



Araştırma Makalesi / Research Article

## Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Kalkarenitlerin Fiziksel ve Dayanım Özelliklerindeki Değişimin Araştırılması

*Investigation on the Change of Physical and Strength Properties of Calcarenite Exposed to High Temperatures*

Cavit ATALAR<sup>1</sup> , Hakan ERSOY<sup>2</sup> , Murat KARAHAN<sup>2</sup> , M. Oğuz SÜNNETÇİ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Yakın Doğu Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, KKTC

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

Geliş (Received): 30 Mart (March) 2020 / Düzeltme (Revised): 06 Ağustos (August) 2020 / Kabul (Accepted): 15 Ağustos (August) 2020

### ÖZ

Bu çalışmada Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde yapı taşı olarak yaygın şekilde kullanılan kalkarenitlerin 200-1000°C arasındaki yüksek sıcaklıklara tabi tutulduktan sonraki indeks ve dayanım özelliklerindeki değişimler incelenmiş, elektron mikroskop görüntülerinden yararlanarak yüksek sıcaklıkların mikro yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Gerçek bir yangının temsil edilmesi amacıyla örnekler Eurocode tarafından önerilen sıcaklık-zaman eğrilerine ait değerler kullanılarak ısıtılmış, hedeflenen sıcaklıkta 2 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında ilk 600°C'ye kadar yoğunluk ve ağırlık kaybı değerlerinde belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür. 600°C'den sonra yoğunlukta ani bir azalma kaydedilmiş, 1000°C sıcaklıklarda mikro-kırıklara bağlı olarak yoğunluk 1'in altına düşmüştür. Aynı şekilde ağırlık kaybı değeri kalsitlerde görülen kalsinasyon sürecine bağlı olarak %41'e ulaşmıştır. P-dalga hızı ve çekme dayanımı değerleri sıcaklığa bağlı olarak sürekli azalmıştır. Ancak bu azalma 600°C'den sonra daha belirgin olurken 800°C'den sonra en belirgin düzeye ulaşmıştır. SEM görüntülerinde yapılan incelemelerde de özellikle 600°C'den sonra gelişen topaklaşmaya bağlı olarak süreksizlik oluşumu gözlenmiştir. Bu durum dayanımdaki azalmanın asıl nedeni olarak görülmektedir. Eurocode tarafından uygulanan deneysel çalışmalarda bina dışında meydana gelecek bir yangının sıcaklığının 680°C'yi geçmeyeceği, iç mekânda meydana gelecek bir yangında ise sıcaklığın 1000°C'yi aşabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle çalışma konusu kalkarenitlerin yapılarda sadece dış kaplama olarak kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dayanım, Kalkarenit, SEM, Yangın, Yüksek Sıcaklık, KKTC

### ABSTRACT

*In this study, the changes in the index and strength properties of calcarenites, which are widely used as building stone in the Turkish Republic of Northern Cyprus, after being subjected to high temperatures between 200 and 1000°C, and the effects of high temperatures on microstructure of the calcarenite were investigated by using electron microscope images. In order to represent a real fire incident, the samples were heated using the temperature-time curves recommended by Eurocode, and left to cool at room temperature after 2 hours of exposure at target temperature. After the experimental studies, it was observed that there was no significant change in density and weight loss values up to 600 °C. After 600 °C, a sudden decrease in density was recorded, at 1000 °C the density dropped below 1 due to*

*microcracks. Likewise, the weight loss value reached 41% depending on the calcination process observed in calcites. P-wave velocity and tensile strength values decreased continuously depending on the temperature. However, this decrease became more pronounced after 600 °C and reached the most prominent level after 800 °C. In SEM images, discontinuity formation was observed due to the agglomeration that developed especially after 600 °C. This situation is considered as the main reason for the decrease in strength. In experimental studies applied by Eurocode, it is stated that the temperature of a fire that will occur outside the building will not exceed 680°C, and in a fire that will occur indoors, the temperature will exceed 1000 °C. For this reason, it is recommended that calcarenites, which are the subject of the study, are used only as outer coatings in buildings.*

**Keywords:** Strength, Calcarenite, SEM, Fire, High Temperature, KKTC

## GİRİŞ

Yüksek dayanımlı kayalar bile ıslanma-kuruma, donma-çözülme, yüksek sıcaklık ve asit yağmurları gibi çevresel olayların etkisinde kalabilir ve bu durumda dayanımlarını büyük oranda kaybederler. Özellikle yangın gibi yüksek sıcaklıkların etkisinde karbonat kayaların dayanımlarının %90 oranında azalabildiği bilinmektedir. Bu nedenle son yıllarda yüksek sıcaklıklar etkisinde kalan karbonat kayaların fiziksel, dayanım ve mineralojik özelliklerindeki değişimlerinin araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır (Brotons vd., 2013; Özgüven ve Özçelik, 2013; Zang vd., 2015; Crosby vd., 2018; Yang vd., 2019; Meng vd., 2020).

Zang vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda boyuna dalga hızı ve dayanım değerlerinin 300°C'ye kadar hafif olarak azaldığı, 300-600°C arasında azalmanın çok belirgin olduğunu, 600°C'den sonra bu belirginliğin azaldığını ortaya koymuşlardır. Özgüven ve Özçelik (2013) tarafından yapılan çalışmada, 1000°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığında 30 gün süre ile soğumaya bırakılan kireçtaşlarında bozunmanın 10. günden sonra belirginleştiği belirlenmiştir. Kılıç (2006) tarafından yapılan çalışmada ise 1050°C sıcaklığa kadar ısıtılan kireçtaşlarının boyuna dalga hızı değerlerinin sürekli azaldığı, ağırlık kaybı değerlerinin ise 800°C'de %45 değerine ulaştığı ortaya koyulmuştur.

Yüksek sıcaklıklar etkisinde kireçtaşlarının mekanik özelliklerindeki değişimlere odaklanan çalışmalarda mevcuttur. Birçok çalışmada tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi dayanım özelliklerinin 300-400°C'ye kadar yaklaşık sabit kaldığı, bu sıcaklıktan sonra ise belirgin bir azalmanın olduğu belirtilmiştir (Brotons vd., 2013; Sengün 2014; Özgüven ve Özçelik, 2014). Brotons vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklığa maruz bırakılan kireçtaşları ayrıca hem oda sıcaklığında hem de su içerisine bırakılarak soğutulmuş, suda soğutulan örneklerde daha düşük dayanım değerleri kaydedilmiştir.

Tortul kayalar üzerine yapılan çalışmalar genel olarak belli sürelerde ısıtılan örneklerin soğuma sonrası fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimler üzerine odaklansa da farklı maruz kalma sürelerinin etkilerinin değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışma da mevcuttur (Yavuz vd., 2010; Sirdesai vd., 2017). Yavuz vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada kireçtaşları 500°C'ye kadar ısıtılmış, örnekler 12-144 saat arasında 5 farklı kademe yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Çalışmada 300°C ve altındaki sıcaklıklar için maruz kalma süresinin önemsiz olduğu, 300°C sıcaklıktan sonra ise ilk 12 saat içinde fiziksel özelliklerde belirgin bir değişim olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmaların çoğu yüksek sıcaklıklara maruz kalan kayalarda meydana gelen termal

hasarlara odaklanmaktadır (Wang vd., 2016; Dong vd., 2019). Bu çalışmalarda kayaçlar ani ısınmadan kaynaklanacak termal hasarın önüne geçmek amacıyla yavaşça ısıtılmakta, ısınma oranı genellikle 1-10°C arasında tercih edilmekte ve maksimum sıcaklık değerleri 600-1000°C arasında seçilmektedir. Ayrıca hedef sıcaklıkta sabit ısınma süreleri genellikle 2-6 saat arasında tutulmakta, kayaçlarda ani soğuma etkisini ortadan kaldırmak için oda sıcaklığında ve/veya fırın içinde yavaşça soğutulmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Yüksek sıcaklıkların kayaçlar üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalarda uygulanan yöntemler (Zhang vd., 2014; Sun vd., 2016; Qin vd., 2019; Yang vd., 2019).

*Table 1. Procedures performed for in the investigations on the effects of high temperature on rocks (Zhang et al., 2014; Sun et al., 2016; Qin et al., 2019; Yang et al., 2019).*

Uygulama	Çok	Az	Bu çalışma
Isınma şekli	Fırında	Alev ile	Fırında
Soğuma şekli	Fırında veya oda sıcaklığında	Sıvı nitrojen ile	Oda sıcaklığında
Isınma oranı (°C/m)	1-10	Üstel Logaritmik	Üstel
Maruz kalma süresi (s)	2-6	Farklı zamanlar	2
Maksimum sıcaklık (°C)	600-1000	Standart yangın sıcaklığı	Standart yangın sıcaklığı

Bu yavaş ısınma oranları jeotermal alanlar, nükleer atıkların depolandığı derin jeolojik bariyerler ve derin maden kazı alanları için kabul edilebilir olsa da bir yangın sırasında sıcaklığın artışı simüle etmek için yetersizdir (Koca vd., 2006). Bir yangın sırasında ortam sıcaklığı lineer

olarak artmaz, aksine ani şekilde yükselerek 5 dakikada 500°C'ye, yarım saatin sonunda ise 800°C'ye ulaşabilir. Artış çoğunlukla logaritmik veya üstel olmakla birlikte en yüksek artış oranı ilk 5 dakika içerisinde gerçekleşir. Bu nedenle özellikle kayaçlar üzerinde yangınlardan kaynaklanacak etkilerin araştırılması durumunda ısı artış oranı ve maruz kalma süresini doğru olarak tanımlamak gerekir (Biro vd., 2019; Wang vd. 2020).

Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde geçmişten günümüze kadar hemen hemen her yapı inşasında doğal yapı taşları kullanılmış, özellikle kumtaşları ve tebeşirler dış kaplama ve duvar yapımında, jipsler ise dekoratif amaçlı yaygın olarak tercih edilmiştir (Şekil 1a, b ve c). Günümüzde ise bu taşlar birçok yapıda, kolay işlenebilir ve hafif olmaları nedeniyle kaplama taşı olarak tercih edilmektedir (Şekil 1d). Tarihi yapılarda yapılan gözlemlerde, bu kayaçların özellikle donma-çözünme, ıslanma-kuruma vb gibi çevresel olaylardan etkilendiği görülmüştür. Bu kayaçların bir yangın sonrasında jeo-mekanik özelliklerindeki değişimlerin araştırıldığı bir çalışma mevcut değildir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde (KKTC) geniş yayılımlar veren yüksek poroziteli ve düşük dayanımlı kalkarenitlerin yüksek sıcaklıklar etkisindeki davranışları incelenmiş, gerçek bir yangın sırasında meydana gelecek ani ısınma durumunu doğru bir şekilde tanımlayan üstel denklemlerle tanımlanan ısınma oranları dikkate alınmış ve yangın sonrası kayaçların fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimler değerlendirilmiştir.



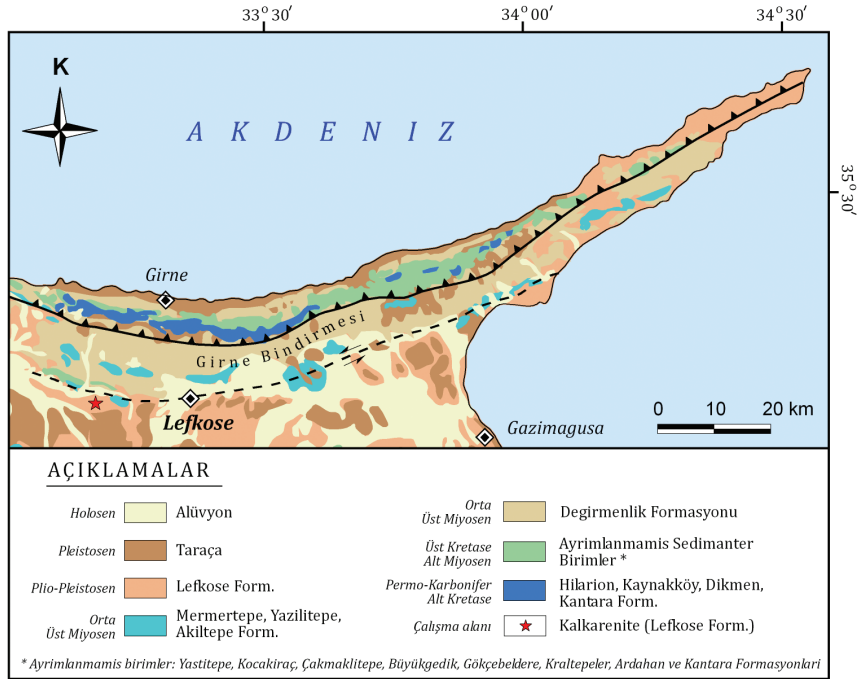
Şekil 1. KKTC’inde kalkarenitler ve tebeşirler kullanılarak inşa edilen tarihi ve güncel yapılar.

Figure 1. Historical buildings built using calcarenites and chalks in the TRNC.

## ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİNİN GENEL JEOLJİSİ

Çalışma konusu kayalar, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti’nde geniş yayılımlar veren Üst Pliyosen yaşlı Lefkoşa Formasyonu içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2). Lefkoşa Formasyonu az miktarda çakıltaş ve marn ara katmanı içeren kalın katmanlı kumtaşlarından oluşmaktadır (Hakyemez vd., 2002). Hem kuzeydeki Beşparmak Dağları’ndaki hem de güneydeki Trodos Dağları ve çevresindeki istiflerden türeyen Lefkoşa Formasyonu’nun

karbonat kayalarından türeyen kesimleri egemen olarak kalkarenit özelliğindedir. Ancak volkanitlerden, olistostromal birimlerden ve türbiditlerden türeyen kesimleri de kumtaşı karakterindedir. Çalışma alanından temin edilen örnekler üzerinde yapılan incelemelerde ana bileşenlerin çoğunlukla kireçtaşı ve fosillerden oluşan kayaç kırıntılarında ibaret olduğu belirlenmiştir. Yaklaşık 0.5-1.0 mm arasında çapa sahip kayaç parçaları tamamen kalsitten oluşan bir çimento ile bağlanmıştır. Bu nedenle çalışma konusu kayaların kalkarenit olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti kuzey-kuzeydoğu kesiminin genelleştirilmiş jeoloji haritası (Hakyemez, 2014'ten değiştirilerek).

Figure 2. Generalized geological map of the north-northeastern part of the Turkish Republic of Northern Cyprus (Modified from Hakyemez, 2014).

## MATERYAL VE METOT

### Laboratuvar Deneyleri

Çalışma kapsamında taş ocakları içinde kurulmuş fabrikalardan temin edilen düzenli geometriye sahip 10 adet bloktan (15x20x10 cm) disk örnekler alınarak kayaçların indeks ve dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla jeomekanik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla, boy/çap oranı 1'e yakın 50-60 mm çapında diskler oluşturulmuş, termal ısıtma öncesi ve sonrası bu disklerin boyuna dalga hızı, yoğunluk, ağırlık kaybı ve çekme dayanımları belirlenmiştir. İksel örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımları ise boy/çap oranı 2.5 olan NX çaplı örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Tüm deneyler ISRM (2007) tarafından önerilen

standartlara uygun olarak yapılmıştır. Örnek sayıları ve boyutları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Bu deneylere ek olarak ASTM (2016) standartlarında verilen yöntem esas alınarak suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapılmış ve deney sonrası kütle değişimleri belirlenerek "suda dağılmaya karşı duraylılık indisi (SDI)" değeri hesaplanmıştır. İlgili standartlar deneyin iki çevrim olarak uygulanmasını önermiş olmakla birlikte, bazı araştırmacılar ikinci çevrim sonunda kayaçların parçalanmış olmalarına rağmen yüksek SDI değerleri vermesinden yola çıkarak özellikle killi ve/veya zayıf çimentolu kayaçlar için en az 4 çevrim önermişlerdir (Koncağül ve Santi, 1999; Gökçeoğlu vd., 2000). Bu nedenle bu çalışma kapsamında deney 4 çevrim olarak uygulanmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan örnek boyutları ve sayıları.

Table 2. Size and number of the samples used in this study.

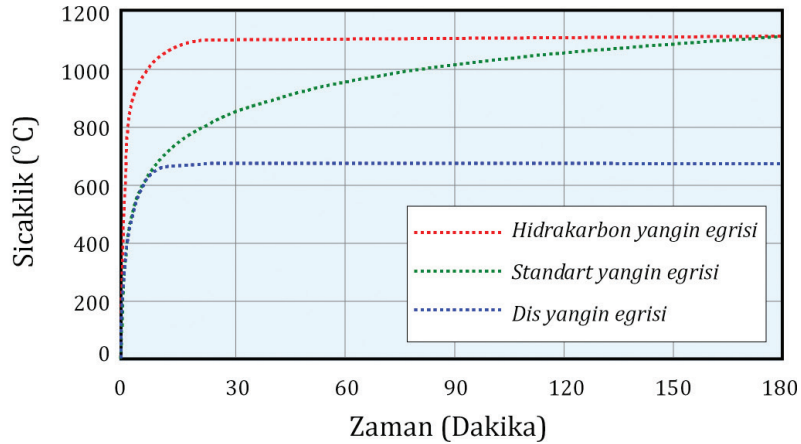
Fiziksel ve mekanik özellikler	Farklı sıcaklıklar (°C) için örnek sayısı							Örnek boyutu
	25	105	200	400	600	800	1000	
SEM	2	-	-	-	2	-	2	1 cm <sup>3</sup> blok örnek
Tek eksenli sıkışma dayanımı	5	-	-	-	-	-	-	NX çap boy/çap = 2.5/1
Çekme dayanımı	5	5	5	5	5	5	5	50-60 mm çap boy/çap =1/1
Yoğunluk	5	5	5	5	5	5	5	
Porozite	5	5	5	5	5	5	5	
P-dalga hızı	5	5	5	5	5	5	5	

### Termal Isıtma/Soğutma Uygulaması

Kapalı ve/veya açık alanda başlayan bir yangın, oksijen miktarına ve yanan malzeme tipine bağlı olarak çok kısa zamanda büyür ve sürekli yayılır. Yangın sırasında sıcaklık lineer olarak artmaz. Sıcaklık ilk beş dakikada 500°C'ye, 30 dakika sonra yaklaşık 800 °C'ye çıkar. Bundan sonra zaman ilerledikçe sıcaklık

daha yavaş artar. Bu nedenle yayılım hızının ve şeklinin belirlenmesi amacıyla Eurocode (2012) tarafından yapılan deneylerde farklı yangın tipleri için farklı sıcaklık artış denklemleri önerilmiştir. Bunlar; “Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi”, “Dış Yangın Eğrisi” ve “Hidrokarbon Eğrisi” olarak genelleştirilmiştir (Şekil 3).

Çalışmada KKTC’nde geniş yayılımlar veren, tarihten günümüze kadar halen dış kaplama olarak sıklıkla kullanılan kalkarenitler kullanılmış, artan sıcaklığa bağlı olarak kayaçların fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimin araştırılması için örnekler bir kül fırını (UTD-1462) içerisinde 105 ile 1000 °C arasında (105, 200, 400, 600, 800 ve 1000°C) değişen sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Hedef sıcaklığa ulaşıldıktan sonra örnekler bu sıcaklıkta 120 dakika süre ile bekletilmiş, deney sonunda oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Çalışmada gerçek yangın etkisini doğru olarak yansıtmak için Eurocode (2012) tarafından önerilen “Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi”ne ait Eşitlik 1 kullanılmıştır.



Şekil 3. Eurocode (2012) tarafından önerilen farklı sıcaklık-zaman eğrileri.

Figure 3. Different temperature-time curves proposed by Eurocode (2012).

$$Q_s = 20 + 345 \log(8t+1) \quad (1)$$

Burada;

$Q_s$  (°C): yangın oluşan alanda ortam sıcaklığı  
 $t$  (dak.): hedef sıcaklığa ulaşmak için gerekli süre

## İNDEKS VE DAYANIM ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER

Sıcaklık etkisinde kayaç özelliklerinde meydana gelecek değişimlerin belirlenmesi amacıyla ilk olarak taze kayaçların indeks ve dayanım özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Literatürde düşük dayanımlı kayaçların jeo-mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklıklar etkisindeki değişimleri üzerine odaklanan birçok çalışmada çekme dayanımı ve tek eksenli sıkışma dayanımı birlikte değerlendirilirken (Sengun, 2014; Tian vd., 2016; Liv vd., 2019), standartlara uygun örnek teminindeki zorluklar nedeniyle bazı çalışmalarda ise sadece çekme dayanımı tercih edilmiştir (Sirdesai vd., 2017). Bu çalışmada ise örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ve SDI değerlerinin belirlenmesi taze örnekler için bir sınıflama yapmak amacıyla gerçekleştirilmiş, sıcaklık artışına bağlı olarak dayanımdaki değişimlerin ortaya koyulması amacıyla çekme dayanımı değerleri kullanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda kalkarenitlerin tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımlarının ortalamasının 22 MPa ve 2.50 MPa olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, 4. çevrim SDI değerinin 84.78, görünür porozite değeri ortalamasının %37.9 olduğu görülmüştür. Yüksek porozite değerine sahip bu karbonat kayaçların ISRM (2007)'ye göre "zayıf kaya", Gamble (1971)'e göre "düşük duraylı" sınıfında olduğu ortaya koyulmuştur.

Çalışmada kayaçlar 1000°C'ye kadar "Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi"ne ait eşitlik dikkate alınarak ısıtılmış, 2 saat süreyle hedef sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Termal ısıtma sırasında örneklerde ağırlık kaybı ve yoğunluk değerleri ilk 600°C'de neredeyse hiç değişmemiş, 600°C'den sonra ise her iki değerde de ani bir değişim gözlenmiştir. °C sıcaklıkta yoğunluk 1'in altına düşerken, ağırlık kaybı %45'e ulaşmıştır. Boyuna dalga hızı değerlerinde hızlı bir azalma meydana gelmiş 800°C'de ise bu azalma %80'e ulaşmıştır. Çekme dayanımı değerleri ise her sıcaklık kademesinde azalmış, 800°C sıcaklıkta ilksel değere göre % 80 oranında bir azalma kaydedilmiştir (Çizelge 4, Şekil 4).

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan kalkarenitlerin bazı fiziksel ve dayanım özellikleri.

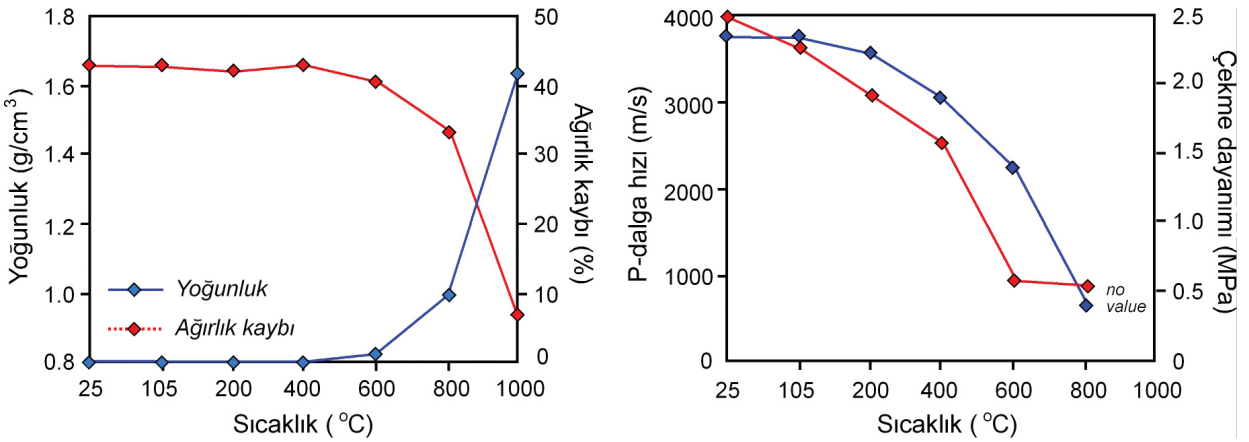
Table 3. Some physical and strength properties of the calcarenites used in this study.

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			Etkili Porozite (%)			Çekme dayanımı (MPa)			Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)			P-dalga hızı (m/s)		
Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort	Mak	Min	Ort
1.75	1.60	1.66	40.7	32.6	37.9	2.55	2.48	2.50	25	19	22	4100	3700	3795

Çizelge 4. İki saat süre ile yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kalkarenitlerin indeks ve dayanım özelliklerindeki değişimler.

Table 4. Changes of the index and strength properties of the calcarenites exposed to high temperature values for two hours.

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			Ağırlık kaybı (%)			P-dalga hızı (m/s)			Çekme dayanımı (MPa)		
	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.
25	1.75	1.60	1.66	-	-	-	4100	3700	3795	2.55	2.48	2.50
105	1.77	1.61	1.66	-	-	-	4042	3672	3787	2.90	1.70	2.30
200	1.70	1.60	1.65	-	-	-	3757	3484	3581	2.02	1.72	1.91
400	1.69	1.62	1.67	0.12	0.23	0.15	3186	2885	3067	1.69	1.60	1.63
600	1.67	1.60	1.62	0.86	1.60	1.06	2332	2193	2268	0.61	0.55	0.57
800	1.52	1.44	1.47	7.10	11.2	9.60	698	620	665	0.58	0.50	0.53
1000	0.95	0.92	0.94	38.6	44.5	41.2	-	-	-	-	-	-



Şekil 4. Yüksek sıcaklıklara bağlı olarak kalkarenitlerin indeks ve dayanım özelliklerindeki değişimler.

Figure 4. The changes in the physical and strength properties of the calcarenites depending on high temperatures.

Yüksek sıcaklıkların özellikle magmatik kayaların fiziksel ve dayanım özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı birçok çalışmada porozite, birim hacim ağırlık ve yoğunluk gibi fiziksel özellikler ile, elastisite modülü, tek eksenli sıkışma ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerin artan sıcaklığa bağlı olarak sürekli azaldığı belirtilmiştir (Mao vd., 2009; Zhang vd., 2016; Yang vd., 2019; Ersoy vd., 2019; Liu vd., 2020). Bununla birlikte, özellikle kil içeriğine ve tane boyutuna bağlı olarak yüksek sıcaklıklara maruz kalan karbonatlı kayalarda

2 farklı davranış gözlenmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ersoy vd., 2021a):

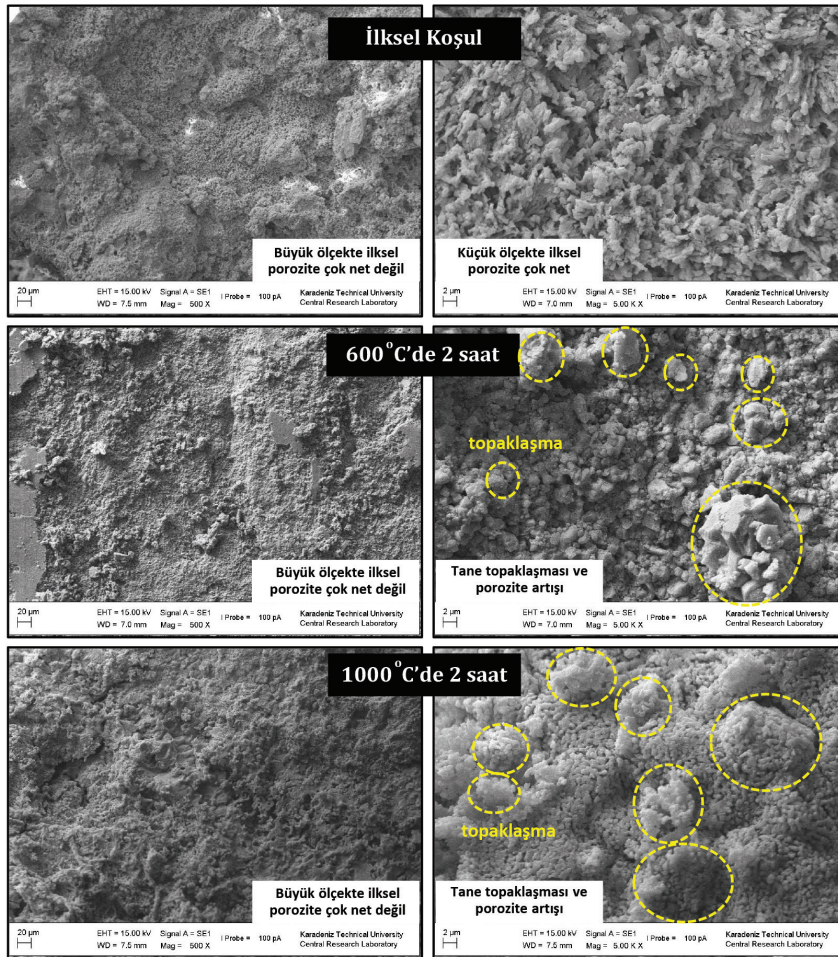
- (1) Kil içeriği yüksek düşük dayanımlı kayalarda dayanım belirli bir sıcaklığa kadar artmış veya sabit kalmış, daha sonra sıcaklık artışına bağlı olarak ani bir düşüş göstermiştir (Ferrero vd., 2001; Mao vd., 2009; Sengun, 2014; Ozguven ve Ozelik, 2014; (Ersoy vd., 2021b).
- (2) Kil içeriği az olan düşük dayanımlı kayalarda ise dayanım sürekli azalmıştır (Brotons vd., 2013; Crosby vd., 2018).



Çalışma konusu kalkarenitler kum boyutlu tanelerden oluşan karbonatlı kayalardır ve literatüre uygun olarak kil içeriği düşük olan bu kayalarda artan sıcaklığa bağlı olarak dayanım sürekli olarak azalmıştır.

Karbonatlı kayalar dışında yüksek sıcaklıklar etkisinde ağırlık kaybının bu denli arttığı ve yoğunluğun aynı ölçüde azaldığı kayaç grubu mevcut değildir. Çünkü karbonatlı kayalar termal bozunumu sırasında, ayrışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar, tanecik yapısında

bazı fiziksel değişimler meydana gelmekte, öncelikle maddenin yüzey nemi uzaklaşmakta, sıcaklığın yükselmesiyle az miktardaki organik madde yanmakta ve termal bozunma sırasında karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır. Buna bağlı olarak karbonatlı kayalar termal bozunma sonucu kütlelerinin yaklaşık %40-45'ini kaybetmekte ve taneciğin dış şekli önemli ölçüde değişmediğinden yoğunluğu azalmakta ve gözenekliliği artmaktadır (Moropoulou vd., 2001; Okonkwo ve Adefila, 2012). Bu çalışmada da bu durum net olarak görülmüştür.



Şekil 5. İlksel durum ve yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalkarenitlere ait SEM görüntüleri (Ersoy vd., 2021a).

Figure 5. SEM images of the calcarenites for the initial conditions and high temperature treatments (Ersoy vd., 2021a).

## MİKRO-YAPISAL ÖZELLİKLERDEKİ DEĞİŞİM

Çalışma kapsamında yüksek sıcaklık etkisinde kalan kayaçlarda meydana gelen mikro-yapısal değişikliklerin belirlenmesi amacıyla SEM çekimleri gerçekleştirilmiştir. Analizler ilksel durum, 600°C ve 1000°C sıcaklıklara maruz kalan örnekler üzerinde uygulanmıştır. İlksel durumda kalkarenitlerde granüler yapı SEM görüntülerinde (5000x) net olarak görülmektedir. Ancak sıcaklık artışına bağlı olarak özellikle 600°C sıcaklıklarda mineral topaklanması dikkat çekmektedir. 1000°C sıcaklıkta ise kalsinasyon sürecine bağlı olarak kısmi ergime ve topaklaşma olayı artarak devam etmiştir (Şekil 5). Bu durum tane boyutunun artmasına, mikro süreksizliklerin oluşmasına, porozitenin artmasına ve buna bağlı olarak dayanımın sürekli azalmasına neden olmuştur.

## SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında düşük dayanımlı karbonat kökenli kumtaşlarının (kalkarenit) 200-1000°C arasındaki yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra mühendislik davranışındaki değişimler araştırılmıştır. Çalışmada gerçek bir yangına ait sıcaklık-zaman eğrisini temsil etmek amacıyla Eurocode (2012) tarafından önerilen üstel denklem kullanılmış, örnekler hedeflenen sıcaklıklarda 2 saat süre ile tutulmuştur. Isınma sürecinden sonra örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Büyük kristalli kireçtaşlarında veya karbonat kumtaşlarında, ince taneli veya kristalli karbonat kayaçların aksine, sıcaklığın kristal tanelerinde kırılmaya neden olan bir gerilim oluşturduğu ve bu nedenle yapının bütünlüğünün bozulduğu bilinmektedir (Kurt, 2010). Termal ısıtma sonrasında ilk 600 °C sıcaklığa kadar kayaçların

yoğunluk ve ağırlık kaybı değerlerinde önemli bir değişim olmazken çekme dayanımının % 40 oranında azalması bu sürecin bir ürünüdür. Kalsinasyon olarak bilinen bu süreç genleşmeye ve mikro gözeneklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum SEM görüntülerinde net olarak gözlenmiş, özellikle 600°C'den sonra ağırlık kaybı başlamış, yoğunluk, boyuna dalga hızı ve çekme dayanımı değerlerinde çok net bir azalma gözlenmiştir. 800°C'den sonra ise tüm değerlerde ani değişim görülmüş, yoğunluk değerlerinde yaklaşık %50'lik azalma, boyuna dalga hızı değeri ve çekme dayanımı %80 oranında azalma kaydedilmiştir.

Bilindiği gibi bina dışında meydana gelebilecek bir yangının sıcaklığı 680 dereceyi geçmezken kapalı ortamda sıcaklık 1000 dereceyi aşmaktadır (Eurocode 2012, Şekil 3). Elde edilen sonuçlar; KKTC'nde yapı taşı olarak yaygın şekilde kullanılan kalkarenitlerin bir dış yangın etkisinde mühendislik özelliklerini büyük ölçüde koruyacağını, iç yangın durumunda ise dayanımlarını çok büyük ölçüde kaybedeceğini göstermektedir. Bu nedenle yangın tehlikesinin daha fazla olduğu inşaat yapılarında bu kayaçların, ilgili diğer deneylerin yapılması koşulu ile sadece dış kaplama olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca bu kayaçlardan inşa edilmiş bir yapıda meydana gelecek iç yangın sonrası ise yapıda büyük hasar oluşabileceği durumu göz ardı edilmemelidir.

## KAYNAKLAR

- ASTM D4644-16, 2016. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Other Similar Weak Rocks, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Brotons, V., Tomas, R., Ivorra, S., Alarcon, J.C., 2013. Temperature influence on physical and mechanical properties of a porous rock: San

- Julian's calcarenite. *Engineering Geology*, 167, 117-127.
- Crosby, Z.K., Gullet, P.M., Akers, S.A., Graham, S.S., 2018. Characterization of mechanical behavior of slam limestone containing thermally induced microcracks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 101, 54-62.
- Dong, Z., Sun, Q., Ye, J., Zhang, W., 2019. Changes in color and roughness of red sandstone at high temperatures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01678-w>.
- 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.
- Ersoy, H., Atalar, C., Sünnetci, M.O., Kolaylı, H., Karahan, M., Firat Ersoy, A., 2021a. Assessment of damage on geo-mechanical and micro-structural properties of weak calcareous rocks exposed to fires using thermal treatment coefficient. *Engineering Geology*, 284, 1-13.
- Ersoy, H., Karahan, M., Kolaylı, H., Sünnetci, M.O., 2021b. Influence of mineralogical and micro-structural changes on the physical and strength properties of post-thermal-treatment clayey rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54, 679-694.
- Ferrero, A.M., Marini, P., 2001. Technical note: Experimental studies on the mechanical behaviour of two thermal cracked marbles. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 34, 57-66.
- Gökçeoğlu C., Ulusay R., Sönmez H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57, 215-237.
- Hakyemez, H.Y., 2014. Kuzey Kıbrıs'ın temel jeolojik özellikleri. *TPJD Bülteni*, 26(2), 7-46.
- ISRM. 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) *Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group*.
- Kılıç, E., 2006. The influence of high temperatures on limestone P-wave velocity and Schmidt hammer strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 980-986.
- Koca, M.Y., Ozden, G., Yavuz, A.B., Kincal, C., Onargan, T., Kucuk, K., 2006. Changes in the engineering properties of marble in fire-exposed columns. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 520-530.
- Koncagul E.C., Santi P.M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36, 139-153.
- Liu, S., Xu, J., 2015. An experimental study on the physico-mechanical properties of two post-high-temperature rocks. *Engineering Geology*, 185, 63-70.
- Liu, Z., Yao, Q., Kong, B., Yin, J., 2020. Macro-micro mechanical properties of building sandstone under different thermal damage conditions and thermal stability evaluation using acoustic emission technology. *Construction and Building Materials*, 246, 118485.
- 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. *International Journal of Mining Science and Technology*, 19, 290-294.
- Meng, Q.B., Wang, C.K., Liu, J.F., Zhang, M.W., Lu, M.M., Wu, Y., 2020. Physical and micro-structural characteristics of limestone after high temperature exposure. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 79, 1259-1274.
- Ozguven, A., Ozcelik, Y., 2013. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire. *Construction and Building Materials*, 38, 813-821.

- Qin, Y., Tian, H., Xu, N.X., Chen, Y., 2019. Physical and mechanical properties of granite after high-temperature treatment. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 53, 305–322.
- Sengun, N., 2014. Influence of the thermal damage on physical and mechanical properties of carbonate rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 5543-5551.
- Sirdesai, N. N., Singh, T. N., Ranjith, P. G., Singh, R., 2017. Effect of varied durations of thermal treatment on the tensile strength of red sandstone. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50, 205-213.
- Sun, Q., Lu, C., Cao, L., 2016. Thermal properties of sandstone after treatment at high temperature. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 85, 60–66.
- Tian, H., Kempka, T., Yu, S., Ziegler, M., 2016. Mechanical properties of sandstones exposed to high temperature. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 321–327.
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., Wang, H., 2016. Dynamic mechanical properties and deterioration of red sandstone subjected to repeated thermal shocks. *Engineering Geology*, 212, 44-52.
- Wang, P., Xu, J., Liu, S., 2015. Staged Moduli: A quantitative method to analyze the complete compressive stress–strain response for thermally damaged rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 1505-1514.
- Yang, J., Yun Fu, L., Zhang, W., Wang, Z., 2019. Mechanical propert and thermal damage factor of limestone at high temperature. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 117, 11-19.
- Yavuz, H., Demirdag, S., Caran, S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47, 94-103.
- Zhang, L., Mao, X., Liu, R., 2014. Meso-structure and fracture mechanism of mudstone at high temperature. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24, 433–439.
- Zhang, W., Sun, Q., Hao, S., Wang, B., 2016. Experimental study on the thermal damage characteristics of limestone and underlying mechanism. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 2999–3008.