.237	

Tablo 5’te sunulan Trabzon-Merkez bölgesinden alınan bazalt numunelerine ait deney sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının 25.82 kN/m³ ile 26.69 kN/m³ arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Numunelerin kuru yoğunluklarının medyan değeri ise 2.66 Mg/m³ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, özgül ağırlık değeri 2.86 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Trabzon-Merkez ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler

T Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/m ³	G_s
İLKSEL	T-1	4.936	12.806	245.010	2.660	26.094	2.86
	T-2	4.934	12.803	244.760	2.632	25.819	
	T-3	4.947	13.085	251.465	2.721	26.694	
	T-4	4.945	13.500	259.301	2.646	25.960	
	T-5	4.933	12.833	245.235	2.682	26.307	

Tablo 6’da sunulan Rize-İyidere ilçesinden temin edilen numunelerinin deney sonuçlarının detaylı incelenmesi sonucunda, kuru birim hacim ağırlıklarının 19.62 kN/m³ ile 20.44 kN/m³ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Numunelerin kuru yoğunluklarının medyan değeri 2.00 Mg/m³ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, özgül ağırlık değeri 2.6 olarak saptanmıştır.

Tablo 6. Rize-İyidere ilksel numunelerine ait fiziksel özellikler

R Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/m ³	G_s
İLKSEL	R-1	4,926	12,551	239,236	2,001	19,630	2,6
	R-2	4,919	12,401	235,693	2,084	20,442	
	R-3	4,923	12,695	241,674	2,036	19,971	
	R-4	4,918	12,753	242,291	2,000	19,618	
	R-5	4,920	12,588	239,312	1,889	19,707	

3.1.1. İlkse Numunelerin Ultrasonik Boyuna Dalga Hızı

Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum'dan alınan numunelerin ilkse özellikleri, 680°C sıcaklıkta ısıtıl işleme tabi tutulmadan önce belirlenmiş, bu kapsamda boyuna dalga hızları belirlenerek elde edilen veriler ısıya tabi tutulan örneklerdeki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tablo 7'de sunulan verilere göre, Erzurum ilinden temin edilen ilkse numunelerin boyuna dalga hızı değerleri 4839 m/sn ile 5119 m/sn arasında değişim göstermiştir.

Tablo 7. Erzurum ilkse numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları

E Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	E-1	4871
	E-2	4839
	E-3	5119
	E-4	4906
	E-5	4969

Tablo 8'de sunulan verilere göre, Ankara-Gölbaşı ilçesinden temin edilen örneklere ait ilkse numunelerin boyuna dalga hızı değerleri 3683 m/sn ile 4412 m/sn arasında bir değişim göstermiştir.

Tablo 8. Ankara-Gölbaşı ilkse numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları

A Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	A-1	3683
	A-2	4365
	A-3	4387
	A-4	3805
	A-5	4412

Tablo 9'da sunulan verilere göre, Trabzon ilinden temin edilen örneklere ait ilkse numunelerin boyuna dalga hızı değerleri 4906 m/sn ile 5668 m/sn arasında bir değişim göstermiştir.

Tablo 9. Trabzon ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları

T Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	T-1	4906
	T-2	5105
	T-3	5668
	T-4	5063
	T-5	5188

Tablo 10'da sunulan verilere göre, Rize-İyidere ilçesinden temin edilen örneklerle ait ilksel numunelerin V_p (boyuna dalga hızı) değerleri 2693 m/sn ile 3219 m/sn arasında bir değişim göstermiştir.

Tablo 10. Rize-İyidere ilksel numunelerin başlangıç koşullarındaki P- dalga hızı sonuçları

R Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	R-1	2693
	R-2	3031
	R-3	3219
	R-4	3125
	R-5	2946

3.1.2. İlksel Numunelerin Tek Eksenli Dayanım Değerleri

Bu aşamada, ısıtılma işlemine tabi tutulan örneklerle ait tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerini ilksel numunelere ait değerlerle karşılaştırmak ve değişimleri belirlemek amacıyla; Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum'dan alınan numuneler üzerinde herhangi bir ısıtılma işlemi uygulanmaksızın tek eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 11'de Erzurum ilinden temin edilen ilksel numunelerin tek eksenli basınç dayanımlarının 106.70 MPa ile 167.19 MPa arasında değiştiği, ortalama değerin 134.72 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 11. Erzurum ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

E Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	E-1	158.692
	E-2	106.707
	E-3	122.050
	E-4	118.949
	E-5	167.189
	Ort.	134.7174

Tablo 12’de Ankara-Gölbaşı ilçesinden temin edilen ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarının, 68 MPa ile 138.76 MPa arasında değiştiği, ortalama değerin ise 88.28 Mpa olduğu görülmektedir.

Tablo 12. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

A Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	A-1	79.802
	A-2	68.000
	A-3	81.615
	A-4	73.240
	A-5	138.758
	Ort.	88.283

Trabzon ilinden temin edilen ilksel numunelerinin, 35.58 MPa ile 134.91 MPa arasında değişim sunan tek eksenli basınç dayanımları değerleri ortalaması 95.89 MPa’dır (Tablo 13).

Tablo 13. Trabzon ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

T Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	T-1	108.638
	T-2	35.576
	T-3	134.263
	T-4	66.045
	T-5	134.909
	Ort.	95.8862

Tablo 14'te Rize-İyidere ilçesinden temin edilen ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları değerinin, 35.58 MPa ile 134.91 MPa arasında değiştiği, ortalama değerin ise 33.42 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 14. Rize-İyidere ilksel numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

R Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	R-1	36.661
	R-2	32.223
	R-3	33.791
	R-4	31.728
	R-5	32.700
	Ort.	33.421

3.1.3. İlksel numunelerin Dolaylı Çekme Dayanımı

Başlangıçta hazırlanan ilksel numuneler üzerinde Brazilian deneyi (Dolaylı Çekme Dayanımı) uygulanarak malzemelerin çekme dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler, yangın sıcaklıklarında ısı etkiye maruz bırakılan numunelerin sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede, yüksek sıcaklıkların malzemelerin çekme dayanımı üzerindeki etkileri daha detaylı ve kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 15'te sunulan Erzurum ilinden temin edilen ilksel numunelere ait Brazilian (Dolaylı Çekme Dayanımı) deney sonuçları incelenmiştir. Elde edilen veriler, numunelerin çekme dayanımının 10.83 MPa ile 10.27 MPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler arasında küçük sapmalar olmakla birlikte, ortalama çekme dayanımı 10.50 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, Erzurum bölgesinden alınan ilksel numunelerin dayanım özellikleri hakkında genel bir bilgi sunmakta ve malzemenin dayanıklılığını nicel olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 15. Erzurum ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları

E Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	E-1	10.831
	E-2	10.513
	E-3	10.504
	E-4	10.376
	E-5	10.266
	Ort.	10.498

Tablo 16’da Ankara-Gölbaşı ilçesinden temin edilen ilksel numunelerine ait Brazilian (Dolaylı Çekme Dayanımı) deney sonuçları verilmiştir. Elde edilen veriler, numunelerin çekme dayanımının 9.14 MPa ile 11.62 MPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler arasında küçük sapmalar olmakla birlikte, ortalama çekme dayanımı 9.95 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 16. Ankara-Gölbaşı ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları

A Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	A-1	11.060
	A-2	9.418
	A-3	9.138
	A-4	8.519
	A-5	11.621
	Ort.	9.951

Tablo 17’de Trabzon ilinden temin edilen ilksel numunelerine ait Brazilian (Dolaylı Çekme Dayanımı) deney sonuçları verilmiştir. Elde edilen veriler, numunelerin çekme dayanımının 5.76 MPa ile 11.48 MPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler, numuneler arasında küçük sapmalar olmakla birlikte, ortalama çekme dayanımı 8.91 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 17. Trabzon-Merkez ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları

T Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	T-1	11.479
	T-2	7.656
	T-3	10.576
	T-4	5.759
	T-5	9.085
	Ort.	8.911

Tablo 18’de sunulan Rize-İyidere ilksel numunelerine ait Brazilian (Dolaylı Çekme Dayanımı) deney sonuçları incelendiğinde, numunelerin çekme dayanımının 2.01 MPa ile 2.31 MPa arasında değiştiği, değerler arasında küçük sapmaların olduğunu, ortalama çekme dayanımı değerinin ise 2.16 MPa olarak hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 18. Rize-İyidere ilksel numunelerine ait Brazilian deney sonuçları

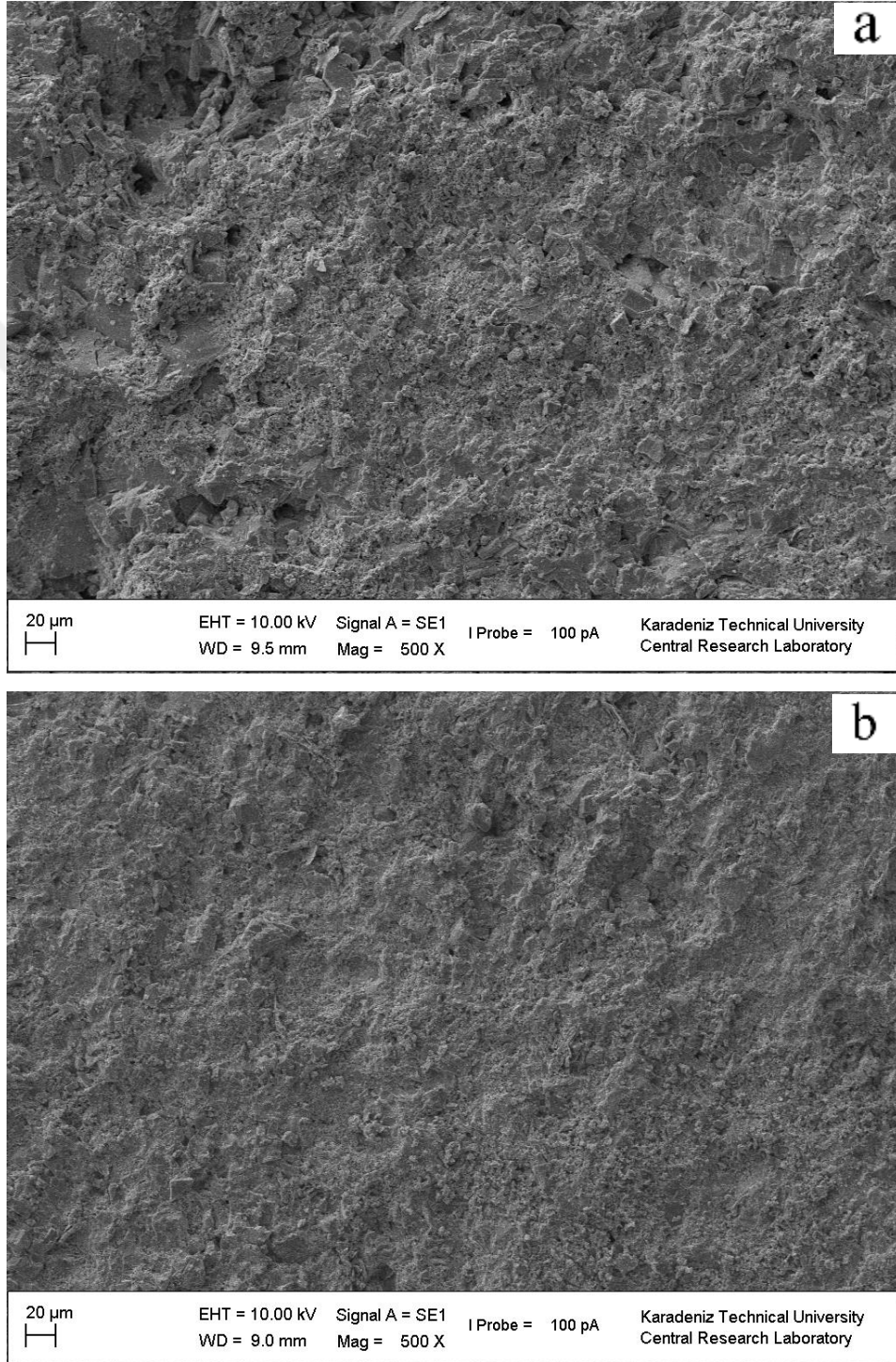
R Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	R-1	2.310
	R-2	2.219
	R-3	2.011
	R-4	2.225
	R-5	2.026
	Ort.	2.158

3.2. Yangın Sıcaklığı Altında İşlem Görmüş Numunelerin Özellikleri

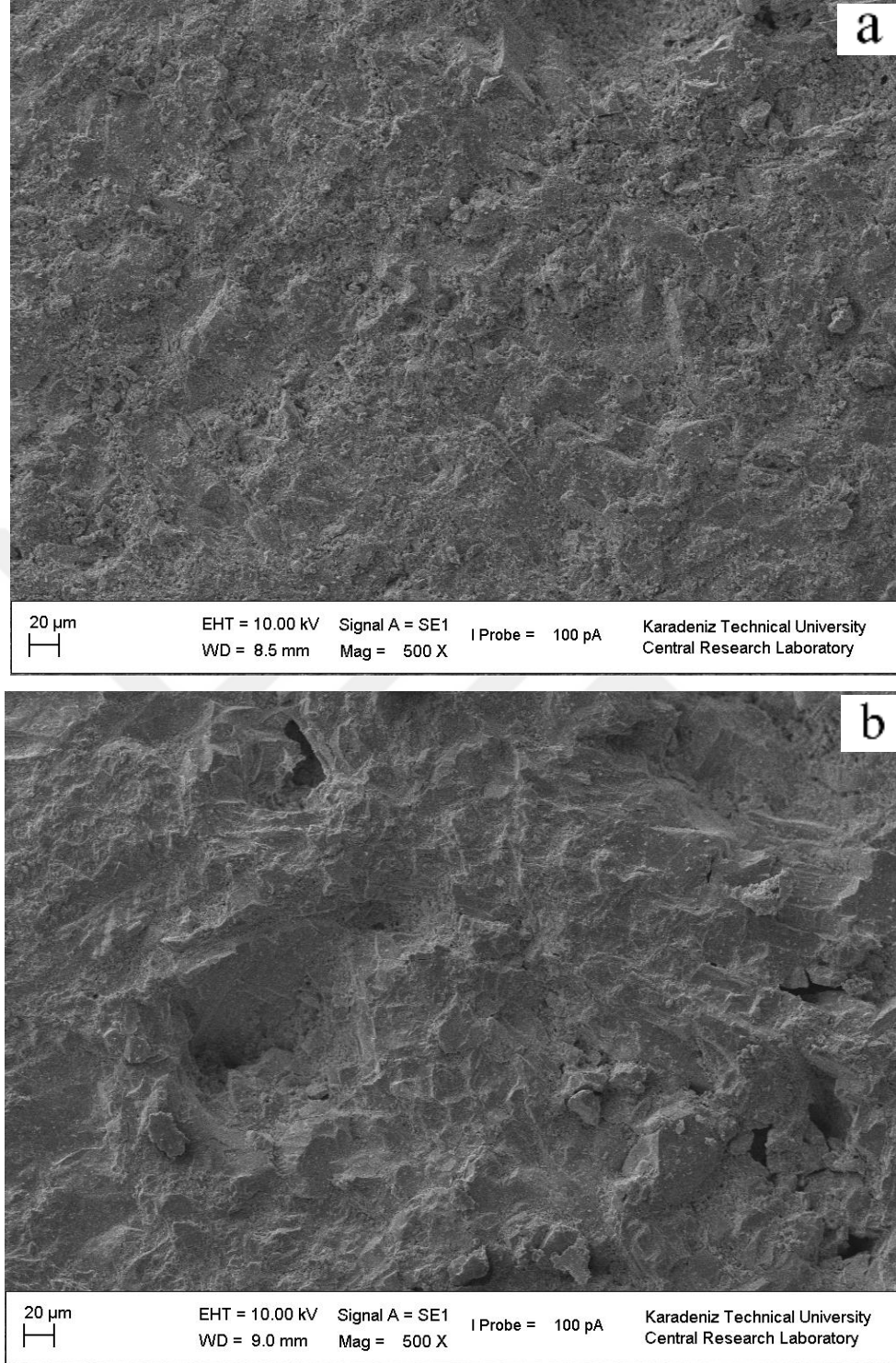
3.2.1. Mikro-Yapısal Değişimler

Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda gerçekleştirilen çalışmada, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak, numunelerin yangın sıcaklığına maruz bırakıldıktan sonra geçirdikleri morfolojik değişimler incelenmiş ve bu değişimlerin sonuçları Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’de detaylı olarak sunulmuştur. Bu analiz, numunelerin mikro yapısında meydana gelen dönüşümlerin, yangın sonrası oluşan termal etkilerle nasıl şekillendiğini ortaya koymaktadır. Numunelerin mikroyapısal özelliklerini incelemek amacıyla, taramalı elektron mikroskop görüntüleri $\times 20$, $\times 50$, $\times 100$, $\times 250$, $\times 500$ ve $\times 1000$ mikron çözünürlükte elde edilmiştir. Bu çözünürlükler, 1 milimetrenin binde biri seviyesinde detaylı gözlem yapmaya olanak sağlamış, böylece

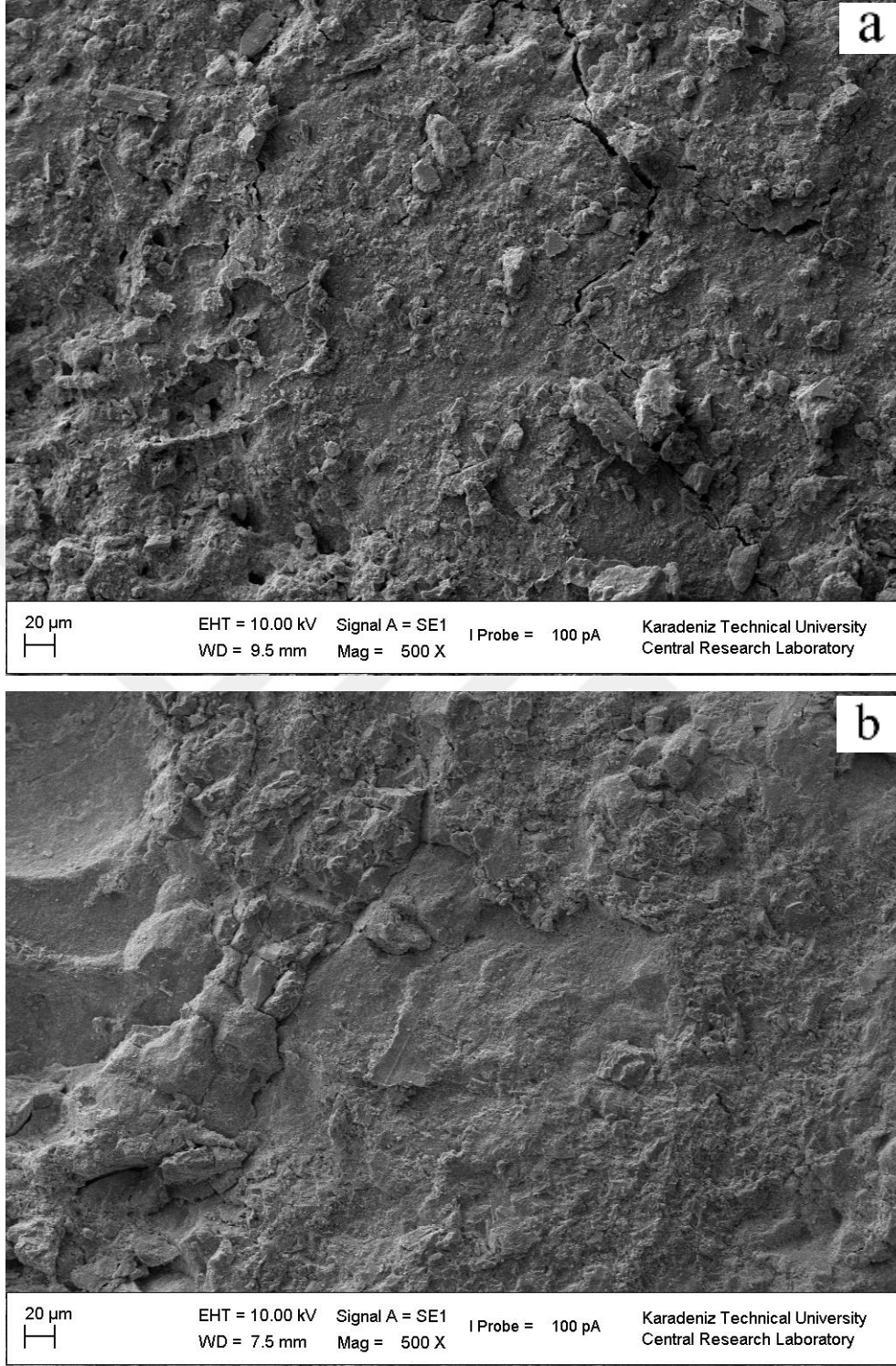
mineral boyutunda kayaç yapılarının ayrıntılı analizi gerçekleştirilmiştir. Termal çatlakların ve gözeneklerin en belirgin ve net biçimde görülebildiği $\times 500$ mikron çözünürlükteki görüntüler seçilerek kapsamlı değerlendirme için kullanılmıştır.



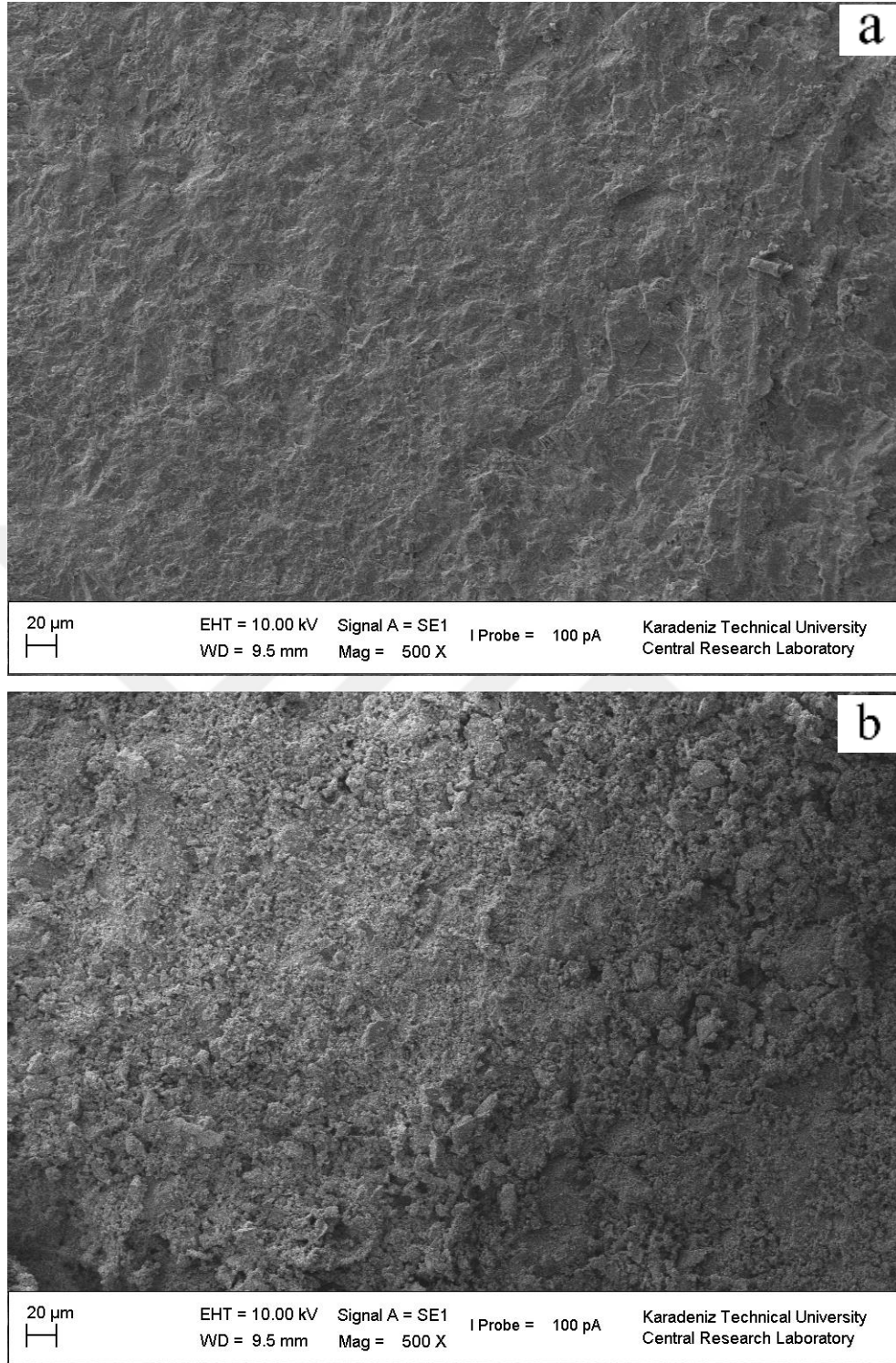
Şekil 20. Ankara numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıt işlem sonrasında Ankara numunelerinin SEM görüntüsü (b)



Şekil 21. Erzurum numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıtıl işlem sonrasında Erzurum numunelerinin SEM görüntüsü (b)



Şekil 22. Rize numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıt işlem sonrasında Rize numunelerinin SEM görüntüsü (b)



Şekil 23. Trabzon numunelerinin ilksel SEM görüntüsü (a), 680°C’de gerçekleştirilen ısıtıl işlem sonrasında Trabzon numunelerinin SEM görüntüsü (b)

SEM görüntüleri değerlendirildiğinde, genel olarak ısıtıl işlem uygulanan tüm örneklerde ergimeye bağlı olarak küçük çaplı boşlukların kapandığı, topaklaşmanın arttığı, ancak kırıklı yapının korunduğu gözlemlenmiştir. Ankara’dan temin edilen örneklerde, ısıtıl

işlem sonrasında topaklaşma nedeniyle küçük boşluklar kapanmış ve bu durum, birbiriyle bağlantısız mikro çatlakların oluşmasına yol açmıştır. Benzer şekilde, Erzurum'dan alınan örneklerde, kısmi ergime sonucunda küçük boşluklar kapanmış ancak örnek daha kırıklı bir yapı kazanmıştır. Rize'den elde edilen örneklerde ise boşlukların kapandığı, ancak çatlak devamlılığının belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Tüm örneklerden farklı olarak, Trabzon'dan alınan örneklerde ısıtma işlem sonrasında küçük çaplı boşluklar artmış ve topaklaşma sonrası boşluklar gelişmiştir.

3.2.2. Numunelerin Kuru Yoğunluk ve Özgül Ağırlık Değişimleri

Erzurum-Merkez Andezit kaya grubunun 680°C sıcaklıktaki ısıtma etkileşimi sonucunda, kuru yoğunluk değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Tablo 19'da görüldüğü üzere, kuru yoğunluk değeri başlangıçta 2.65 Mg/m³ iken yangın durumunda 2.66 Mg/m³ olarak tespit edilmiş olup, yoğunluk değişiminin de ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlık ise başlangıç durumunda 2.74 iken yangın etkisiyle bir miktar artarak 2.9 seviyesine yükselmiştir.

Tablo 19. Yangın sıcaklığının etkisiyle Erzurum-Merkez numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi

E Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
İLKSEL	E-1	4.930	12.861	245.464	2.625	25.755	2.74
	E-2	4.929	12.885	245.856	2.670	26.190	
	E-3	4.930	13.171	251.462	2.680	26.294	
	E-4	4.932	13.015	248.618	2.620	25.703	
	E-5	4.931	12.901	246.407	2.662	26.117	
				Ort.	2.651	26.012	
E Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
YANGIN	E-6	4.931	12.814	244.700	2.687	26.359	2.9
	E-7	4.935	12.718	243.267	2.637	25.866	
	E-8	4.929	13.166	251.258	2.650	25.996	
	E-9	4.934	13.348	255.186	2.659	26.081	
	E-10	4.935	13.351	255.334	2.647	25.964	
				Ort.	2.656	26.053	

Ankara-Gölbaşı Andezit kaya grubunun 680°C sıcaklıktaki ısı etkileşimi sonucunda, kuru yoğunluğunda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Tablo 20’de görüldüğü üzere, başlangıç durumunda kuru yoğunluk değeri 2.33 Mg/m³ iken yangın durumunda 2.34 Mg/m³ olarak tespit edilmiş olup, yoğunluk değişiminin de ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlık ise başlangıç durumunda 2.57 iken yangın etkisiyle bir miktar artarak 2.66 seviyesine yükselmiştir. Özgül ağırlıktaki bu artışın, 680°C yangın sıcaklığında erime sürecini başlatarak malzemenin gözeneklilik oranında bir azalmaya yol açtığını ortaya koymaktadır.

Tablo 20. Yangın sıcaklığının etkisiyle Ankara-Gölbaşı numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi

A Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
İLKSEL	A-1	4.940	12.743	244.279	2.299	22.549	2.57
	A-2	4.940	12.755	244.509	2.357	23.120	
	A-3	4.936	12.634	241.764	2.291	22.471	
	A-4	4.936	12.580	240.718	2.320	22.762	
	A-5	4.941	13.284	254.705	2.369	23.237	
Ort.					2.327	22.828	
A Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
YANGIN	A-6	4.950	13.233	254.659	2.348	23.036	2.66
	A-7	4.938	12.733	243.850	2.361	23.161	
	A-8	4.940	12.693	243.242	2.312	22.681	
	A-9	4.947	13.046	250.790	2.343	22.980	
	A-10	4.939	13.327	255.335	2.339	22.945	
Ort.					2.341	22.961	

Trabzon-Merkez Bazalt kaya grubunun 680°C sıcaklıktaki ısı etkileşimi sonucunda, kuru yoğunluğunda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Tablo 21’de görüldüğü üzere başlangıç durumunda, kuru yoğunluk değeri başlangıçta 2.67 Mg/m³ iken yangın durumunda 2.61 Mg/m³ olarak tespit edilmiş olup, yoğunluk değişiminin de ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlık ise başlangıç durumunda 2.86 iken yangın etkisiyle bir miktar artarak 3.01 seviyesine yükselmiştir.

Tablo 21. Yangın sıcaklığının etkisiyle Trabzon-Merkez numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi

T Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
İLKSEL	T-1	4.936	12.806	245.010	2.660	26.094	2.86
	T-2	4.934	12.803	244.760	2.632	25.819	
	T-3	4.947	13.085	251.465	2.721	26.694	
	T-4	4.945	13.500	259.301	2.646	25.960	
	T-5	4.933	12.833	245.235	2.682	26.307	
				Ort.	2.668	26.175	
T Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
YANGIN	T-6	4.936	12.704	243.058	2.569	25.203	3.01
	T-7	4.944	13.388	257.046	2.637	25.871	
	T-8	4.935	12.540	239.856	2.580	25.309	
	T-9	4.937	12.835	245.704	2.689	26.378	
	T-10	4.940	13.488	258.477	2.569	25.200	
				Ort.	2.609	25.592	

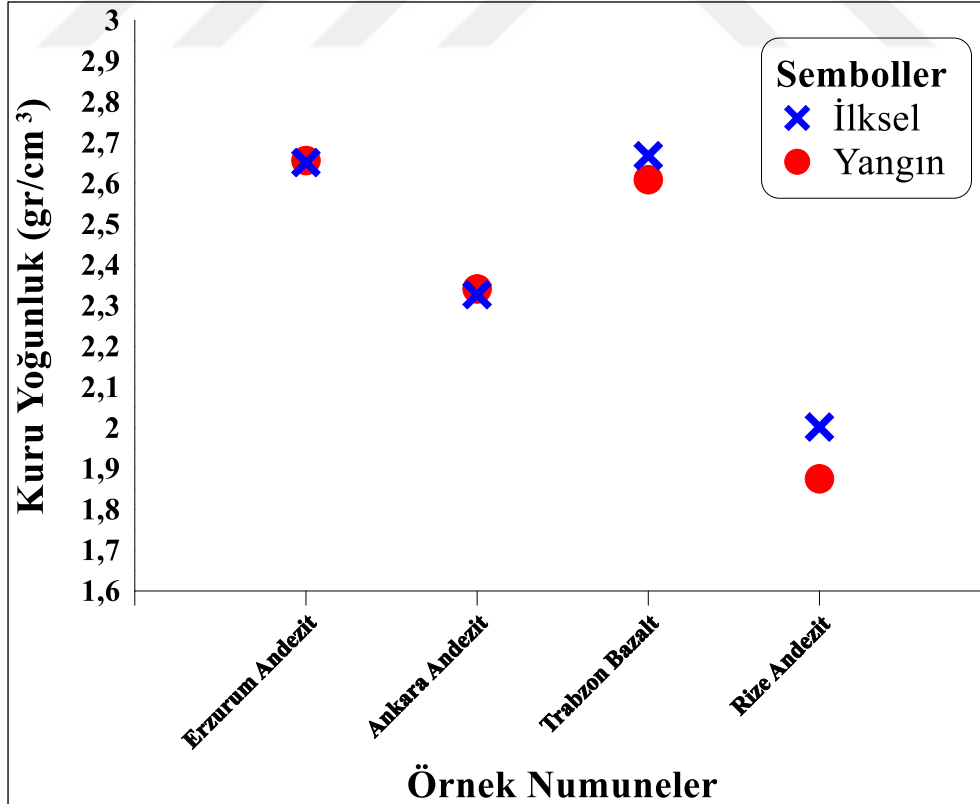
Rize-İyidere Andezit kaya grubunun 680°C sıcaklıktaki ısı etkileşimi sonucunda, kuru yoğunluğunda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Tablo 22’de görüldüğü üzere başlangıç durumunda, kuru yoğunluk değeri başlangıçta 2.00 Mg/m³ iken yangın durumunda 1.88 Mg/m³ olarak tespit edilmiş olup, yoğunluk değişiminde küçük bir artış olduğu belirlenmiştir. Özgül ağırlık ise başlangıç durumunda 2.6 iken yangın etkisiyle bir miktar artarak 2.68 seviyesine yükselmiştir.

Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize illerinden alınan kayaç numunelerinin başlangıç koşullarındaki kuru yoğunluğu ve özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Şekil 28, Şekil 29’da gösterilen grafiklerde, 680°C dış yangın sıcaklığına maruz bırakılan numunelerin fiziksel özellik değerleri de aynı şekilde tespit edilmiş olup, bu dört farklı bölgeden alınan numunelerin ilksel ve yangın sonrası koşullardaki değişimleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Şekil 28’de, yangın sonrası Trabzon ve Rize kayaçlarında belirgin bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bu durum da kayaçların yangına karşı daha dirençli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu çeşitlilik, yangının etkilerinin bölgelere göre farklılaştığını ve her kayaç türünün benzersiz bir dirence sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 22. Yangın sıcaklığının etkisiyle Rize-İyidere numunelerinin fiziksel özelliklerinin değişimi

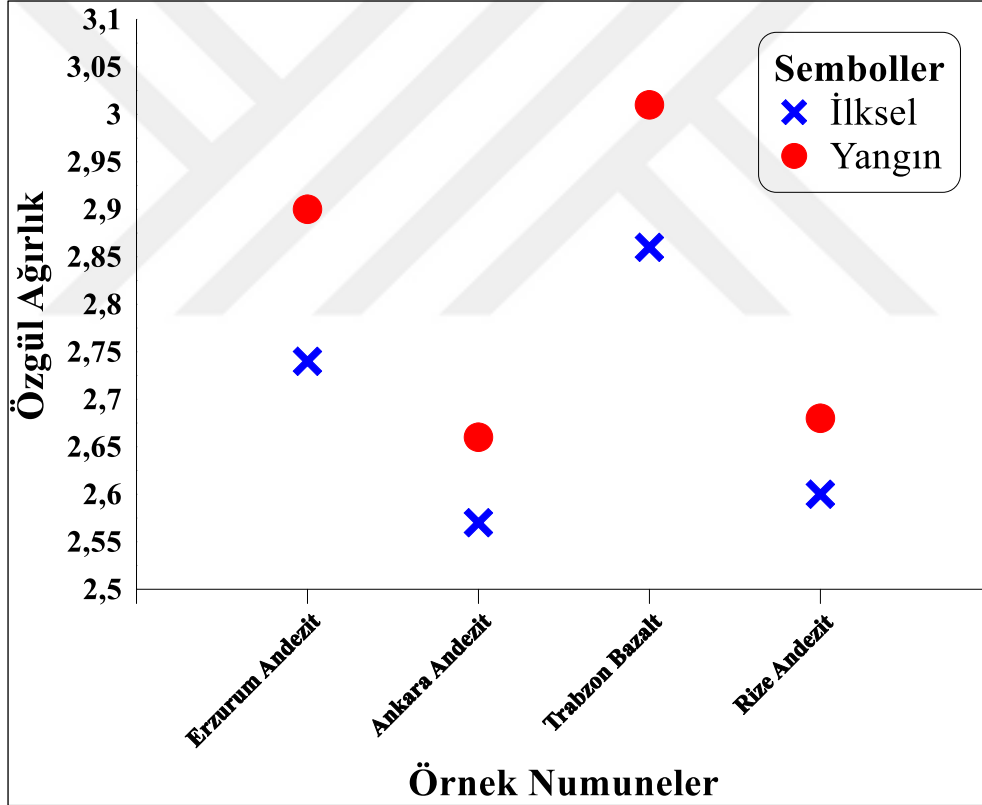
R Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
İLKSEL	R-1	4.926	12.551	239.236	2.001	19.630	2.6
	R-2	4.919	12.401	235.693	2.084	20.442	
	R-3	4.923	12.695	241.674	2.036	19.971	
	R-4	4.918	12.753	242.291	2.000	19.618	
	R-5	4.920	12.588	239.312	1.889	19.707	
				Ort.	2.002	19.874	
R Grubu	Örnek Numune	Çap (cm)	Boy (cm)	Hacim (cm ³)	ρ_k Mg/m ³	γ_k kN/cm ³	G_s
YANGIN	R-6	4.920	13.176	250.457	1.889	18.531	2.68
	R-7	4.917	13.252	251.642	1.875	18.399	
	R-8	4.922	12.572	239.248	1.897	18.605	
	R-9	4.921	13.100	249.114	1.862	18.266	
	R-10	4.922	13.095	249.200	1.850	18.145	
				Ort.	1.875	18.389	



Şekil 24. 680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki kuru yoğunluğunun karşılaştırılması

Şekil 25'teki grafikteki veriler, yangın sıcaklığında kayaçların özgül ağırlıklarında belirgin bir değişikliğe yol açtığını göstermektedir. Özellikle Erzurum ve Trabzon örneklerinde, yangın sonrası özgül ağırlık değerlerinde büyük bir artış gözlemlenmiştir. Trabzon numunesindeki yangın sonrası belirgin artış, yangının kayaç yapısını değiştirmiş olabileceğini göstermektedir. Buna karşılık, Ankara ve Rize numunelerinin yangın öncesi ve sonrası özgül ağırlık değerleri arasındaki fark daha sınırlıdır, bu da bu kayaçların yangına karşı görece daha durağan kaldığını göstermektedir.

Yangının etkisinin her kayaç türünde farklı seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, yangının kayaçların fiziksel yapısına etkisini anlamak için bölgesel kayaç özelliklerinin daha ayrıntılı olarak incelenmesi gerektirmektedir.



Şekil 25. 680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki özgül ağırlıklarının karşılaştırılması

3.2.3. Boyuna Dalga Hızındaki Değişim

Erzurum-Merkez bölgesinden alınan ilk örneklerdeki beş numunenin ortalama V_p değeri 4940.8 m/sn olarak kaydedilmiştir. Ancak Tablo 23'te gösterildiği gibi, numuneler

680°C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulduktan sonra, beş örneğin ortalama V_p değeri 3431.2 m/sn'ye düşerek belirgin bir azalma göstermiştir. Bu sonuç, ısıtılmanın numunelerin boyuna dalga hızları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Ankara-Gölbaşı bölgesinden alınan ilksel numunelerdeki beş numunenin ortalama V_p değeri 4130.4 m/sn olarak kaydedilmiştir. Ancak Tablo 24'te gösterildiği gibi, numuneler 680°C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulduktan sonra, beş örneğin ortalama V_p değeri 2516.4 m/sn'ye düşerek belirgin bir azalma göstermiştir. Bu sonuç, ısıtılmanın numunelerin boyuna dalga hızları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Trabzon-Merkez bölgesinden alınan ilksel numunelerdeki beş numunenin ortalama V_p değeri 5186 m/sn olarak kaydedilmiştir. Ancak Tablo 25'te gösterildiği gibi, numuneler 680°C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulduktan sonra, beş örneğin ortalama V_p değeri 1977.4 m/sn'ye düşerek belirgin bir azalma göstermiştir. Bu sonuç, ısıtılmanın numunelerin boyuna dalga hızları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 23. Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi

E Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	E-1	4871
	E-2	4839
	E-3	5119
	E-4	4906
	E-5	4969
	Ort.	4940.8
YANGIN	E-6	3520
	E-7	3676
	E-8	3541
	E-9	3280
	E-10	3139
	Ort.	3431.2

Tablo 24. Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi

A Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	A-1	3683
	A-2	4365
	A-3	4387
	A-4	3805
	A-5	4412
	Ort.	4130.4

Tablo 24'ün devamı

A Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
YANGIN	A-6	2492
	A-7	2547
	A-8	2338
	A-9	2657
	A-10	2548
	Ort.	2516.4

Tablo 25. Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi

T Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	T-1	4906
	T-2	5105
	T-3	5668
	T-4	5063
	T-5	5188
	Ort.	5186
YANGIN	T-6	1939
	T-7	1980
	T-8	1993
	T-9	2010
	T-10	1965
	Ort.	1977.4

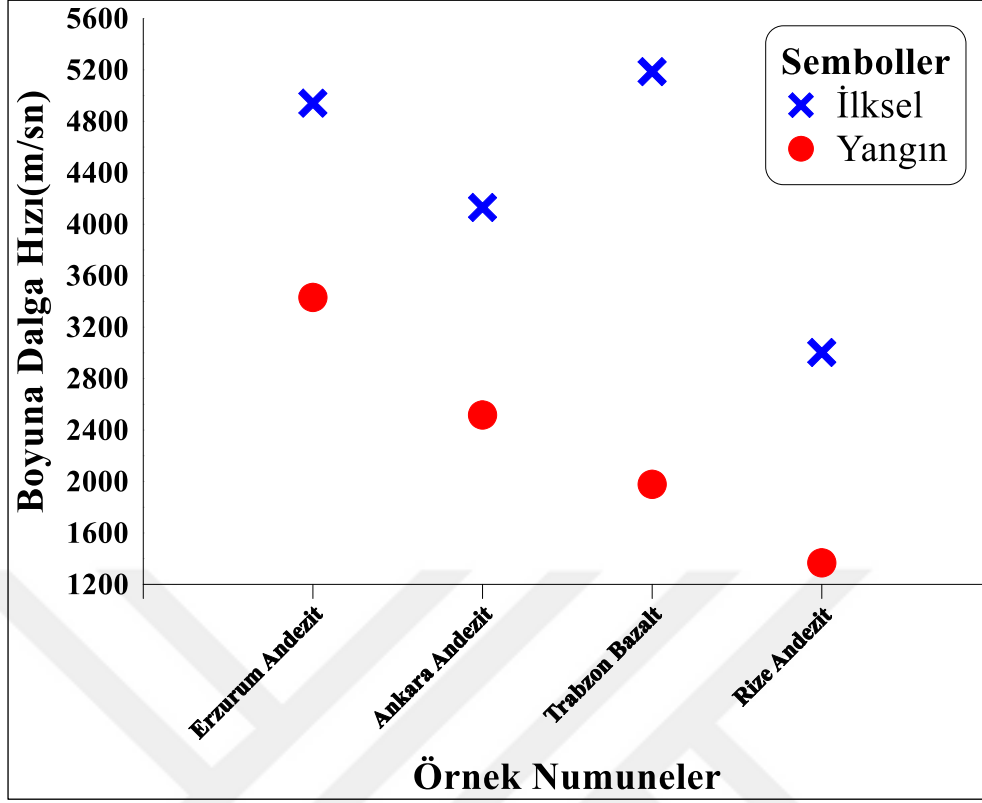
Rize-İyidere bölgesinden alınan ilksel numunelerdeki beş numunenin ortalama V_p değeri 3002.8 m/sn olarak kaydedilmiştir. Ancak Tablo 26'da gösterildiği gibi, numuneler 680°C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulduktan sonra, beş örneğin ortalama V_p değeri 1367.6 m/sn'ye düşerek belirgin bir azalma göstermiştir. Bu sonuç, ısıtılmanın numunelerin boyuna dalga hızları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 26. Rize-İyidere numunelerinin yangın sıcaklığında P-dalga hız değişimi

R Grubu	Örnek Numune	V_p (m/sn)
İLKSEL	R-1	2693
	R-2	3031
	R-3	3219
	R-4	3125
	R-5	2946
	Ort.	3002.8
YANGIN	R-6	1661
	R-7	1388
	R-8	1412
	R-9	1475
	R-10	902
	Ort.	1367.6

Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize illerinden alınan kayaç numunelerinin başlangıç koşullarındaki boyuna dalga hızı değerleri tespit edilmiştir. Şekil 26’da sunulan grafiklerde, bu numuneler 680°C yangın sıcaklığına maruz bırakıldığında ölçülen boyuna dalga hızı değerleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Dört farklı bölgeden alınan numunelerin başlangıç ve yangın sıcaklığı koşullarındaki boyuna dalga hızı değerlerindeki değişimler net bir şekilde ortaya konulmaktadır.

Şekil 30’daki grafik, yangının kayaçların boyuna dalga hızlarında ciddi bir düşüşe yol açtığını açıkça göstermektedir. İlk sel numuneler genel olarak daha yüksek dalga hızlarına sahipken, yangın sonrası değerler belirgin bir şekilde azalmaktadır. Bu düşüş, kayaçların yangın sonrasında yapısal bütünlüklerinde zayıflama yaşandığını veya yoğunluklarının azaldığını göstermektedir. Özellikle Trabzon kayaçlarında gözlemlenen en keskin düşüş, yangının bu bölgedeki kayaç yapısını daha fazla etkilediğini göstermektedir. Rize ve Ankara numunelerinde de belirgin düşüşler gözlemlenmekte ancak Erzurum numunesi yangın sonrası daha az bir değişiklik göstermektedir.



Şekil 26. 680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki boyuna dalga hızlarının karşılaştırılması

3.2.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımının Değişimi

Erzurum-Merkez bölgesinden alınan andezit kayaç örneklerine uygulanan tek eksenli basınç dayanım testi sonuçları, kayaç dayanımlarının ısı işlem etkisi altında nasıl değiştiğine dair önemli bulgular sunmaktadır. Başlangıçta, Erzurum-Merkez andezitlerinin beş numunesinin ortalama tek eksenli basınç dayanımı 134.7 MPa olarak ölçülmüştür. Bu, numunelerin doğal durumdayken sahip oldukları dayanıklılığı temsil eden bir değerdir ve andezit kayaçlarının sağlam yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ancak numunelere 680°C sıcaklıkta ısı işlem uygulandıktan sonra yapılan yeniden ölçümler, kayacın dayanımında belirgin bir düşüş yaşandığını ortaya koymuştur. Isıl işlem sonrasında, tek eksenli basınç dayanım değeri ortalama olarak 87.24 MPa'ya düşmüştür. Bu sonuçlar, andezit kayaçlarının yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında dayanımlarının önemli ölçüde azaldığını, yani ısı işlem sonrası yapısal bütünlüklerinin zayıfladığını göstermektedir. Tablo 27'de sunulan bu değerler, kayaçların termal etkiler altında geçirdikleri değişimi ve dayanıklılıklarının nasıl düştüğünü somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 27. Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri

E Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	E-1	158.692
	E-2	106.707
	E-3	122.050
	E-4	118.949
	E-5	167.189
	Ort.	134.717
YANGIN	E-6	94.234
	E-7	80.200
	E-8	96.350
	E-9	83.350
	E-10	82.070
	Ort.	87.241

Ankara-Gölbaşı Andezitinin başlangıçtaki tek eksenli basınç dayanımı, beş numunenin ortalaması 88.28 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunelere 680°C sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulanmasının ardından tek eksenli basınç dayanımı değerleri yeniden ölçülmüş ve Tablo 28’de gösterilen ortalama dayanım değeri 54.57 MPa’ya düşmüştür. Bu sonuç, ısıtma işlemi sonrası kayaç örneklerinin dayanım değerlerindeki düşüşü göstermektedir.

Tablo 28. Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri

A Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	A-1	79.802
	A-2	68.000
	A-3	81.615
	A-4	73.240
	A-5	138.758
	Ort.	88.283
YANGIN	A-6	59.650
	A-7	40.580
	A-8	50.480
	A-9	62.580
	A-10	59.560
	Ort.	54.570

Trabzon-Merkez Bazaltının başlangıçtaki tek eksenli basınç dayanımı, beş numunenin ortalaması 95.89 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunelere 680°C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmasının ardından tek eksenli basınç dayanımı değerleri yeniden ölçülmüş ve Tablo 29’da gösterilen ortalama dayanım değeri 41.91 MPa’ya düşmüştür. Bu sonuç, ısıtıl işlem sonrası kayaç örneklerinin dayanım değerlerinde azalma gözlemlendiğini göstermektedir.

Tablo 29. Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri

T Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	T-1	108.638
	T-2	35.576
	T-3	134.263
	T-4	66.045
	T-5	134.909
	Ort.	95.8862
YANGIN	T-6	40.609
	T-7	35.441
	T-8	49.23
	T-9	42.622
	T-10	41.644
	Ort.	41.9092

Rize-İyidere Andezitinin başlangıçtaki tek eksenli basınç dayanımı, beş numunenin ortalaması 33.42 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunelere 680°C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmasının ardından tek eksenli basınç dayanımı değerleri yeniden ölçülmüş ve Tablo 30’da gösterilen ortalama dayanım değeri 15.92 MPa’ya düşmüştür. Bu sonuç, ısıtıl işlem sonrası kayaç örneklerinin dayanım değerlerinde azalma gözlemlendiğini göstermektedir.

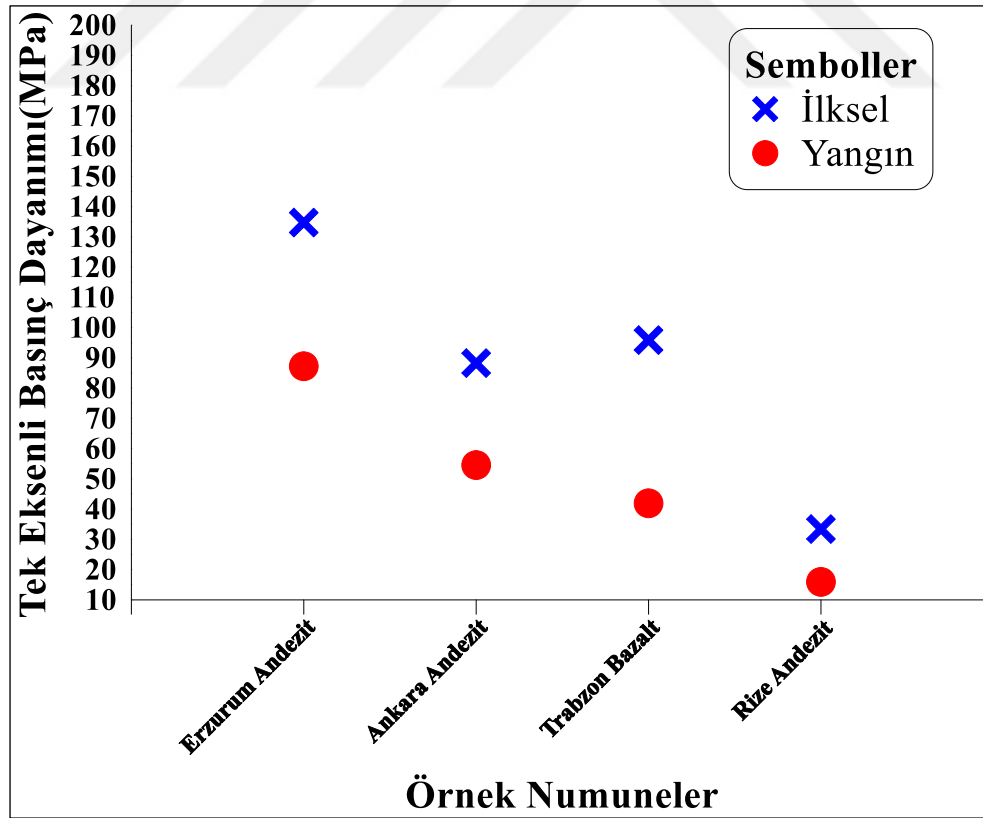
Tablo 30. Rize-İyidere numunelerinin yangın sıcaklığındaki tek eksenli basınç dayanımı değerleri

R Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
İLKSEL	R-1	36.661
	R-2	32.223
	R-3	33.791
	R-4	31.728
	R-5	32.700
	Ort.	33.421

Tablo 30'un devamı

R Grubu	Örnek Numune	σ_c (MPa)
YANGIN	R-6	32.210
	R-7	10.637
	R-8	12.210
	R-9	10.636
	R-10	13.887
	Ort.	15.916

Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize'den alınan kayaç numunelerinin başlangıç koşulundaki tek eksenli basınç dayanımları belirlendikten sonra Şekil 27'de verilen grafiklerde, bu numunelerin 680°C yangın sıcaklığına maruz kaldıktan sonraki tek eksenli basınç dayanımları da ölçülmüş ve başlangıç koşulundaki dayanımlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 31'de dört farklı bölgeden alınan numunelerin ilksel ve yangın sıcaklığı koşullarındaki dayanımlarının nasıl değiştiği karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



Şekil 27. 680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 27’de verilen grafik, yangın sıcaklığının kayaların basınç dayanımlarında farklı etkilere yol açtığını ortaya koymaktadır. Bütün numunelerdeki değerlerde düşüşler oluşmuş ve dayanımın yangın sıcaklığından sonra azaldığı görülmüştür.

3.2.5. Dolaylı Çekme Dayanımının Değişimi

Erzurum-Merkez andezitinin dolaylı çekme dayanımı Tablo 31’de gösterilen ilk numunelerde ortalama 10.50 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak, bu kayacın yangına maruz bırakılmasının ardından gerçekleştirilen deneylerde dayanım değerinin belirgin bir düşüşle 7.68 MPa seviyesine gerilediği gözlenmiştir. Bu önemli azalma, andezitin yüksek sıcaklıkların etkisiyle mekanik özelliklerinde zayıflama eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yangın sonrası dayanımdaki bu düşüş, andezitin iç yapısında meydana gelen mikro yapısal değişimler veya bağ gücündeki zayıflamanın bir sonucu olarak yorumlanabilir. Bu durum, özellikle andezitin yapı malzemesi olarak kullanılacağı alanlarda yangına dayanıklılığı açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Tablo 31. Erzurum-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri

E Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	E-1	10.831
	E-2	10.513
	E-3	10.504
	E-4	10.376
	E-5	10.266
	Ort.	10.498
YANGIN	E-6	7.303
	E-7	8.243
	E-8	7.775
	E-9	7.452
	E-10	7.608
	Ort.	7.676

Ankara-Gölbaşı andezitinin dolaylı çekme dayanımı Tablo 32’de gösterilen ilk numunelerde ortalama 9.95 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak, bu kayacın yangına maruz bırakılmasının ardından gerçekleştirilen deneylerde dayanım değerinin belirgin bir düşüşle 4.45 MPa seviyesine gerilediği gözlenmiştir.

Tablo 32. Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri

A Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	A-1	11.060
	A-2	9.418
	A-3	9.138
	A-4	8.519
	A-5	11.621
	Ort.	9.951
YANGIN	A-6	6.870
	A-7	3.995
	A-8	3.300
	A-9	3.962
	A-10	4.123
	Ort.	4.450

Trabzon-Merkez Bazaltının dolaylı çekme dayanımı Tablo 33'te gösterilen ilk numunelerde ortalama 8.91 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak, bu kayacın yangına maruz bırakılmasının ardından gerçekleştirilen deneylerde dayanım değerinin belirgin bir düşüşle 3.17 MPa seviyesine gerilediği gözlenmiştir.

Tablo 33. Trabzon-Merkez numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri

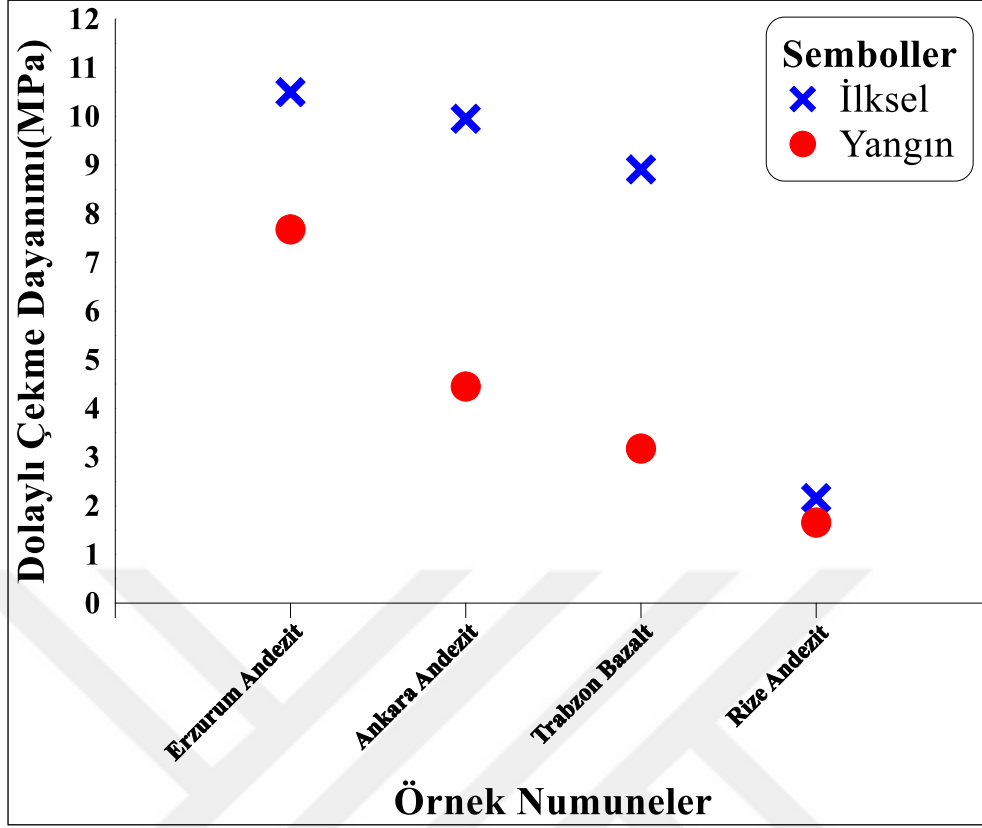
T Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	T-1	11.479
	T-2	7.656
	T-3	10.576
	T-4	5.759
	T-5	9.085
	Ort.	8.911
YANGIN	T-6	3.114
	T-7	3.197
	T-8	3.541
	T-9	3.310
	T-10	2.706
	Ort.	3.174

Tablo 34. Ankara-Gölbaşı numunelerinin yangın sıcaklığındaki brazilian çekme dayanımı değerleri

R Grubu	Örnek Numune	σ_T (MPa)
İLKSEL	R-1	2.310
	R-2	2.219
	R-3	2.011
	R-4	2.225
	R-5	2.026
	Ort.	2.158
YANGIN	R-6	1.696
	R-7	1.812
	R-8	1.672
	R-9	1.574
	R-10	1.509
	Ort.	1.653

Rize-İyidere Bazaltının dolaylı çekme dayanımı Tablo 34’te gösterilen ilk numunelerde ortalama 2.16 MPa olarak belirlenmiştir. Ancak bu kayacın yangına maruz bırakılmasının ardından gerçekleştirilen deneylerde dayanım değerinin belirgin bir düşüşle 1.65 MPa seviyesine gerilediği gözlenmiştir.

Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize illerinden alınan kayaç numunelerinin ilksel koşullarındaki Brazilian dolaylı çekme dayanımları belirlendikten sonra, Şekil 28’de bu numunelerin 680 °C yangın sıcaklığına maruz bırakılmaları durumunda Brazilian dolaylı çekme dayanımlarında meydana gelen değişimler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Grafikte, dört farklı bölgeden alınan numunelerin ilksel dayanımları ile yangın sıcaklığındaki dayanım değerlerinin nasıl değiştiği analiz edilmiştir.



Şekil 28. 680°C yangın sıcaklığına maruz kalan Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize kayaç numunelerinin ilksel ve yangın sonrasındaki brazilian dolaylı çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 28’de gösterilen grafikteki verilere göre, yangın sıcaklığının kayaçların dolaylı çekme dayanımlarında dikkate değer bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Yangın öncesi değerler tüm bölgelerde daha yüksek seviyelerdeyken, yangın sonrası numunelerde dolaylı çekme dayanımında belirgin bir düşüş yaşanmıştır. Özellikle Erzurum ve Rize numunelerindeki yangın sonrası dayanım kaybı kademeli bir şekilde azalırken, Trabzon ve Ankara numunelerinde bu azalma daha belirgin gerçekleşmektedir. Rize kayaçlarının yangın sonrası en düşük dolaylı çekme dayanımına sahip olması, bu bölgedeki kayaçların yangın sıcaklığı karşısında yapısal bütünlüklerinde ciddi bir zayıflama yaşadığını kanıtlamaktadır.

3.2.6. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim Yüzdeleri

Tablo 35’te, yangına maruz kalmış numunelerin ilksel durumlarına kıyasla fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim oranları yüzdesel olarak verilmiştir. Bu değişim oranları, yangın etkisi altında numunelerde meydana gelen artış (+) ve azalış (-) değerlerini

yansıtarak, malzeme özelliklerinin termal etkiler sonucunda nasıl bir dönüşüm geçirdiğini detaylı bir şekilde göstermektedir.

Tablo 35. Yangın ve İlksel numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüzdesel olarak karşılaştırılması

Doğal Yapı Taşları	Yangın Sonrası Numunelerin İlksel Hallerine Karşı Yüzdesel Değişim Miktarları				
	Kuru Yoğunluk	Özgül Ağırlık	Boyuna Dalga Hızı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Dolaylı Çekme Dayanımı
Erzurum Andeziti	+%0.4	+%5.5	-%31	-%35	-%27
Ankara Andeziti	+%0.4	+%3.4	-%30	-%38	-%54
Trabzon Bazaltı	-%2.3	+%5.0	-%62	-%56	-%64
Rize Andeziti	-%6.5	+%3.0	-%55	-%52	-%23

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında laboratuvar ortamında 680°C'lik dış yangın sıcaklığına maruz bırakılan tarihi yapı taşlarının fiziksel, mekanik ve mikro-yapısal özelliklerindeki değişimleri incelenmiştir. Bu sayede, yangından zarar gören tarihi yapıların restorasyonunda uygun malzeme seçimine katkı sağlanarak, yangın sonrası korunma ve restorasyon çalışmalarında literatürdeki önemli bir eksiklik giderilmiştir. Erzurum, Ankara, Trabzon ve Rize illerinden çıkarılan kayaçlar, Trabzon'daki taş ocaklarında titiz bir işleme sürecinden geçirilmiştir. Bu ocaklar, kayaçların doğal yapısına zarar vermeden standart ölçülerde kesim yapabilecek teknolojik donanımına sahiptir. Farklı jeolojik kökenlere ve fiziksel özelliklere sahip bu kayaçlar, dikkatli bir şekilde kesilerek yedi adet hazır blok haline getirilmiştir. Bu bloklar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kayaçların çeşitli mühendislik uygulamaları değerlendirilmeye alınmıştır. Fiziksel özelliklerin incelendiği bu deneylerde, özellikle dayanım, özgül ağırlık, kuru yoğunluk ve gözeneklilik parametreleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca, blokların iç yapısındaki mikro çatlaklar, detaylı analizlerle belirlenmiştir.

Örneklerin 680°C'lik dış yangın sıcaklığına maruz bırakılmasının etkilerini göz önünde bulundurularak sonuçlara ulaşılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde, Erzurum ilinden temin edilen örneklerde dayanım değerlerinin 134.7 MPa'dan 87.24 MPa'ya düştüğü gözlemlenmiştir. Ankara ilinden alınan örneklerde ise bu değerlerin 88.28 MPa'dan 54.57 MPa'ya gerilediği belirlenmiştir. Trabzon ilinden temin edilen örneklerin dayanım değerleri 95.89 MPa'dan 41.91 MPa'ya düşerken, Rize ilinden alınan örneklerde ise 33.42 MPa'dan 15.92 MPa'ya düştüğü saptanmıştır.

Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian deneyi) sonuçları incelendiğinde, Erzurum örneklerinin dayanım değerlerinin 10.50 MPa'dan 7.68 MPa'ya düştüğü tespit edilmiştir. Ankara örneklerinde bu değerlerin 9.95 MPa'dan 4.45 MPa'ya gerilediği görülmüştür. Trabzon'dan alınan örneklerde dayanım değerleri 8.91 MPa'dan 3.17 MPa'ya düşerken, Rize örneklerinde 2.16 MPa'dan 1.65 MPa'ya bir azalma kaydedilmiştir.

Boyuna dalga hızı değişiminde, Erzurum-Merkez bölgesinden alınan numunelerdeki ortalama V_p değerinin 4940.8 m/sn'den 3431 m/sn'ye düştüğü belirlenmiştir. Ankara'dan alınan numunelerde V_p değerleri 4130.4 m/sn'den 2516.4 m/sn'ye düşerken, Trabzon

numunelerinde 5186 m/sn'den 1977 m/sn'ye düşmüştür. Rize bölgesinden alınan örneklerde ise bu değer 3000.8 m/sn'den 1367.6 m/sn'ye gerilemiştir.

Özgül ağırlık değerleri incelendiğinde, Erzurum örneklerinin 2.74'ten 2.9'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Ankara örneklerinde özgül ağırlık 2.57'den 2.66'ya, Trabzon örneklerinde 2.86'dan 3.01'e, Rize örneklerinde ise 2.6'dan 2.68'e yükselmiştir. Kuru yoğunluk değerleri incelendiğinde ise belirgin bir değişiklik tespit edilmemiştir.

Isıl işlemlere tabi tutulan tüm örneklerde, küçük çaplı boşlukların kapanması, kuru yoğunluk değerini artırıcı bir etki gösterirken, topaklaşma sonucu artan büyük boşluklar ve kırıklar ise bu değerleri azaltıcı bir etki yaratmıştır. Bu denge, ısıtma işlem sonrasında yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerlerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemesine neden olmuştur.

Isıl işlem sonrasında, kütle değişmeden meydana gelen kısmi ergime ve topaklaşma, gözeneklilikten bağımsız olarak katı tanelerde yapısal değişimlere yol açmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda özgül ağırlığı yüksek minerallerin oluştuğunu göstermekte olup, tam olarak kesinlik kazanmamıştır; dolayısıyla benzer sonuçların XRD analizleri ile kontrol edilmesi önerilmektedir.

105°C'de kurutulan örneklerde, kayaçların boşluklarında bulunan suyun buharlaşması sağlanırken, minerallerin bünyesinde bulunan kristal su bu durumdan etkilenmemektedir. Ancak, 680°C'lik ısıtma işlemine tabi tutulan örneklerde, kristal suyun da mineral yapısından ayrıldığı gözlemlenmiştir. Su kaybının yanı sıra, topaklaşma sonrası meydana gelen mikrokırıklar, boyuna dalga hızında ani bir azalışa neden olmuştur. Bu durum, kayacın kütlelerinde ve boşluk oranında bir değişim olmaksızın yalnızca dayanım kaybına yol açmış, ısıtma işlemi gören örneklerin tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarında belirgin bir düşüş ortaya çıkmıştır. Söz konusu dayanım kaybı, boyuna dalga hızında en fazla düşüş görülen örneklerde daha belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Isıl işlem sonrası ortaya çıkan kısmi ergime ve topaklaşmanın, minerallerin gözeneklilikten bağımsız olarak yapısal değişimlere yol açtığı ve bu değişimlerin XRD analizleri ile kontrol edilmesi gerektiği önerilmektedir.

Isıl işlem sırasında meydana gelen kristal su kaybı ve mikro-kırık oluşumu, örneklerin dayanımlarında önemli düşüşlere neden olmuş; bu etkilerin gelecekteki çalışmalarda detaylı incelenmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklık uygulamaları sonucunda özgül ağırlığı yüksek minerallerin geliştiği gözlemlense de bu durumun kesinliği için ek analizler yapılmalıdır.

Son olarak, dayanım kaybının boyuna dalga hızı azalışı ile ilişkisi daha net şekilde araştırılarak ısıtıl işlemin kayacın mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması gerektiği vurgulanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Allison, R. J., & Bristow, G. E. (1999). The effects of fire on rock weathering: some further considerations of laboratory experimental simulation. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 24(8), 707-713.
- Atılğan, A. (2013). <http://www.arkitera.com/gorus/336/tarihibinalarda-cikan-yaniginlar>, 25.10.2024.
- Becattini, V., Motmans, T., Zappone, A., Madonna, C., Haselbacher, A., & Steinfeld, A. (2017). Experimental investigation of the thermal and mechanical stability of rocks for high-temperature thermal-energy storage. *Applied Energy*, 203, 373-389.
- Bieniawski, Z. T. (1974). Estimating the strength of rock materials. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 74(8), 312-320.
- Altın Yavuz, A. (2021). İlerleyen Sansürlü Örneklemelere Dayalı Olarak Weibull Dağılımının Şekil Parametresinin Sağlam Tahmin Edicileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 410-418.
- Chaki, S., Takarli, M., & Agbodjan, W. P. (2008). Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1456-1461.
- Chakrabarti, B., Yates, T., & Lewry, A. (1996). Effect of fire damage on natural stonework in buildings. *Construction and Building Materials*, 10(7), 539-544.
- Chen, Y. L., Ni, J., Shao, W., & 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.
- Darot, M., & Reuschlé, T. (2000). Acoustic wave velocity and permeability evolution during pressure cycles on a thermally cracked granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(7), 1019-1026.
- Demirbağ, F. M. (2021). Zayıf kaya malzemesinin doğrudan ve dolaylı çekme dayanımları arasındaki ilişkiler(Yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Demirkan, E., & Soyluk, D. (2023). Deprem Sonrası Yangınlar. 3. International Congress On Construction Materials Engineering And Architecture
- Dos Santos, J. L., Rosa, L. G., & Amaral, P. M. (2011). Temperature effects on mechanical behaviour of engineered stones. *Construction and Building Materials*, 25(1), 171-174.
- Dwivedi, R. D., Goel, R. K., Prasad, V. V. R., & Sinha, A. (2008). Thermo-mechanical properties of Indian and other granites. *International Journal of Rock mechanics and mining Sciences*, 45(3), 303-315.

- Ersoy, H., Kolaylı, H., Karahan, M., Harputlu Karahan, H., & Sünnetci, M. O. (2019). Effect of thermal damage on mineralogical and strength properties of basic volcanic rocks exposed to high temperatures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 1515-1525.
- Crzgorzewski, P., & Wirczorkowski, R. (1999). Entropy-based goodness-of-fit test for exponentiality. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 28(5), 1183-1202
- Eurocode, 2011. Eurocode 1 : Actions on structures exposed to fire.
- Eyici, S. (1998). “Haydarpaşa”, TDV İslam Ansiklopedisi, Türkiye Diyanet Vakfı, 17(39)
- Heuze, F. E. (1983). High-temperature mechanical, physical and thermal properties of granitic rocks—a review. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 20(1), 3-10.
- Homand-Etienne, F. & Houpert, R.(1989). Thermally Induced Microcracking in Granites: Characterization and Analysis, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.Geomech. Abstr*, 26(2), 125–134
- FM Global, (2019). It’s Time to Protect Our Heritage and Stop Burning It. *FM Global*, 0(3), 1-8.
- Jones, M. A., 2009, *Fire Protection Systems*, Cengage Learning, Delmar, USA, p. 6-8.
- Kılıç, A., 2010a, *Ateşi Tutan Eller-Ateş Kahramanları*, Teknik Yayıncılık Grubu, İstanbul, p. 93-144.
- Mao, X. B., Zhang, L. Y., Li, T. Z., & Liu, H. S. (2009). Properties of failure mode and thermal damage for limestone at high temperature. *Mining Science and Technology (China)*, 19(3), 290-294.
- Sun, Q., Lü, C., Cao, L., Li, W., Geng, J., & Zhang, W. (2016). Thermal properties of sandstone after treatment at high temperature. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 85, 60-66.
- Tulunay, S. (2019). *Tarihi Yapılarda Yangın Tehlikesine Bağlı Gelişen Risklerin*
- URL-1. (2012). CNN Turk, İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü’nde yangın!, <https://www.cnnturk.com/fotogaleri/turkiye/2012/12/24/istanbul.il.milli.egitim.mudurlugunde.yangin/15360/index.html?page=1> , 25.10.2024
- URL-2. (2010).Sabah, Haydarpaşa Tren Garı’nda yangın, https://www.sabah.com.tr/galeri/turkiye/haydarpasa_tren_garinda_yangin , 25.10.2024
- URL-3. (2018). CNNTÜRK, Galatasaray Üniversitesi’nin Yanan Binası 5 yıl sonra restore ediliyor, <https://www.cnnturk.com/turkiye/galatasaray-universitesinin-yanan-binası-5-yıl-sonra-restore-ediliyor-720375>

Zhang, L., Mao, X., & Lu, A. (2009). Experimental study on the mechanical properties of rocks at high temperature. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 52(3), 641-646.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, ilk, orta ve lise eğitimlerini tamamladıktan sonra 2016 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2020 yılında mezun olmuştur. 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış olup, 2023 yılında TÜBİTAK 1001 projesinde araştırmacı bursiyer olarak görev alarak projeye katkı sağlamıştır. Lisans eğitiminden itibaren kendini geliştirmeye devam eden yazar, akademik kariyerine ve sektördeki deneyimlerine katkı sağlamaktadır.

