

YANGIN KAYNAKLI AFETLERİN TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN DOĞAL YAPI TAŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Muhammed Enes KILIÇ^{*ID}

Sabriye Banu İKİZLER^{*ID}

Hakan ERSOY^{**ID}

Alınma: 12.03.2025; düzeltme: 08.05.2025; kabul: 25.05.2025

Öz: Yangın kaynaklı afetlerin tarihi yapılara verdiği zarar fiziksel hasarın yanı sıra kültürel miras kaybı gibi telafisi güç sonuçlar doğurabilmektedir. Bu çalışmada, yangının tarihi yapı taşları üzerindeki etkileri laboratuvar ortamında incelenmiş, yangından zarar gören yapılara uygun restorasyon malzemelerinin seçimi için veriler elde edilmiştir. Eurocode 1 (2011) standartlarına uygun olarak 680 °C'ye kadar ısıtılmış dört farklı doğal yapı taşının kuru yoğunluk, özgül ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kuru yoğunluk değerlerinde belirgin bir değişim görülmezken, en fazla azalma Rize Andezitinde %6.5 olarak kaydedilmiştir. Özgül ağırlık değeri, yangınla oluşan yeni mineraller nedeniyle en fazla Erzurum Andezitinde %5.5 oranında artış göstermiştir. Trabzon Bazaltında boyuna dalga hızında %62, tek eksenli basınç dayanımında %56 ve dolaylı çekme dayanımında %64 oranında azalma tespit edilmiştir. SEM ile yapılan mikro-yapısal incelemeler, taşlarda oluşan kırıklar ve topaklanmaların bu kayıplara neden olduğunu doğrulamıştır. Isıl işlem sonrası küçük boşlukların kapanması yoğunluğu artırırken, büyük boşluklar ve çatlaklar azaltıcı etkide bulunmuş, bu da yoğunluk değerlerinde büyük bir değişim gözlenmemesine neden olmuştur. Çalışma sonucu elde edilen bulgular, yangın sonrası tarihi yapıların korunması için restorasyon stratejileri geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

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

Effects of Fire-Induced Disasters on Natural Building Stones Used in Historical Structures

Abstract: Fire-related disasters can cause irreparable consequences beyond physical damage, such as the loss of cultural heritage. In this study, the effects of fire on historical building stones were investigated under laboratory conditions, and data were obtained to select appropriate restoration materials for fire-damaged structures. The physical and mechanical changes in four different types of natural building stones, heated up to 680 °C in accordance with Eurocode 1 (2011) standards, were thoroughly examined in terms of dry density, specific gravity, uniaxial compressive strength, and indirect tensile strength. Experimental results showed no significant change in dry density values, with the highest decrease recorded in Rize Andesite at 6.5%. Due to the formation of new minerals induced by fire, specific gravity exhibited the highest increase of 5.5% in Erzurum Andesite. In Trabzon Basalt, reductions of 62% in longitudinal wave velocity, 56% in uniaxial compressive strength, and 64% in indirect tensile strength were observed. Microstructural analyses using SEM confirmed that fractures and agglomerations in the stones contributed to these losses. While the closure of small voids after thermal treatment increased density, larger voids and cracks had a diminishing effect, leading to minimal overall changes in density values. The findings of this study contribute to the development of restoration strategies for the preservation of historical structures affected by fire.

Keywords: Fire, Building Stone, Disaster, Historical Buildings

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080 Ortahisar TRABZON

** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Ortahisar TRABZON

İletişim Yazarı: Muhammed Enes KILIÇ (m.enesklcc00@hotmail.com)

1. GİRİŞ

Yangın kaynaklı afetlerin ulusal ve uluslararası ölçekte yarattığı tahribat, göz ardı edilemeyecek kadar ciddidir. Bu tür afetlerin yalnızca fiziksel çevreye değil, aynı zamanda o bölgede yaşayan bireylerin psikolojik ve sosyal durumlarına da derin etkiler bıraktığı bilinmektedir. Özellikle doğal taş malzemelerinden inşa edilmiş tarihi yapılar, yangınların olumsuz etkilerine karşı en savunmasız yapı gruplarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu yapıların zarar görmesi, sadece mimari mirasın değil, aynı zamanda kültürel kimliğin ve tarihsel sürekliliğin kaybını da beraberinde getirmektedir. Dünya genelinde farklı bölgelerde meydana gelen afetler, kültürel mirasın korunmasına yönelik çabaları önemli ölçüde tehdit etmektedir. Tarihi yapılar, yangınlar karşısında yalnızca fiziksel varlıklarını değil, aynı zamanda barındırdıkları sanatsal ve kültürel değerlerle birlikte insan yaşamını da tehlikeye atmaktadır. Bu tür felaketler, sıklıkla geri dönülemez kayıplara yol açmaktadır. Tarihsel süreç boyunca, dünyanın farklı bölgelerinde özellikle tarihi yapılarda çıkan yangınlardan kaynaklanan yıkımlar yaygın olarak görülmüş ve günümüzde de bu sorun devam etmektedir.

Tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinde, yalnızca doğal yapı taşları değil; bu taşları birbirine bağlayarak bütünlüğü sağlayan kenetleme, zıvana gibi çelikten yapılmış bağlantı elemanları ve birleştirici harçlar da temel bileşenler arasında yer almaktadır (Koçak, 2013). Tarihi yapılarda kullanılan harçların bileşimi, malzemenin dayanımı ve bozulma eğilimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Stefanidou vd., 2014). Günümüzde ise literatürde yaygın olarak kabul edildiği üzere, Portland çimentosu bazlı harçlar yaklaşık 300–500 °C sıcaklık aralığında mekanik dayanımlarının büyük bir bölümünü kaybetmekte; 600 °C'nin üzerinde ise taşıyıcı niteliklerini neredeyse tamamen yitirmektedir (Horszczaruk vd., 2017; Georgali vd., 2005). Ancak Pachta ve diğ. (2018), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çimento esaslı malzemelerin yüksek sıcaklık davranışına dair mevcut literatür bulgularıyla kıyaslandığında dikkate değer farklılıklar gözlemlenmiştir. Araştırma kapsamında incelenen geleneksel kireç esaslı harçların, 800 °C'ye kadar olan sıcaklık artışına rağmen dayanımlarını büyük oranda koruduğu ve hatta 1000 °C'de dahi tamamen parçalanmadan varlığını sürdürdüğü rapor edilmiştir. Bu durum, kireç harçlarının yüksek sıcaklık koşullarında beklenenin ötesinde direnç gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemin yalnızca bir bileşeni olan doğal yapı taşları kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan bu taşlara ilişkin literatürdeki araştırmalar incelediğinde Zhang ve diğ. (2016), 25°C-900°C sıcaklıklara maruz bırakılan kireçtaşı örneklerinin P dalga hızındaki değişimleri ve mikro-yapısal dönüşümleri gözlemlenmiştir. 200°C-600°C sıcaklıklarında kayacın dayanımında ve P dalga hızında azalmaların olduğu, 600°C'den itibaren kireçtaşı örneklerinde çatlak ağlarının yoğunluğu artmıştır. Özgüven ve Özçelik (2013) yapı taşlarını 200°C'den başlayarak 1000°C'ye kadar yüksek sıcaklık altında incelemiştir. 800°C sıcaklığında yüzeyde beyaz bir renk değişimi görülmüştür. 900°C'den sonra kireçtaşı suyla reaksiyona girerek ekzotermik bir ısı artışı gözlenmiştir. Kılıç (2006) ise kireçtaşı numunelerinin kalsinasyon sürecinde P-dalga hızı, kütle kaybı ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi tespit etmiştir. 900°C kalsinasyon sürecinin tamamlandığı sıcaklık olarak tanımlanmış ve kütle kaybının en fazla olduğu sıcaklık olarak kaydedilmiştir. Yapılan çalışmalarının ortak noktası, doğal taşların yüksek sıcaklıklara maruz kalması sonucunda fiziksel, mekanik ve mikroyapısal özelliklerinde belirgin bozulmalar ve değişimlerin meydana geldiğini vurgulamalarıdır (Chakrabarti vd., 1996; Chaki vd., 2008; Chen vd., 2012).

Tablo 1'de, bu çalışmada kullanılan deneysel parametrelerin, uluslararası literatürde yer alan diğer yöntemlerle karşılaştırılmasını sunmaktadır. Bu çalışmada, tarihi yapılara özgü doğal yapı taşlarının yangın etkisi altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Isı kaynağı olarak fırın tercih edilmiş, soğutma işlemi ise oda sıcaklığında doğal olarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık artış hızı üstel olarak belirlenmiş, numuneler 2 saat boyunca ısıtılmış ve maksimum sıcaklık değeri 680 °C'ye ulaşmıştır. Bu sıcaklık, gerçek dış yangın koşullarını

temsil etmektedir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan doğal yapı taşları, tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılan taş türlerinden özenle seçilmiştir.

Tablo 1. DeneySEL Parametrelerin Literatürdeki Yöntemlerle Karşılaştırılması

DeneySEL Parametreler	Yaygın uygulanan	Az uygulanan	Bu çalışmada
Isı kaynağı	Fırında	Açık ateş	Fırın
Soğutma tekniği	Isıtma fırınında veya oda sıcaklığında	Sıvı nitrojen ile	Oda sıcaklığında
Sıcaklık artış hızı (°C/dk)	1-10	Üstel logaritmik	Üstel logaritmik
Isıl işlem süresi(s)	2-6	Farklı periyotlar	2
Maksimum uygulama sıcaklığı	600-1000	Yangın sıcaklığı	Yangın Sıcaklığı
Mekanik Deneyler	Tek eksenli Basınç veya Dolaylı Çekme	Schmidt çekici	Dolaylı Çekme ve Tek Eksenli Basınç
Kayaç Türleri	Yaygın Tüm Türler	Tarihi Yapılarda Kullanılan	Tarihi Yapılarda Kullanılan

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Doğal Yapı Taşlarının Temini ve Konumları

Bu çalışma, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan tarihi yapıların inşası ve restorasyonunda kullanılan doğal taş malzemelerinin detaylı bir şekilde incelenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla çalışmada, bölgedeki tarihi eserlerde tercih edilen taşların özellikleri ve tedarik süreçleri kapsamlı olarak ele alınmıştır. Kullanılan doğal yapı taşları, tarihi yapılarda kullanılan lokasyonlardan seçilmiş olup (Tablo 2), Şekil 1'deki tarihi yapıların inşasında kullanılan kayaçların fiziko-mekanik değişimi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

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)



Şekil 1:

Çalışmadaki Doğal Taşların Kullanıldığı Tarihi Güncel Yapılar (Kültür Envanteri, 2024 ve Narmanlı, 2021)

a. Kapu Camii (Giresun) **b.** Ayasofya Camii (Trabzon) **c.** Musapaşa Camii (Trabzon) **d.** Emirler Camii (Gümüşhane)

2.2. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

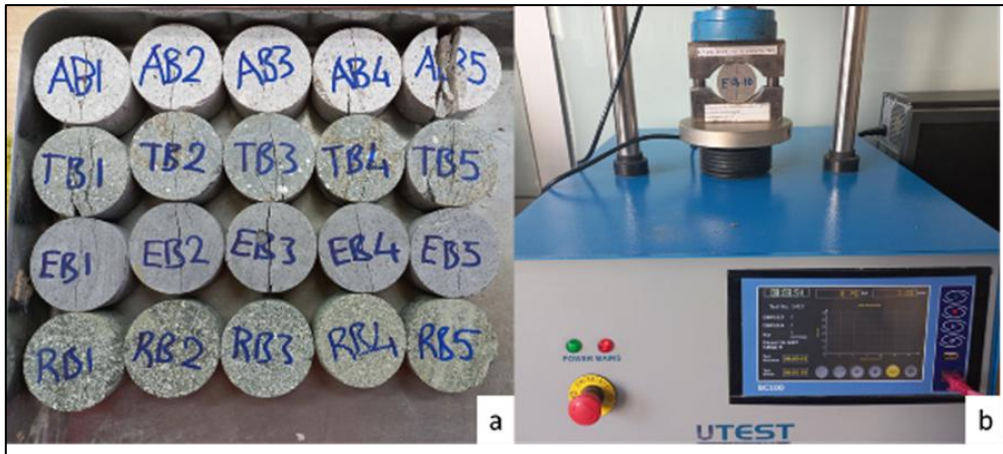
Numune hazırlık sürecinde ASTM (1994) standartlarına uyulmuştur. İlk adım olarak, Rize, Trabzon, Ankara ve Erzurum illerinden temin edilen kaya bloklarından, her bir bölgeden 10 adet olmak üzere toplam 40 karot numunesi elde edilmiştir (Şekil 2). Deneysel analizler için hazırlanan bu karotların boşluk, ayrışma veya hasar içermemesine dikkat edilmiştir. Her bir lokasyon için karot numuneleri, ilk beş tanesi yangından etkilenmemiş kayaçlar olarak (İLKSEL), son beş tanesi ise yangına maruz kalmış kayaçlar (YANGIN) olarak sınıflandırılmıştır. Bu şekilde belirlenen numuneler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2:
Deneyler için hazırlanmış silindirik numuneler

Şekil 2’de görülen karotlar deney sırasında isimlendirilmiştir. Bu kapsamda, Rize’den temin edilen andezit numuneleri “R”, Trabzon’dan elde edilen bazalt numuneleri “T”, Ankara’dan getirilen andezitler “A” ve Erzurum’dan alınan andezitler ise “E” harfi ile işaretlenerek etiketlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, taş ocaklarından temin edilen ve düzenli geometrik yapıya sahip 8 adet blok (15x20x10 cm) kullanılmıştır. 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. Yangından önce ve sonrasına ait tek eksenli basınç dayanımı, boy/çap oranı 2,5 olacak şekilde, dolaylı çekme dayanımı ise boy/çap oranı ise 1 olacak şekilde belirlenmiştir. İlgili numuneler, Brazilian deneyinin uygulanabilmesi amacıyla deney düzeneğinin gerektirdiği ölçü ve geometrik özelliklere uygun şekilde kesilip hazırlanmıştır. Her bir lokasyondan ısıtılma tabi tutulacak ve ilksel durumda değerlendirilecek numuneler için beşer adet olmak üzere toplamda on numune, toplamda ise 40 adet numune hazırlanmıştır. Şekil 3’te gösterildiği üzere, yükün numune ekseninin merkezine simetrik bir şekilde uygulanması ve bunun sonucunda numunenin karakteristik bir çekme gerilmesi meydana getirmesi gerekmektedir.



Şekil 3:
Brazilian deneyi sonucunda ilksel numunelerin son hali(a), Örnek numunenin yükleme çenesindeki konumu(b)

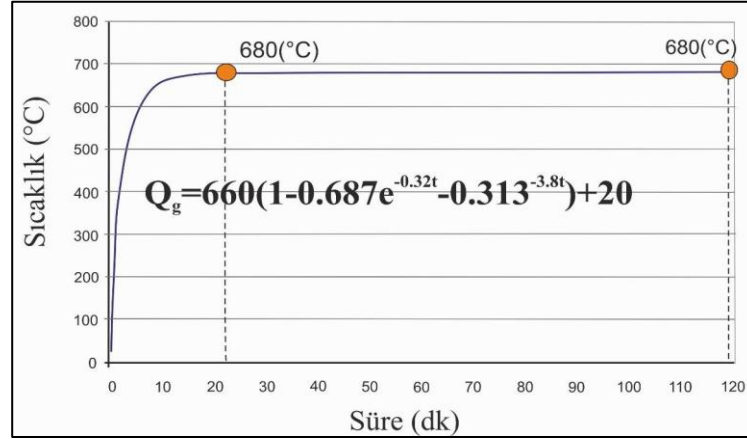
Bu yaklaşım, başlangıç değerlerinin yangın sıcaklığına tabi tutulan örneklerle karşılaştırılmasına ve sıcaklık artışının neden olduğu değişimlerin tespit edilmesine olanak sağlamıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan öncesi ve sonrası için numunelerin özgül ağırlık, kuru yoğunluk, boyuna dalga hızı, çekme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Numunelerin sayıları ve boyutlarına ilişkin detaylı bilgiler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Numunelerin Boyutları ve Sayısal Dağılımı

Yapısal Özellikler	DeneySEL Çalışmalardaki Örnek Sayıları				Numunelerin Boyutları
	Erzurum Andezit	Ankara Andezit	Trabzon Bazalt	Rize Andezit	
SEM	2	2	2	2	1cm ³
Tek eksenli sıkışma dayanımı	10	10	10	10	boy/çap oranları 2.5/1
Dolaylı çekme dayanımı	10	10	10	10	50-60mm boy/çap oranları 1/1
Kuru yoğunluk	10	10	10	10	
Boyuna dalga hızı	10	10	10	10	
Özgül ağırlık	3	3	3	3	

2.3. Dış Yangın Sıcaklığı Altında İşlem Görmüş Numuneler

Yangının başlamasıyla birlikte sıcaklık değerleri hızla artış göstermektedir. İlk 10 dakika içerisinde yaklaşık 600 °C'ye ulaşan sıcaklık, 15. dakikada 700 °C, 30. dakikada 800 °C ve 90. dakikada 1000 °C'ye kadar yükselmektedir. Üç saatlik bir süre sonunda sıcaklığın yaklaşık 1100 °C seviyesine ulaştığı, hatta bazı durumlarda 1500-1700 °C gibi daha yüksek değerlere çıkabildiği bilinmektedir (Kılıç, 2010a). Bu çalışmada Protherm marka kül fırını kullanılarak numunelere ısı işlem uygulanmıştır. Maksimum sıcaklık, Eurocode 1 (2011) standartlarına uygun olarak bir dış yangını temsil eden 680 °C olarak belirlenmiştir. Fırının ısıtma süreci, Şekil 4'te yer alan Eurocode 1 (2011) sıcaklık-zaman eğrisine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ani ısınma ve soğuma süreçlerinin yol açabileceği çatlak ve hasar riskini minimize etmek için sıcaklık artış hızı özenle kontrol edilmiştir. Hedef sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, kayaç içerisinde ısının homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla numuneler bu sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir. Deney sonunda numuneler, oda sıcaklığında kontrollü bir şekilde soğumaya bırakılmıştır.

**Şekil 4:**

Dış Yangın sıcaklık-zaman eğrisi (Eurocode 1, 2011)

2.4. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimler

Dış yangın sıcaklıklarının etkisine maruz kalan doğal yapı taşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenebilmesi için, öncelikle bu kayaların ilksel koşullardaki özellikleri belirlenmiştir (Tablo 4). Literatür incelendiğinde, kayaların fiziko-mekanik özelliklerinde yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen değişimlerin özellikle tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı üzerinde belirgin bir düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir (Becattini ve diğ., 2017; Ersoy ve diğ., 2019;). Bu çalışmaların birçoğunda yüksek sıcaklık aralığı olarak genellikle 200 °C ile 1000 °C arasındaki değerler tercih edilmiştir (Atalar ve diğ., 2021; Sun ve diğ., 2016). Bu çalışmada ise gerçek dış yangın sıcaklığı olan 680°C seçilmiş ve güncel tarihi yapılarda kullanılan kayalar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir (Tablo 5). Dört örnek numunenin hepsinde tek eksenli basınç, çekme dayanımları ve boyuna dalga hızlarında belirgin bir düşüş gerçekleşmiştir. Özgül ağırlık değerlerinde, tüm numuneler için belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 5'te, çalışmada kullanılan kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde gözlenen değişimlere ilişkin grafikler, ilksel durum ve dış yangın sıcaklığına maruz kalma sonrası elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan yapı taşlarının 25°C'deki fiziksel ve mekanik özellikleri

	Kuru Yoğunluk (Mg/ m ³)			Özgül Ağırlık			P- Dalga Hızı (m/sn)			Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)		
	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.
E	2.68	2.62	2.65	2.76	2.72	2.74	5119	4839	4940	167.1	106.7	134.7	10.8	10.3	10.5
A	2.37	2.29	2.33	2.59	2.52	2.57	3683	4412	4130	138.7	68	88.3	11.6	8.5	9.9
T	2.72	2.63	2.67	2.91	2.85	2.86	5668	4906	5186	134.9	35.6	95.9	11.5	5.7	8.9
R	2.08	1.89	2.00	2.64	2.57	2.60	3219	2693	3002	36.7	31.7	33.4	2	2.3	2.2

Tablo 5. Çalışmada kullanılan yapı taşlarının 680°C dış yangın sıcaklığındaki fiziksel ve mekanik özellikleri

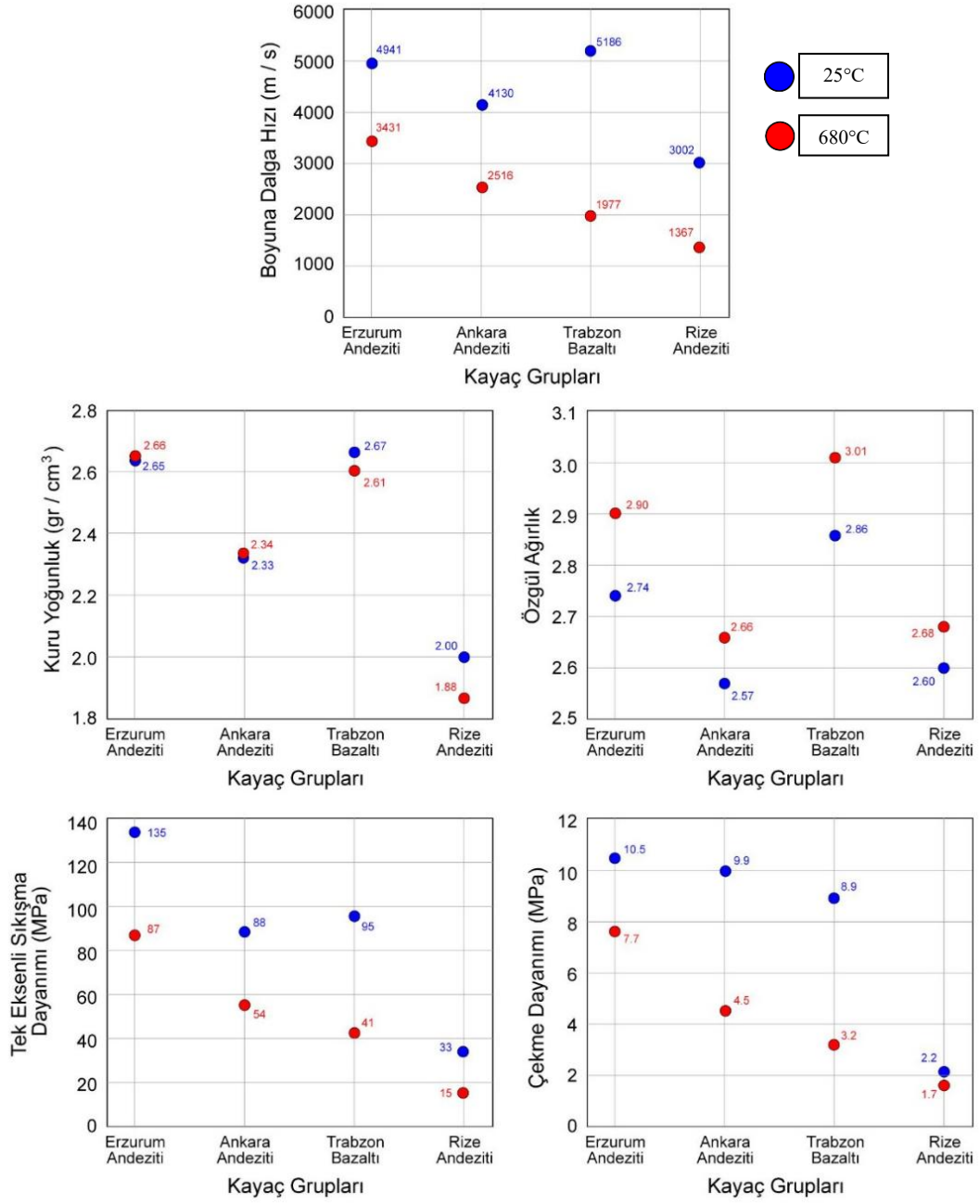
	Kuru Yoğunluk (Mg/ m ³)			Özgül Ağırlık			P- Dalga Hızı (m/sn)			Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)			Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)		
	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ort.
E	2.69	2.64	2.65	2.92	2.87	2.90	3676	3139	3431	96.35	80.2	87.2	8.2	7.3	7.7
A	2.37	2.30	2.33	2.70	2.63	2.66	2338	2657	2516	62.6	40.6	54.6	6.9	3.3	4.5
T	2.69	2.57	2.61	3.1	2.91	3.01	2010	1939	1977	49.2	35.4	41.9	3.5	2.7	3.2
R	1.90	1.85	1.88	2.75	2.61	2.68	1661	902	1367	32.2	10.6	15.9	1.8	1.5	1.6

Tablo 6’da yangına maruz kalan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki yüzdesel değişim oranları sunulmuştur. Bu oranlar, malzemenin termal etkilere bağlı olarak gösterdiği artış (+) ve azalış (-) değerlerini yansıtarak, yangının malzeme özellikleri üzerindeki etkilerini kapsamlı şekilde ortaya koymaktadır.

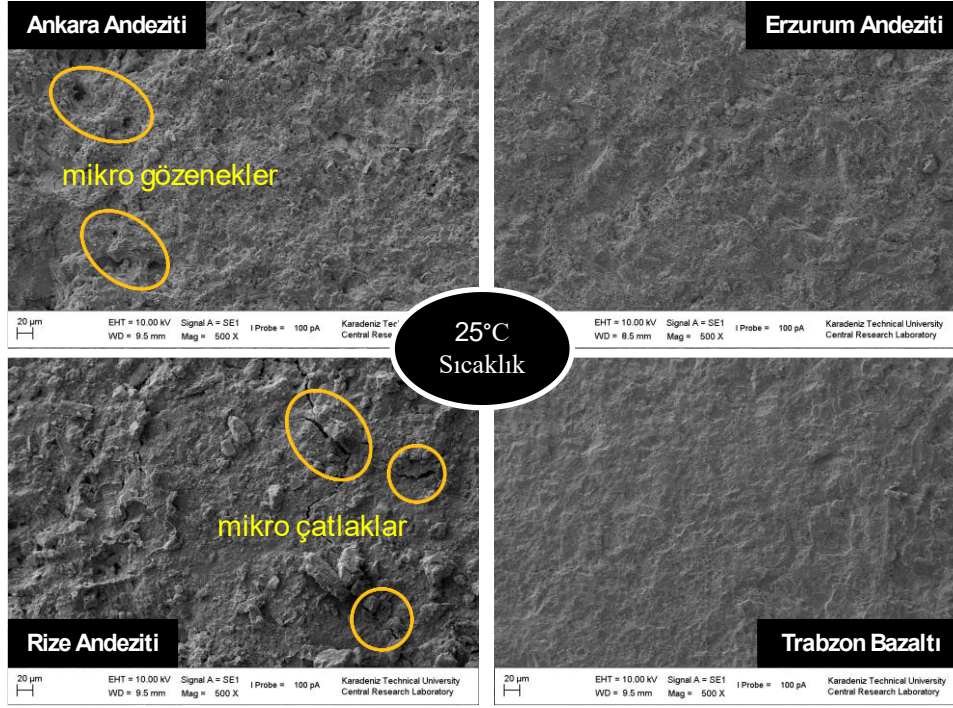
Tablo 6. Yangın ve ilksel numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüzdesel olarak karşılaştırılması

Doğal Yapı Taşları	Yangın Sonrası Numunelerin İlksel Hallerine Oranla 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

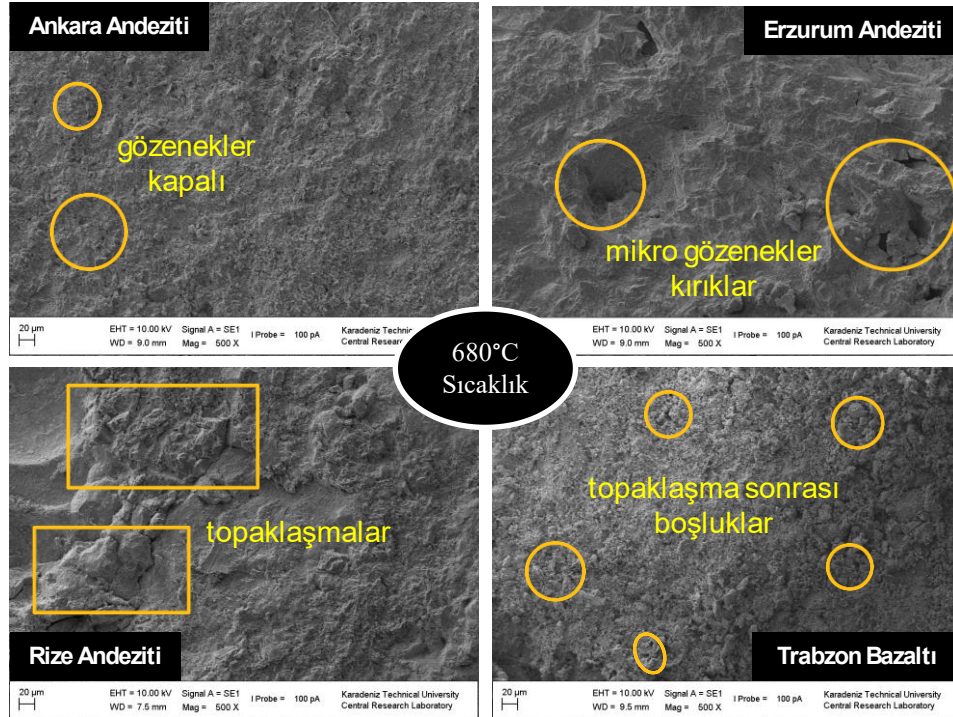
Şekil 6 ve Şekil 7’de sunulan SEM görüntülerinin değerlendirilmesi sonucunda, genel olarak ısıtılma işlemi uygulanan tüm örneklerde ergimeye bağlı olarak küçük çaplı boşlukların kapandığı ve topaklaşmanın arttığı, ancak kırıklı yapının büyük ölçüde korunduğu tespit edilmiştir. Ankara’da temin edilen numunelerde, ısıtılma işlemi sonrasında topaklaşma etkisiyle küçük boşlukların kapandığı, ancak bu durumun birbirleriyle bağlantısız mikro çatlakların oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Erzurum kökenli numunelerde kısmi ergime sonucunda küçük boşlukların kapandığı, ancak bu sürecin numuneyi daha kırıklı bir yapıya dönüştürdüğü belirlenmiştir. Rize’den elde edilen numunelerde, boşlukların kapanmasına rağmen çatlak sürekliliğinin belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Buna karşılık, Trabzon’dan alınan örneklerde diğer numunelerden farklı bir davranış gözlenmiş olup, ısıtılma işlemi sonrasında küçük çaplı boşlukların arttığı ve topaklaşma sonrası yeni boşlukların geliştiği tespit edilmiştir.



Şekil 5:
Çalışmada kullanılan kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimine ait grafikler



Şekil 6:
Çalışmada kullanılan numunelerinin ilksel SEM görüntüsü



Şekil 7:
680°C'de gerçekleştirilen ısıtma işlemi sonrasında numunelerin SEM görüntüsü

3. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, yalnızca taşıyıcı sistemin bir bileşeni olan doğal yapı taşları laboratuvar ortamında 680 °C'lik dış yangın sıcaklığına maruz bırakılarak, bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve mikro-yapısal özelliklerinde meydana gelen değişimler detaylı biçimde incelenmiştir. Numunelerin boyutları ve sayısal dağılımları dikkate alınarak oluşturulan deney grubu üzerinden elde edilen bulgular, yapı taşlarının yüksek sıcaklık karşısındaki dayanım kayıplarını ortaya koymakla birlikte, taşıyıcı sistemin diğer temel bileşeni olan bağlayıcı malzemelere yönelik herhangi bir değerlendirme yapılmadığı için, çalışmanın kapsamı bu yönüyle sınırlıdır.

Dış yangın sıcaklığını temsil eden 680°C'ye kadar kontrollü olarak ısıtılan numuneler, bu süreçte çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğramıştır. Küçük çaplı boşlukların kapanması kuru yoğunluk üzerinde arttırıcı bir etki yaratırken, topaklaşma sonucu oluşan daha büyük boşluklar ve kırıklar bu değeri düşürücü bir rol oynamıştır. Bu karşıt etkilerin dengelenmesi, kuru yoğunluk değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemesine neden olmuştur. Ayrıca, kütlelinin sabit kalmasıyla birlikte meydana gelen kısmi ergime ve topaklaşma, gözeneklilikten bağımsız olarak katı tanelerde yapısal değişikliklere yol açmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda özgül ağırlığı yüksek minerallerin oluşabileceğine işaret etmektedir.

105°C'de kurutulan numunelerde, kayaçların boşluklarında bulunan serbest suyun tamamen buharlaştığı, ancak minerallerin kristal yapısındaki suyun bu süreçten etkilenmediği belirlenmiştir. Buna karşın, 680°C'ye kadar ısıtılan numunelerde, kristal suyun da mineral yapısından ayrıldığı gözlemlenmiştir. Su kaybının yanı sıra, topaklaşma sonucu oluşan mikro-kırıklar boyuna dalga hızında ani bir düşüşe neden olmuş, bu da kayaçların mekanik dayanımında azalmaya yol açmıştır. Isıl işlem gören numunelerde, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımında belirgin düşüşler tespit edilmiş olup, bu dayanım kaybı özellikle boyuna dalga hızında büyük düşüş gözlenen örneklerde daha belirgin hale gelmiştir.

Elde edilen bulgular, grafiklerle desteklenerek sunulmuş ve SEM görüntüleri ile mikro-yapısal değişimler detaylı olarak incelenmiştir. Bu sonuçlar, yangın sonrası tarihi yapı taşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri anlamak ve uygun restorasyon malzemelerinin belirlenmesine katkı sağlamak açısından önemli veriler ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, doğal taş ve bağlayıcıların bir arada değerlendirilmesi, özellikle yangın gibi ekstrem durumlarda yapıların gerçekçi performansını anlayabilmek adına büyük önem taşımaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Muhammed Enes KILIÇ, deneysel süreçlerin yürütülmesi, laboratuvar analizlerinin gerçekleştirilmesi ve veri toplama aşamalarında aktif rol almıştır. Aynı zamanda, deney sonuçlarının sistematik şekilde işlenmesi ve analiz edilmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Sabriye Banu İKİZLER, genel metodolojinin yönetiminden sorumlu olmuştur ve elde edilen bulguların bilimsel bağlamda değerlendirilmesine katkı sağlamıştır. Hakan ERSOY, toplanan verilerin istatistiksel analizi ve yorumlanması süreçlerinde yer almış ve mikroyapısal incelemelerin yorumlanması konularında destek sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. ASTM, 1994. (American Society for Testing and Materials), Annual Book Of ASTM Standards Construction: Soil and Rock, ASTM Publication.
2. Atalar, C., and Ersoy, H. (2021). Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Kalkarenitlerin Fiziksel ve Dayanım Özelliklerindeki Değişimin Araştırılması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 45(1), 29-40.
3. Becattini, V., Motmans, T., Zappone, A., Madonna, C., Haselbacher, A., and Steinfeld, A. (2017). Experimental investigation of the thermal and mechanical stability of rocks for high-temperature thermal-energy storage. Applied Energy, 203, 373-389.
4. Chaki, S., Takarli, M., and 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.
5. Chakrabarti, B., Yates, T., and Lewry, A. (1996). Effect of fire damage on natural stonework in buildings. Construction and Building Materials, 10(7), 539-544.
6. Chen, Y. L., Ni, J., Shao, W., and 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.
7. Ersoy, H., Kolaylı, H., Karahan, M., Harputlu Karahan, H., and Sünnetçi, 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.
8. Eurocode, 2011. Eurocode 1: Actions on structures exposed to fire.
9. Georgali, B., & Tsakiridis, P. E. (2005). Microstructure of fire-damaged concrete. A case study. Cement and Concrete composites, 27(2), 255-259.
10. Horszczaruk, E., Sikora, P., Cendrowski, K., & Mijowska, E. (2017). The effect of elevated temperature on the properties of cement mortars containing nanosilica and heavyweight aggregates. Construction and Building Materials, 137, 420-431.
11. Kılıç, A., 2010a, Ateşi Tutan Eller-Ateş Kahramanları, Teknik Yayıncılık Grubu, İstanbul, p. 93-144.
12. Kılıç, Ö. (2006). The influence of high temperatures on limestone P-wave velocity and Schmidt hammer strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43(6), 980-986.
13. Koçak, Y. (2013). Yığma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
14. Kültür Envanteri, (2024). "Ayasofya Camii, Trabzon". Erişim adresi: <https://kulturenvanteri.com/yer/?p=4484>.
15. Kültür Envanteri, (2024). "Emirler Camii, Gümüşhane". Erişim adresi: <https://kulturenvanteri.com/yer/?p=225902>.
16. Kültür Envanteri. (2024). "Musapaşa Camii, Ortahisar". Erişim adresi: <https://kulturenvanteri.com/yer/?p=13959>.
17. Narmanlı, F. (2021). Giresun Merkez Camilerinden Tezyinat Örnekleri (Kale, Kapu ve Hacı Mittat Camileri). İdrak Dini Araştırmalar Dergisi, 1(1), 147-172.
18. Ozguven, A., and Ozcelik, Y. (2013). Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and high heat. Construction and Building Materials, 38, 813-821.
19. Pachta, V., Triantafyllaki, S., & Stefanidou, M. (2018). Performance of lime-based mortars at elevated temperatures. Construction and Building Materials, 189, 576-584.

20. Stefanidou, M., Pacht, V., Konopissi, S., Karkadelidou, F., & Papayianni, I. (2014). Analysis and characterization of hydraulic mortars from ancient cisterns and baths in Greece. *Materials and structures*, 47, 571-580.
21. Sun, Q., Lü, C., Cao, L., Li, W., Geng, J., and Zhang, W. (2016). Thermal properties of sandstone after treatment at high temperature. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 85, 60-66.
22. Van Hees, R. P. J., Binda, L., Papayianni, I., & Toumbakari, E. (2004). Characterisation and damage analysis of old mortars. *Materials and structures*, 37(9), 644-648.
23. Zhang, W., Sun, Q., Hao, S., and Wang, B. (2016). Experimental study on the thermal damage characteristics of limestone and underlying mechanism. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 2999-3008.

