



## Farklı Mineral Katkılı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi

Behcet DÜNDAR<sup>1\*</sup>, Emriye ÇINAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye

Behçer DÜNDAR ORCID-ID: 0000-0003-0724-9469

Emriye ÇINAR ORCID-ID: 0000-0002-9435-2968

\*Sorumlu yazar: [behcetdundar@osmaniye.edu.tr](mailto:behcetdundar@osmaniye.edu.tr)

(Alınış: 30.04.2020, Kabul: 19.10.2020, Online Yayınlanma: 30.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

Hafif harç,  
Pomza agregası,  
Yüksek fırın cürufu,  
Mineral katkı,  
Yüksek sıcaklık

**Öz:** Bu çalışmada, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu (YFC) katkılı pomza agregası ile üretilen hafif harçların yüksek sıcaklık etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Hafif harç numunelerinin üretiminde hidrolik bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R Portland Çimentosu, agrega olarak ise 0-4 mm tane boyutuna sahip pomza agregası kullanılmıştır. 40x40x160 mm boyutlarında üretilen hafif harçlara çimento ile ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında Kolemanit, %10, %20 ve %30 oranların da ise YFC ilave edilmiştir. Harç numuneleri kalıptan çıkarıldıktan sonra, standart kür havuzunda 7 ve 28 gün boyunca 20 ± 2 ° C sıcaklıkta kür uygulanmıştır. Üretilen harç numunelerinin 7 günlük erken yaştaki eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. 28 günü dolduran numunelerin ise, su emme (%), porozite (%), eğilme ve basınç dayanımları gibi özellikleri belirlenmiştir. Harç numuneleri 28 gün kür havuzunda bekletilmesinin ardından 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara tabi tutulması sonrasında basınç ve eğilme dayanımları ve ağırlıkça yüzde kayıpları tespit edilmiştir. Mineral katkı kullanılması, harçların ağırlıklarında azalmaya neden olmaktadır. Mineral katkı kullanılarak harçların yüksek sıcaklık sonucunda meydana gelen ağırlık kayıplarında %55 oranlarına varan azalmalara neden olmuştur. Referans numuneye kıyasla mineral katkılı harçların yüksek sıcaklık altın meydana gelen mekanik kayıplar daha az olduğu görülmüştür.

## The Effect of High Temperature on the Mechanical and Physical Properties of Light Mortars with Blast Furnace Slag and Colemanite Addition

### Keywords

Light mortar,  
Colemanite,  
Pumice  
aggregate,  
Blast furnace  
slag,  
Mineral additive,  
High temperature

**Abstract:** In this study, physical and mechanical properties of light mortars produced with colemanite (K) and Blast Furnace Slag (YFC) added pumice aggregates under the influence of high temperature were investigated. CEM I 42.5 R Portland Cement was used as a binder in the production of light mortar samples and pumice aggregate with 0-4 mm grain size was used as aggregate. Light mortar samples were produced in the dimensions of 40x40x160 mm. By replacing light mortars with cement, 1%, 2% and 3% by weight of K, 10%, 20% and 30% of the YFC were replaced. The grout samples produced were cured in a standard cure pool for 28 days. Flexural and compressive strength of 7-day old mortar samples were determined. Physical properties such as water absorption and porosity, mechanical properties such as bending and compressive strengths of the samples filling up to 28 days were determined. After exposing 28-day mortar samples to 200 °C, 400 °C, 600 °C and 800 °C, pressure and bending strengths and weight losses were examined. The use of mineral additives causes a reduction in the weight of mortars. Using mineral additive, it caused up to 55% reduction in the weight losses of the mortars as a result of high temperature. Compared to the reference sample, minerals added mortars were found to have less mechanical losses due to high temperature gold.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, artan nüfus etkisiyle oluşan konut ve ulaşım sorunlarını etkin bir şekilde çözmek için, çeşitli özelliklere sahip yapılara olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte, binaların insanlara daha kaliteli hizmet ve konfor sağladığı görülmektedir. Bu teknoloji sayesinde elektrikli aletler ve gaz kullanımı gibi yeni ekipman ve sistemler gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir. Ancak günlük yaşantımızda talebi artan bu tercihler binalarda yangın çıkma ihtimalini arttırmaktadır. Bir yangın, her zaman hayati tehlike oluşturmaya bile yapı elemanı ve malzemeleri için ciddi hasara neden olabildiği gibi yapının güvenliğini ve hizmet ömrünü etkiler [1]. Bu malzemeler arasında önemli bir yere sahip olan betonda, çimento hamuru ve agregaların termal özellikleri birbirinden farklıdır. Bu fark betonda iç gerilmelere neden olur ve bu durum genellikle çatlama ile sonuçlanır [2]. Çatlaklar, yüksek sıcaklıklara maruz kalan beton veya harçların çeşitli özellikleri kaybetme nedenleri arasında yer alan ana sorunlardan biridir. Bu çatlaklar, betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik ve elastik özelliklerini zayıflatır ve agrega ile çimento matrisi arasındaki bağı gevşetir [3]. Aynı zamanda, kılcal gözeneklerdeki buhar basıncı, sıcaklığın artmasına bağlı olarak artar. Bu durum betonun veya harçların patlayarak parçalanmasına neden olabilir [4]. Özellikle, yüksek mukavemetli betonlar, daha fazla çatlama ve dağılmaya yol açan yüksek sıcaklıklardan önemli ölçüde etkilenir [5]. Çatlakların etkilerini azaltmak ve önlemek için yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlar ve harçlarda farklı lifler kullanımı tercih edilmektedir [6, 7]. Çimento esaslı malzemelerin yüksek sıcaklıklarda dayanım kayıplarına yol açan bir başka sebep ise hidrasyon ürünlerinin ayrışmasıdır. Araştırmacılar, çimentolu matrisin ayrışmasının 105 °C'nin üstünde başladığını ifade etmişlerdir. Kimyasal ve fiziksel ayrışmanın ilk adımı, gözeneklerdeki ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerinin yapısındaki kimyasal olarak bağlı suyu serbest bırakmasıdır. Bu sürece dehidrasyon denmektedir [8]. Bu aşamada, diğer hidratlar ve etrenjit de ayrışmaya başlar. Ayrıca köken ve türüne göre, agregalar da etkilenmeye başlayabilir [9]. Yaklaşık 300-400 °C'de, C-S-H jelindeki kimyasal olarak bağlanmış ara tabaka suyu buharlaşır. Ayrıca, ilk mikro çatlaklar Ca(OH)<sub>2</sub> ve anhidrit çimento bölgelerinde ortaya çıkmaya başlar [10]. Bu aşamada Ca(OH)<sub>2</sub>, CaO ve H<sub>2</sub>O'ya ayrışır. Isıtma aşamasında, Ca(OH)<sub>2</sub>'nin ayrışması, mekanik açıdan kritik bir reaksiyon değildir. Bununla birlikte, soğutma işleminde kullanılan su nedeniyle CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>'ye rehidrate olabilir ve bu rehidrasyon, yaklaşık % 44'lük ciddi bir hacim genişlemesi oluşturur [11, 12]. Bu hacimsel genişleme, çatlak sayısını artırır. Çimento esaslı malzemelerde mineral katkıların kullanılmasının Ca(OH)<sub>2</sub>'yi tükettiği bilinmektedir. Bu nedenle betonların veya harçların mineral katkıları içermesi, kireç rehidrasyonunun zararlı etkisinden korunmasına sebep olabilir [13]. Ayrıca puzolanik malzemelerin betonların yangına karşı dayanımını arttırdığı da bilinmektedir [14]. 500-600 °C'de karbonatlar parçalanmaya başlar ve bu sıcaklıkların betonda geri dönüşü olmayan zararlar

verdiği bilinmektedir. Çünkü betonun ana bağlayıcı fazının önemli bir kısmı, yani C-S-H jelleri ayrışır. Genel olarak 800 °C'nin üzerinde, hemen hemen betonu oluşturan tüm bileşenler parçalanır ve bu da önemli mukavemet ve ağırlık kaybına yol açar [15]. Son yıllarda, yüksek sıcaklık dayanımı sağlamak için karışımlarda mineral katkıları olarak uçucu kül, YFC ve silis dumanı kullanımı yaygınlaşmıştır [16, 17].

Bor minerali, tincal, kolemanit, kernit, uleksit, pandemit, borasit, szaibelyit ve hidroborasit gibi farklı biçimlerde olabilir, en basit bor bileşikler bor oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve borik asittir (H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>) ve kalsiyum ile bulunduğu kolemanit, kalsiyum-sodyum ile uleksit ve sodyum ile bağlandığında "boraks" olarak adlandırılır [18]. Türkiye'nin bor rezervleri bakımından çok zengin olduğu bilinmektedir. Kolemanit B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren mineraller arasında en yaygın mineraldir [19]. Kolemanit, yapıştırıcılar, gübreler, yangın geciktiriciler, deterjanlar, tekstil, dezenfektanlar, cam, cam elyaf, emaye, tekstil, kozmetik, antiseptikler, naylon, nükleer güç istasyonu asfalt betonunda kullanılmaktadır [20, 21, 22]. Kolemanit ve kolemanit cevheri atıklarının çimentolu malzemelerde farklı amaçlar için kullanılması konusunda az sayıda çalışma vardır [23, 24]. Literatürdeki çalışmaların sonuçları, çimento bazlı malzemelerdeki bor minerallerinin kullanılmasını teşvik etme yönündedir. Bu çalışmada, gerek atık ürünlerin değerlendirilmesi gerekse günümüzde her an karşılaşılabilecek yangın afeti karşısında çimento esaslı malzemelerin dayanıklılığını arttırmak için mineral katkı kullanımını incelemekte ve bu kapsamda Kolemanit minerali ile üretilmiş harçların, fiziksel ve mekanik özellikleri yanında yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışları araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda kolemanit %5'den fazla kullanılmaması yönünde önerilerde bulunmuşlardır [25]. Kolemanit oranları çimentonun %2'sinden fazla kullanıldığında hidrasyon sürecine zarar verici etkisi nedeniyle diğer katkı maddelerinden farklı seçilmiştir [26].

Yüksek sıcaklığın hafif harçlar üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada agrega olarak Osmaniye yöresinden temin edilen pomza kullanılmıştır. Pomza taşları oluşumu esnasında, gazların hızlı bir şekilde uzaklaşması ve hızlı soğuması nedeniyle, farklı boyutlarda ve sayıda boşluk içerir. Gözenekler çoğunlukla birbirlerinden bağımsız olduklarından hafif, su içerisinde uzun zaman yüzen, geçirimsizliği az ve yalıtımı oldukça fazladır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşimi sayesinde ısıya karşı yüksek dayanım özelliği kazanır. Ürgüp Avanos ve Kayseri'nin Talas-Tomarza-Develi ve Osmaniye'de pomza rezervleri bulunmaktadır [27]. Agregada pomza kullanılarak pomzalı harçlarda yüksek sıcaklık etkisi sonucunda ara yüzeyde çatlak gelişimi olmayıp yerine agregada çatlak meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum pomzalı harçlarda arayüzeyin kuvvetli olduğunu ortaya koymaktadır [28]. Ayrıca pomza, düşük ısı iletkenliği nedeniyle yüksek sıcaklığa karşı direnci oldukça fazla olan hafif agrega türüdür [39]. Sancak ve Şimşek (2006)'in bildirdiklerine göre hafif agregalı betonun 500°C'ye kadar dayanımını koruduğu ve hafif betonun yangın etkisinden sonra kalan dayanımı,

sıcaklığın yaklaşık 500°C'den 800°C'ye yükselmesi sonucunda yaklaşık %100'den %40'a lineer olarak azaldığı belirtilmiştir [30].

Bu kapsamda, hafif harçlara çimentoyla ağırlıkça yer değiştirmek suretiyle %1, %2 ve %3 oranlarında Kolemanit, %10, %20 ve %30 oranların da ise YFC ilave edilerek numune üretimi yapılmıştır. Harç numunelerine 7 gün kürlenme işlemi yapıldıktan sonra eğilme ve basınç dayanımı, 28 gün kürlenme işlemi yapıldıktan sonra ise su emme ve porozite oranlarını belirlemek için deneyler uygulanmıştır. Harç numuneleri 28 gün sonunda nihai dayanıma ulaşmasının ardından 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Uygulanan sıcaklık sonrası ağırlık kayıpları, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Numunelerin hazırlanmasında bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2012) standardına uygun olarak üretilmiş, özgül ağırlığı 3,16 g cm<sup>3</sup> olan CEM I 42,5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır [31]. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento fabrikasından alınmış olup, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

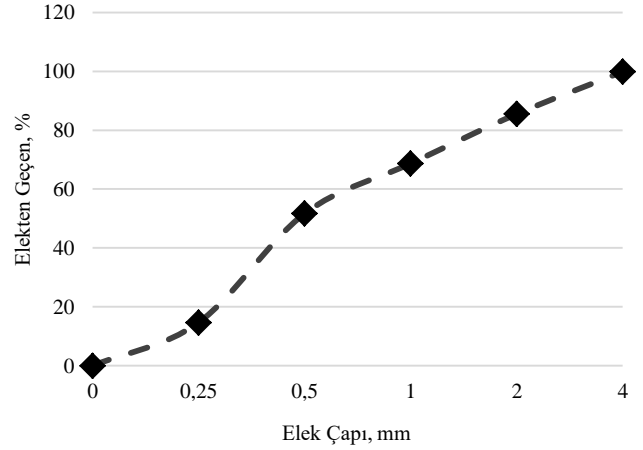
**Tablo 1.** CEM I 42,5-R Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi

CEM I 42,5	
Kimyasal Analiz	Miktar (%)
CaO	62,72
SiO <sub>2</sub>	20,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,76
MgO	1,84
SO <sub>3</sub>	2,65
K <sub>2</sub> O	0,73
Na <sub>2</sub> O	0,26
Kızdırma Kaydı	2,54
Çözünmeyen Kalıntı	-
Fiziksel Özellikler	
Özgül Yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3250
Priz Başlangıcını (saat:dk.)	2:25
Priz Sonu (saat:dk.)	3:40
Hacim Genleşmesi (mm)	1

Deneysel çalışmada kapsamında üretilen harçlarda, TS EN 1008 (2003)'e uygun olan Osmaniye ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır [32]. Üretilen harç numunelerinde incelik modülü 3,50 olan ve kırma kum gibi 0-4 mm tane boyutlarına sahip Osmaniye ilinden temin edilen pomza agregası kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 1,70 g/cm<sup>3</sup> ve su emmesi %14 olan bazik karaktere sahip pomzanın Tablo 2'de kimyasal özellikleri Şekil 1'de ise tane dağılımı verilmiştir.

**Tablo 2.** Pomzanın kimyasal analizi

Pomza Agregası	
Kimyasal Analiz	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	45,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,53
CaO	13,23
MgO	6,24
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	6,69
Diğer	0,41
Toplam	100



**Şekil 1.** Pomza agregasının granülometri eğrisi

YFC, beton ve çimento üretiminde yapay puzolan olarak kullanılan bir endüstriyel atıktır. Demir-çelik fabrikalarının demir üretimi aşamalarında, 1500 °C sıcaklığa ulaşan yüksek fırınlarda ergimiş halde oluşan bir yan üründür. Bünyesinde yüksek oranda silis ve alümin içeren granüle YFC, öğütülerek çok ince taneli yapıya sahip olduklarında, puzolanik özellik göstermektedir [33]. Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan İskenderun Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilen YFC'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

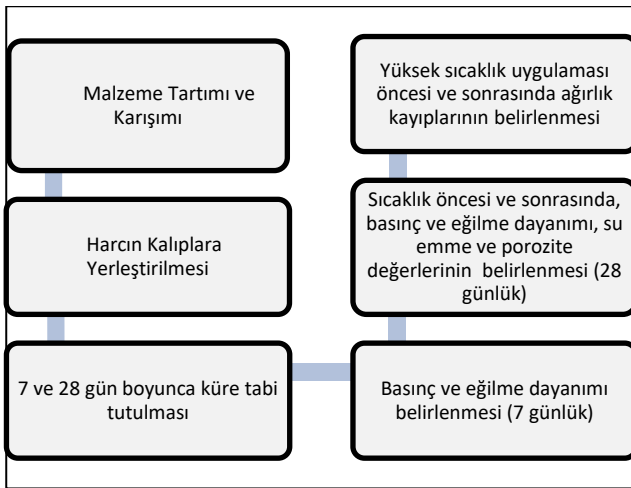
Mineral katkı olarak kullanılan Kolemanit'nin kimyasal analizi Tablo 3'de verilmiştir. Eti Maden İşletmelerinden temin edilmiş Kolemanit, bor madenlerinden çıkarılan ürünün işlenmesi esnasında atık malzeme olarak açığa çıkan 75 mikron boyutuna sahip bir malzemedir. Çalışma kapsamında kullanılan Kolemanitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** YFC ile Kolemanitin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları

Kimyasal Kompozisyon (ağırlıkça, %)	Kolemanit	YFC
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,85	-
SiO <sub>2</sub>	5,6	32,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	1,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	11,8
CaO	27,24	39,8
MaO	2,84	4,15
Na <sub>2</sub> O	0,1	0,51
Diğer	24,19	9,49
Fiziksel Özellikler		
Kızdırma kaybı (%)	24,06	2,2
Özgül yüzey (g cm <sup>-3</sup> )	3839	4982
Özgül ağırlık (g cm <sup>-3</sup> )	2,42	2,8

### 2.2. Metot

Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış farklı mineral katkı içeren hafif harçların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi için yapılan çalışmanın işlem basamakları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın işlem basamakları

Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış hafif harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi için yapılan çalışmada 40x40x160 mm boyutlarında harç numuneleri üretilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılmak üzere üretilen numunelerde kullanılan malzeme miktarları, TS EN 196-1 (2016)'ye göre belirlenen ağırlıkça karışım oranları kum:çimento:su=3:1:0.5 olacak şekilde Tablo 4'te verilmiştir [34].

Tablo 4. Denede kullanılan malzeme miktarları

Numune Adı	Pomza Agregası (gr)	Su (gr)	Çimento (gr)	Mineral Katkı (gr)
REF	850	225	450	0
%10 YFC (%10 Yüksek Fırın Curufu)	850	225	405	45
%20 YFC (%20 Yüksek Fırın Curufu)	850	225	360	90
%30 YFC (%30 Yüksek Fırın Curufu)	850	225	315	135
%1K (%1 Kolamenit)	850	225	445,5	4,5
%2K (%2 Kolamenit)	850	225	441	9,0
%3K (%3 Kolamenit)	850	225	436,5	13,5

YFC ve Kolemanitin harçta puzolanik malzeme olarak kullanımını araştırmak için dayanım indisini belirlemek amacıyla döküm yapılmıştır [35]. YFC'de standart çimento dayanımının %70'inden fazla karşıladığı görülmüştür. Kolemanit oranının artmasıyla birlikte priz süresinde uzamalar görülmüştür ve tayanım indisi deneyi için gerekli malzeme miktarı uygulandığında priz sonlanmadığından kaynaklı kolemanitin dayanım indis deneyi yapılamamıştır.

YFC ve Kolemanit için literatürde belirtilen oranlar dikkate alınarak karışım oranları belirlenmiştir. Referans numune pomza agregası, çimento ve su karışımından meydana gelmektedir. Diğer numunelerde YFC ve Kolemanit kullanılmış ve aradaki fark gözlemlenmiştir. %10, %20, %30 oranlarında YFC ve %1, %2, %3 oranlarında ise Kolemanit mineral katkısı çimento ile ağırlıkça ikame edilmiştir. Harç karışımı yapıldıktan

sonra yağlanan kalıplar çimento sarsma masasına yerleştirilerek kalıplara iki aşamada harç dökümü gerçekleştirilmiştir. 24 saat kalıpta bekletildikten sonra harç numuneleri, kalıplardan çıkartılarak standart kür havuzunda 7 ve 28 gün boyunca kür uygulanmıştır. 7. günü dolduran harç numuneleri üzerinde, TS EN 196-1 (2016) standardına göre eğilme dayanımı tayini ve TS EN 12390-4 (2002) standardına uygun basınç dayanımı tayin edilmiştir [36, 37].

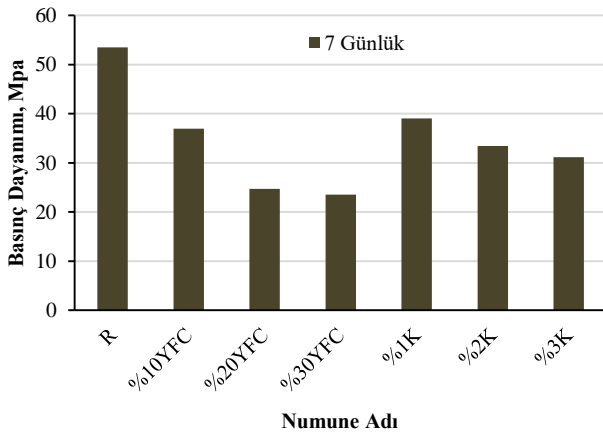
Tüm seriler üzerinde arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla porozite ve su emme özellikleri TS EN 1170-6 (1999) standardına uygun olarak belirlenmiştir [38]. Harç numuneleri 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılıp Arşimet Terazisi kullanılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra numunelerin havadaki ağırlıkları alınarak 24 saat süresince 110 °C'de etüvde kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Bu işlemin ardından etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılmıştır. Ölçümler herbir seri için üçer numune kullanılarak bulunan ortalama değerleri alınarak kaydedilmiştir.

Üretilen numuneler üzerinde yüksek sıcaklık uygulanması TS EN 13501-1 (2013) standardına göre yapılmıştır [39]. Bu standarda göre yangın ortamının sıcaklığı 20-1000 °C aralığından, uygulama süresi de 15-300 dk.'dan oluşmaktadır. Harç örnekleri 1800 °C kapasiteli etüvde 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C de sıcaklık etkisine maruz bırakılmış ve bütün sıcaklık değerlerinde 60 dk. fırın içerisinde bekletilmiştir. Ardından laboratuvar koşullarının sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler soğuma işleminden sonra tekrar eğilme, basınç deneyleri ve ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

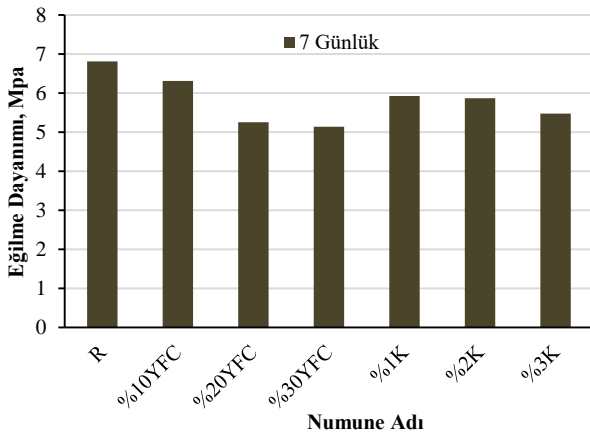
### 3. BULGULAR

Harç numunelerinin Şekil 2'de verilen 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkı oranının artmasına bağlı olarak referans örneğine göre dayanımlarda azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Referans numunenin basınç dayanımı 43,48 MPa iken, %10, %20 ve %30 oranlarında YFC kullanıldığında basınç dayanımları sırasıyla 36,96, 24,67 ve 23,54 MPa şeklindedir. Kolimanit kullanıldığında da benzer bir davranış gözlenmekte, fakat katkı oranına bağlı olarak meydana gelen azalma oranlarının daha az olduğu görülmektedir. Bu oranlar, %1K, %2K ve %5K oranlarında Kolemanit kullanıldığında basınç dayanımları sırasıyla 39,06, 33,45 ve 31,13 MPa şeklinde elde edilmiştir. Referans numuneye kıyasla %30 YFC kullanımında basınç dayanımı %45,86 oranında, %5 Kolemanit kullanımında %28,40 oranında azaldığı görülmüştür. Harç numunelerinin Şekil 3'deki 7 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, referans numunenin eğilme dayanımı 6.81 MPa iken, %10YFC, %20YFC ve %30YFC oranlarında kullanıldığında eğilme dayanımları sırasıyla 6,31, 5,26 ve 5,14 MPa olmuştur. %1K, %2K ve %3K oranlarında kullanıldığında eğilme dayanımları sırasıyla azalarak

5,93, 5,87 ve 5,48 MPa değerine düşmüştür. Bazı puzolanların dayanım üzerindeki olumlu etkisinin uzun vadede kendisini gösterdiği bilinmektedir. Burada da belirtilen oranlarında kullanılan Kolemanitin üretilen harçların erken dayanımı üzerinde fazla etkili olmadığı, fakat YFC'den daha az dayanım kaybına neden olduğu gözlenmiştir. Referans numuneye kıyasla %30 YFC kullanımında basınç dayanımı %24,52 oranında, %5 Kolemanit kullanımında %19,53 oranında azaldığı görülmüştür. 7 günlük eğilme dayanımlarında meydana gelen azalmanın basınç dayanımlarında meydana gelen azalmadan daha az olduğu, erken yaşta dayanımlarda Kolemanitin YFC'ye göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Kolemanitin oranlarının YFC'den daha az olmasından kaynaklı harç içerisinde ki çimento miktarında daha yüksek olması nedeniyle erken yaşta dayanımlar daha yüksek çıkmaktadır.



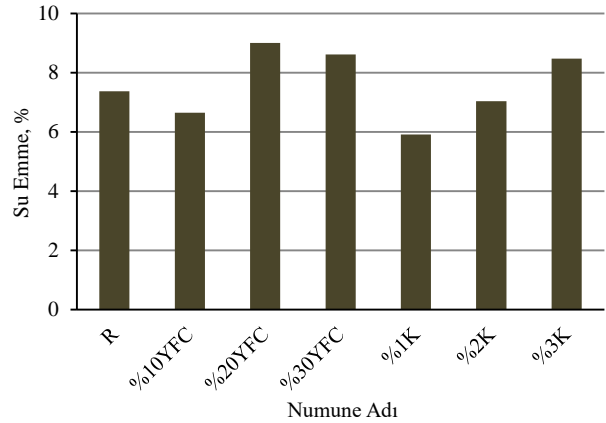
Şekil 2. Harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları



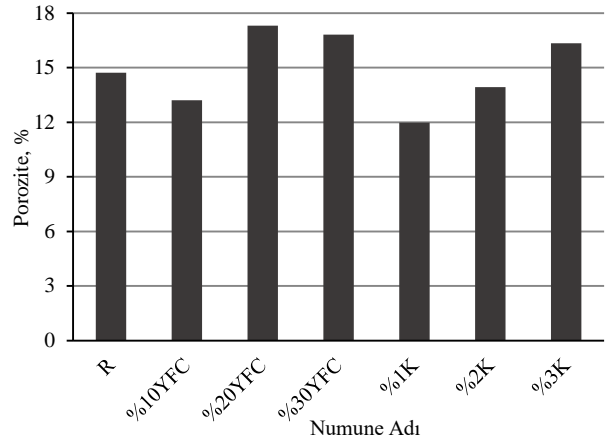
Şekil 3. Harç numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımları

Harç numunelerinin su emme (%) oranları Şekil 4'te, porozite (%) oranları Şekil 5'de verilmiştir. %10YFC kullanıldığında numunenin su emme ve porozite oranları azalmakta, %20YFC ve %30YFC olması durumunda ise artmaktadır. Diğer yandan %1K ve %2K kullanıldığında kolemanit minerali ilavesi numunenin su emme ve porozite oranlarında azalmaya, %3K kullanıldığında ise artış meydana gelmiştir. Numunelerde ki mineral katkı oranının artmasıyla birlikte ince madde miktarı da artmaktadır. İnce madde oranının artmasıyla birlikte yüzey alanı arttığından su ihtiyacı da artmaktadır. İşlenebilirliği olumsuz etkileyen yetersiz su

kullanımından kaynaklı yerleşme güçlükleri ortaya çıkartarak daha gözenekli yerleşmesine sebep olmaktadır, bu durumda su emme ve porozite oranlarında artışa sebep olmaktadır.



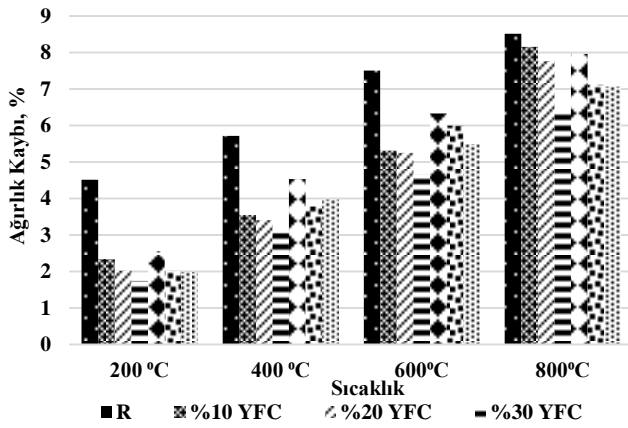
Şekil 4. YFC ve Kolemanit içeren harçların 28 günlük su emme oranları (%)



Şekil 5. YFC ve Kolemanit içeren harçların ve 28 günlük porozite oranları (%)

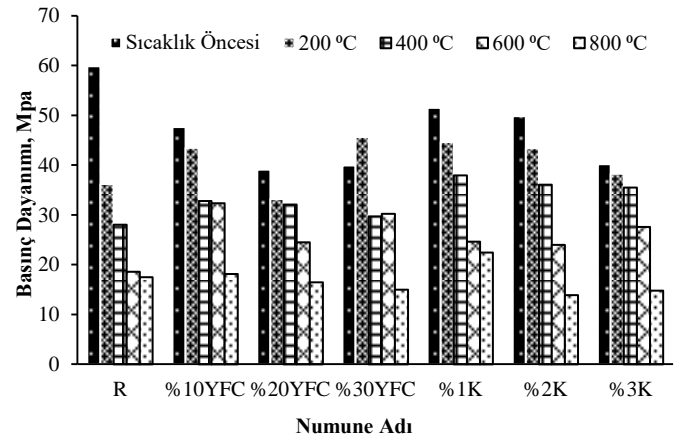
Yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra numunelerde meydana gelen ağırlık kaybı oranları Şekil 6'da verilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte ağırlık kayıp oranlarının da arttığı gözlenmiştir. Referans numunede 200 °C'de %4,51 ağırlık kaybı meydana gelirken sıcaklığın 800 °C'ye çıkmasıyla birlikte ağırlık kaybının %8,51'ye çıktığı tespit edilmiştir. Mineral katkı kullanılması, harçların ağırlıklarında azalmaya neden olmaktadır. Sıcaklığın 200 °C olması durumunda referans numunenin ağırlık kaybı %4,51 iken YFC oranının %30 olması ile %1,74 değerine, Kolemanit oranının %3 olması ile %1,99 değerine düştüğü belirlenmiştir. Sıcaklık 800 °C'ye çıktığında ise referans numunede ağırlık kaybı %8,52 iken, %30YFC katkılı örnekte %6,34, %3K katkılı numunede ise %7,07 oranında olduğu tespit edilmiştir. YFC kullanımı, 200 °C'de ağırlık kaybında %61,50 ve 800 °C'de ise %25,59 oranında azalmaya yol açmaktadır. Kolemanit kullanımı ile 200 °C'de ağırlık kaybı %55,97 ve 800 °C'de %17,02 oranında azalma meydana gelmiştir. Mineral katkı kullanılarak harçların yüksek sıcaklık sonucunda meydana gelen ağırlık kayıplarında %55 oranlarına varan azalmalara neden olmuştur. Yüksek sıcaklıkta

hidratasyon ürünlerinden ilk olarak kalsiyum hidroksitler daha sonra C-S-H jelleri parçalanmaktadır. Mineral katkı kullanımı ilk yıkıma uğrayacak kalsiyum hidroksitleri, C-S-H jellerine dönüştürdükleri için yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı arttırmaktadırlar [40].

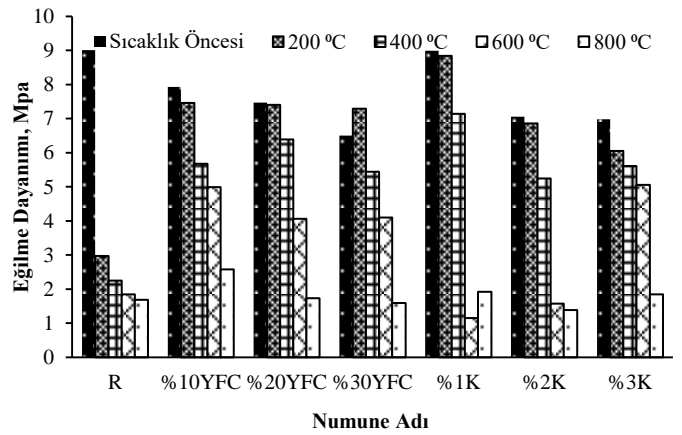


Şekil 6. Sıcaklık öncesi ve sonrası ağırlık kaybı oranları (%)

28 günlük numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımları Şekil 7'de, eğilme dayanımları da Şekil 8'de verilmiştir. Sıcaklığın artması birlikte Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi basınç ve eğilme dayanımlarında düşüşler meydana gelmektedir. Basınç dayanımları incelendiğinde, referans numunede sıcaklığın 800 °C'ye çıkmasıyla basınç dayanımında %70,82, %30YFC'de %62,51 ve %3K'da ise %63,17 oranlarında azalmalar ortaya çıkmıştır. Eğilme dayanımları incelendiğinde, referans numunede sıcaklığın 800 °C'ye çıkmasıyla basınç dayanımında %81,24, %30YFC numunesinde ise %78,19, %3K numunesinde ise %73,50 oranlarında düşüşler meydana gelmektedir. Belirtilen oranlarda kullanılan her iki mineral katkının, artan sıcaklık etkisi altında harçların basınç ve eğilme dayanımlarını azalttığı belirlenmiştir. Referans numuneye kıyasla mineral katkılı harçların yüksek sıcaklık altında meydana gelen mekanik kayıplar daha az olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık sonucunda dayanım sağlayan hidratasyon ürünlerinin yıkılması ile birlikte mekanik dayanımlarda azalmalar meydana gelmektedir [41]. Harçların sıcaklık sonrası ağırlık kayıpları ile mekanik dayanımlarında meydana gelen kayıplar paralellik göstermiştir. Mineral katkı oranının artmasıyla birlikte daha çok kalsiyum hidroksitinin daha çok C-S-H jeline dönüşmesinden kaynaklı mekanik özelliklerde sıcaklık etkisi altında artış gözlemlenmiştir. Kolemanitin, YFC'ye kıyasla daha düşük oranlarda kullanılması kullanılması daha az puzolanik etki sağladığı için daha fazla dayanım düşüşlerine sebep olmuştur.



Şekil 6. Sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımları (MPa)



Şekil 7. Sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımları (MPa)

#### 4. SONUÇ

- Harç içerisinde mineral katkı oranının artması, harçların 7 günlük basınç ve eğilme dayanımlarını düşürmektedir.
- %20'ye kadar YFC katkı oranı harçların su emme ve porozitesi üzerinde azaltıcı, bu oranın %30 olması durumunda da artırıcı bir etki yapmaktadır. Kolemanit oranının %1'dan fazla olması ise harcın su emme ve porozite oranlarını arttırmaktadır.
- Kolemanit ve YFC katkılı harçların gerek fiziksel ve mekanik özellikleri gerekse yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında meydana gelen değişimlerin birbirlerine benzerlik gösterdiği saptanmıştır.
- Sıcaklığın artmasıyla birlikte tüm numunelerde ağırlık kayıp oranlarının arttığı, eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir.
- YFC kullanımı 200 °C'de ağırlık kaybında %61,50 ve 800 °C'de ise %25,59 oranında azalmaya neden olmaktadır.
- Kolemanit kullanımı 200 °C'de ağırlık kaybı %55,97 ve 800 °C'de %17,02 oranında azalma meydana getirmiştir.
- Mineral katkı kullanımı ile yüksek sıcaklığın etkisiyle meydana gelen ağırlık kayıplarının ve mekanik dayanımlardaki kayıpların azaldığı gözlemlenmiştir.
- %3 oranında Kolemanit kullanılması harcın yüksek sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kayıplarını azaltmaktadır.

- Mekanik dayanım açısından YFC katkısının kolemanite göre harçların mekanik özellikleri üzerine daha iyi bir etki yaptığı, bu karşın kolemanit katkısının ise YFC ye göre daha az ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir.
- Referans numuneye kıyasla mineral katkılı harçların yüksek sıcaklık altın meydana gelen mekanik kayıplar daha az olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Wang W, Lu C, Li Y, Li Q. An investigation on thermal conductivity of fly ash concrete after elevated temperature exposure. *Constr. Build. Mater.* 2017; 148: 148-157.
- [2] Fu YF, Wong Y. L, Tang C. A, Poon CS. Thermal induced stress and associated cracking in cement-based composite at elevated temperatures-Part II: Thermal cracking around multiple inclusions. *Cem. Concr. Compos.* 2004; 26 (2): 99-111.
- [3] Yüzer N, Aköz F, Öztürk LD. Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature. *Cem. Concr. Res.* 2004; 34 (10): 1803-1807.
- [4] Abid M, Hou X, Zheng W, Hussain RR. High temperature and residual properties of reactive powder concrete-A review. *Constr. Build. Mater.* 2017; 147: 339-351.
- [5] Noumowe AN, Siddique R, Debicki G. Permeability of high-performance concrete subjected to elevated temperature (600°C). *Constr. Build. Mater.* 2009; 23 (5): 1855-1861.
- [6] Abaeian R, Behbahani P, Moslem SJ. Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibres. *Constr. Build. Mater.* 2018; 165: 631-638.
- [7] Köksal F, Şahin M, Lopez MAS, Gencil O. Combined effect of steel fibre and expanded vermiculite on properties of lightweight mortar at elevated temperatures. *Mater. Struct.* 2015; 48: 2083-2092.
- [8] Arioz O. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Saf. J.* 2007; 42 (8): 516-522.
- [9] Gavin D, Pesavento F, Schrefler A. Modelling of deformations of high strength concrete at elevated temperatures. *Mater. Struct.* 2004; 37 (4): 218-236.
- [10] Aydın S, Baradan B. Effect of pumice and fly ash in corporation on high temperature resistance of cement-based mortars. *Cem. Concr. Res.* 2007; 37: 988-995.
- [11] Lin WM, Lin TD, Powers LJ. Microstructures of fire-damaged concrete. *ACI Mater. J.* 1996; 93 (3): 199-205.
- [12] Mendes A, Sanjayan JG, Collins F. Effects of slag and cooling method on the progressive deterioration of concrete after exposure to elevated temperatures as in a fire event. *Mater. Struct.* 2011; 44: 709-718.
- [13] Oner A, Akyüz S, Yildiz R. An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. *Cem. Concr. Res.* 2005; 35 (6): 1165-1171.
- [14] Yüksel I, Siddique R, Özkan Ö. Influence of high temperature on the properties of concrete made by industrial by-products as fine aggregate replacement. *Constr. Build. Mater.* 2011; 25 (2): 967-972.
- [15] Crook DN, Murray MJ. Regain of strength after firing of concrete. *Mag. Concr. Res.* 1970; 22(72): 149-154.
- [16] Akça AH, Özyurt N. Effects of re-curing on microstructure of concrete after high temperature exposure. *Constr. Build. Mater.* 2018; 168: 431-441.
- [17] Liang X, Wu C, Su Y, Chen Z, Li Z. Development of ultra-high-performance concrete with high fire resistance. *Constr. Build. Mater.* 2018; 179: 400-412.
- [18] Bideci ÖS. The effect of high temperature on lightweight concretes produced with colemanite coated pumice aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2016; 113: 631-640.
- [19] Chan YN, Luo X, Sun W. Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature 800°C. *Cem. Concr. Res.* 2000; 30: 247-251.
- [20] Kütük S, Kütük-Sert, T. An examination of nanoparticle colemanite mineral added warm mix asphalt. *Constr. Build. Mater.* 2020; 118-252.
- [21] Kütük-Sert TK, Kütük S. Physical and mechanical properties of borogypsum used as filler aggregate in asphalt concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* 2013; (25): 266-273.
- [22] Kütük-Sert T. Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads. *Constr. Build. Mater.* 2016; (121): 255-264.
- [23] Uysal M, Al-Mashhadani MM, Aygörmüş Y, Canpolat O. Effect of using colemanite waste and silica fume as partial replacement on the performance of metakaolin-based geopolymer mortars. *Constr. Build. Mater.* 2018; 176: 271-282.
- [24] Korkut T, Karabulut A, Budak G, Aygün B, Gencil O, Hançerlioğulları A. Investigation of neutron shielding properties depending on number of boron atoms for colemanite, ulexite and tincal ores by experiments and FLUKA Monte Carlo simulations. *Appl. Radiat. Isot.* 2012; 70 (1): 341-345.
- [25] Oto B, Gür, A, Kaçal MR, Doğan B, Arasoğlu A. Photon attenuation properties of some concretes containing barite and colemanite in different rates. *Annals of Nuclear Energy*, 2013; 51: 120-124.
- [26] Yalçın S. The inhibitive effect of colemanite added cement on the corrosion of reinforcing steels M.Sc. Thesis, Gazi University, Institute of Science and Technology, Ankara, 1996 Türkiye.
- [27] Yaşar E, Erdoğan Y. Asidik (Nevşehir) ve bazik (Osmaniye) pomzaların yapı sektöründe değerlendirilmesi. *Türlüye* 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı. 2005; İzmir, 409-413
- [28] Türker P, Erdoğan K, Erdoğan B. Farklı tiplerde agregalar içeren yangına maruz kalmış

- harçların incelenmesi, Çim. Bet. Dün. 2001; 6: 52-69.
- [29] Shoaib MM, Ahmed SA, Balaha MM. Effect of fire and cooling mode on the properties of slag mortars, *Cement Concrete Res.* 2001; 31 (11): 1533-1538.
- [30] Sancak, E. ve Şimşek, O., (2006) Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:21, No: 3, ss:443-450,
- [31] TS EN 197-1. Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [32] TS EN 1008. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [33] Hosseini SV, Eilbeigi S, Nilforoushan MR. Effects of three types of iron and steel slag on fresh and hardened properties of ordinary portland cement, *Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts.* 2016; 837-846.
- [34] ASTM C 618. Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Naturel Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, 1994.
- [35] Dündar B, Çınar E, Çalışkan AN. An investigation of high temperature effect on pumice aggregate light mortars with brick flour. *Res. Eng. Struct. Mat.* 2020; X(X): 1-15, <http://dx.doi.org/10.17515/resm2019.163ma1121> (basımda)
- [36] TS EN 196-1. Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [37] TS EN 12390-4. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 4: Basınç dayanım Deney makinelerinin özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [38] TS EN 1170-6. Ön yapımlı beton mamuller-Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suyu daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999
- [39] TS EN 13501-1+A1. Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [40] Sarshar R, and Khoury GA. Material and environmental factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temperatures. *Magazine of Concrete Research.* 1993; 45: 51-61.
- [41] Yüzer N, Aköz F, Öztürk LD. Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature. *Cement and Concrete Research.* 2004; 34: 1803-1807.