

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BETONLARIN DAYANIMINA
YALITIM SIVASININ ETKİSİ

Duygu KESEPARA BOŞNA

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. İlker USTABAŞ

II. DANIŞMAN

Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

JÜRİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ

RİZE-2021

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BETONLARIN DAYANIMINA YALITIM
SIVASININ ETKİSİ

Doç. Dr. İlker USTABAŞ danışmanlığında, Duygu KESEPARA BOŞNA tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 13/07/2021 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU	
Üye	: Doç. Dr. İlker USTABAŞ	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Yüksek sıcaklık altındaki betonların basınç dayanımının yalıtım sıvası türüne, sıcaklığa ve süreye göre nasıl değiştiğinin tespit edildiği bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlandı.

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve uygulanmasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek bana her konuda yol gösteren, uygulama aşamasında bilgi ve tecrübelerini paylaşan, yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışmanlarım Doç. Dr. İlker USTABAŞ'a ve Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her anında, verdiğim kararlarda desteklerini her zaman arkamda hissettiğim maddi ve manevi yanımda olan canım aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim.

Duygu KESEPARA BOŞNA

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Yüksek Sıcaklığa Maruz Betonların Dayanımına Yalıtım Sıvasının Etkisi” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 13/07/2021

İmza

Duygu KESEPARA BOŞNA

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BETONLARIN DAYANIMINA YALITIM SIVASININ ETKİSİ

Duygu KESEPARA BOŞNA

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. İlker USTABAŞ
Ortak Danışman: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU**

Bu çalışmada, yüksek ısıya maruz betonlarda sıvanın ve ısı yalıtım sıvasının beton basınç dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. 10 cm 'lik küp beton numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 2 ve 3 cm ısı yalıtım sıvası ve kaba sıva ile kaplanmıştır. Numuneler 300°C, 450°C ve 600 °C'de 60, 90 ve 120 dakika bekletildikten sonra sıvaları sıyrılıp basınç dayanımları ölçülmüştür. Aynı uygulamalar 10 cm 'lik sıvasız numuneler için de yapılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan sıvasız, kaba sıvalı ve ısı yalıtım sıvalı beton numunelerinin basınç dayanımlarındaki değişimler değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, elde edilen değerlere göre sıcaklık, sıva kalınlığı ve basınç dayanımı arasında bağıntı kurulmuştur. Yalıtım sıvaları kullanılarak betonun yüksek sıcaklıktan daha yavaş etkileneceği ve basınç dayanımında daha az azalma olacağı tespit edilmiştir.

2021, 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yalıtım sıvası, kaba sıva, yüksek sıcaklık, beton dayanımı

ABSTRACT

THE EFFECT OF INSULATION PLASTER ON THE STRENGTH OF CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURE

Duygu KESEPARA BOŞNA

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate Education Institute
Department of Civil Engineering
Master Thesis**

Supervisor: Assoc. Dr. İlker USTABAŞ /Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

In this study, it was investigated how plaster and thermal insulation plaster affect the concrete compressive strength in concretes exposed to high temperatures. 10 cm cube concrete samples were prepared. The prepared samples were covered with 1, 2 and 3 cm thermal insulation plaster and rough plaster. After the samples were kept at 300°C, 450°C and 600°C for 60, 90 and 120 minutes, their plasters were peeled off and their compressive strengths were measured. The same applications were made for 10 cm unplastered samples. The changes in compressive strength of unplastered, rough plastered and thermal insulation plastered concrete samples exposed to high temperature were evaluated.

As a result of the study, a correlation was established between temperature, plaster thickness and compressive strength according to the obtained values. By using insulation plasters, it has been determined that the concrete will be affected more slowly by high temperature and there will be less decrease in compressive strength.

2021, 51 pages

Keywords: Insulation plaster, rough plaster, high temperature, concrete resistance

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.	1
1.2. Yüksek Sıcaklığın Betonarme Elemanlara Etkileri	2
1.2.1. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri.....	2
1.2.1.1. Agrega	2
1.2.1.2. Çimento Hamuru	4
1.2.1.3. Mineral Katkı Malzemeleri.....	5
1.2.1.4. Liflerin Etkisi.....	6
1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betonun Fiziksel Özelliklerine Etkisi.....	6
1.2.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi	7
1.2.3.1. Basınç Dayanımı.....	8
1.2.3.2. Çekme Dayanımı	9
1.2.3.3. Elastisite Modülü.....	10
1.3. Literatür Özeti.....	12
1.4. Yapılan Çalışmanın Amacı.....	14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	15

2.1.	Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	15
2.1.1.	Çimento.....	15
2.1.2.	Agrega.....	15
2.2.	Beton Karışım Oranları.....	20
2.3.	Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar.....	22
2.3.1.	Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakma.....	22
2.3.2.	Basınç Dayanımı	23
3.	BULGULAR	23
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	32
5.	ÖNERİLER	36
	KAYNAKLAR	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Betonun bağıl basınç dayanımının kullanılan agreganın türüne göre sıcaklıkla değişimi (Khoury, 1992).....	3
Şekil 2. Betonun basınç dayanımının yükleme durumuna göre sıcaklıkla değişimi (Neville,2000).....	8
Şekil 3. Basınç dayanımının soğutma şekline göre sıcaklıkla değişimi (Neville, 2000)....	9
Şekil 4. Puzolan katkılı ve katkısız betonların çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi (Guisse vd., 1996).....	10
Şekil 5. Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi (Neville, 2000)	11
Şekil 6. Farklı beton numuneleri için sıcaklık-elastisite modülü ilişkisi (Savva vd., 2005).....	11
Şekil 7. Betonda kullanılan iri agreganın ve ince agregaların	16
Şekil 8. Karışım agregasının granülometri eğrisi	17
Şekil 9. İnce agreganın özgül ağırlık deney aşamaları	18
Şekil 10. İri agreganın özgül ağırlık deney aşamaları	19
Şekil 11. Betonun Pan tipi mikserde karılması.....	20
Şekil 12. a) Betonun karışımının metal tepsiye dökülmesi, b) Slump deneyinde betonun çıkarılması, c) Çökme miktarının ölçülmesi.....	21
Şekil 13. Deneyler için hazırlanan küp numuneler.....	21
Şekil 14. a) Isı yalıtım sıvası ile hazırlanan numuneler b) Normal sıvayla hazırlanan numuneler.....	22
Şekil 15. a) Fırın b) Fırın kumandası c) Numunelerin yerleştirilmesi.....	22
Şekil 16. Basınç dayanımı deneyi.....	23
Şekil 17. (a) Sıvasız betonlarda basınç dayanımları (b) Sıvasız betonlarda beton basınç dayanım oranları	25
Şekil 18. (a) Oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C’de sıvasız, 1,2 ve 3 cm kalınlıkta yalıtım sıvası ile sıvalı betonlardaki basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları	27
Şekil 19. 450°C’te 60 dakika bekletilen sıvasız ve sıvalı numuneler.....	29
Şekil 20. (a) Oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C’de sıvasız, 1,2 ve 3 cm kalınlıkta kaba sıvalı betonlardaki basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları	30
Şekil 21. (a) 600 °C’te maruz sıvasız yalıtım sıvalı, kaba sıvalı ve oda sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları.....	31

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kırma ince agrega elek analizi sonucu	16
Tablo 2. İnce doğal agrega elek analizi sonucu	16
Tablo 3. Kaba agrega elek analizi sonucu.....	17
Tablo 4. Özgöl ağırlık, Su Emme ve Nem İçeriği değerleri	19
Tablo 5. Betonda kullanılan malzeme miktarları (1 m ³ için).....	20
Tablo 6. Sıvasız yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları(Mpa).....	24
Tablo 7. Isı yalıtım sıvası (Mantosür) ile kaplanan yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları (MPa).....	24
Tablo 8. Normal sıva ile kaplanan yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları (Mpa).....	24

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Derece
S/Ç	Su Çimento Oranı
TS	Türk Standardı
EN	Avrupa Standardı
kN	Kilo Newton
MPa	Mega Pascal
Kg/m ³	Kilogram metreküp
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
CaO	Kalsiyum Oksit
DKY	Doygun Kuru Yüzey

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yangın yüksek sıcaklık kaynaklarından biridir. Yangın olayı geçmişten günümüze kadar insanları daima etkilemiştir. Eski zamanlarda ateşi keşfedenler ateşi kullanmayı öğrenmiş ve ateşten korkmuşlardır. Kontrollü bir şekilde kullanıldığında enerji ve ısısından yararlanılan ateş, kontrolden çıktığında büyük zararlar verebilen bir doğal afettir. İnsanların birbirlerine yakın yapılaşmaya başlamasıyla birlikte yangın tehlikesi daha çok artmaya başlamıştır. Yangın artışlarına karşı insanlar korunmak için yangına dayanıklı yapı malzemeleri kullanmayı tercih etmişlerdir. Beton ve betonarme malzemenin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte yangına karşı önemli avantajlar sağlanmış fakat yangın tehlikesi önlenememiştir.

Yapılarda yanmaya karşı önlemler alınıp taşıyıcı sistem olarak kâgir, betonarme ve çelik taşıyıcı sistem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yangın sırasında ve yangın sonrasında meydana gelen malzemenin karmaşık davranışı, yapısal güvenliği ve yapının bütünlüğü araştırılmıştır (Khoury,2000). Yangından korunmada bir dönem yüksek sıcaklığın normal dayanımlı betona etkileri üzerine odaklanılmıştır (Khoury,2003c). Ancak kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile günümüzde bulunan modern yapılarda, endüstriyel yapılarda, tünellerde veya özel hizmet amaçlı inşa edilen yapılarda yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu betonların yüksek sıcaklıklardaki davranışları iyi bilinmelidir çünkü bu betonlar düşük boşluk oranına ve daha yoğun bir yapıya sahiptirler. Yüksek sıcaklık altındaki performansları normal dayanımlı betondan daha düşüktür (Scherefler vd.2003).

Yangına dayanıklı malzeme üretiminde çimentolu bağlayıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton, agrega ve çimento fazlarından oluşmaktadır ve bu malzemeler yanmaz özelliktedir. Ancak yangın sırasında sıcaklığın belli değerler üzerine çıkması durumunda çimento hamurunun kimyasal yapısında bozulmalar meydana gelerek beton özelliğini kaybetmektedir. Yanmaz özelliğe sahip betonun yangına dayanımını artırmak, çimentolu bağlayıcılarla yangına karşı dayanıklı malzemeler üretmek için bilimsel alanda sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

1.2. Yüksek Sıcaklığın Betonarme Elemanlara Etkileri

Beton; yangına dayanıklı ve performansı yüksek, ısının bir noktadan diğer noktaya yavaş iletildiği, yanmaz bir malzemedir. Isı altında tutuşma veya ısıldama yapmaz. Betonda oluşan yangının hasarı malzeme kaybı olarak değil, akma sınırı, elastisite modülündeki azalmalar ve içyapı değişimleri olarak ortaya çıkmaktadır (Akman,1992).

Beton elemanlarda bir yangın oluştuğunda genellikle 3-5 cm kalınlığındaki dış tabaka zarar görür. Bu sebeple yangın etkisinde kalan birçok betonarme bina onarılabilir ve yeniden kullanılır hale getirilebilir. 2005 yılında Madrid’de gerçekleşen Windson Tower yangını, betonarme yapıların yangın davranışına örnektir. Windson Tower yangını tüm binayı kaplamış ve 26 saat sürmesine rağmen bina yıkılmamış, sadece 20.katta bulunan çelik dış kolonları çökmüştür (Beitel,2008).

1.2.1. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri

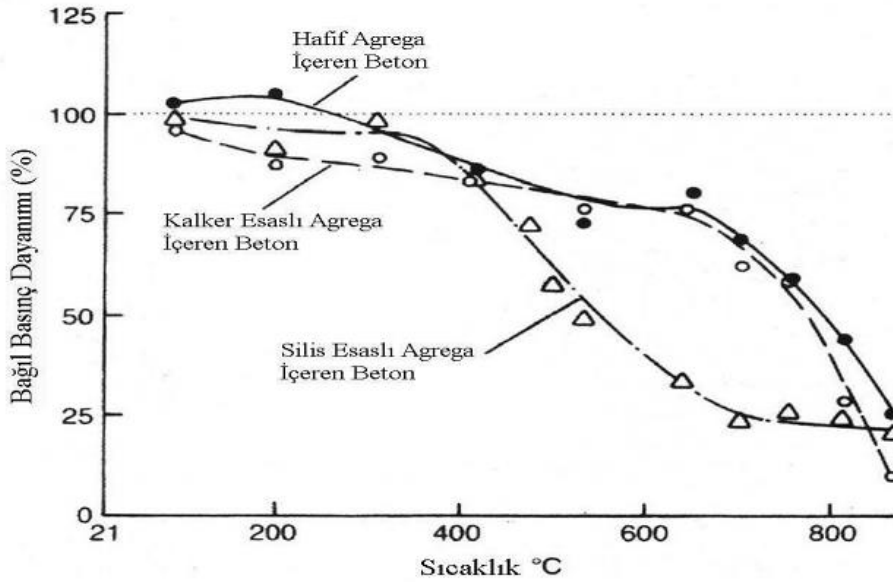
Betonun ihtiyaca göre istenilen boyutlarda ve şekillerde üretilebilmesi, basınç dayanımının yüksek olması, çelik donatıyla iyi bir aderansa sahip olması, diğer taşıyıcı malzemelere kıyasla yüksek sıcaklığa ve yangına karşı daha dayanıklı olması diğer yapı malzemelerine göre en önemli avantajları arasındadır (Erdoğan, 2003). Betonun yanmayan bir madde oluşu, belirli süreler içerisinde önemli bir zarar görmemesi ve zehirli duman çıkarmaması ile yangına karşı direnci yüksek bir malzemedir (Neville,2000). Fakat bu dayanıklılık, sınırlı süre ve belirli sıcaklıklar için geçerlidir (Baradan vd,2002).

Yüksek sıcaklığın betona etkisi, betonun maruz kaldığı sıcaklık, maruz kaldığı süre,çimento hamuru fazı ve agreganın türüne göre değişmektedir. Yüksek sıcaklık sonucunda betonun dayanımında azalmalar meydana gelmektedir (Riley, 1991; Akman, 2000). Beton yüksek sıcaklıklar karşısında karmaşık bir davranış sergilemektedir. Betonun bu karmaşık davranışları farklı ısı karakteristiklere sahip bileşenleri, farklı nem muhtevası ve poroziteden kaynaklanmaktadır (Li vd., 2004). Bu nedenle betonun yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı, çimento hamuru, agregalar ve mineral katkı maddeleri gibi bileşenleri ve özelliklerinin değişimi için aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

1.2.1.1. Agregalar

Agregalar betonun yaklaşık %70-75 'ini oluşturmaları sebebiyle büyük önem taşırlar. Bundan dolayı agregalar betonun ısı genleşme katsayısını ve ısı iletkenliğini direkt olarak etkilemektedir. Agregaların mineral yapıları ve boşluk oranlarına bağlı olarak yüksek sıcaklığa maruz kalan betonda çeşitli etkiler meydana gelmektedir. Agregaların yüksek sıcaklığa dayanıklı oldukları söylenebilir. Fakat agregalarda meydana gelen büzölmeler ve genleşmeler beton dayanımında azalmalara neden olabilmektedir.

Khoury'nin (1992) yapmış olduğu bir derlemede Abrams'ın çalışmasına yer verilmiş ve üç farklı agrega kullanılarak hazırlanan beton numunelere yüksek sıcaklık etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, Şekil 1'de görölen sıcaklıklarda agreganın dayanım azalma oranına göre 600 °C'ye kadar ısıtılan kalker esaslı ve hafif agregalı betonların basınç dayanımlarının silis esaslı agregalara göre daha yüksek olduğunu belirtilmiştir.



Şekil 1. Betonun bağıl basınç dayanımının kullanılan agrega türüne göre sıcaklıkla değişimi (Khoury, 1992)

Granit ve bazalt gibi volkanik kayalar ise 1000 °C'ye kadar kararlı yapıda kalabilmektedirler. Fakat sıcaklıkta meydana gelen ani artmalar ve azalmalar parçalanmalara neden olabilmektedir (Perkins,1986).

Hafif agregaların yangın dirençleri yüksektir ve bu agregalardan üretilmiş betonların ısı iletkenlikleri düşüktür (Shoaib vd. 2001).

Allen ve Desai (1967) yapmış oldukları çalışmada, farklı agregalar kullanılarak

beton 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış, en iyi mekanik özelliği gösteren betonlar agregalar olarak killi ateş tuğlasının kullanıldığı betonlar olmuştur. Genel olarak, silika içermeyen agregalar (kalker ve volkanik kaya agregaları gibi) kullanılarak üretilen beton, yüksek sıcaklık etkisine karşı daha dayanıklıdır.

1.2.1.2. Çimento Hamuru

Çimento hamuru, çimentonun su ile hidrasyonu ile oluşan, agreganın etrafını çeviren bir üründür. Betonun kimyasal özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Çimento hamuru boşluklu bir yapıya sahiptir. Beton içerisindeki boşlukların bir kısmı çimento hamurundan içerisindeki boşluklardan oluşmaktadır. Betonun bünyesinde CSH jel boşlukları, kapiler boşluklar ve hava boşlukları olmak üzere üç farklı boşluk bulunmaktadır. Betonun basınç dayanımı ile boşluk miktarı arasında ilişki bulunmaktadır ve boşluk oranındaki artış basınç dayanımında azalmalar meydana getirmektedir (Vodak vd.2004).. Çimento hamuru ve agregalar yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında gözenek yapılarında değişiklikler meydana gelmektedir. Meydana gelen bu fiziksel ve kimyasal değişiklikler toplam porozitede ve gözenek boyutunun dağılımında farklılıklara neden olmaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunda sıcaklığın etkisiyle boşlukların büyüklüğü ve yapısı değişir. 100 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda boşluklarda bulunan serbest su buharlaşır ve bu durum betonda gerilmeler meydana getirir. 600 °C'yi geçen sıcaklıklarda kimyasal bünyedeki sularda da bozulmalar meydana gelir. 900 °C'yi geçen ısılarda kimyasal yapı bozulur ve küçük boşluklarda sinterleşme oluşabilir (Alonso vd, 2003a).

Su betonun bünyesinde üç farklı şekilde bulunmaktadır. Çimento hamuru jel yapıdadır ve bu yapıyı oluşturan kalsiyum silikat hidratların (CSH) katı ögeleri adsorpsiyon suyu vasıtasıyla Vander Waals bağlarıyla birbirlerine bağlanmışlardır. Hidrat suları ve jel adsorbe suyu kolaylıkla buharlaşmayan su türleridir. Çimentonun cinsine ve üretim sırasındaki S/Ç oranına göre betonda hacminin %4 'üne kadar bulunabilen serbest su 100 °C'de, kimyasal bağlı su ise 300°C'de buharlaşmaktadır. Yangının ilk aşamasında buharlaşan serbest su, betonda rötreye neden olmaktadır.

Çimento hamuru bağlayıcılık özelliğini kazandıran ve dayanım kazanmasını sağlayan %70-80 tabakalı CSH jeli, %20 Ca(OH)_2 ve diğer kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır (Zhang vd.2002). Ca(OH)_2 çimento hamurunun önemli bileşenlerinden biridir. CSH'nin kimyasal bağlı suyu ve jel suyu 300°C 'den itibaren kaybolmaya

başlamaktadır. Ca(OH)_2 , 400-500 °C civarında sönmemiş kirece dönüşmektedir. Yaklaşık %33 'e varan büzüşme ile bu dönüşüm meydana gelmektedir. Yangın sırasında sıkılan su ile CaO tekrar Ca(OH)_2 'ye dönüşür, bu olay %44 mertebesinde bir hacim artışına neden olur. Oluşan değişimler sonucu beton ufalanır, bünyesinde çatlaklar oluşur ve boşluklu bir yapıya dönüşür. Boşluklu bir yapıya dönüşmüş olan beton Ca(OH)_2 'nin süzülmesine imkân verir ve yangın sonrası yapılan incelemelerde gözlenen kireç lekeleri 550 °C'nin aşıldığını kanıtlar. Yüksek fırın cürufu ve alüminli çimentolarla üretilen betonlarda belirtilen bu hasar oluşmamaktadır.

1.2.1.3. Mineral Katkı Malzemeleri

Farklı çevre şartlarına maruz betonların servis gördükleri ortamlarda daha iyi performans gösterebilmesi için betonlar geliştirilmektedir. Bu betonlarda gerek kimyasal gerekse mineral katkı malzemeleri kullanımı sıkça yapılmakta, performans yanında yüksek dayanımlara da ulaşılabilmektedir.

Yüksek dayanımlı ve dayanıklı betonlar, üzerinde birçok açıdan inceleme yapılan bilimsel konular arasında yer almaktadır. Betonarme yapılarda kullanılan yüksek performanslı beton birçok açıdan avantajlara sahip olsa da gevrek yapıda olması en zayıf yönüdür (Poon vd.2004).

Yüksek performanslı beton hazırlamada silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin kullanımı en etkili yoldur (Poon vd.2004). İçeriğinde silis dumanı bulunan betonların yüksek sıcaklıklara dirençleri, kullanılan katkı maddesinin oranına ve dayanım düzeyine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İçeriğinde %20'nin üzerinde silis dumanı bulunan yüksek dayanımlı betonların dirençleri normal betonlara göre azdır. Kılcal boşlukların boyutu yüksek dayanımlı betonlarda küçük olduğundan bu kılcal boşluklarda buhar basınçları artmakta ve betonda büyük gerilmeler meydana gelmektedir. Buhar basıncında meydana gelen değişimler betonda dağılmalara ve patlamalara neden olmaktadır (Yeğinobalı 2002; Baradan vd.2002; Yüzer vd. 2004a).

Uçucu küller, sıcaklığın ve basıncın etkisiyle 121-149 °C'ler arasında tobermorit jeli oluşturarak betonun basınç dayanımını %152 oranında arttırmaktadır. Oluşan tobermorit jeli termal uyumsuzluk gösteren agrega ile çimento hamuru ara yüzünü güçlendirerek mikro çatlak oluşumunu engellemektedir. Yüksek fırın cürufu diğer puzolanlara göre yüksek sıcaklıklarda en iyi performansı göstermektedir. İçeriğinde silis

dumanı bulunan betonlarda yüksek sıcaklıklara karşı direnç katkı miktarına ve dayanım düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Silis dumanı katkılı betonlar hariç tüm puzolan katkıları, katkısız betonlara oranla yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans göstermektedirler (Poon vd.2001, Yeğınobalı,2002).

1.2.1.4. Liflerin Etkisi

Betonlar mekanik dayanımların iyileştirilmesi, gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilebilmesi için liflerle donatılmaktadır. Çelik teller, polipropilen liflerin, asbest lifi, özel cam lifleri, karbon lifleri ve selüloz, sisal, hindistan cevizi lifleri gibi bitkisel lifler çimento harçları ve betonların donatılmasında kullanılmaktadırlar (Ersoy,2001). Polipropilen lifler, betonun yangın dayanımını düşük ergime noktalarından dolayı iki şekilde etkilerler. Yüksek sıcaklıkla sıvılaşılan lif yakınında bulunan boşlukları doldurur, fakat daha sonra organik bileşenlerinin bir kısmının buharlaşması sonucu poroziteyi artırırlar. Böylelikle yüksek sıcaklığa maruz betonlarda daha fazla boşluğun oluşması sağlanmış olur. Bu boşluklar yüksek sıcaklığa maruz beton içerisinde havanın ve nemin meydana getirdiği basıncın bir kısmını karşılar. Böylelikle betonun yüksek sıcaklıktan zarar görmesini belirli süre engellenmiş olur. Kullanılan lif içeriğiyle porozitedeki artış orantılıdır. Yüksek performanslı betonların parça atmalarını engelleyebilmek için içeriklerine ağırlıkça %0,05-0,1 oranlarında polipropilen lifler eklenir. Bu eklenen polipropilen lifler 160 °C civarında eriyerek porozitenin gelişmesini kolaylaştırır ve açık boşluklar oluşturarak buhar basıncını azaltırlar. Bu durumda liflerin betonun yüksek sıcaklığındaki ikinci etkisidir.

500 °C'nin üstünde okside olan çelik lifler yüksek sıcaklıklarda betonda çatlak oluşumuna katkıda bulunurlar. Okside olan çelik liflerinin hacmi, çevresindeki dehidrat çimento hamuruna basınç uygular ve çatlakların ilerlemesini kolaylaştırır (Alonso vd.2003a).

1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betonun Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Yüksek sıcaklık etkisi altındaki betonda, ısı yayılımı, ısı iletkenliği, ısı genleşme, özgül ısı, birim ağırlık ve renk gibi fiziksel özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Beton yüksek sıcaklık etkisinde kaldığında, düşük ısı iletkenliğine sahip

yüzey tabakası oluşmakta ve ısı yayılımı azalmaktadır. Bu durumda yüksek sıcaklığa maruz kalmış yüzey ile betonun iç yüzeyleri arasında sıcaklık farkları oluşmaktadır (Akçaözoğlu,2012).

Beton kalıbına yerleştirilme sırasında plastik kıvamdadır yani ıslak, boşluklu bir malzemedir. Taze betondaki suyunun bir kısmını hidrasyon reaksiyonları ile kimyasal yolla bağlanır, bir kısmı buharlaşarak bünyeden uzaklaşır, bir kısmı da beton içerisindeki boşluklarda kalmaktadır. Sertleşmiş beton her ortam sıcaklığında belli bir miktar neme sahip olmaktadır. 70 °C’de normal ve yüksek dayanımlı betonların ilk kütlelerinin %99’u korunmaktadır. Betondaki serbest su 70 ile 120 °C arasında buharlaşmaktadır. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar 120°C’de aynı miktarda su kaybetmektedirler. 120 ile 300 °C arasında sertleşmiş betonda bulunan bağlı suyun kuruması sonucu %7 civarında en yüksek kütle kaybı meydana gelmektedir. Yüksek dayanımlı betonlarda daha az kalsiyum hidroksit bulunduğundan artan sıcaklıklarda kayıplar daha azdır. (Cülfik,2001). Sıcaklık yükseldikçe betonun yoğunluğunda önemli bir değişim olmamaktadır. Bu değişim serbest suyun buharlaşmasıyla meydana gelen ısı genleşmenin yol açtığı hacim artışıyla da ilişkilidir. Sıcaklığın artmasıyla boşluklardaki suyun buharlaşması sonucu ağırlık azalır, genleşme nedeniyle hacim artmaktadır (Aköz vd.1995).

Yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde önemli değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu değişikliklere bakılarak betonun maruz kaldığı maksimum sıcaklığın tahmin edilebilmekte ve özellikle silisli nehir agregaları ile üretilen betonlarda renk değişiminin belirgin olarak görülmektedir. Örneğin silisli nehir agregalı betonlarda renk pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600 °C’ye, gri ise 600-900 °C’ ye yükseldiği anlaşılmaktadır (Neville, 2000; Cioni vd., 2001).

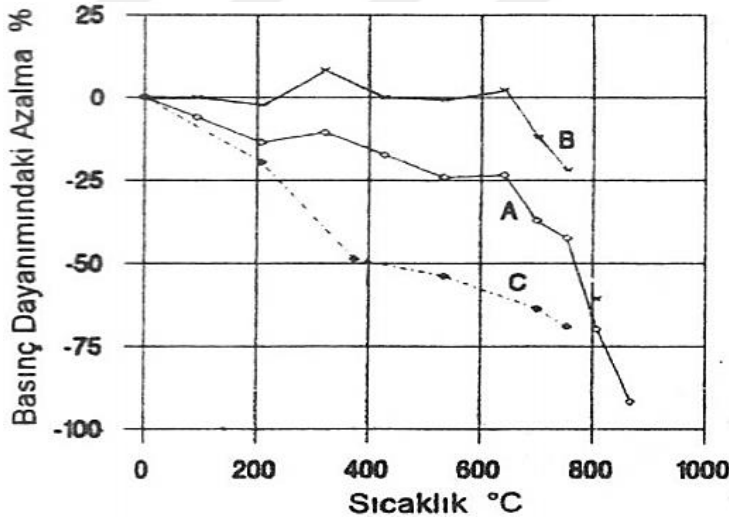
1.2.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

Betonarme yapılar, yangın, termal şok, endüstriyel uygulamaları vb. durumlarda yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Beton elemanlar ve taşıyıcı duvarlar yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında yapılarında önemli hasarlar meydana gelmektedir (Cülfik ve Özturan,2001). Yüksek sıcaklıklardaki betonun mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

1.2.3.1. Basınç Dayanımı

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımına çeşitli faktörler etki etmektedir. Kullanılan malzemelerin özellikleri, sıcaklığa maruz kalınan süre, nem durumu, ısınma ve soğuma hızı, yükleme durumu gibi çevresel faktörler etken olmaktadır (Neville,2000).

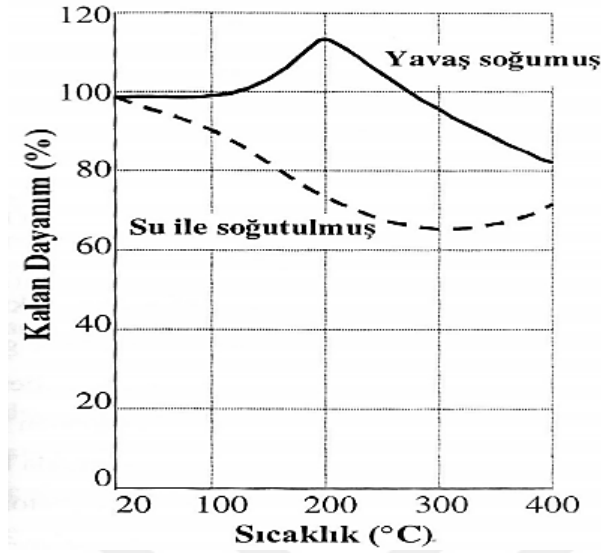
Şekil 2, betonun yükleme koşullarına göre basınç dayanımının sıcaklıkla değişimini göstermektedir (Neville,2000). Şekil 2’de verilen A grubu numuneler herhangi bir yüklemeye maruz kalmadan ısıtılan, B grubu numuneler basınç dayanımlarının %40’ı kadar bir gerilme altında iken ısıtılan, C grubu numuneler ise ısıtılıp 7 gün 21°C’de bekletilen numunelerin basınç deneyi sonuçlarını temsil etmektedir. Yüklü numunelerde 600 °C’de dayanım kaybı görülmemiştir. Yüksüz numunelerde %25, ısıtmadan 7 gün sonra basınç deneyi yapılan grupta ise %60 şeklinde dayanım kayıpları oluşmuştur (Neville,2000). Şekil 2’de C grubu numuneler yüksüz durumda ısıtma ve soğutma sonrası sonra basınç dayanımlarının belirlenmesi yönteminin daha güvenli bölgede olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Betonun basınç dayanımının yükleme durumuna göre sıcaklıkla değişimi (Neville,2000)

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun basınç dayanımına soğutma türünün de etkisi vardır. Basınç dayanımının soğutma şekline bağlı olarak sıcaklıkla olan değişimi Şekil 3’te gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi su ile soğutulmuş numunelerin havada soğutulmuş numunelere göre basınç dayanımlarında meydana gelen azalma daha fazladır

(Neville,2000; Yüzer vd.2004b.).



Şekil 3. Basınç dayanımının soğutma şekline göre sıcaklıkla değişimi (Neville, 2000)

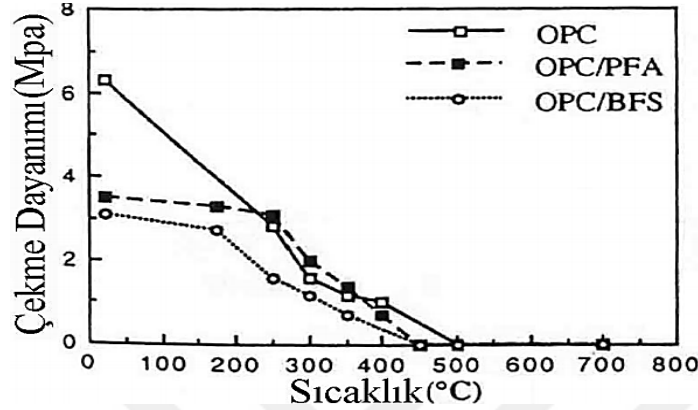
Kum ve iki farklı cüruf kullanılarak üretilen farklı su/çimento oranlarına sahip boyutları 7,5x15 cm olan numuneler 600 °C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklığa maruz bırakılarak iki saat bekletilmiştir. Havada soğutulan numunelerin basınç dayanımlarında görülen azalmanın suda ve fırında soğutulan numunelere kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise betonun atmosferik ortama maruz kalması durumunda betonda CaO'nun CaCO₃ 'e dönüşmesi sonucu hacimsel olarak değişimine ve betonda çatlaklıklar oluşmasına zemin hazırlar (Shoaib vd. ,2001).

Lea ve Straaling ise betonda 300 °C'ye kadar olan dayanım artışına dikkat çekmişlerdir. Çimento ile agrega arasındaki aderans silisli agregalarda yüksek olduğundan silis esaslı agrega ile üretilen betonların dayanımındaki artış daha fazla olduğunu ifade edilmiştir (Savva vd.,2005).

1.2.3.2. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, çoğunlukla eğilmede çekme ve yarma deneyleri sonuçları ile incelenir. Silindir numuneler farklı sıcaklıklar altındayken ve soğutulduktan sonra yarma deneyleri yapılır. Bu deneylerden elde edilen çekme dayanımlarında 100 °C'den itibaren önemli düşüşler olmakta ve 600 °C'de %70 oranlarında kayıplar meydana gelmektedir (CEB,1991).

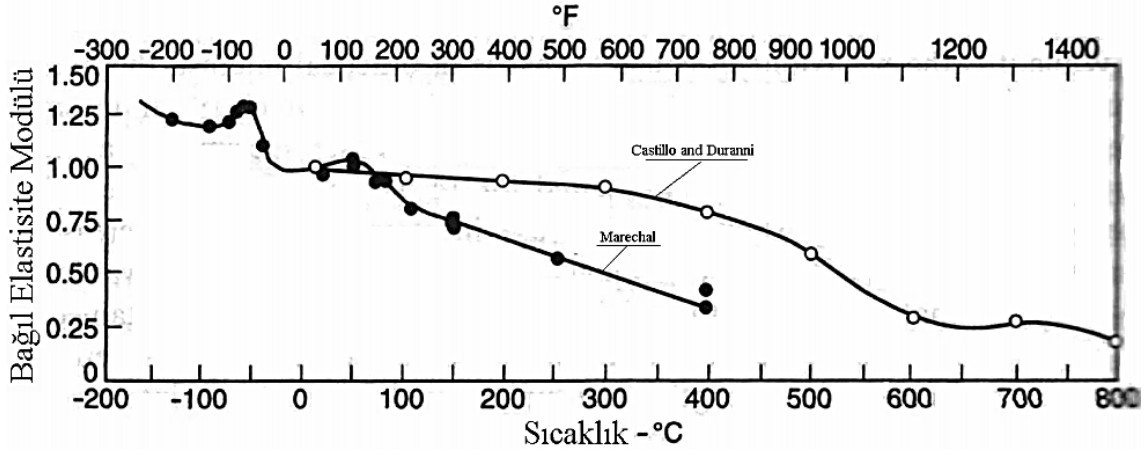
Şekil 4’te Guise vd. tarafından yapılan deneysel çalışmada katkılı ve katkısız beton numunelerin çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Burada gözüktüğü gibi 200 ve 300 °C’de eğilmede çekme dayanımında önemli ölçüde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Guise vd., 1996).



Şekil 4. Puzolan katkılı ve katkısız betonların çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi (Guise vd., 1996)

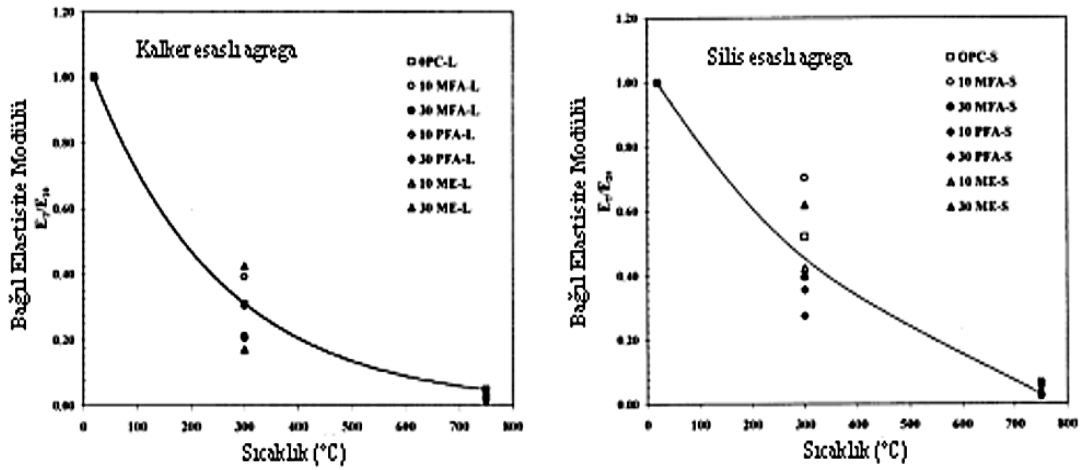
1.2.3.3. Elastisite Modülü

Elastisite modülüne bağlı olarak betonarme yapıların davranışlarında değişimler meydana gelmektedir. Elastisite modülü sıcaklıktan oldukça fazla etkilenmektedir. Şekil 5’te sıcaklığın betonun elastisite modülüne etkisi gösterilmiştir. Şekil 5’teki betonların 21 °C ile 96 °C’ler arasında elastisite modülünün değerinde herhangi bir değişiklik yoktur. Ancak elastisite modülünün değeri 121 °C’ye ulaştığında azalmaktadır. 50 °C ile 800 °C’ler arası su betondan uzaklaşmaktadır ve buna bağlı olarak elastisite modülündeki azalmalar artarak devam etmektedir. Şekil 5’te görüldüğü gibi genel olarak dayanımdaki azalma ile elastisite modülündeki azalma benzer eğilim göstermektedir (Neville,2000).



Şekil 5. Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi (Neville, 2000)

Şekil 6 'da farklı tür beton numuneleri için sıcaklık elastisite modülü ilişkisi grafikleri görülmektedir. Farklı tür ve oranlarda puzolan katkılı silis esaslı ve kalker esaslı agregaya ile üretilen betonlarda yapılan deneysel çalışmalarda sıcaklıklara maruz kalınması durumunda elastisite modülünde sürekli bir azalış görülmüştür. Bu azalışın daha fazla olduğu gruplar kalker esaslı agregaya ile üretilen gruplardır (Savva vd.,2005).



Şekil 6. Farklı beton numuneleri için sıcaklık-elastisite modülü ilişkisi(Savva vd.,2005)

Bir başka çalışmada ise uçucu kül kullanılarak yapılan 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir beton numunelerde yüksek sıcaklık etkisinden sonra uçucu kül içeren betonlarda elastisite modülündeki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür (Papayianni vd.2005)

1.3. Literatür Özeti

Betonun yangın dayanımını artırmak için polimer lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer esaslı liflerle donatılı betonlarda yüksek sıcaklıkta polimer lifler erimekteirler. Yüksek sıcaklıkta eriyen liflerin oluşturduğu boşluklardan beton içerisinde genleşen hava dışarı çıkarak ya da oluşan boşlukların beton içerisindeki buhar basıncını düşürerek betonun zarar görmesi azalmakta ve betonun dağılıp parçalanması geciktirilmektedir. Alaskar vd (2021) çalışmalarında yüksek dayanıma sahip betonların yüksek sıcaklık dayanımını artırmak için %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 oranlarında bazalt lifler kullanarak betonlar üretmişlerdir. Bu beton numunelerine, 300 °C ve 600 °C 'ta yüksek sıcaklık uygulamışlar bir grup numuneyi de oda sıcaklığında tutmuşlardır. 300 °C'de bekletilen kontrol numunelerinde 70,3 MPa ölçtüğü basınç dayanımını %0.25 bazalt lifi ilaveli betonlarda 71.3 MPa ölçmüştür. Alaskar vd (2021) bu farkın 300 °C' deki sıcaklıktaki lifin katısından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ancak lif içermeyen betonlarla lif içeren betonların basınç dayanım değerlerine bakıldığı zaman basınç dayanımlarının birbirine oldukça yakın değerler olduğu anlaşılmaktadır. Alaskar vd (2021) 600 °C 'ye maruz betonlarda lif ilavesinin basınç dayanımın azalma oranını belirgin olarak etkilediğini belirtmişlerdir. 600 °C 'ye maruz betonlarda %0, %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 oranlarında lif içeren betonlarda basınç dayanımları normal sıcaklıkta bekletilen numunelerin basınç dayanımına göre sırasıyla %28.4, %30.5, %30.7, %28.9 ve %34.3 oranlarında tespit etmişlerdir. 600 °C 'ye maruz betonlarda yaklaşık %70 oranında, 300 °C'ta %24 oranında basınç dayanımlarında azalma olmuştur. Lif ilavesi yüksek sıcaklığa maruz betonların basınç dayanımlarında %0.5 ile %5.9 oranında azalma olmasına yol açmıştır. Lif ilavesi betonun yangına karşı direncini artırmıştır.

Guo vd. (2021) yaptıkları çalışmada kütlece %1 oranında 5,7 ve 10 mm uzunluğunda fiber karbon lifleri betonarme elemanlara katarak bu elemanların yangına karşı eğilme, basınç ve çekme dayanım kayıplarını belirlemişlerdir. Karbon liflerin betonun yangın dayanımını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Gua vd. (2021) karbon fiber ilavesinin betonun kıvamını azalttığı, priz başlama süresini uzattığını belirtmişlerdir. Karbon fiber katılı ve katısız betonarme elemanları 400, 600 ve 800 °C'de ikişer saat yüksek sıcaklığa maruz bırakmışlardır. Bir grup betonarme elemanda oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Lif içermeyen betonarme elemanlarının basınç dayanımlarında yaklaşık 400 °C'de %20, 600 °C'de %25 ve 800 °C'de %60 oranında azalma tespit

etmişlerdir. Guo vd. karbon fiber ilave edilip yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonarme elemanlarda lif ilavesi betonarmenin yüksek sıcaklığa maruziyetinden sonraki basınç dayanımında daha az azalmaya yol açtığını belirtmişlerdir. %1 oranında 10 mm karbon lifleri kullanılan betonlarda en az yangın sonrası basınç kaybına rastlamışlardır. Lif içermeyen betonlara göre lif içeren betonların 800 °C’de basınç dayanımını azalmasında yaklaşık %5 civarında iyileşme sağlamışlardır.

Mathews vd. (2020) 0.52, 0.46, 0.40 ve 0.34 su/çimento oranında 325, 368,408 ve 455 kg/m³ çimento dozajına sahip betonlar üretilip bu betonların yüksek sıcaklık altındaki mekanik özellikleri üzerindeki değişimleri ölçmüşlerdir. Hazırlanan betonlar 60 dakikada 925 °C ’ye ulaşacak şekilde yüksek sıcaklığa maruz bırakmışlardır. Numuneler yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra oda sıcaklığında bekletilerek soğumaları sağlanmıştır. Yüksek ısıya maruz bırakılan betonların basınç dayanımında Su/çimento oranı büyükten küçüğe doğru sırasıyla %39, %41, % 42 ve %46 oranında basınç dayanımlarında azalma olmuştur. Mathews vd. (2020) su/çimento oranı düşük, basınç dayanımı yüksek betonlarda en yüksek basınç dayanım kaybına rastlamışlardır.

Uygunoğlu vd., (2016) dış sıva kaplama kalınlığının ısı yalıtım sistemlerinin ısı yalıtım performansına etkilerini araştırmıştır. Taş yünü, ekspande polistren ve ekstrüze polistren malzemelerinin yalıtım özellikleri ile birlikte bu kaplamaların üstündeki sıvalar üzerinde incelemeler yapmışlardır. Uygunoğlu vd., (2016) bir saat süresince 20 ile 600 °C arasındaki sıcaklıkta tutulan sıvaların basınç dayanım azalmalarını ölçmüşlerdir. 20 °C ortam sıcaklığında 20 MPa dayanıma sahip sıvalarda 200 °C, 400 °C ve 600°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra sırasıyla %32, %55 ve %58 oranında, 5 MPa oda sıcaklığında eğilme dayanımında ise sırasıyla %43,%55 ve %80 oranında azalma tespit etmişlerdir. Uygunoğlu vd., (2016) sıva basınç dayanımındaki azalmayı boşluklardaki su buhar basıncının etkisiyle meydana gelen sıvadaki çatlaklara ve yüksek sıcaklık etkisiyle CSH yapısındaki bozulmaya bağlamışlardır.

Reddy ve Ramaswamy (2017) çalışmasında yüksek sıcaklığa maruz betonlarda mineral katkıların ve agreganın etkisini incelemişlerdir. Yüksek sıcaklığa maruz betonlarda gözeneklerdeki suyun genleşmesiyle oluşan patlama etkisiyle beton dökülmeleri ya da ısı etkisiyle malzemenin bozulması sonucunda termal beton dökülmeleri oluşmaktadır. Reddy ve Ramaswamy (2017) granit agregalı ve içerisinde demir cevheri bulun agrega ile sadece çimentolu ve uçucu kül ikameli çimentolarla hazırladığı 28 günlük ve 365 günlük beton numunelerini farklı gerilmeler altında 200 °C,

374 °C, 500 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarda 12 °C/dakika sıcaklık artışına sahip fırında yüksek sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. 0.4 su/ çimento oranına 385 kg/m³ çimento dozajına sahip betonlarda farklı yüklere maruz bırakıldıktan sonra yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve oda sıcaklığındaki beton numunelere göre yüksek sıcaklığa maruz betonların basınç dayanımında yaklaşık olarak 200 °C’de %3, 374 °C’de %20, 500 °C’de %40, 700 °C’de %55 ve 800 °C’de %75 oranında azalma tespit etmiştir. %40 uçucu kül ilaveli çimentolarla ürettiği betonlarda 800 °C ’deki basınç dayanımındaki azalma %80 oranlarına kadar varmıştır (Reddy ve Ramaswamy, 2017).

Molay vd. (2019) üç farklı tip agrega ile 0.47 su/çimento oranına sahip betonların 300, 600 ve 900 °C sıcaklığına maruz kaldıktan sonraki basınç dayanımlarındaki azalmaları ölçmüşlerdir. Molay vd. (2019) kullandıkları agrega tipine göre 600 °C sıcaklığında %10 ile %35 oranlarında, 900 °C sıcaklığında ise %65 ile %75 oranlarında basınç dayanımlarında azalmalar tespit etmişlerdir.

Shen ve Xu (2019) yaptıkları çalışmada betonun nem içeriği, boşluk miktarı yüksek sıcaklıkta betonun basınç dayanımını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Bir metreküp betona 380 kg çimento ile 190 kg su katarak ürettikleri betonları suya doymun hale getirerek 20 °C, 40 °C, 105 °C, 150 °C, 200 °C, ve 250 °C’de vakum derecesi 0.3-0.4 Torr ’a ulaşınca kadar ısıtıp betonların basınç dayanımını ölçmüştür. 20 °C’de %100 doymun betonların basınç dayanımına göre 40 °C’de ısıtılıp %0 neme düşürülen betonların basınç dayanımında %10’lük bir artış meydana gelmiştir. 105 °C’de %0 neme sahip betonların basınç dayanımı da 20 °C’de %100 doymun betonların basınç dayanımına göre 55 artış göstermiştir. 200 °C’de farklı nem içeriklerine sahip betonlarda 20 °C’de %100 doymun betonların basınç dayanımına göre %9 ile %20 arasında değişen azalmalar tespit etmiştir. 250 °C’de farklı nem içeriklerine sahip betonlarda 20 °C’de %100 doymun betonların basınç dayanımına göre yaklaşık %19 ile %30 arasında değişen azalmalar tespit etmiştir.

1.4. Yapılan Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı yapılarda kullanılan sıvalar ile betonun yangına karşı korunmasını sağlamaktır. Betonun, basınç dayanımı, boşluk yapısı, nem durumu, kullanılan agrega cinsi, kullanılan mineral katkıları, lifler, lif türleri, yüksek sıcaklığa maruz kalma süresi gibi birçok etken betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığını etkilemektedir. Özellikle 600 °C ’yi geçen sıcaklıklarda betonda lif kullanımı veya beton

tasarımı ile yapılan düzenlemelerde beton dayanımında yaklaşık %5 oranlarında iyileşmeler sağlandığı ilgili literatür incelendiğinde görülmektedir. Bu durum betonlarda özellikle yalıtım sıvaları kullanılarak betonun yüksek sıcaklıktan daha yavaş etkileneceği ve basınç kaybında daha az azalma olacağı fikrini doğurmuştur. Bu çalışmada farklı sıva türleri ve kalınlıkları kullanılarak betonun yüksek sıcaklık altındaki dayanım kaybını azaltmak hedeflenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, yüksek ısıya maruz betonlarda sıvanın ve ısı yalıtım sıvasının beton basınç dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında C30/37 sınıfı üretilen 140 adet 10 cm 'lik beton küp numuneleri her birinden ikişer tane olmak üzere 1, 2 ve 3 cm kalınlığında kaba sıva ve mantosür ismiyle piyasada satılan ısı yalıtım sıvasıyla kaplanmışlardır. Bu beton numuneleri 300 °C , 450 °C ve 600°C' de 60, 90 ve 120 dakika bekletildikten sonra numunelerin sıvaları sıyrılıp basınç dayanımları ölçülmüştür. Aynı uygulamalar sıvasız 10 cm 'lik küp beton numuneleri ile de yapılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan sıvasız, kaba sıvalı ve ısı yalıtım sıvalı beton numunelerinin basınç dayanımlarındaki değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen değerlere göre sıcaklık, sıva kalınlığı ve basınç dayanımı arasında bağıntı kurulmuştur.

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Çimento

Beton malzemelerin hazırlanmasında bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1' e uygun CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır.

2.1.2. Agrega

Şekil 7'de görülen kaba agregası, ince doğal agregası ve kırma ince agregası betonların üretiminde kullanılmıştır.



Şekil 7. Betonda kullanılan iri agrega ve ince agregalar

Üç sınıf agregaya uygulanan elek analizi sonuçları Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 1. Kırma ince agrega elek analizi sonucu

Elek Açıklığı(mm)	Elek Üzerinde Kalan kütle (gr)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Kütle (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığılımlı %	Elekten Yığılımlı %	Geçen
8	0	0	0	100	
4	635,26	635,26	31,8	68,2	
2	696,96	1332,22	66,6	33,4	
1	397,97	1730,19	86,5	13,5	
0,50	141	1871,19	93,6	6,4	
0,25	73,75	1944,94	97,3	2,7	
Elekalı	55,06	2000	100	0	

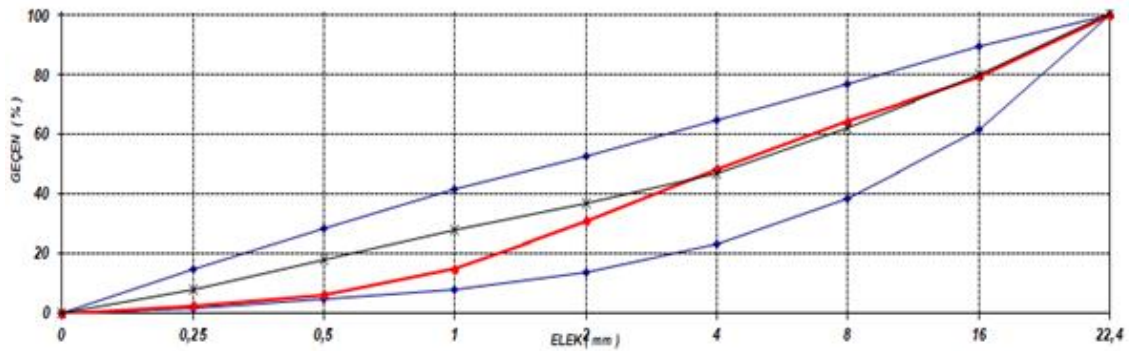
Tablo 2. İnce doğal agrega elek analizi sonucu

Elek Açıklığı(mm)	Elek Üzerinde Kalan kütle (gr)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Kütle (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığılımlı %	Elekten Yığılımlı %	Geçen
8	0	0	0	100	
4	179,4	179,4	8,9	91,1	
2	423,9	603,3	30,2	69,8	
1	675,4	1278,4	63,9	36,1	
0,50	429,7	1708,4	85,4	14,6	
0,25	180,8	1889,2	94,5	5,5	
Elek altı	110,8	2000	100	0	

Tablo 3. Kaba agrega elek analizi sonucu

Elek Açıklığı(mm)	Elek Üzerinde Kalan kütle (gr)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Kütle (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığılımlı %	Elekten Yığılımlı %	Geçen
32	0	0	0	100	
16	1025,22	1025,22	51,3	48,7	
8	742,1	1767,32	88,4	11,6	
4	197,75	1965,07	98,3	1,7	
2	22,45	1987,52	99,3	0,7	
1	1,7	1989,22	99,4	0,6	
0,50	1,05	1990,27	99,5	0,5	
0,25	1,48	1991,75	99,6	0,4	
Elekalıtı	8,25	2000	100	0	

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te görülen agrega tane dağılımına sahip üç agrega sırasıyla %30, %30 ve %40 oranlarında karıştırılmışlardır. Şekil 8'de TS 802 (1985) standardına göre verilen kalınlık sınırı, ideal sınır ve incelik sınırı ile karışım agregasına ait granülometri eğrileri görülmektedir.



Şekil 8. Karışım agregasının granülometri eğrisi

Beton üretiminde kullanılan agregaların özgül ağırlık, su emme ve nem içerikleri ölçülmüştür. Şekil 9'da görülen ince agreganın özgül ağırlığı belirlenirken, bir miktar malzeme 24 saat suda bekletilmiştir. 24 saat boyunca suda bekletilen ince agreganın suyu süzölmüş ve kurutma makinesiyle doymun kuru yüzey haline gelinceye kadar kurutulmuştur. Abraham hunisiyle ince agreganın doymun kuru yüzey hale gelip gelmediğı kontrol edilmiştir. Doymun kuru yüzey (DKY) hale gelen ince agregadan 500 gram civarında malzeme alınmıştır. DKY ince agrega balon joje içerisine konulup balon

jojedeki çizgiye kadar su doldurulup tartılmıştır. Bu tartı sonucu A değeri hesaplanmıştır.

$$A = \text{İnce agreg} + \text{balon joje} + \text{su}$$

Balon joje içerisindeki ince agreg ve su boşaltılıp ince agreg kuru kütleye (M_k) gelinceye kadar etüvde bekletilip ince agreganın kuru kütlesi (M) tartılmıştır. Balon joje sadece su ile doldurulup B ölçülmüştür.

$$B = \text{Balon joje} + \text{Su}$$

İnce agregaların yoğunluğu denklem 1'e göre bulunur. Bu yoğunluk değeri suyun 4 °C'ta ki yoğunluğuna bölünerek ince agregaların özgül ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{M}{M+B-A} \quad (1)$$



Şekil 9. İnce agreg özgül ağırlık deney aşamaları

Şekil 10'da görülen iri agreganın özgül ağırlığı belirlenirken bir miktar malzeme 24 saat suda bekletilmiştir. Daha sonra numune su içinden çıkartılıp suyu süzülüp, kuru bir bez yardımı ile yüzeyindeki su filmi tabakası silinip doygun kuru yüzey durumuna getirilmiştir. DKY iri agregadan bir miktar malzeme alınıp terazide tartılmıştır (M). Sonra aynı kütle terazide su içinde tartılarak su içerisindeki kütlesi ölçülmüştür (M_s). İri agreganın yoğunluğu Denklem 2'e göre bulunmuştur.

$$\rho = \frac{M}{M-M_s} \quad (2)$$

Hesaplanan yoğunluk değeri suyun 4 °C 'daki yoğunluğuna bölünerek iri agregaların özgül ağırlıkları hesaplanmıştır. İri agreganın su emmesi belirlemek için özgül ağırlık deneyi için kullanılan iri agreg sabit kütleye kadar kurutulup DKY kütleden

kuru kütle çıkarılıp çıkan sonucun kuru kütleyle bölünmesiyle ince ve iri agreganın su emme değerleri Denklem 3'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme} = \frac{M - M_k}{M_k} \quad (3)$$



Şekil 10. İri agrega özgül ağırlık deney aşamaları

Tablo 4'te iri ve ince agregaların özgül ağırlıkları görülmektedir. Tablo 4'teki nem içeriği değerleri beton üretimi sırasında agregalardan hesaplan ve betonların nem düzenlemesinde kullanılan değerlerdir.

Tablo 4. Özgül ağırlık, Su Emme ve Nem İçeriği değerleri

	Kırma kum	Doğal Kum	İri agrega
Özgül Ağırlık	2,47	2,53	2,78
Su Emme(%)	5,68	3,42	2,06
Nem İçeriği(%)	1,98	3,93	1,12

2.1.3. Isı Yalıtım Sıvası

Piyasada hazır olarak satılan ısı yalıtım sıvası (Mantosür) bu çalışmada kullanılmıştır. Kullanılan ısı yalıtım sıvası piyasada Mantosür ismiyle satılmaktadır. Isı yalıtım sıvası kullanım kılavuzunda belirtildiği gibi 1 kilogram sıva malzemesine 1 kilogram su katılarak karıştırılmasıyla (Su/ısı yalıtım sıvası=1/1) hazırlanmıştır.

2.2. Beton Karışım Oranları

Beton karışım hesabı TS 802'ye göre yapılmıştır. C30/37 beton dayanımına sahip çökmesi 18 cm olan betonlar üretilmiştir. Betonlarda kullanılan malzeme miktarları Tablo 5'da görülmektedir.

Tablo 5. Betonda kullanılan malzeme miktarları (1 m³ için)

Malzeme	Miktar (kg)
Kum(kg)	517
Kırma kum(kg)	505
İri agregat(kg)	757
Çimento(kg)	396
Su(kg)	178
Katkı(kg)	3,96
Hava(%)	1

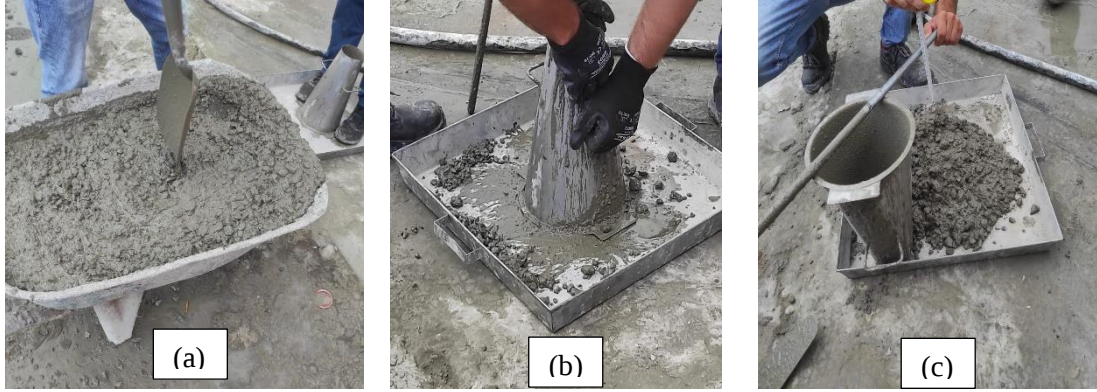
Beton üretimi yapılırken pan tipi beton mikseri kullanılmıştır. Beton mikserin içerisine Şekil 11'deki gibi önce kaba agregat, ince agregat ve çimento konulmuştur. Daha sonra mikser kısa süreli çalıştırılarak kuru karışımın karışması sağlandıktan sonra su ve kimyasal katkı katılarak taze beton hazırlanmıştır.



Şekil 11. Betonun Pan tipi mikserde karılması

Homojen kıvama gelen beton karışım Şekil 12a.'da gözüktüğü şekilde metal tepsiye dökülmüştür. Taze betonun kıvamını belirlemek için çökme (slump) deneyi her karışıma

uygulanmıştır. Şekil 12 (b) ve Şekil 12 (c)'de çökme deneyi safhaları görülmektedir.



Şekil 12. a) Beton karışımının metal tepsiye dökülmesi, b) Slump deneyinde huninin çıkarılması, c) Çökme miktarının ölçülmesi

Betonlardan 140 adet 10 cm'lik küp beton numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 13'de 10 cm'lik taze betondan alınmış küp beton numuneleri görülmektedir. Bu numuneler 24 saat nemli ortamda bekletildikten sonra kirece doymun 20 °C suda 28 gün bekletildikten sonra yapılacak deneylere hazırlanmışlardır.



Şekil 13. Deneyler için hazırlanan küp numuneler

Beton numuneleri kalıptan çıkardıktan sonra deney yapılncaya kadar 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doymun su içinde kür havuzunda bekletilmişlerdir. Kür havuzundan alınan numuneler, deneylere başlayabilmek için Şekil 14a.'da gözüktüğü gibi belirli bir kısmı ısı yalıtım sıvası, diğerleri ise Şekil 14b.'de gözüktüğü gibi normal sıvayla tüm yüzeyleri sıvanarak hazırlanmışlardır. Bir grup numunede sıvasız olarak deneylere tabi tutulmuşlardır.

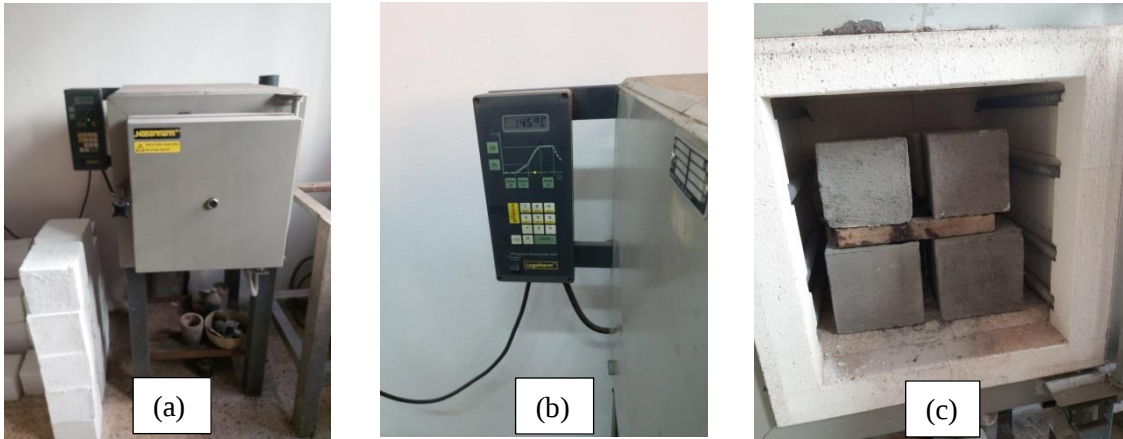


Şekil 14. a) Isı yalıtım sıvası ile hazırlanan numuneler b) Normal sıvayla hazırlanan numuneler

2.3. Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar

2.3.1. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakma

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılacak numuneler laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra Şekil 15 (a)'da gözüken fırın kullanılarak 300°C, 450°C ve 600 °C sıcaklıklarında 60 dakika, 90 dakika ve 120 dakika sürelerinde bekletilmişlerdir. Şekil 15 (b) fırının kumanda panel kısmı olup kumanda kısmına kaç dereceye ne kadar sürede çıkacağı ve istenilen sıcaklıkta ne kadar süre çalışacağı değerleri girilmektedir. Hedef sıcaklığın ± 25 °C'te fırın çalışmaktadır. Numuneler belirlenen süre ve sıcaklıklarda Şekil 15c.'deki görüldüğü gibi fırına yerleştirilerek yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır.



Şekil 15. a)Fırın b)Fırın kumandası c)Numunelerin yerleştirilmesi

2.3.2. Basınç Dayanımı

10x10x10 cm boyutlu beton numuneler, TS EN 12390-3'e uygun olarak Şekil 16'da gözüktüğü gibi 2000 kN kapasiteye sahip tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 16. Basınç dayanımı deneyi

3. BULGULAR

C30/37 sınıfı 140 adet 10 cm 'lik küp beton numuneleri ikişer gruplar halinde tüm yüzeyleri 1 cm, 2 cm ve 3 cm ısı yalıtım sıvası ve kaba sıva ile sıvanmışlardır. Bir grup numunede sıvasız muhafaza edilmişlerdir. Sıvalı ve sıvasız numuneler 300°C, 450 °C ve 600 °C sıcaklıklara 60, 90 ve 120 dakika maruz bırakıldıktan sonra sıvalıların sıvası sıyrılıp basınç dayanım testine tabi tutulmuşlardır. Ölçülen basınç dayanım değerleri Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de görülmektedir. Tablo 6, tablo 7 ve Tablo 8'de yüzeyinde sıva olmayan ve oda sıcaklığında bekletilen beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları da görülmektedir.

Tablo 6. Sıvasız yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları (Mpa)

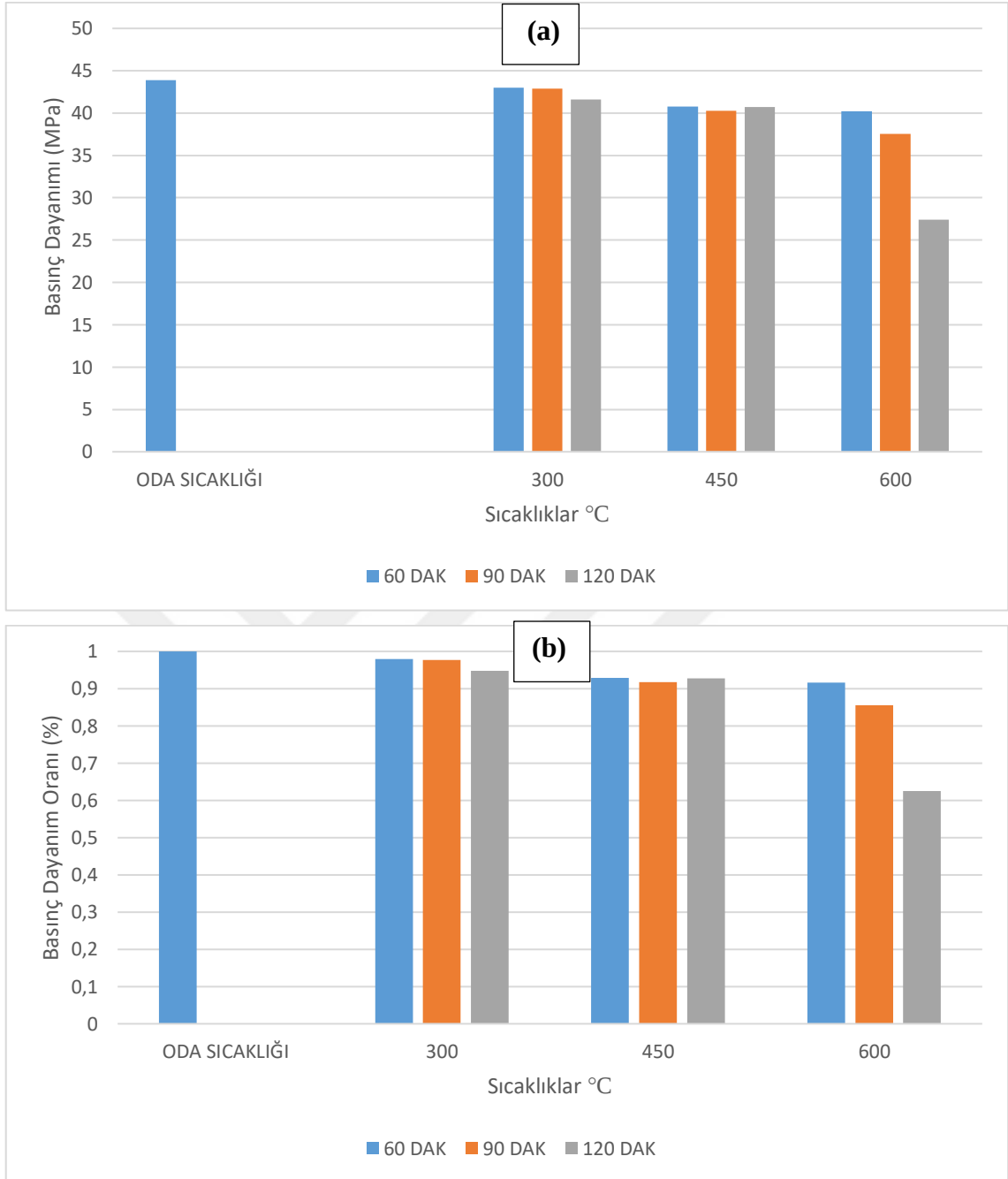
Sıvasız	300°C			450°C			600°C			Oda Sıcaklığı
	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	
	42,995	42,885	41,59	40,765	40,295	40,715	40,23	37,555	27,435	43,895

Tablo 7. Isı yalıtım sıvası (Mantosür) ile kaplanan yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları (MPa)

Isı yalıtım	300°C			450°C			600°C			Oda Sıcaklığı
	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	
	43,015	43,62	43,115	42,585	42,16	38,72	40,22	38	29,38	43.895
1cm	43,015	43,62	43,115	42,585	42,16	38,72	40,22	38	29,38	43.895
2cm	44,775	41,495	40,985	41,165	42,59	39,23	39,90	38,855	30,28	43.895
3cm	44,375	39,43	41,995	40,255	42,635	39,16	42,23	39,585	31,19	43.895

Tablo 8. Normal sıva ile kaplanan yüksek sıcaklığa maruz 10 cm 'lik küp beton numunelerinde ölçülen basınç dayanımları (Mpa)

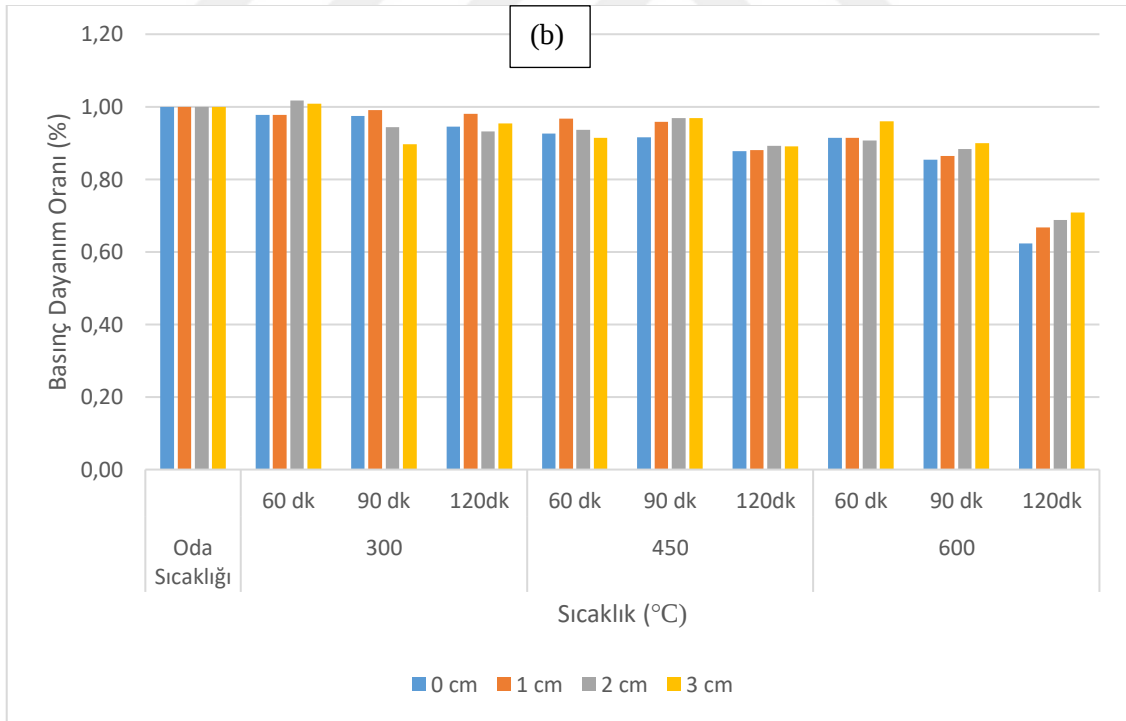
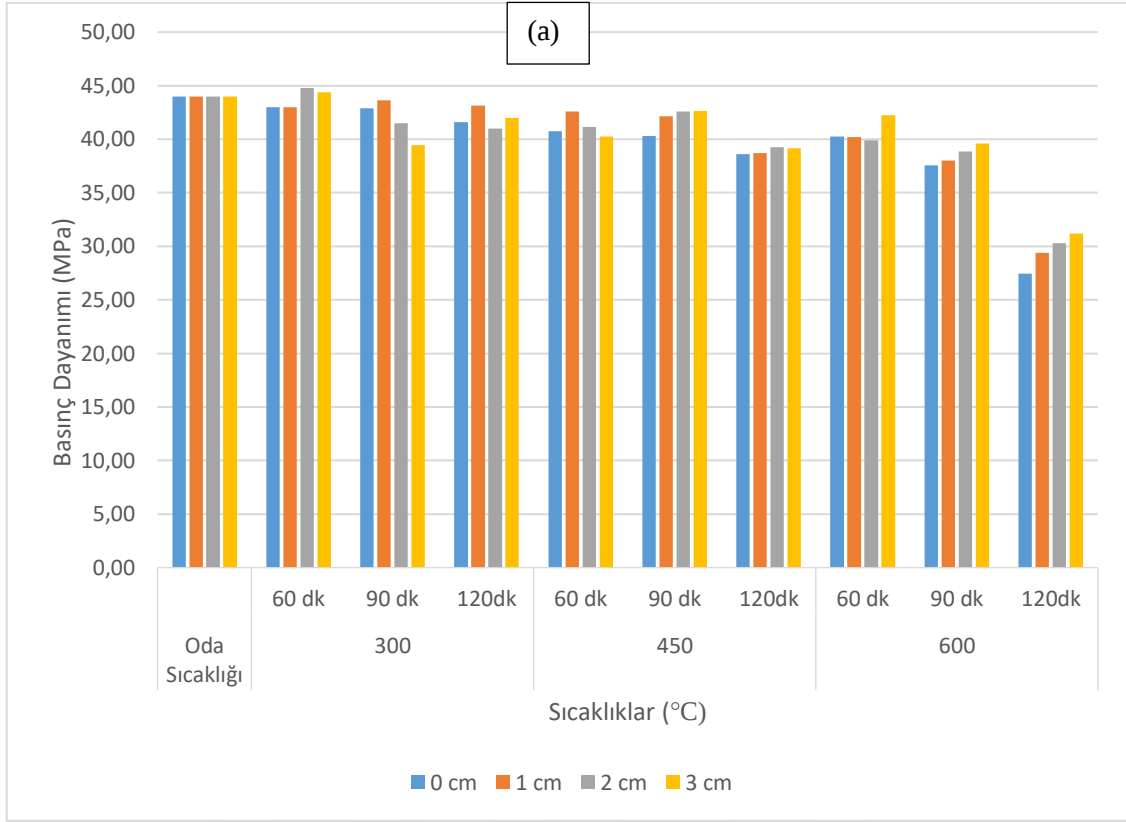
Normal Sıva	300°C			450°C			600°C			Oda Sıcaklığı
	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	60 dk	90 dk	120dk	
	41,055	40,585	39,99	43,02	38,13	41,75	41,85	36,945	26,925	43.895
1cm	41,055	40,585	39,99	43,02	38,13	41,75	41,85	36,945	26,925	43.895
2cm	42,38	38,735	40,29	38,55	41,33	41,315	42,87	38,605	27,74	43.895
3cm	42,675	39,795	38,165	39,715	37,8	39,875	41,985	37,67	28,045	43.895



Şekil 17. (a) Sıvasız betonlarda basınç dayanımları (b) Sıvasız betonlarda beton basınç dayanım oranları

Şekil 17 (a)'da oda sıcaklığında bekletilen ve 300 °C, 450°C ve 600°C'ta 60, 90 ve 120 dakika bekletilen, sıvasız her bir durum için ikişer adet 10 cm'lik küp beton numunelerin ortalaması alınarak belirlenen basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 17 (a)'da C30/37 basınç dayanım sınıfı olarak üretilen ve iki tane 10 cm'lik küp beton numunesi üzerinden hesaplanan ortalama basınç dayanımı 43,9 MPa'dır. 450 °C'ta 120 dakika bekletilen numunelerde basınç dayanımı 27,4 MPa olarak ölçülmüştür. 120 dakika

600 °C'ta bekletilen sıvasız betonların basınç dayanımında standart küre maruz numunelerin basınç dayanımına göre 16,5 MPa'lık bir azalma meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz betonların basınç dayanımlarında 90 dakikayı geçtikten sonra 450 °C'ta 120 dakikada en belirgin basınç dayanımı azalması tespit edilmiştir. Betonun yüksek ısıya maruz kalması durumundaki etkisini araştıran çalışmalar genellikle üç saate varan ya da bu süreyi geçen sürelerde yapılmışlardır. Bu çalışmada yüksek ısıya maruz betonlarda sıvanın betonun basınç dayanımı değişimini nasıl etkilediğini rahat görebilmek için ısı maruziyet süreleri 60, 90 ve 120 dakika olarak belirlenmiştir. Şekil 17 (b)'deki basınç dayanım oranları 300 °C, 450°C ve 600°C'ta 60, 90 ve 120 dakika bekletilen numunelerin basınç dayanımlarının oda sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanımlarına bölünmesiyle elde edilen değerlerdir. Şekil 17(b)'deki değerler sıcaklığa maruziyetten sonra kalan basınç dayanım oranlarını ifade etmektedir. Betonların basınç dayanımında oda sıcaklığında bekleyen numunelere göre 300°C'de 60 dakika bekleyen numunelerin basınç dayanımına göre %2, 90 dakika bekleyenlerde %2 ve 120 dakika bekleyenlerde %5'lik azalma meydana gelmiştir. 450 °C'ta basınç dayanım oranları tüm süreler için %7 oranında olmuştur. En belirgin basınç dayanım oranı azalması 600 °C'ta görülmüştür ve 60, 90 ve 120 dakika için sırasıyla %8, %14 ve %37 oranında tespit edilmiştir. 600 °C'ta 60 dakika bekleyen numunelerde %8 oranında basınç dayanımı kaybı görülürken betonun maruz kaldığı sıcaklık süresinin 120 dakikaya yani iki katına çıkarılması durumunda basınç dayanım kaybı oranı yaklaşık 4 katına çıkmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonda basınç dayanım azalmasında maruziyet sürenin çok önemli bir unsur olduğu anlaşılmıştır.



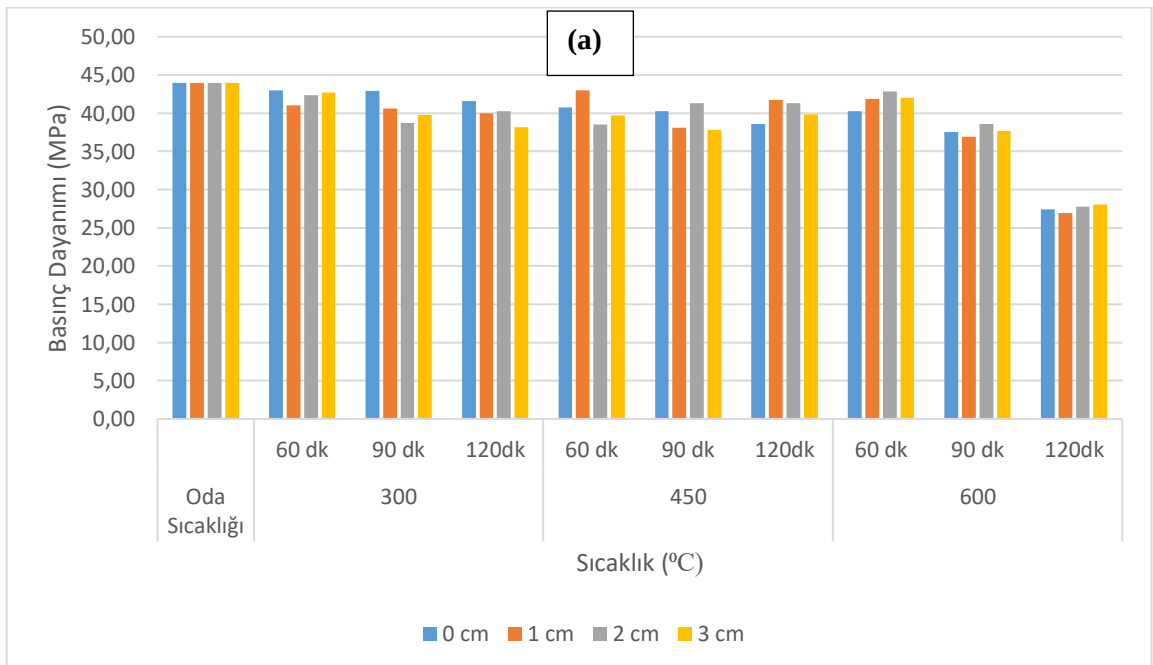
Şekil 18. (a) Oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C’de sıvasız, 1,2 ve 3 cm kalınlıkta yalıtım sıvası ile sıvalı betonlardaki basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları

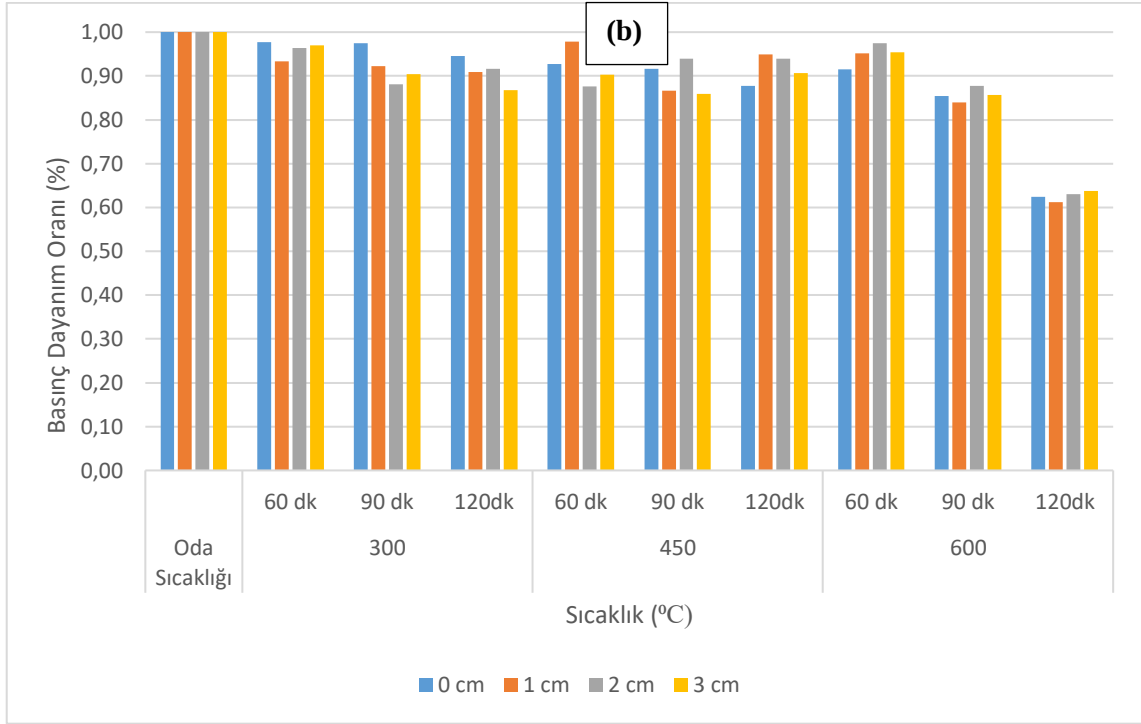
Şekil 18 (a)'da oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C'de 60, 90 ve 120 dakika bekletilen sıvasız, 1, 2 ve 3 cm kalınlıkta sıvalı betonlardaki basınç dayanımları ile oda sıcaklığında bekletilen betonlara ait ortalama basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 18 (a)' da 300 °C'ta dörderli üç sütun görülmektedir. Dörderli sütunlar 0, 1, 2 ve 3 cm sıva kalınlıklı beton dayanımları, I. Sütun 60 dakika II. Sütun 90 dakika III. Sütun 120 dakika sıcaklığa maruz betonlarda basınç dayanımlarını göstermektedir. Aynı durum 450 ve 600 °C'taki numuneler içinde geçerlidir. Laboratuvarda üretilen C30/37 sınıfına ait 10 cm'lik küp beton numunelerinde en düşük 38,9 MPa, en yüksek 48,7 MPa ve ortalama dayanımı 43,9 MPa olan beton dayanımları elde edilmiştir. Bu betonlar rastgele olarak karıştırılarak ikişerli gruplar olarak yüksek sıcaklıklara maruz bırakılıp bu iki numunenin basınç dayanımlarının ortalamaları üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Oda sıcaklığında bekleyen numunelerde ısı yalıtım sıvası ve kaba sıva ile kaplanarak muhafaza edildikten sonra yüksek ısıya maruz betonlarla aynı gün etraflarındaki sıvalar kırılıp döküldükten sonra basınç dayanımları ölçülmüştür. Şekil 18 (a)'da 450 °C'ta bekletilen betonların basınç dayanımlarında 90 ve 120 dakika bekletilen numunelerde yalıtım sıvası betonların basınç dayanımının azalmasını engellemiştir. Yalıtım sıva kalınlığı 3 cm olması durumunda 450 °C'ta sıvasız betonlara göre %7 oranında daha az beton basınç dayanım azalması görülmüştür. 600 °C sıcaklığında bekletilen numunelerde sıvasız numunelere göre 3 cm kalınlığındaki ısı yalıtım sıvasında basınç dayanımları daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Şekil 18 (b)'de yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda ölçülen basınç dayanımının oda sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımına bölünmesiyle elde edilen basınç dayanım oranları görülmektedir. 120 dakika 600°C sıcaklığa maruz betonlarda en belirgin basınç dayanımı azalması görülmektedir. Beton numunelerinde yalıtım sıvasıyla sıvanması durumunda sıvasız betonlara göre basınç dayanımlarında %8'lik daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 19. 450°C'ta 60 dakika bekletilen sıvasız ve sıvalı numuneler

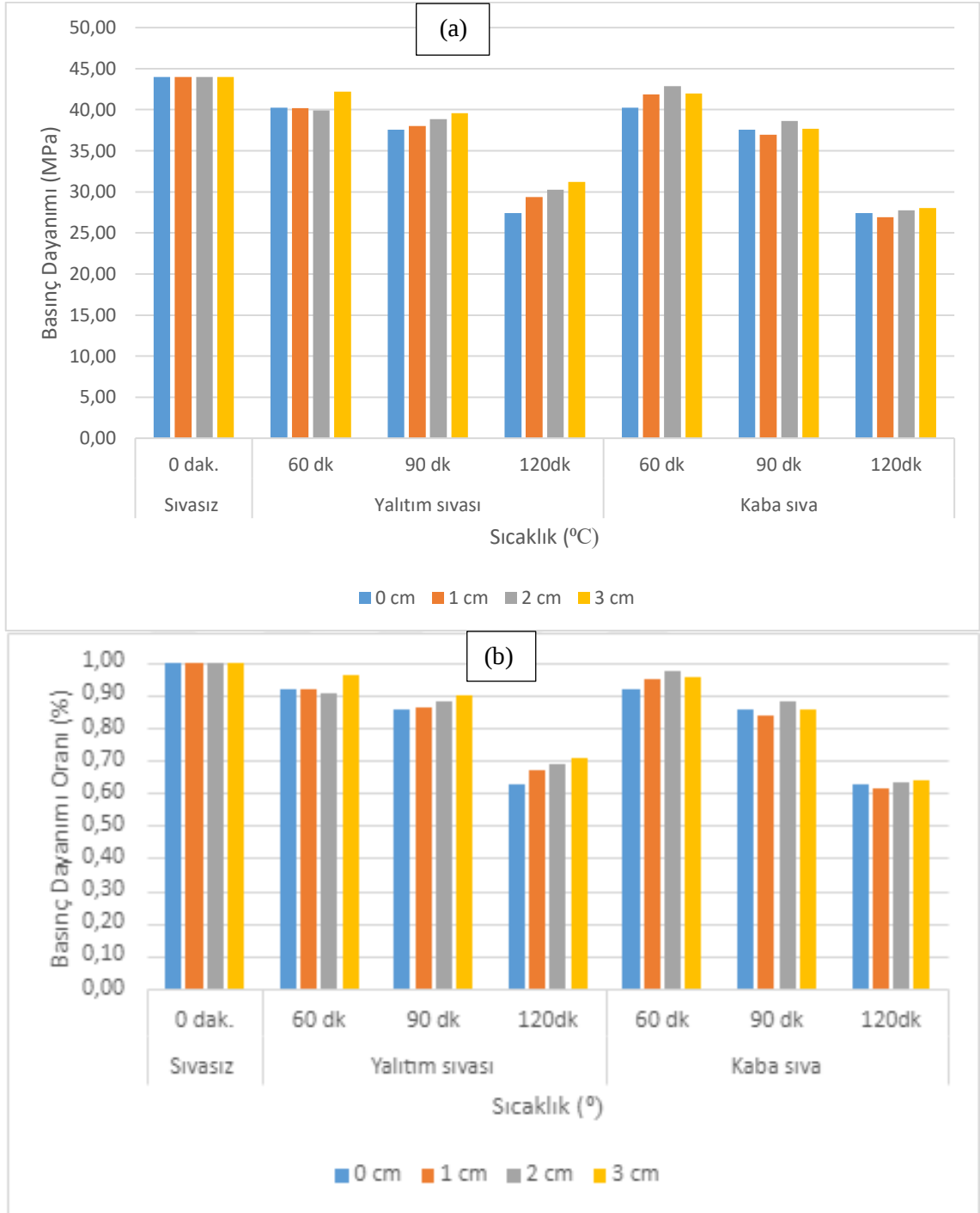
Şekil 19'da 450°C'ta 60 dakika bekletilen sıvasız ve sıvalı numuneler görülmektedir. Bu sıcaklıkta sıva renklerinde renk değişimi ve sıvalarda hafif dökülmeler meydana gelmiştir. Beton yüzeylerinde oluşması beklenen yüksek sıcaklık etkisiyle oluşacak dökülmeler gibi olumsuzlukları yalıtım sıvası ve kaba sıva engellemiştir. Şekil 18 (b)'deki beton basınç dayanımlarındaki azalma oranlarına bakıldığında 450°C'ta 60 dakikadan daha yüksek sıcaklık ve sürede bekletilen numunelerde ısı yalıtım sıvasının beton koruyuculuğundaki etkisi belirginleşmiştir.





Şekil 20. (a) Oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C’de sıvasız, 1,2 ve 3 cm kalınlıkta kaba sıvalı betonlardaki basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları

Şekil 20 (a)’da oda sıcaklığında ve 300 °C, 450°C ve 600°C’de 60, 90 ve 120 dakika bekletilen sıvasız, 1,2 ve 3 cm kalınlıkta kaba sıvalı betonlardaki basınç dayanımları ile oda sıcaklığında bekletilen betonlara ait ortalama basınç dayanımları görülmektedir. Şekil 20 (a)’da yüksek sıcaklığa maruz betonların basınç dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmektedir. Oda sıcaklığında 43,895 MPa ortalama basınç dayanımına sahip iken 600 °C’te 120 dakika bekletilen numunelerde basınç dayanımı 27 MPa civarına düşmüştür. Şekil 20 (b)’de yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda ölçülen basınç dayanımının oda sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımına bölünmesiyle elde edilen basınç dayanım oranları görülmektedir. Kaba sıva yapılması beton yüzeyinin direk yüksek sıcaklığa maruz kalmasını engelleyerek betonlarda dökülmelerin azalmasına neden olmuştur. Kaba sıvada yüksek sıcaklığa karşı betonu koruyucu etkisi olmuştur. 600 °C’de 120 dakika yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda kaba sıva betonların basınç dayanımında yaklaşık %2 oranında koruyucu etkisi olmuştur.



Şekil 21. (a) 600 °C'ta maruz sıvasız yalıtım sıvalı, kaba sıvalı ve oda sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımları (b) Basınç dayanım oranları

Şekil 21 (a)'da 600 °C'ta 60, 90 ve 120 dakika yüksek sıcaklığa maruz kalan sıvasız, 1,2 ve 3 cm ısı yalıtım ve kaba sıvalı betonlarda ölçülen basınç dayanımları görülmektedir. Her bir deney grubu için ikişer tane küp numune istenilen özelliklerde hazırlanıp basınç dayanımları ölçülüp ortalamaları alınmıştır. Hazırlanan numuneler 600

°C'ta numunelerin bekleme süresi arttıkça betonların basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Beton numunelerinin etrafındaki sıva kalınlığı arttıkça beton numunelerinin basınç dayanım kaybında belli oranlarda iyileşme görülmüştür. Isı yalıtım sıvası kaba sıvaya göre betonları yüksek sıcaklığa karşı daha iyi korumuştur. Şekil 21 (b)'de 600 °C'ta 60, 90 ve 120 dakika yüksek sıcaklığa maruz betonların oda sıcaklığında bekletilen numunelerin basınç dayanımına bölünmesiyle hesaplanan basınç dayanım oranlarını göstermektedir. Sıva yapılması betonları yüksek sıcaklığa karşı korumuştur yani beton basınç dayanım oranlarında sıvalı numunelerde sıvasızlara göre daha az basınç dayanım kaybı olmuştur. Sıvaların betonu yüksek ısıya karşı koruyucu etkisi 120 dakika bekleyen numunelerde daha belirgin olarak görülmektedir. Kaba sıvalı numunelerin sıvasız numunelere göre basınç dayanım oranları yaklaşık %2 oranında fazla ölçülmüştür. Bu oran ısı yalıtım sıvalarında sıvasız numunelere göre 1 cm ısı yalıtım sıvalarında %6, 3 cm kalınlığında sıvalılarda %7 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Isı yalıtım sıvası beton numunelerinin basınç dayanım kaybı oranı bakımından sıvasızlara göre %7, kaba sıvalı betonlara göre %5 oranında fayda sağlamıştır.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Betonun yüksek sıcaklığa karşı direncini belirlemek için yapılan deneylerde genellikle oda sıcaklığından 900 °C'a kadar olan sıcaklıklarda iki ya da üç saat sürelerinde numuneleri bekleterek çalışmalar yaptıkları görülmektedir (Alaskar vd., 2021, Guo vd. 2021, Khoury, 1992, Neville, 2000). Bu çalışmada sıvanın etkisinin görülebilmesi için betonların 60, 90 ve 120 dakika sürelerde 300, 450 ve 600°C'a maruz bırakılmışlardır. Üç saate varan sürelerle ve 900°C sıcaklıklara çıkılmamıştır. Beton yüzeylerinin sıvanması ısıнын doğrudan betona etkimemesi ve ısıнын betona etkimesini geciktireceğinden dolayı sıvanın betonları koruyucu etkisi olacaktır. Bu etkiyi daha iyi gözlemlmek için 120 dakika süresi incelenen araştırmalara göre uygun süre olduğu görülmüştür (Alaskar vd., 2021, Guo vd. 2021). Bu çalışmada 120 dakika sıvasız 10 cm'lik küp numunelerde 300 °C'ta %8, 450 °C'ta %14, 600 °C'ta %37 oranında basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Alaskar vd. (2021) yüksek dayanımlı silindirik numunelerde 300 °C'ta yaklaşık %24 oranında 600 °C'ta %70 oranında basınç dayanımlarında azalma tespit etmiştir. Bu çalışmadaki basınç dayanım kaybı oranları Alaskar vd. göre düşük kaldığı görülmektedir. Alaskar vd. (2021) çalışmalarında kaç

dakika yüksek sıcaklığa bıraktıklarını belirtmemişlerdir. Bu çalışmadaki basınç dayanım orandaki azalmanın düşük olmasının bir diğer unsuru da yüksek sıcaklığa maruziyet süresi olduğu anlaşılmıştır. Alaskar vd. (2021) çalışmasını bu çalışmadaki betonlardan daha yüksek dayanımlı betonlarda yapmıştır. Alaskar vd. (2021) çalışmasında yüksek sıcaklıktan betonların bu çalışmaya göre daha fazla etkilenmesinin bir diğer nedeninin basınç dayanımlarının yüksek olması olabilir. Khoury (1992) çalışmasında 600 °C'ta sıcaklığa maruz kalker agregalı betonlarda %22, silis içeriğine sahip betonlarda %45 oranında basınç dayanım kaybına rastlamıştır. Khoury (1992) tespit ettiği basınç dayanım kaybı oranları bu çalışmadaki %37 basınç dayanım kaybı oranına daha yakın değerdedirler. Betonun yüksek sıcaklığa maruziyet süresi arttıkça betonun bozulma oranı artarak devam etmektedir. Bu çalışmada yalıtım sıvası kullanılması 600°C'ta sıvasız beton basınç dayanımlarına göre %8'e varan oranlarda beton basınç dayanımının kaybını azalttığı görülmüştür. Alaskar vd., (2021) polimer esaslı lif kullandıkları betonlarda lifsiz betonlara göre basınç dayanımında %5 oranında daha az basınç dayanım kaybına rastlamışlardır. Alaskar vd., (2021) lif kullanımının betonun yangına dayanımında fayda sağladığını belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan yalıtım sıvası, Alaskar vd., (2021) çalışmasındaki lif kullanımına göre betonun yangın direncine daha fazla katkısı olmuştur. Sıva yapılacak yapılarda bu çalışmada kullanılan perlit içerikli lifli yalıtım sıvası kullanılması betonları yangına karşı korumada fayda sağladığı tespit edilmiştir. Yalıtım sıvasının sağlayacağı fayda betona lif katılmasından daha fazla olmaktadır. Guo vd. (2021) lif içermeyen 120 dakika yüksek sıcaklığa maruz betonarme elemanlarının basınç dayanımlarında yaklaşık olarak 400 °C'de %20, 600 °C'de %25 ve 800 °C'de %60 oranında azalma tespit etmiştir. Guo vd. (2021) çalışmasında tespit edilen basınç dayanım oranlarının azalması bu çalışmada tespit edilen basınç dayanımlarına yakın değerler olduğu görülmektedir. 0,1,2,3 cm kalınlığında yalıtım sıvasıyla sıvalı numunelerin basınç dayanımlarında 300 °C'ta sırasıyla % 5, %2, %7 ve %5 oranında basınç dayanımlarında azalma tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerler birbirine oldukça yakın değerlerdir. 300 °C'de yalıtım sıvası kullanımının etkisi basınç dayanımı kaybı açısından belirgin olarak anlaşılmamaktadır. Bunun nedeninin numunelerden kaynaklı basınç dayanım farklarının iki numune üzerinden ortalamalarının tespitinden kaynaklanmaktadır. Yalıtım sıvasının etkisi bu çalışmadaki 120 dakika 600 °C'ta bekletilen numunelerde en belirgin olarak görülmektedir. 0,1,2 ve 3 cm kalınlığındaki yalıtım sıvalı betonların basınç dayanımında azalma oranları sırasıyla %38, %33, %31 ve %29 oranında tespit edilmiştir.

3 cm'lik yalıtım sıvası sıvasız betonlara göre %9, 2 cm'lik yalıtım sıvası %7 ve 1 cm'lik yalıtım sıvası %5 oranında fayda sağlamıştır. Guo vd (2021) karbon lif kullanması durumunda 2 saat yüksek ısıya maruz betonlarda basınç dayanımı azalmasında yaklaşık % 5 oranında fayda sağlamıştır ve bu değer Alaskar vd (2021) polimer esaslı liflerdeki %5 oranıyla aynı değerdedir. Bu çalışmadaki yalıtım sıvasının sağladığı fayda liflerden daha fazla olmuştur. Sıva kalınlıkları 0, 1, 2 ve 3 cm olarak her birinden ikişer adet hazırlanan kaba sıvalı numuneler 600 °C sıcaklığa maruz bırakıldıklarında basınç dayanım oranları sırasıyla %38, %39, %37, %36 olarak tespit edilmiştir. Kaba sıva çok az miktarda betonların basınç dayanım oranlarında fayda sağlamıştır. Yalıtım sıvası 600 °C'ta 120 dakikada kaba sıvaya göre en az %7 oranında basınç dayanım kaybını azaltmıştır.

Chan et al.(1999) 'in çalışmasında, özellikle 1 saat süreyle 200 °C ve 800 °C arasında bekletilen betonların mukavemetlerinin önemli ölçüde kaybolduğu belirtilmiştir. Betonda yüksek sıcaklıkların etkisiyle gözenek yapısında irileşme etkisi ortaya çıktığı söylenebilir. Li et al. (2004) yapmış olduğu çalışmasında orta ve yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarındaki değişimleri incelemiştir. 200 °C ile 1000 °C arasında bekletilen numunelerin basınç dayanımları yaklaşık %20 - %80 oranlarında kayıp meydana geldiğini rapor etmiştir. Bu çalışmalarda belirtilen basınç dayanım kayıpları bu çalışma ile uyumlu değerler oldu görülmektedir. Bu sıcaklıklarda ısı yalıtım sıvasının sağlayacağı yaklaşık %7'lik basınç dayanım kaybı azalması önemli ölçüdeki artışı ifade etmektedir.

Beton ve betonarme elemanlar üzerinde yangın etkisini inceleyen çalışmaların çoğunda sıcaklık düzeyi bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Örneğin Chan ve ark.(1999); Li ve ark.(2004); Arıöz(2007); Janotka ve Bagel(2002) ,yaptıkları çalışmalarda 200 °C ve 1000 °C arasında numunelerin davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalardan çıkan ortak sonuç 400 °C' ya kadar betonun basınç mukavemetinde hatırı sayılır bir azalma görülmediği yönündedir. Bu bulguları Bilow ve ark.(2008) 'nın Portland Çimento Birliği adına yaptıkları bilimsel çalışmada desteklemektedir. Bu çalışmada normal bir betonun 400 °C' den sonra basınç dayanımında değişiklikler başladığını rapor etmişler. 650 °C' den sonra betonun basınç dayanımında %55' lik bir azalma meydana gelmektedir.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

- 1- Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonda basınç dayanım azalmasında maruziyet süresinin önemli bir unsur olduğu anlaşılmıştır.
- 2- 450 °C 'ta 60 dakikadan yüksek sıcaklık ve sürede bekletilen numunelerde ısı yalıtım sıvasının beton koruyuculuğundaki etkisi belirginleşmiştir.
- 3- Beton numunelerin yalıtım sıvasıyla sıvanması durumunda sıvasız betonlara göre basınç dayanımlarında daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir.
- 4- Beton numunelerinin etrafındaki sıva kalınlığı arttıkça beton numunelerinin basınç dayanım kaybında belli oranlarda iyileşme görülmüştür.
- 5- Sıva yapılması betonları yüksek sıcaklığa karşı korumuştur yani beton basınç dayanım oranlarında sıvalı numunelerde sıvasızlara göre daha az basınç dayanım kaybı olmuştur.
- 6- Yalıtım sıvasının kalınlığının artması betonun yangına karşı dayanımını artırmaktadır.
- 7- Kaba sıvanın betonu yangından koruma etkisi vardır. Bu etkinin payı sınırlı değerlerde kalmaktadır.

5. ÖNERİLER

Yalıtım sıvasıyla kaplanmış farklı boyutlu ve şekilli numunelerde daha uzun süreli ve yüksek sıcaklıklarda çalışma yapılabilir. Bu çalışmada kullanılan yalıtım sıvasındaki polimer esaslı lif etkisi farklı tip ve boyutlu lifler için çoğaltılabilir.



KAYNAKLAR

- Akçaözoğlu, K., (2012), “Yüksek sıcaklığın genleşmiş kil agregalı hafif betonun basınç dayanımına etkisi”, Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi, FEB 2011/20, Niğde,
- Akman M.S., (1992), “Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığının Belirlenmesi”, *Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu*, İstanbul.
- Akman M.S., (2000), “Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri”TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Aköz F., Yüzer N. ve Koral S., (1995), “Portland Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri”, İMO Teknik Dergi, sayı 1, İstanbul.
- Alaskar A., Albidaha A., Alqarni A., Alyousef R., Mohammad hossei H., (2021) , Performance evaluation of high - strength concrete reinforced with basalt fibers exposed to elevated temperatures, *Journal of Building Engineering* 35 102108
- Allen D.C. ve Desai P.M., (1967), “The Influence of Aggregate on the Behaviour of Concrete at Elevated Temperatures”, *Nuclear Engineering and Design*, sayı 6, sayfa 75-77.
- Alonso C., Andrade C. ve Khoury G.A., (2003a), “Porosity&Microcracking” International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- Arıöz, Ö., (2007), Effects of elevated temperatures on properties of concrete, *Fire Safety Journal*, 42, 516- 522.
- Baradan B., Yazıcı H. ve Ün H., (2002), “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, yayın no 298, İzmir.
- Beitel, J.; Iwankiw, N., (2008), Analysis of Needs and Existing Capabilities for FullScale Fire Resistance Testing, NIST National Institute of Standards and Technology, NIST GCR 02-843-1. Tagaki, J.; Deierlein, G. G., Mayıs 2007, “Collapse Performance Assessment of Steel Framed Buildings Under Fires”, Stanford University, Rapor No.163.
- Bilow David N., P.E., S.E., Director, Engineered Structures, Portland Cement Association 5420 Old Orchard Road, Skokie, IL 60077, Phone 847-972-9064, Mahmoud E. Kamara, PhD., Senior Structural Engineer, Portland Cement Association 5420 Old Orchard Road, Skokie, IL 60077, Phone 847-972-9012.
- CEB, Bulletin D’Information, (1991), “Fire Design of Concrete Structures”, Lausanne.

- Chan, Y.N., Peng, G.F. ve Anson, M., (1999), Residual strength and pore structure of high strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Composites*, 21, 1, 23-27.
- Cioni P., Croce P. ve Salvatore W., (2001), "Assessing Fire Damage to R.C. Elements", *Fire Safety Journal*, sayı 36, sayfa 181-199.
- Cülfık, M.S., (2001), Deterioration of bond between cement paste and aggregate at high temperatures, *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 25-27,
- Cülfık M.S. ve Özturan T., (2002), "Effect of Elevated Temperatures on the Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar", *Cement and Concrete Research*, sayı 32, sayfa 809-816.
- Erdoğan T.Y., (2003), "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.Yayını, Ankara.
- Ersoy H. Y., (2001), "Kompozit Malzeme", Birinci Basım, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Guise S.E., Short N.R. ve Purkiss J.A., (1996), "Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete", *Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee, Scotland/UK*.
- Guo Z., Zhuang C, Li Z, Chen Y., (2021), Mechanical properties of carbon fiber reinforced concrete (CFRC) after exposure to high temperatures, *Composite Structures* 256 113072,
- Janotka, I. and Bagel, L.,(2002), "Pore structures, permeabilities and compressive strengths of concrete at temperatures up to 8000C." *ACI Materials Journal*, 99 (2), p: 196-200,
- Khoury, G.A., (1992), Design of Concrete for Better Performance in Fire, *Materials and Design against Fire*, 121-127.
- Khoury G.A., (2000), "Effect of Fire on Concrete and Concrete Structures", *Progress in Structural Engineering and Materials*, sayı 2, sayfa 429-447.
- Khoury G.A., (2003c), "Fire & Assessment", *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy.
- Li, M., Qian, C. ve Sun, W., (2004), Mechanical properties of high-strength concrete after fire, *Cement and Concrete Research*, 34, 6, 1001-1005.
- Mathews M.E., Kiran T., Naidu V.C.H., Jeyakumar G., Anand N., Effect of high-temperature on the mechanical and durability behaviour of concrete, *Materials Today: Proceedings xxx (xxxx)*

- Molay T.G.G., Leroy M.N.L., Fidele T, Franck H.G., Bienvenu N.J., (2019), Mechanical and physical performances of concretes made from crushed sands of different geological nature subjected to high temperatures, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 22
- Neville A.M., (2000), “Properties of Concrete”, Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, New York/USA.
- Papayianni I. ve Valliasis Th., (2005), “Heat Deformation of Fly Ash Concrete”, *Cement & Concrete Composites*, sayı 27, sayfa 249-254.
- Perkins P.H., (1986), “Repair, Protection and Waterproofing, of Concrete Structures”, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., England.
- Poon, C.S., Azhar, S; Anson, M. ve Wong, Y.L., (2001), “Comparison of the Strength and Durability Performance of Normal-and High-Strength Pozzolanic Concretes at Elevated Temperatures”, *Cement and Concrete Research*, sayı 31, sayfa 1291-1300.
- Poon, C.S., Shui Z.H. ve Lam L., (2004), “Compressive Behavior of Fiber Reinforced High Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures”, *Cement and Concrete Research*, Uncorrected proof
- Reddy D.H., Ramaswamy A., (2017), Influence of mineral admixtures and aggregates on properties of different concretes under high temperature conditions I: Experimental study, *Journal of Building Engineering* 14 103–114,
- Riley, M.A., (1991), “Possible New Method for the Assessment of Fire Damaged Concrete”, *Magazine of Concrete Research*, sayı 43, sayı 87-92.
- Savva A., Manita P. ve Sideris K.K., (2005), “Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared with Limestone and Siliceous Aggregates”, *Cement & Concrete Composites*, sayı 27, sayfa 239-248.
- Schrefler B.A., Gawin D., Khoury G.A. ve Majorana C.E., (2003), “Physical, Mathematical & Numerical Modelling”, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy
- Shen J., Xu Q., (2019), Effect of elevated temperatures on compressive strength of concrete, *Construction and Building Materials* 229 116846,
- Shoaib M.M., Ahmed S.A. ve Balaha M.M., (2001), “Effect of Fire and Cooling Mode on the Properties of Slag Mortars”, *Cement and Concrete Research*, sayı 31, sayfa 1533-1538.
- Uygunoğlu T., Özgüven S, Çalis M. ,(2016), Effect of plaster thickness on performance of external thermal insulation cladding systems (ETICS) in buildings, *Construction and Building Materials* 122 496–504,

Vodak F., Trtık K., Kapickova O., Hoskova S. ve Demo P., (2004), “The Effect of Temperature on Strength-Porosity Relationship for Concrete”, Construction and Building Materials, sayı 18, sayfa 529-534

