T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME KISA KOLONLARIN YANGIN DAYANIMLARININ ÇEŞİTLİ PARAMETRELER AÇISINDAN İRDELENMESİ

Hüsna AÇIKEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüsna AÇIKEL tarafından hazırlanan "Betonarme Kısa Kolonların Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi" adlı tez çalışması 15/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN	.....
Danışman Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN	.....
Yardımcı Danışman Yrd. Doç. Dr. Mustafa ALTIN	.....
Üye Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Günnur YAVUZ	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Süleyman Kamil AKIN	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (S.Ü. BAP) tarafından 17201040'nolu tez projesi ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

H. Açıkel.

Hüsna AÇIKEL

15/12/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME KISA KOLONLARIN YANGIN DAYANIMLARININ ÇEŞİTLİ PARAMETRELER AÇISINDAN İRDELENMESİ

Hüsna AÇIKEL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Yardımcı Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ALTIN

2017, 94 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Yrd. Doç. Dr. Günnur YAVUZ
Yrd. Doç. Dr. Süleyman Kâmil AKIN

Bu tezde, beton dayanımının, pas payının ve yangın süresinin kolonların normal kuvvet taşıma gücüne etkisi ve kolonların doğal yangın dayanımları incelenmiştir. Özellikle betonarme yapı elemanlarında bulunan donatı çeliklerinin yangınlarda oluşan yüksek sıcaklık etkileri altında mekanik özeliklerinde ne gibi değişimler olabileceği ve bunlara betondan yapılmış pas payının ne derece koruyucu etkisi olabileceği irdelenmiştir. Ayrıca çalışmanın içeriğinde yer alan nispeten daha düşük dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı beton ayrımı ile özellikle mevcut ve eski betonarme binalarda yangın performansı tartışılmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı beton sınıfında (beton basınç dayanımları birbirinden farklı olan) 2,0 /3,0 /4,0 /5,0 cm pas paylarına sahip 25x30x30 cm boyutlarında 12 farklı tipte 60 adet kısa kolon numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin üretiminde en düşük dayanıma sahip olan Tip-1 betonlu kısa kolon numunelerinde düz donatı kullanılmıştır. Bu kolon numunelerinden 12 tanesi referans numunesi olarak kullanılmıştır. 48 adet numune ise, 30, 60, 90 ve 120 dk sürelerde doğal olarak oluşturulmuş yangına maruz bırakılmıştır. Yangın sonrasında kısa kolon numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri deneysel olarak elde edilmiştir. Bu numunelerin donatılarının mekanik özellikleri de çekme deneyi sonucunda belirlenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen sonuçlar ile yangın öncesi değerler karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar özellikle S220 donatısının yangın etkisiyle dayanımlarının arttığını, beton basınç dayanımının özellikle 120 dk ve üzeri yangınlarda önemli oranlarda azaldığını, kolonların ise yangın süresine bağlı olarak çok değişken bir davranış sergiledikleri yangın süresinin artmasının kolon normal kuvvet taşıma kapasitesinde önemli azalmalara sebep olabileceği görülmüştür. Özellikle yüksek beton dayanımına sahip numunelerde pas payının artması durumunda yangın süresinin uzamasıyla beraber kapasite kaybı daha fazla gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Betonarme Donatısının Mekanik Özellikleri, Betonun Mekanik Özellikleri, Pas Payı, Yangın

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF FİRE RESİSTANCE OF REİNFORCED CONCRETE SHORT COLUMNS BY AN EXPERİMENTAL METHOD

Hüsna AÇIKEL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa ALTIN

2017, 94 Pages

Jury
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Assist. Prof. Dr. Günnur YAVUZ
Assist. Prof. Dr. Süleyman Kamil AKIN

In this thesis, the effects of concrete strength, concrete cover and fire duration on the axial force carrying capacity of columns and natural fire resistances of columns are examined. Especially, what kind of changes may occur in the mechanical properties of reinforcement steels in reinforced concrete structural elements under the high temperature effects of fires and the degree of protective effect of the concrete cover. In addition, the fire performance of existing and old reinforced concrete buildings was discussed with the separation of low strength concrete and high strength concrete in the content of the study. In the scope of the study, 60 short column specimens of 12 different types were prepared in the sizes of 25x30x30 cm with 2.0 / 3.0 / 4.0 / 5.0 cm concrete cover in three different concrete classes (concrete compressive strength are different from each other). Straight reinforcement was used in short column samples with Type-1 concrete, which had the lowest strength in the production of samples. 12 of these column samples were used as reference samples. 48 samples were exposed to naturally formed fire for 30, 60, 90 and 120 minutes. After fire, axial force carrying capacities of short column samples were obtained experimentally. The strength values of the reinforcement of these samples were also determined as a result of the pull test. The results of the tests are compared with the pre-fire values. The results obtained indicate that the resistance of the S220 reinforcement increases under fire, concrete compressive strength decreases considerably in particular during fires of 120 min and above, the columns exhibit a very variable behaviour depending on the duration of the fire and it has been observed that the increase in the fire duration may cause significant reductions in column axial force carrying capacity. Particularly in the case of samples with high concrete compressive strength, in case of increasing the concrete cover, the capacity loss together with the prolongation of the fire duration is observed more.

Keywords: Concrete Cover, Fire, Mechanical Properties of Concrete, Mechanical Properties of Reinforced Concrete, Reinforced Concrete

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve uygulanmasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek verdiği sonsuz destekle bana her konuda yol gösteren, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen, sayesinde çalışmanın ve araştırmanın zevkine vardığım, kendisini her konuda kendime örnek aldığım saygı değer hocam Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN'a ve çalışmamın özellikle uygulama aşamasında bilgi ve tecrübelerini paylaşan, yol gösteren, her konuda yardımlarını esirgemeyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ALTIN'a,

Deneysel çalışmamın üretim aşamasında desteğini esirgemeyen Yardımcı Hazır Beton A.Ş.'ye, yardımlarından dolayı Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarı personeli Yüksel ÇİFTÇİ'ye,

Hayatın her aşamasında olduğu gibi tez çalışmamda da en büyük destekçim aileme sonsuz teşekkür ederim.

Hüsna AÇIKEL

KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 4
1.2. Tezin Önemi 5
1.3. Tezin Kapsamı 7

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **10**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **37**

3.1. Materyal 37
3.2. Yöntem 48
3.2.1.Yangın Deneyi 48

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **62**

4.1.Yangın Öncesi ve Sonrası Malzeme Deneyi Sonuçları……..62
4.2. Yangın Öncesi ve Sonrası Kolon Deneyi Sonuçları……..64
4.2.1.Yangın süresine göre numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi……..66
4.2.2.Aynı pas payına sahip farklı tür numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi……..77
4.2.3.Aynı pas payına sahip farklı tür numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi……..80

5. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER **83**

KAYNAKLAR **88**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm	: Santimetre
m	: Metre
mm	: Milimetre
dk	: Dakika
Mpa	: Megapaskal
N	: Newton
TS	: Türk Standardı
^0C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
f_c	: Basınç Dayanımı

Kısaltmalar

ASTM E119	: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials
ASTM C109	: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars
ASTM C230	: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement
ASTM C1437	: Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar
CEM I	: Portland Çimentosu
DTG	: Türev Termogravimetrik Analiz
EEC	: Avrupa Birliği Yapı Malzemeleri Direktifi
EN 1363-1	: European Standard, Fire Resistance Tests-2012
EN 1634-4	: European Standard, Fire resistance and smoke control tests for door, shutter and open able window assemblies and elements of building hardware-2009
HSC	: High Strength Concrete
IRT	: Image Temperature Technical
ISO834	: Fire Resistance Tests - Elements of building construction
SEM	: Scanning Electron Microscope
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği (Taslak)-2017
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TS EN 196–1	: Çimento Deney Metotları Türk Standatı-2009
TS EN 12390-3	: Beton-Serleşmiş Beton Deneyleri-2003
TS EN ISO/EC 17025	: Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar Türk Standartı-2005
TS-500	: Betonarme Yapıların Yapım ve Tasarım Kuralları Türk Standartı-2000
TS-708-2010	: Çelik- Betonarme İçin Donatı Çeliği-2010
TS 7748	: Yangına Dayanıklılık Deneyleri Türk Standartı-1990

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların tasarımı yapıların ekonomik ömürlerinde belirli bir ihtimalle etkimesi düşünülen yükler esas alınarak yapılır. Bununla beraber yapılara hesaplarda düşünülmeyen ama taşıyıcı sistemde ilave zorlamalar ve hasarlar oluşturabilen bazı dış etkiler de ekonomik ömürleri içinde etki edebilir. Yangın, asit ve baz içerikli kimyasal ataklar, yüksek oranda donma vs. bu tür etkilerdendir. Taşıyıcı sistem hesaplarında düşünülmeyen bu etkilerin yapıda oluşturacağı hasarlar seçilen malzemeler ve tasarımda dikkat edilen bazı kriterlerle minimum seviyeye indirilebilir.

Yangın etkisi altında yapıların taşıyıcılık özelliklerini kaybettikleri, yangın sonrasında yüksek ısıya maruz kalan yapılarda kısmi ya da toptan göçme olduğu literatürde çoğu kaynakta bahsedilen bir gerçektir. Başka bir ifade ile yangın, gerekli önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kaybına sebep olan önemli bir afettir. Gelişen teknolojiyle birlikte sanayileşmenin artması, nüfusun çoğalması sonucu yerleşim bölgelerinin fazlalaşması, yangın riskinin artmasına neden olmuştur. Yangın riskinin artması maddi ve manevi zarar artışını da beraberinde getirmiştir. Yanan, kısmen veya tamamen çöken önemli yüksek binalar, taşıyıcı malzemeleri, kat sayıları, kullanım amaçları ve hasar durumu Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Yanan yüksek binalarda taşıyıcı sistem ve hasar durumu (Beitel, 2008)

Bina Adı	Yer	Taşıyıcı Malzemesi	Kat Sayısı	Kullanım Şekli	Yangın Tarihi	Çöken Kısım
Piasco Binası	Tahran, İran	Çelik	17	Ofis	19 Ocak 2017	Tamamen
Mandarin Otel	Pekin, Çin	Çelik	34	Otel	9 Şubat 2009	Çökme yok
Development Bank	Lagos, Nijerya	Betonarme	21	Ofis	22 Mart 2006	Kısmen (9 kat)
Windsor Building	Madrid, İspanya	Betonarme ve Çelik	32	Ofis	13 Şubat 2005	Tamamen
Apartment	St.Petersburg, Rusya	Betonarme	9	Konut	3 Haziran 2002	Tamamen
Jackson Street	Hamilton, Kanada	Betonarme	21	Konut	8 Şubat 2002	Kısmen

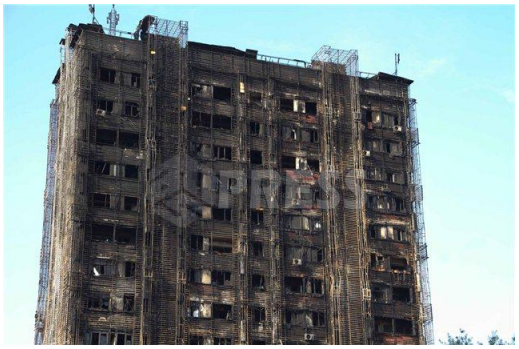
Şekil 1.1- Şekil 1.3'te yanmış çelik, ahşap, betonarme yapılardan örnekler görülmektedir.



Şekil 1.1. Yanmış Çelik Yapıdan Görüntüler (Altın,2012)



Şekil 1.2. Yanmış Ahşap Bina (Eugene Sergeev)



Şekil 1.3. Yanmış Betonarme Bina (Anspress.com)

Yangın açısından ahşap ve çelik binalarda büyük risk bulunmaktadır. Bundan dolayı çelik ya da ahşap malzemeyle tasarım yapan mühendis bu malzemelerin yangına olan zafiyetlerini bilerek tasarım yapar ve gerekli koruyucu önlemlere proje ve imalatta dikkat eder. Asıl tehlike ise betonarme yapılar tasarlanırken yangın dayanımlarının

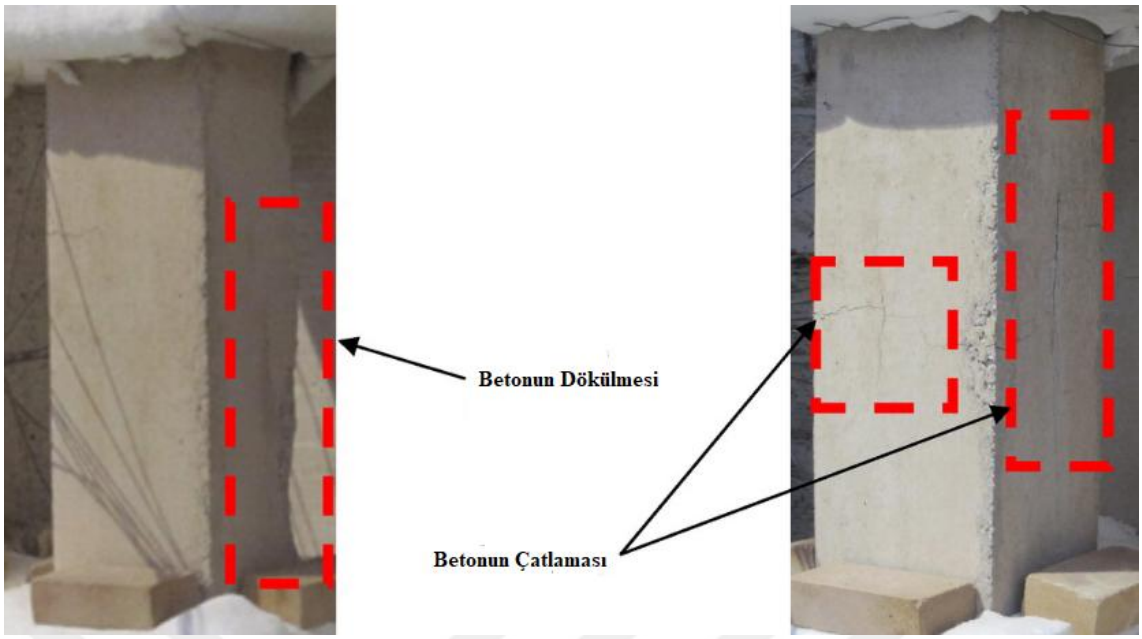
düşünülmeden tasarlanmasıdır. Betonarme binalarda meydana gelen yangınlar özellikle kritik sıcaklıklar aşıldıktan sonra bu binaların beton ve betonarme donatısında önemli dayanım kayıpları ve akabinde hasar ve göçmelerin oluşabileceğini göstermektedir. Şekil 1.4-Şekil 1.6'da yangın hasarı görmüş olan betonarme kolon örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.4. Yüksek ısıya maruz kalmış kolondaki termal çatlaklar (Hertz,2003)



Şekil 1.5. Yangına maruz kalmış betonarme kolondaki parçalanma (Nassar, 2011)



Şekil 1.6. Yangına maruz kalmış dikdörtgen kesitli kolonun hasar durumu (Klippel ve ark., 2014)

Betonarme bir binayı tasarlayan tasarımcının betonarme bir binanın yangın performansının ne tür parametrelere bağlı olduğunu ve yangının hangi seviyesinden sonra binanın zarar görmeye başlayacağını bilmesi ve bu durumu betonarme yapı davranışı kapsamında özümseyerek yapısal hesaplarda bu hususa dikkat etmesi gerekmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tezinin amacı; çeşitli yangın sürelerine tabi tutulmuş ya da çeşitli sıcaklık seviyelerinde test edilmiş betonarme kısa kolon elemanlarının normal kuvvet taşıma gücünü deneysel olarak ölçerek, yangında meydana gelen sıcaklığın betona ve içindeki çeliğe etkisini çeşitli parametrelere bağlı olarak incelemektir. Bu motivasyondan hareketle; farklı beton basınç dayanımına sahip betonlardan yapılmış, farklı pas payı seviyelerinde betonarme kısa kolonların, farklı sürelerde doğal yangına maruz bırakılarak normal kuvvet taşıma kapasitelerindeki değişim deneysel olarak araştırılmış ve böylece kolonların mekanik özelliklerinde yangın sonrası meydana gelen değişiklik irdelenmiştir. Çalışma ile beton dayanımının, pas payının ve yangın süresinin kolonun normal kuvvet taşıma gücüne etkisi irdelenmiştir. Ayrıca deney sonrasında betonarme çeliğinin deformasyonu gerek gözlemsel olarak gerekse deneysel olarak da incelenmesi amaçlanmıştır.

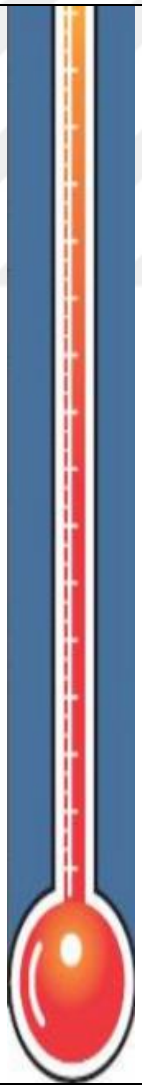
1.2. Tezin Önemi

Yangın, gerekli önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kaybına sebep olan önemli bir afettir. Gelişen teknoloji ve sanayileşmenin artması, nüfusun giderek çoğalmasına paralel olarak toplu yerleşim bölgelerinin fazlalaşması, yangın riskinin ve buna bağlı olarak yangının maddi ve manevi zararlarının artışına sebep olmaktadır. Yapı elemanlarının yüksek sıcaklığa karşı göstereceği dayanıklılık yapının en önemli özelliklerinden birisidir. Fakat bu özellik yapı tasarımı aşamasına pek dikkate alınmamakta, sadece, fabrika termik santraller, yüksek sıcaklıklı bacalar vb. gibi özel amaçlı yapılarda incelenmektedir. Normal bir yapının yüksek sıcaklığa maruz kalma durumu pek fazla önemsenmemektedir. Fakat endüstriyel gelişim, daha çok enerji kullanımı, fazla enerji kullanımı da yangın riskini beraberinde getirmektedir.

Bir yapı yangın sonrası yeniden kullanılacaksa, binaların onarım ve güçlendirme hesaplarının yapılabilmesi için beton ve betonun içindeki donatı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Çünkü yangın durumunda yapı elemanları yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Betonarme binalarda çıkan yangınlardan sonra bu binaların onarım veya güçlendirmeden sonra tekrar kullanılmaları söz konusu olabilmektedir. Bu binaların tekrar kullanılabilmesi ve onarım veya güçlendirilmenin yapılabilmesi için yapının taşıma güvenliğinin bilinmesine gerek duyulur. Bunun için yapıda yangından sonraki beton dayanımları ile betonarme çeliklerinin mekanik özeliklerinin bilinmesine gerek vardır. Çelik ve beton yanıcılık açısından, yapılan sınıflandırmalarda A_1 sınıfı "hiç yanmaz" malzemeler gurubuna girerler. Bunların yangınlardaki hasarları malzeme kaybı değildir. Hasar; dayanım, akma sınırı ve elastisite modülündeki azalmalar ve içyapı değişiklikleri olarak ortaya çıkar. Avrupa Birliği Yapı Malzemeleri Direktifi'ne (89/106/EEC) göre, yapıların karşılamaları gereken ve malzemelerin teknik özelliklerini etkileyen altı temel unsurdan birincisi mekanik dayanım, ikincisi ise yangın durumunda emniyettir. Bu direktif, büyük binaların projelerinde yapının bir yangın durumunda çökmemesi için korunma esaslarını temel tasarım kıstası olarak belirtmektedir. Bir karşılaştırma yapıldığında betonarme yapıların yangın güvenliği ahşap ve çelik yapılara göre daha iyidir. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007) hükümlerine göre, çelik kolon ve kirişlerin yangın durumunda özelliklerini kaybetmemesi için yangına karşı yalıtılması gerekmektedir.

Yanmaz bir malzeme olan beton, ısıyı iyi iletmediğinden çeliği sıcaklığa karşı korumakta, dolayısıyla betonarme yapıların yangına karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Bununla beraber bu dayanıklılığın sağlanabilmesi için beton ve donatı sıcaklığının bu malzemeler için kritik olan sıcaklığa ulaşmaması gerekir.

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton başlangıç basınç mukavemetinin bir kısmını kaybeder. Basınç mukavemetindeki azalma miktarı, kullanılan malzemelerin özelliklerine ve ulaşılan en yüksek sıcaklık, ısıtma hızı, ısıtma süresi, soğutma şekilleri gibi değişkenlere göre farklılık gösterir. 600 ^{o}C'nin üzerinde sıcaklıklarda betonun basınç dayanımında belirgin kayıplar olduğu Arıöz (2007), Aydın ve Baradan (2007), Chan ve ark. (1999) ile Demir ve Topçu (2008) tarafından yapılan çalışmalarda görülmektedir. Şekil 1.7'de Sıcaklık artışıyla betonda ne gibi değişimler olacağı görülmektedir.

SICAKLIK		**NE OLUR?**
900 ^{0}C		Yangınlarda hava sıcaklıkları nadiren bu seviyeyi aşar. Fakat alev sıcaklıkları 1200^{0}C'yi aşan sıcaklıklara kadar yükselebilir.
600 ^{0}C		Bu sıcaklığın üzerinde beton tam yapısal kapasitede çalışmaz.
550-600 ^{0}C		Çimento esaslı malzemeler önemli bir sünme yaşarlar ve yük taşıma kapasitelerini kaybederler.
300 ^{0}C		Güç kaybı başlar. Ancak gerçekte yangına maruz kalan betonun ilk birkaç santimetresi daha sıcak olur, iç sıcaklık bunun çok altındadır.
250-420 ^{0}C		Yüzeyden kopan beton parçaları ile birlikte bir miktar bozulma olabilir.

Şekil 1.7. Betonun belirli sıcaklıklardaki durumu (Mamillapalli, 2007)

Ünlüoğlu ve ark. tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada; ayrıca Ergün ve ark. tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada da görüldüğü üzere: Betonarmede kullanılan çeliklerde sıcaklık arttıkça akma sınırlarında ve çekme dayanımlarında büyük düşmeler gözlendiği söylenmiştir. Sıcaklık 600 ^{o}C 'ye yükselince çekme dayanımı güvenlik gerilmesinin altına iner. Yangınlarda 600 ^{o}C 'ye kolaylıkla erişildiği ve hatta 1200 ^{o}C 'ye varıldığı bilinmektedir. Bu sıcaklıklarda çeliğin geri dönmeyen (plastik) deformasyonlar yapacağı açıkça bellidir. Yapı elemanlarında, çeliğin üzerinde kullanım amacına uygun olarak bir gerilme bulunur. Bu gerilme nedeniyle oluşan uzama, yüksek sıcaklıklarda elastisite modülünün daha küçük değerler alması sonucu fazlalaşır. Elastisite modülündeki bu azalma 400 ^{o}C'de %15, 600 ^{o}C 'de ise %40 mertebelerindedir. Böylece çelik, elastisite modülündeki azalma, termik genleşme ve plastik deformasyonların başlaması sonucu aşırı uzamalara maruz kalacaktır. Betonun yeterince termik izolasyon sağlamadığı konumlarda çelik donatı burkulacak beton kılıfını patlatarak dışarı fırlayacaktır. Onarımda elemanın değiştirilmesinden veya mantolanmasından başka bir çözüm yoktur.

1.3. Tezin Kapsamı

Yapı elemanın yangına karşı dayanım ve dayanıklılığına bağlı olarak yangın başarımının hesaplanmasında yangın davranışı önemli bir yere sahiptir. Bu yangın davranışı sıcaklık- zaman ilişkisi ile tanımlanır.

- Standart yangınlar (ISO834 (Fire Resistance Tests-Elements of building construction), ASTM E119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials), Hidrokarbon)
- Oda yangınları (Parametrik, Pencere yangınları)
- Bölge Modelleri (Tek bölge ve ileri bölge modelleri)
- Alan Modelleri (İleri yangın ve duman modellemesi)

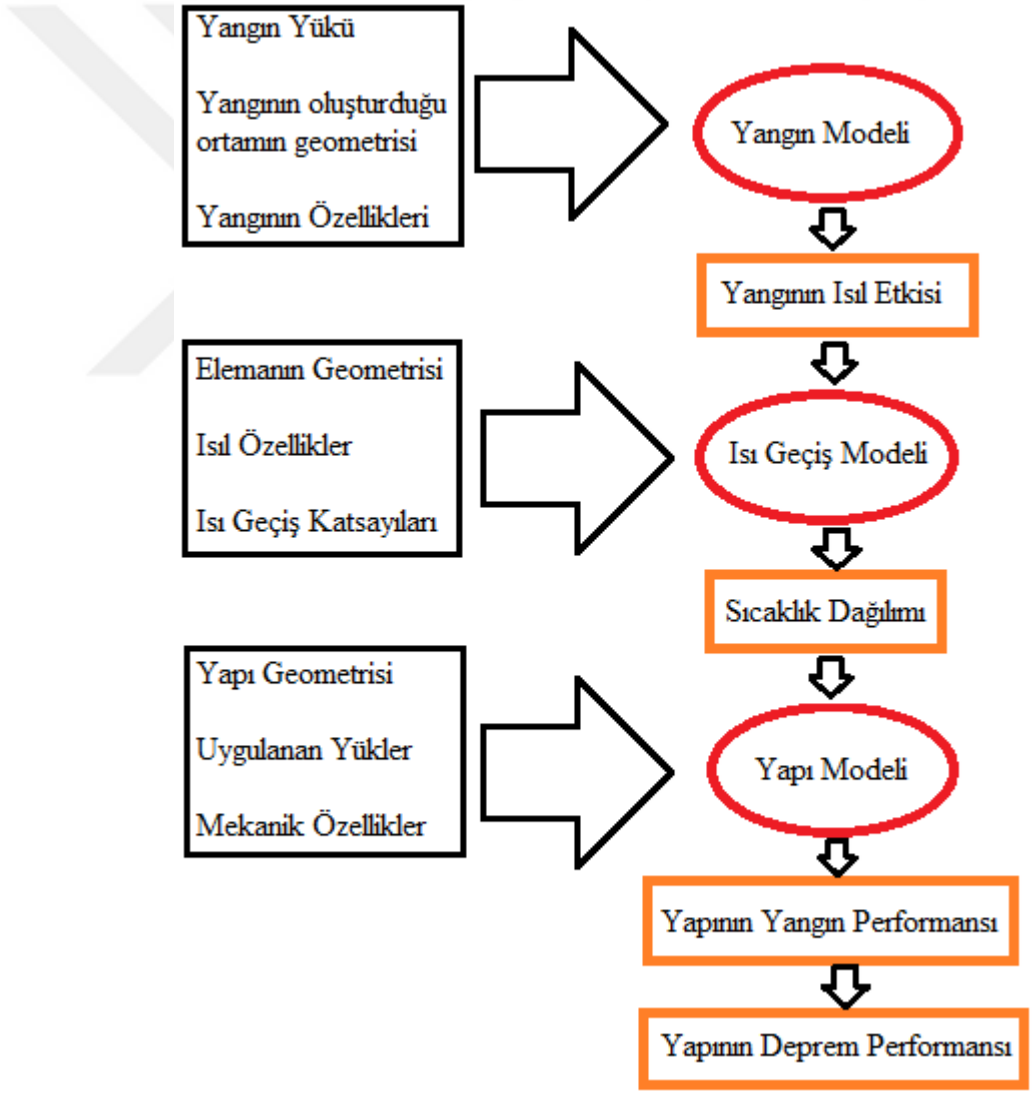
Standart yangınlar ve oda yangınları basit modeller, bölge ve alan modelleri ise ileri model olarak kabul edilmektedir.

Dünyanın pek çok ülkesinde yapılan çalışmalarda yangın başarımını belirlenmek için birebir ölçekli ya da ölçekli numuneler üzerinde yangın deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan sıcaklık-zaman eğrileri standart yangın eğrileridir. Sıklıkla kullanılan yangın eğrileri arasında ISO834 ve ASTM E119 standartlarındaki eğriler bulunmaktadır. Bu yangın modellerinde odanın gaz sıcaklığı üniform olarak

alınmaktadır. Duman hareketi ve alev sıçraması dikkate alınmaz. Genel tutuşma sonrası yangınlar için daha uygundurlar.

Oda yangınlarında ise ortamdaki yangın yükü ve havalandırma koşullarına bağlı olarak değişen gerçek sıcaklık-zaman eğrisi de kullanılabilmektedir. Bu eğride standart yangından farklı olarak sönme aşaması da görülebilmektedir. Ancak yangının sönme aşamasına kadar standart ve gerçek sıcaklık-zaman eğrilerine göre belirlenen sıcaklık dağılımlarının pratik olarak birbirine eşit olduğu söylenebilir.

Betonarme binalarda çıkan yangınlara veya çevrenin zararlı etkilerine karşı betonarme donatıları pas payı dediğimiz beton tabakası korur. Yüksek sıcaklıklarda kalan donatıların özeliklerine pas payı büyük ölçüde etki etmektedir.



Şekil 1.8. Yangın etkisindeki bir yapının yük taşıma kapasitesine ilişkin hesap akış diyagramı

Bu deneysel ve analitik çalışmada, basınç dayanımı farklı olan 3 tip beton üretilmiş, pas payları sırasıyla 2,0/3,0/4,0/5,0 cm olan 25x30x30 cm boyutlarında 12 farklı tipte toplam 60 adet kısa kolon numunesi hazırlanarak, 0, 30, 60, 90 ve 120 dk sürelerde, yangına maruz bırakılmıştır. Böylece beton dayanımının, pas payının ve yangın süresinin kolonların normal taşıma gücüne etkisi ve kolonların yangın dayanımları incelenmiştir. Özellikle betonarme yapı elemanlarında bulunan donatı çeliklerinin yangınlarda oluşan yüksek sıcaklık etkileri altında mekanik özeliklerinde ne gibi değişimler olabileceği ve bunlara betondan yapılmış pas payının ne derece koruyucu etkisi olabileceği incelenmeye çalışılmıştır.

Literatürde;

1. Betonarme kısa kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesinin yangın sonrasında incelendiği,
2. Kolonların yangın performansının değişik parametrelere bağlı olarak test edildiği,
3. Yangın sonrası kolon içinde bulunan boyuna ve enine donatıların gözlemlendiği,

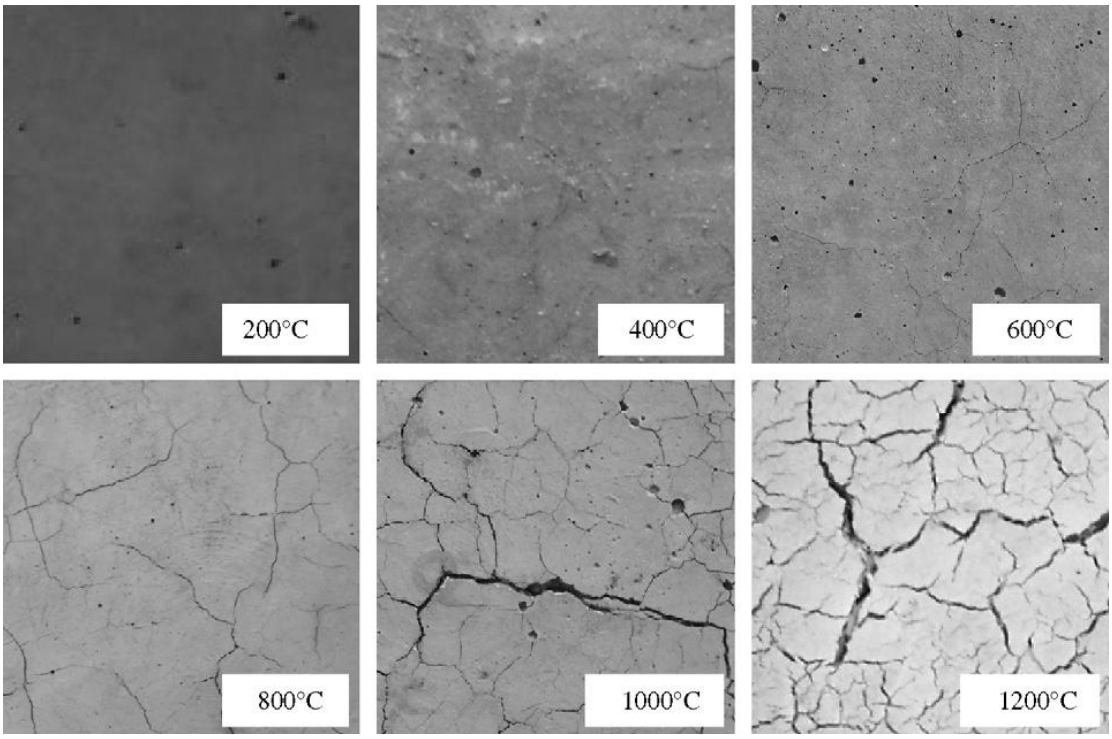
bir çalışmanın yapılmamış olması ve yangının betonarme yapılardaki etkisinin detaylı olarak incelenecek olması çalışmanın özgünlüğü ve önemini artırmaktadır. Hali hazırda yürürlükte bulunan yangın yönetmeliğinde yer alan pas payı ve deprem yönetmeliğinde yer alan beton sınıfının da bu çalışma kapsamında tartışılacak olması özellikle uygulama açısından önemli ve gereklidir. Çalışmanın içeriğinde yer alan nispeten daha düşük dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı beton ayrımı ile özellikle mevcut eski betonarme binaların yangın performansı da tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Alarcon-Ruiza ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada hazırlanan çimento hamuru 24 saatlik süre içinde 100^0C-800 ^{0}C arasında çeşitli sıcaklıklarda yangına maruz bırakılmıştır. Bu çalışma, çimento hidratasyon ürünlerinin mineralojik bileşimlerine sıcaklığın etkisini incelemek için termal analiz tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çimento hamurunun ısıl ayrışması termogravimetrik analiz (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG) eğrileri ile analiz edilmiştir. Bu tür teknikler yangın koşullarını ve çimento hamurunun beklenen bozulma sonucunu belirlemek için kullanılabilir. Böylece bu çalışmayla yangın süresince çimento hamurundaki değişimler hakkında daha iyi bilgiye sahip olabiliriz ve yangın sonrası betonun geçmiş sıcaklığını belirleyebiliriz.

Annerel ve Taerwe'nin çalışması (2009) yangına maruz kalmış betonun basınç dayanımına etki eden parametreleri açıklar. Dayanım sıcaklıkla birlikte azaldığı için, betonarme elemanların yangın sonrası yük taşıma kapasitesini değerlendirmek için betonun sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. İki değerlendirme tekniği ele alınmıştır. Birincisi, beton yüzeyinin ve agregaların renk değişikliklerinin hangi renk yolları ile elde edileceği ölçülür. Bu yolların şekli farklı sıcaklık bölgelerinin ayrılmasına olanak sağlar. İkinci olarak çimento matrisinin termal ayrışmasından ve ara yüzey bölgesinin termal çatlamasından dolayı gözeneklik artışı görülmektedir.

Arıöz (2007) tarafından yapılan çalışmada normal portland çimentosu, kırılmış kalker agregaları ve dere agregalarıyla farklı beton karışımları üretilmiştir. Hazırlanan numuneler 200^0C-1200^0C arası sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 7x7x7 cm boyutlu küp numuneler hazırlanmıştır. Bu küp numuneler 20^0C /dakika artış hızıyla hedef sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıklarda 2 saat süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra ağırlık kayıpları ve basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Sıcaklığın 600^0C'ye ulaşmasıyla yüzey çatlaklarının görünür hale geldiği, 800^0C'de daha da arttığı, 1000^0C'de ise iyice arttığı görülmüştür. 1200^0C'de betonlar tamamen bozulmuştur. Betonların ağırlıklarının, sıcaklığın artmasıyla 800^0C'ye kadar kademeli olarak azalmıştır. Bu sıcaklıktan itibaren ise çok keskin düşüşler gösterdiği gözlenmiştir. Sıcaklığın etkisinin dere agregası ile üretilen betonlarda daha belirgin olduğu bunun sebebinin ise silis içeriği olabileceği belirtilmiştir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Arıöz'ün çalışmasından bir görüntü

Arslan M.H. ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de 2011 ve 2012 yıllarında yangınla tahrip edilen iki büyük ölçekli sanayi yapısı incelenmiştir. İlk yapı prefabrik beton, ikinci yapı prefabrik beton-çelik olarak inşa edilmiştir. Yapıların yangın sonrası performansları, yapıların yapısal sistem özelliklerine ve yapılardan elde edilen beton çekirdek ve çelik güçlendirme örneklerinin testlerine göre değerlendirilmiştir. İncelenen iki binanın yangın süreleri biraz farklı olduğu için, yapısal çerçeve farklılıklarına ek olarak, iki yapı için malzeme test sonuçları karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Daha uzun süre yangına maruz kalan binadaki beton mekanik özelliklerdeki önemli kayıpla zarar görmüştür, betonarme elemanlardaki pas payı tamamen başarısız olmuştur ve çelik donatının mukavemet performansında önemli bir düşüş olmuştur. Daha kısa süre yangın geçiren ikinci yapıda, pas payı ilk duruma benzer şekilde başarısız olmasına rağmen, çelik donatı ve betonun mekanik özelliklerinde önemli bir kayıp olmamıştır. İkinci yapıda çelik yapısal çerçevenin zarar görmesi prefabrik beton sistemde zarara neden olacağı gözlemlenmiştir. Özellikle endüstriyel yapılardaki yangın açısından alınması gereken önlemler taşıyıcı sisteme dayalı olarak değerlendirilmiş ve iyileştirme önerileri getirilmiştir.

Ataman (1991), yaptığı çalışmada yangın etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerini belirleyerek yüksek sıcaklığın ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve

basınç mukavemetleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Agregaların genleşmesi, çimentonun büzülmesi, beton boşluklarındaki ve çimento birleşimindeki suyun dehidratasyonu gibi fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu beton mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun hava ve su ortamlarında soğutulmaları sonucu elde edilen mukavemetlerdeki azalmaların, su ortamında soğutulanlarda daha küçük olduğu ifade edilmiş ve bu durum beton numunelerinin su içerisinde iken yeniden hidratasyon yapabilecek ortamı bulması ve bunun sonucunda mukavemetin bir kısmının geri kazanılmasıyla açıklanmıştır.

Aydın ve Baradan (2003) tarafından yapılan çalışmada, oluşumları sırasında çeşitli şekillerde yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış pomza kumu, tuğla kırıkları ve uçucu kül çimento ile belirli oranlarda karıştırılmıştır. Hazırlanan harç karışımları 3 saat süreyle 600^0C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bu işlemlerin sonunda kalan eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Yüksek sıcaklığın bunlara olan etkisi irdelenmiştir. Karışımlardaki uçucu kül oranı arttıkça tanık numunelerin (yüksek sıcaklık geçirmemiş) ve yüksek sıcaklık geçirmiş numunelerin basınç ve eğilme dayanımı azalmaktadır. Referans karışımlarda, agrega olarak sadece pomza kumunun kullanıldığı numunelerin basınç ve eğilme dayanımları tuğla kırıklarının kullanıldığı numunelerle kıyaslandığında genellikle daha düşüktür. Bu durum pomza kumunun dayanımının tuğla kırıklarına kıyasla daha düşük olması ile açıklanabilir. Tuğla kırıkları ve pomza kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu görülmüştür. Bu durum bu agregaların daha önce yüksek sıcaklık geçirmiş olmalarına bağlanabilir. Ya da termal olarak kararlı oluşlarına ve termal iletkenlik katsayılarının düşük olması neticesinde termal yalıtım sağlamalarına bağlanabilir. Pomza kumu ve tuğla kırıkları puzolanik özelliklere sahip olduğu için agregalar ile bağlayıcı hamur arasında kimyasal reaksiyon gerçekleşmesi sonucunda mekanik kenetlenme olmuştur. Böylece yüksek sıcaklıklara dayanıklılıkta önemli bir parametre olan, agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansı artmıştır. Ayrıca, pomza kumu ve tuğla kırıkları gözenekli yapıları nedeniyle özellikle nemli örneklerde yüksek sıcaklık etkisi altında su buharının oluşturduğu gerilmeleri gidererek yüksek sıcaklıklardan daha az etkilenirler. Pomza kumu agregalarının yüzey yapısının pürüzlü olması bu agregaların tuğla kırıklarına oranla, çimento hamuruna daha iyi aderans sağlayarak yüksek sıcaklık performansına katkıda bulunmuştur. Uçucu külün yararlı etkisi agrega olarak sadece pomza kumunun kullanıldığı karışımlarda gözlenirken, tuğla kırıkları içeren karışımlarda bu etki ortaya çıkmamıştır. Pomza kumu ile üretilen harçların basınç ve eğilme dayanımı kayıpları diğer karışımlara kıyasla daha

düşüktür. Bununla birlikte, tuğla kırıklarının agrega olarak kullanıldığı referans karışımların basınç ve eğilme dayanımı daha yüksektir.

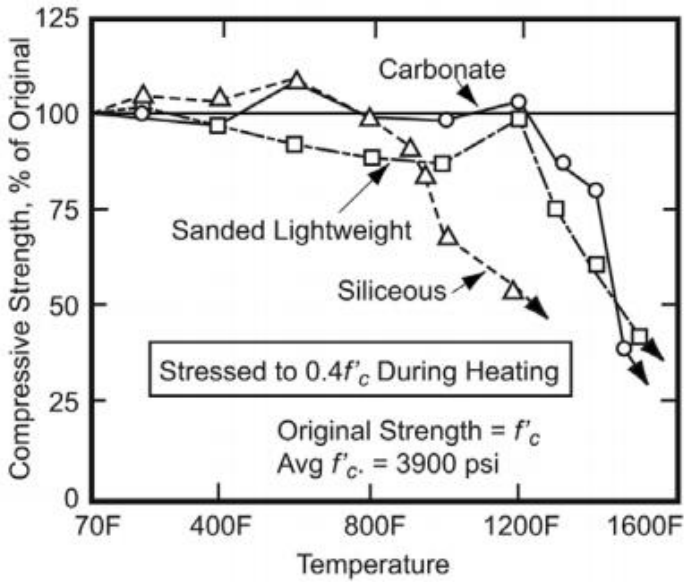
Aydın ve Baradan (2007) tarafından yapılan çalışmada pomza ve uçucu kül içeren çimento harçlarının yüksek sıcaklık etkilerinden sonra mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı miktarlarda uçucu kül içeren dört farklı karışım 300^0C, 600^0C ve 900^0C sıcaklıklara üç saat süreyle maruz bırakılmıştır. Pomza ile üretilen harçların 600^0C'ye kadar yüksek sıcaklıklara karşı iyi dayanım sergilediği ve bu sıcaklıkta basınç ve eğilme mukavemetlerindeki kayıpların sırasıyla %4 ve %32 olduğu belirtilmiştir. Ancak 900^0C'de mukavemette çok keskin düşüşler görülmüştür. Soğutma tekniğinin mukavemet kaybında etkili olduğu ve suda soğutulan numunelerin havada soğutulanlara kıyasla daha fazla mukavemet kaybettiği bildirilmiştir. Yüksek sıcaklıklara karşı en iyi sonuç %60 oranında uçucu kül kullanılan numunelerden elde edilmiştir.

Aydın ve ark. (2008) tarafından normal dayanımlı, su kürlü ve otoklav kürlü yüksek dayanımlı harçlar üzerinde 900^0C'ye kadar yüksek sıcaklıkların etkisi araştırılmıştır. Basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, elastisite modülü ve ağırlık kaybı gibi mekanik özellikler belirlenmiştir. Yüksek oranda puzolanik malzeme kullanımı ile 28 günlük su küründe yüksek mekanik özellikler elde edildiği, ayrıca otoklav kür ile daha kısa sürede mekanik özelliklerin iyileştirildiği belirtilmiştir. 300^0C sıcaklıkta bütün betonlarda bir mukavemet artışı görüldüğü ve 900^0C'de hem su kürü hem de otoklav kür için Normal dayanımlı betonların yüksek dayanımlı betonlara kıyasla daha fazla mukavemet kaybettiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklıkların basınç dayanımına oranla, eğilme dayanımı ve elastisite modülü üzerinde daha belirgin bozucu etki gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca çelik liflerin yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonda dayanıma olumlu bir katkısı olmadığı ifade edilmiştir.

Bikhiet ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmanın amacı, eksensel yük altında yanan kolonları incelemek ve yangından sonra kolon sıkıştırma kapasitesindeki azalmayı değerlendirmektir. Bu araştırmanın ilk kısmı, bir örnek dışında (600^oC) yangına maruz bırakılan on beş kolon numunesinin (15x15x100) cm'lik deneysel incelemesidir. İkinci bölüm, üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan teorik bir analizdir. Çalışılan başlıca parametreler, beton mukavemeti, yangın süresi, uygulanan yük seviyesi, boyuna donatı mukavemet kuvveti, boyuna donatı yüzdesi ve donatı çapı'dır. Deney sonuçları ve teorik analizler arasındaki karşılaştırmada, yangına maruz kalmayan kolonlar için, birinci çatlak, kolon başarısızlığının %80'inde ortaya çıkarken, ilk çatlak, yangına maruz kalan kolonların

kolon başarısızlığının %50'sinde görülmüştür. Aynı takviye yüzdesine sahip fakat daha küçük çaplı donatılar, daha büyük çaplı donatılardan daha az yanal gerilme ve daha küçük düşey deplasman elde edilmiştir. Yüksek kaliteli çeliklerin ana donatı olarak kullanılması, arıza yükünü, yumuşak çelikle güçlendirilmiş kolonunkinden %55 daha yüksek olarak göstermiştir. Püskürtme suyu ile soğutma yapılan kolon, oda sıcaklığında kademeli soğutma yapılan kolonlara kıyasla, arıza yükünde %17'lik bir azalma sağlamıştır. Hem deneysel hem de teorik analiz, yüksek dereceli çelik (St 36/52) içeren kolonun, normal yumuşak çelikle (St 24/35) takviye edilen kolona göre %55 daha yüksek bir arıza yüküne sahip olduğunu göstermiştir.

Bilow ve ark. (2008) yangın altındaki yapıların karmaşık davranışlarını ve ciddi yangın etkilerine direnecek beton yapılar tasarlamak için pek çok yıldır başarıyla kullanılan basitleştirilmiş teknikleri özetlemiştir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ısıtma süresi boyunca numunelerin basınç dayanımı %40'a düşmüştür. Belirtilen test sıcaklığına erişildikten sonra, silisli agregayı ihtiva eden beton mukavemetinin yaklaşık 800 ° F'de düşmeye başladığını ve 1200°F'de yaklaşık %55'e düştüğünü görülmektedir. Hafif agrega ve karbonat agregaları içeren beton, basınç dayanımlarının çoğunu yaklaşık 1200 ° F'a kadar korumuştur. Hafif beton izolasyon özelliklerine sahip olduğu için ısıyı, aynı kalınlıktaki normal ağırlık betonundan daha yavaş bir oranda iletmiş ve bu nedenle genellikle artan yangın direnci sağlamıştır.



Şekil 2.2. Yüksek sıcaklığın beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi (Bilow ve ark., 2008)

Bingöl ve Gül (2004) tarafından yapılan çalışmada yapılan çalışmada normal agrega yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında pomza kullanılarak hafif betonlar üretilip 750^0C'ye kadar ısıtılmıştır. Hafif betonların yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra dayanımını normal betonunki ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte bütün beton gruplarının başlangıç dayanımlarının bir kısmını kaybettiği görülmüştür. Ancak kullanılan hafif agrega miktarının artması sonucu dayanım kaybı oranlarının azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara maruz kalma süresi de çalışmanın parametrelerinden birisi olarak belirlenmiştir. Ancak ısıtma süresinin dayanım kaybı üzerinde çok belirgin bir etkisinin olmadığı, ısıtılan sıcaklığın dayanım kayıplarında daha önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Ceylan ve Saraç (2006) yaptıkları çalışmada pomzanın taşıyıcı olmayan hafif beton üretiminde, hafif agrega olarak kullanımını ve pomza kullanılarak üretilmiş hafif betonların belirli bir sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonraki dayanım değerlerindeki değişimleri incelemektedir. Türkiye'de, değişik türde pomza yataklanmaları mevcuttur. Bu çalışma için, bu türlerden Kayseri İli Talas İlçesi'nden, Nevşehir İli Göre Beldesi'nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi'nden çıkarılan perlitik pomzalar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan türlerin, hafif agrega özellikleri incelendikten sonra, belirlenen 26 karışıma ait 3 farklı çimento oranında, 78 ayrı hafif beton dökümü yapılmış ve elde edilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık, su emme, dayanım, sıcaklık etkisinde dayanım gibi bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, çimento oranının hafif beton numunelerinin dayanımına ve birim hacim ağırlığına etkisi, sıcaklığın hafif beton numunelerinin dayanımına ve kuru birim hacim ağırlığına etkisi, hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiği ve pomza türlerinin birbirleri ile kıyaslanması hususunda irdelemeler yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pomza türleri ve bu türlerden üretilen hafif betonların sıcaklık etkisinde bazı özellikleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Chan ve ark.'nın (1999) yaptığı çalışmada basınç dayanımları 39 MPa, 76 MPa ve 94 MPa olan normal ve yüksek dayanımlı betonlar 1200^0C'ye kadar ısıtılarak, bu sıcaklıklarda 60 dk süreyle bekletilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra basınç ve çekme mukavemetleri belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca normal ve yüksek dayanımlı betonların gözenek yapıları da incelenmiştir. Deney sonuçlarında yüksek

sıcaklıkların etkisi 200^0C -400^0C, 400^0C -800^0C ve 800^0C üzeri olmak üzere üç aralıkta belirtilmiştir. İlk aralıkta normal dayanımlı betonların aksine yüksek dayanımlı betonların mukavemetlerini koruduğu, ikinci aralıkta özellikle 600^0C'nin üzerinde her iki betonunda da mukavemetlerinin önemli kısmını kaybettiği vurgulanmıştır. 800^0C üzerinde ise her iki betonunda mukavemetinin çok az bir kısmı kalmıştır. Normal betona benzer olarak yüksek dayanımlı betonda çekme mukavemetindeki azalma basınç mukavemetine göre çok daha keskindir. Yüksek sıcaklıkların etkisiyle gözenek yapısında irileşme etkisi ortaya çıktığı ve bunun da betonun durabilitesini azalttığı ifade edilmiştir.

Chan ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada 800^0C ve 1100^0C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra kademeli ve ani olarak soğutulmuş yüksek dayanımlı ve normal betonların davranışlarını incelemiştir. Hedef sıcaklığa kadar ısıtılan numuneler bu sıcaklıklarda 1 saat süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığına kadar havada yavaş yavaş ve suda aniden olmak üzere iki farklı şekilde soğutulmuştur. Yüksek dayanımlı betonların basınç mukavemetlerinde normal betona kıyasla daha keskin bir azalma belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı beton 800^0C'de, yavaş yavaş ve ani soğutma için sırasıyla başlangıç mukavemetinin %26–34 ve %22–28'ini koruyabilmiştir. Bu değerler 1100^0C için ise %8–12 ve %8–10'dur. Bununla beraber ani soğutmayla oluşan termal şokun betonun parçalanarak bozulmasında belirgin bir artışa sebep olmadığı bildirilmiştir.

Chang ve ark. (2006), betonun 100^0C ile 800^0C arası sıcaklıklarda ısıtılmasından sonra arta kalan gerilme-deformasyon ilişkisinin belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapmıştır. Betonların başlangıç mukavemetleri 27 MPa ve 40 MPa olarak belirlenmiştir. Bütün numuneler silis agregası ile üretilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek sıcaklıkların etkisiyle en fazla kayıpların sırasıyla elastisite modülü, çekme mukavemeti ve basınç mukavemetinde görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca betonun başlangıç mukavemetinin, arta kalan basınç mukavemeti, elastisite modülü ve çekme mukavemeti oranı üzerinde çok belirgin bir etkisi olmadığı ifade edilmiştir.

Chen ve Liu tarafından (2004) yüksek dayanımlı ve fiberli yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra arta kalan mukavemetleri incelenmiştir. Hazırlanan numuneler 200^0C, 200^0C, 400^0C, 600^0C ve 800^0C sıcaklılara üçer saat süreyle maruz bırakmıştır. Numuneler doğal yolla oda sıcaklığına soğutularak basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı betonda yüksek sıcaklıklarda patlayarak parçalanma görülmüştür. Karbon ve çelik fiber kullanımının

patlama zamanını geciktirdiği, polipropilen fiberin ise bu olayı ortadan kaldırdığı belirtilmiştir. Fiberli yüksek dayanımlı betonların arta kalan basınç ve çekme mukavemetlerinin lifsiz yüksek dayanımlı betonlarınkinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yüksek erime noktalı (karbon veya çelik gibi) fiberlerin, düşük erime noktalı (polipropilen gibi) fiberler ile karıştırılarak kullanılmasının yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonraki özellikleri üzerinde belirgin iyileştirici katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Demir ve Topçu (2008) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun arta kalan dayanımını iyileştirmek amaçlanmış, betonda kaba agrega olarak endüstriyel bir atık olan kiremit kırıkları kullanılmasının etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma, numune üretimi, kürü, sıcaklık etkisi, soğutma süreci, fiziksel ve mekanik deneyler olmak üzere beş aşamada gerçekleştirilmiştir. Üretimde CEM I 42.5 R Portland Çimentosu, tane boyutu 0–4 mm olan nehir kumu, 4-16, 16-31.5 mm olan kırma taşlar ve 16-31.5 mm tane boyutunda kiremit kırığı agregası kullanılmıştır. Kırma taş yerine %0, 10, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında kiremit kırığı agregası kullanılarak seri beton üretilmiştir. Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel ve mekanik özeliklerine etkilerini araştırmak için beton numuneler, 28 günlük standart kür süresinin sonunda, TS EN 1363-1'e uygun olarak 3 saat süreyle 150, 300, 400, 600, 900 ve 1200 ºC olmak üzere altı farklı sıcaklıkta yüksüz olarak ısıtılmış, soğutma işlemi havada gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğuyan numunelerde, birim ağırlık, ultra ses geçiş hızı, yüzey sertliği, statik ve dinamik elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, eğilme ve basınç dayanımı, ağırlık kaybı, tokluk değerleri belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonlardaki bozulmaların neden olduğu içyapı değişimleri taramalı elektron mikroskop çalışmaları ile araştırılmıştır. Deney sonuçları istatistik ve tahmin yöntemleri ile incelenmiş, sonuçların güvenilirliği ile yüksek sıcaklığın normal ve kiremit kırığı agregası katılmış betonlara etkisi tahmini olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarından normal ortam koşullarında kiremit kırıklı betonlar ile normal betonlar arasında mekanik özelikler açısından büyük farkların oluşmadığı, özellikle 600 ºC ve daha yüksek sıcaklıklarda betonun dayanımında çok büyük kayıpların meydana geldiği, kayıplarının kiremit kırıklı betonlarda daha az olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmadan yüksek sıcaklık etkisinde kalacak betonlarda kiremit kırıklarının kaba agrega olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Demirel ve Gönen (2008) tarafından yapılan çalışmada, silis dumanı katkılı karbon lif takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi

incelenmiştir. Bu amaçla, çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı, CEM I 42,5 N tipi çimento, Elâzığ yöresi bazik karakterli pomza agregası ve çimento ağırlığının %0,5 oranında karbon lif kullanılarak hafif beton numuneler hazırlanmıştır. Yüksek sıcaklığın hem silis dumanlı hem de karbon lifli hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yaptığı etkileri gözlemek için, silis dumansız hafif beton, silis dumansız karbon lifli hafif beton, silis dumanlı hafif beton ve silis dumanlı lifli hafif beton olmak üzere 4 farklı seri hazırlanmıştır. 365 günlük yasa erisen numuneler 1saat süreyle 250, 500, 750 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Numuneler oda sıcaklığında soğutulmuştur. Daha sonra, porozite ve basınç dayanımları kaydedilmiştir. Sonuç olarak, silis dumanı içeren serilerde basınç dayanımı kayıpları silis dumansız serilere göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımı ve porozite arasındaki iliski 500 ve 750 °C dışında yüksektir.

Dronnadula ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, sayısal ve deneysel analizlere dayanarak, kolonlar ve kirişler için bazı niceliksel ilişkiler geliştirilmiştir: (i) eşdeğer yangın süresi ve numune boyutu; (ii) yangın dayanımı ve kesit boyutu ve (iii) kesit boyutu, beton kapak kalınlığı ve yangına maruz kaldıktan sonra taşıma kapasitesi. Çalışma sonucunda şu sonuçlara varılmıştır: Eksenel yüklü kare sütunlarda aynı yük seviyesinde kesit boyutu ile yangın dayanıklılığı artar. Betonarme kirişlerinin yangın direnci ağırlıklı olarak yük oranına ve güçlendirilmiş çubukların sıcaklığına bağlı olduğundan, kesit derinliğinin betonarme kirişlerinin yangın dayanıklılığı üzerinde neredeyse hiçbir etkisi yoktur. Kesit genişliğinin artması ile yangın dayanımı yalnızca az miktarda artar. Beton kaplama kalınlığının doğru bir şekilde arttırılmasıyla, betonarme kirişlerinin yangın direnci önemli ölçüde iyileştirilebilir. Bununla birlikte, betonarme kirişlerin yangın dayanımını arttırmak için beton kaplamanın kalınlığını aşırı arttırmak pratik değildir.

El-Hawary ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışmada, yangına maruz kalınan sürenin etkisi ve betonarme kirişlerin yangına maruz kalan kesme bölgesine beton pas payı kalınlığının etkisi ve su ile soğutulması incelenmiştir.8 adet betonarme kiriş (180 × 20 × 12 cm) incelenmiştir. Kirişler iki gruba ayrılmıştır.1.grup pas payı kalınlığı 2 cm olan dört adet kirişten, 2.grup pas payı kalınlığı 4 cm olan dört adet kirişten oluşmaktadır. Her bir grup farklı zaman periyotlarında (0, 30, 60 ve 120 dk.) 650^0C lik yangına maruz bırakılmıştır. Kirişlerin beton basınç dayanımları, yangına maruz kaldıktan sonra ertesi gün zararsız bir şekilde Schmidt çekici kullanılarak belirlenmiştir. Kirişler artan şekilde iki enine yük kullanılarak test edilmiştir. Her bir yük artımında

gerilme ve deformasyonlar ölçülmüştür. Çatlama yükleri, çatlama ilerlemesi ve nihai yükler her bir kiriş için kaydedilmiştir. Yangına maruz kalan kirişlerin kesme bölgesindeki davranışı, pas payı kalınlığının değişimi ve yangına maruz kalınan süre tarafından büyük ölçüde etkilenir.

Erdem (2010) tarafından yapılan çalışmada, ISO834'de verilen bağıntı ile kesit yüzeylerine etkiyen sıcaklık hesaplanmıştır. Laplace ısı iletim bağıntısı kullanılarak kesit içindeki sıcaklık dağılımı ve Eurocode2'de verilen bağıntılarla malzeme dayanımlarındaki kayıplar belirlenmiştir. Isı iletim bağıntısı sonlu farklar yöntemi ile çözülerek küçük parçalara bölünen kesit içindeki sıcaklık dağılımı bulunmuştur. Kesit içindeki küçük parçalarda oluşan azalan malzeme dayanımları kullanılarak çekme ve basınç kuvvetleri elde edilmiş ve daha sonra kuvvetlerin dengesinden moment taşıma kapasiteleri bulunmuştur. Ayrıca, T-kesitli betonarme kirişlerdeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi için de pratik bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada, önerilen pratik yöntemin yeterliliği ve yüksek sıcaklığın kirişlerin taşıma gücüne olumsuz etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen pratik yöntemin tablalı kesitlerde sıcaklık dağılımının hesaplanmasında oldukça etkili olduğu ve yangın etkime süresinin uzamasıyla kesit taşıma gücünde büyük kayıplar meydana geldiği görülmüştür.

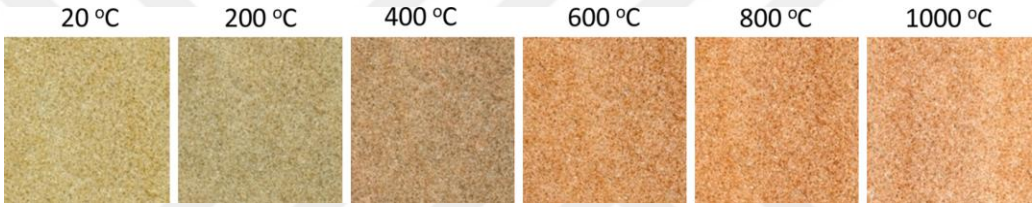
Ergün ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, farklı sınıf ve çaptaki betonarme çelik donatıların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra soğutularak mekanik özelliklerinde oluşan değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; yüksek sıcaklık sonrasında donatı çeliklerinin mekanik özellikleri, yüksek sıcaklık anındaki durumundan farklı olduğu görülmüştür. Donatı çeliklerinin mekanik özelliklerinde belirgin kalıcı azalmalar, $800^{o}C$ ve daha yüksek sıcaklık sonrası ortaya çıkmıştır.

Gökçer ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, farklı miktarlarda cam lif ile takviye edilmiş harç numunelerine, filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edilmiştir. Elde edilen numunelerin, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, hazırlanan numuneler üzerinde porozite, kılcal su emme, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılarak yüksek sıcaklık sonrası numunelerde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

Gustaferro ve ark. (1971) hafif, yalıtkan betonların yangın dayanımları ile ilgili olarak deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 500–1600 kg/m^3'lük birim ağırlığa sahip betonların yangın dayanımı incelenmiş; numunelerin nem içeriği ve bağıl rutubet

arasındaki ilişkiler belirtilmiştir. Deney programında boşluklu hafif beton, perlit betonları, vermikülit betonları kullanılmıştır. Pas payı kalınlığı ile yangın dayanımı arasındaki ilişki değişik birim ağırlığa sahip betonlar için incelenmiştir. Sonuç olarak, birim ağırlıktaki artışın yangın dayanımında azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Bu durumun bütün beton türleri için geçerli olduğu vurgulanmıştır.

Hager (2014) tarafından yapılan çalışmada ısı etkisi altında betondaki renk değişikliğinin analizi sunulmuştur. Doğal nehir yatağı agregası ile hazırlanan harçların ısıtılması sonucu oluşan renk değişimi görüntü analizli yazılım paketi ile incelenmiştir. Bu yöntemde dijital görüntü kırmızı, yeşil, mavi olmak üzere üç renk bileşenine ayrılmıştır. Isıtma sonucunda betonda meydana gelen renk değişiklikleri betonun fiziksel ve kimyasal dönüşümleri ile bağlantılıdır.' sonucuna varılmıştır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Hager'in çalışmasından bir görüntü

Handoo ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikleri bilinen normal portland çimentosu ile küp numuneler üretilerek 100^0C aralıklarla 1000^0C "ye kadar beşer saat süreyle ısıtılmış ve betonun hidrate fazında meydana gelen mineralojik değişiklikler incelenmiştir. Betonun fiziksel durumu ise ultrasonik ses dalgası ölçümleri ve basınç mukavemetine bağlı değerlendirmeler ile belirlenmiştir. Ultrasonik ses dalgası ölçümleri betonun 300^0C üzerinde hızlıca bozulduğunu göstermiştir. Morfolojik çalışmalar ise, iyi gelişmiş kalsiyum hidroksit kristallerinin ve C-S-H jelinin 600^0C üzerinde bozulduğunu ortaya koymuştur. Bir yangında sıcaklığın 500^0C üzerine çıkması durumunda detaylı bir çalışma yapılarak yapısal elemanların durumlarının gözden geçirilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Heo ve ark. (2011) tarafından yüksek dayanımlı betonun yangın direncini arttırmak için bir inşaat uygulaması tekniği sunulmuştur. İnşaat uygulamasından önce, ISO–834 uyarınca üç saat süre yangın testleri yapılmıştır. Azaltma yöntemleri üç tiptir; hiçbir koruma olmadan bir örnek(kontrol), yanmaz panel ile koruma, Polipropilen fiber takviyeli kombinasyon ile koruma (cam ve karbon fiber), metal örgü hapsi ile koruma

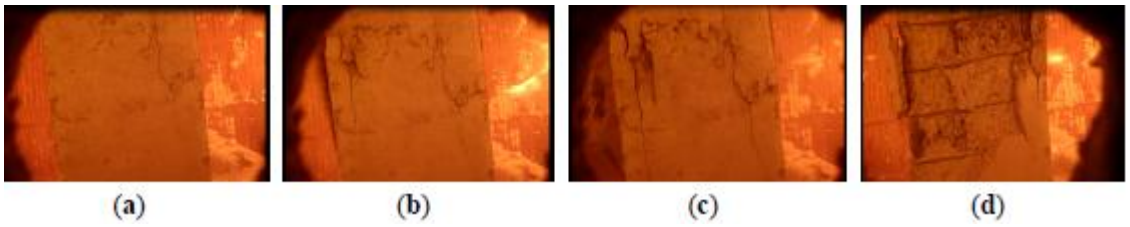
(Fiber / Ağ) yöntemleri, karşılaştırma amacıyla tam boy kolona uygulanmıştır. Tüm kolonların yangın dayanımı performans yükleri altında test edilmiştir. Yangın testlerinin ardından, numunelerin parçalanma şiddeti değerlendirilmiştir ve pratikte parçalanmadan korunmak için en iyi performans tekniği fiber/ Ağ yöntemi seçilmiştir. Beton kalitesi incelenmiştir ve beton davranışı gözlenmiştir. Betonda polipropilen lif ilavesiyle birlikte metal ağ ile yanal hapsin kullanılmasının yangına karşı en başarılı direnç olduğu bulunmuştur. Metal ağın çeşitli boyutlarla basıncı hapsetmesi hesaplanarak beton kolonların mukavemet artışı tahmin edilebilir. Ve dolayısıyla kalıcı yükün seviyesi yangına maruz kalmadan önce tahmin edilebilir. Sonuç olarak, bu yeni direnç tekniğinin parçalanmaya karşı pratikte mümkün olduğu belirlenmiştir.

Heo ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada betonun parçalanmasını önlemek için en uygun fiber uzunluğu ile iri agregalar arası boşluğun ilişkili olduğu bulunmuştur. Komşu agregaların birbirine bağlanması için gözenekli yüzeyler arası geçiş bölgeleri ile çevrili olması önemlidir. Deneysel test sonuçları gösterdi ki, agrega gradasyonunu maksimum 20 mm olan beton, en uygun 30mm olan fiberler ile birlikte kullanıldığında neredeyse hiç parçalanma olmamıştır. Oysaki diğer fiberli betonlar parçalanmadan dolayı ağırlığının %92'sini kaybetmiştir. En uygun lif uzunluğunun kriterlerini değerlendirerek bu çalışmayla aynı zamanda birim hacimdeki fiber miktarının kritik eşiği ve iri agregalar arası boşluğun en uygun fiber uzunluğunu hesaplamak için temel bir parametre olduğu bulunmuştur. Herhangi bir beton için parçalanmaya karşı koruması için belirli bir iri agrega boyutu önerilmiştir. Betonun parçalanmasını önlemek için en uygun fiber uzunluğu üç kritik parametreye göre belirlenmiş tir; agregalar arası boşluk, agrega boyutu ve kritik fiber boyutu. Buna göre en uygun fiber uzunluğu için önerilen denklem baskın fiber parametrelerinin bir kritik eşiği (fiber miktarı ya da fiber uzunluğu)ayrıca tahmin edilebilir. İri agreganın en büyük boyutu kullanıldığında betonun parçalamasını önlemek için en uygun boyutu en uzun olandır. Bunun nedeni şu ki, agrega büyüklüğü arttıkça agregalar arasındaki boşluk artmaktadır. Bu yüzden uzun fiberler gerektiren beton daha çok sızdırır.

Hertz'in (2003) bu çalışmasında yangına maruz kalan betondaki dökülmenin niteliği üzerine mevcut bilgiler tartışılmıştır. Son bulgular eklenmiştir ve dökülmenin olmaması gerektiği yeni sınırlar ortaya çıkmıştır. Bazı kurallar araştırma tecrübelerine dayalı olarak formüle edilmiştir ve güvenli tasarım sınırlarının ötesinde yapıların dökülme riskini azaltmak için uygulanmıştır. Öngörülen limitlerden şu anda ifade edilebilir olanlar vardır ancak araştırmalar devam etmektedir.

Hüsem (2006) tarafından yapılan çalışmada normal ve yüksek dayanımlı mikro betonların yüksek sıcaklıklar altında basınç ve eğilme mukavemeti değişimleri incelenmiştir. Mikro beton numuneleri 200^0C, 400^0C, 600^0C, 800^0C ve 1000^0C sıcaklık etkilerine 60 dk süreyle maruz bırakılmışlardır. Daha sonra numunelerin bir kısmı havada bir kısmı ise suda soğutulmuştur. Prizmalar üzerinde eğilme deneyi yapılmış, basınç deneyi ise eğilmede kırılan parçalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Normal ve yüksek dayanımlı betonlarda sıcaklığın artmasıyla eğilme ve basınç mukavemetlerinin azaldığı, bu azalmanın suda soğutulan numunelerde daha fazla olduğu belirtilmiştir. Normal betonun dayanımı düzenli olarak azalırken, yüksek dayanımlı betonun basınç mukavemeti 200-400^0C arasında havada soğutulan numunelerde %13, suda soğutulanlarda %5 oranında artmıştır. Ayrıca yüksek dayanımlı betonda 400^0C-500^0C arasında patlayarak parçalanma görülürken normal betonda bu etkiye rastlanmadığı bildirilmiştir.

Hongying Dong ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada geri dönüşümlü agrega kullanılarak farklı beton basınç dayanımlarına sahip dört tam ölçekli betonlar ile üretilen kolonların yangın performansını incelemiştir. Dört numuneden ikisi sırasıyla C20 ve C30 basınç dayanımına sahip normal beton ile, diğerleri sırasıyla C30 ve C40 geri dönüştürülmüş kaba agrega betondan üretilmiştir. Bu numuneler laboratuar fırınında simüle bina yangın şartlarına tabi tutulurken aynı zamanda sabit eksenel kuvvet uygulanmıştır. Sıcaklık değişimi, düşey deplasman, yanal sapma, yangın dayanıklılığı ve numunelerin arıza karakteristikleri dahil olmak üzere, deneysel sonuçlardaki birkaç parametre karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, hem geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen kolonların hem de normal beton ile üretilen kolonların beton basınç dayanımı arttıkça, yüzeyden sütunun iç yüzeyine ısı transfer oranının arttığını göstermiştir. Aynı eksenel kuvvet altında, aynı kesite sahip kolonlarda daha düşük beton basınç dayanımına sahip olanlar daha iyi yangın direnci performansı sergilemiştir. Geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen kolonların yangına dayanıklılık performansı, aynı beton basınç dayanımı ile üretilen normal beton kolonlardan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yangın sırasında betonda gözlenen değişimler Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Yangın sırasında farklı dakikalarda gözlenen beton dökülmesi (Hongying Dong ve ark., 2014)

Janotka ve Bagel (2002), 800^0C'ye kadar sıcaklıkların betonun mukavemet karakteristikleri, boşluk yapısı ve hesaplanan geçirimlilik katsayısına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda 400^0C'ye kadar olan sıcaklıkların, test edilen numunelerin elastisite modülü, mukavemet, ortalama boşluk çapı ve hesaplanan geçirimlilik katsayıları üzerinde çok belirgin değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. 400^0C-800^0C aralığında boşluk yapısının irileşmesiyle mukavemet azalmıştır. Betonun yapısal bütünlüğünün bozulmasının ise 800^0C "de gerçekleştiği belirtilmiştir.

Kalifa ve ark.'nın (2000) yaptığı çalışmada C30 ve C100 betonları kalker agregası kullanılarak üretilmiştir. Betonlar patlayarak parçalanmanın görülebileceği aralık olan 450^0C, 600^0C ve 800^0C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Daha sonra bu numunelerin farklı yüzeylerinde basınç ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Her iki beton grubunun da benzer termal özellikler gösterdiği ve gözenek basınç eğrilerinin benzer şekilde pik değerler yaptığı belirtilmiştir. Bu pik noktalar C100'de 38 bar, C30'da ise 18 bar olarak ölçülmüştür.

Karaca ve ark. (1997) tarafından hafif betonun yangın dayanımını incelemek için hazırlanan prizmatik numuneler 200^0C, 400^0C, 600^0C, 800^0C, 1000^0C ve 1200^0C sıcaklık etkilerine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek sıcaklığa maruz bırakılan hafif betonların eğilme mukavemetlerinin tanık numunelerinkine göre, sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. Ancak bu azalmanın normal betonunkilerden daha az olduğu belirtilmiştir. 600^0C'den sonraki sıcaklıklarda havada soğutulan numunelerin mukavemetlerinin son derece azaldığı, suda soğutulan numunelerin ise ayrışarak dağıldığı ve 1000^0C ve daha yüksek sıcaklık etkisinden sonra havada ve suda soğutulan numunelerin basınç mukavemetlerinin son derece düşük olduğu ifade edilmiştir. Betonların yangın dayanımlarının; üretimlerinde kullanılan agrega, petrografik yapı ve mineralojik birleşimiyle yangın söndürme yönteminden bağımsız olamayacağı vurgulanmıştır.

Karanfil ve Topçu (2007) tarafından yapılan çalışmada, betonarme yapıların, yangın etkisi sonucunda, donatılarda oluşabilecek hasarların belirlenebilmesi için yapılarda sıkça kullanılan dört farklı pas pay kalınlığı ile deneyler yapılmıştır. CEM I 42,5 çimentosu kullanılan harçlarda, ağırlıkça çimentoya oranla %0, 10, 20 ve 30 pişmiş kil kullanarak hazırlanmıştır. Ø16 çapında S 420 özeliğindeki donatılara 20, 30, 40, 50 mm'lik pas paylarını sağlamak için farklı ölçülerde özel kalıplar hazırlanmıştır. Numunelere 28 gün kür uygulanmış, kür işlemi biten numuneler 3 saat süreyle farklı sıcaklıklarda tutulmuşlardır. Pas payı çıkartılarak çekme deneyi uygulanan betonarme çeliklerinin, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özeliklerinin değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, pas payının donatının sıcaklığın olumsuz etkilerine karşı korunmasında büyük etkisi olduğunu göstermiştir. Kullanılan pişmiş kilin yüksek sıcaklıkta donatının mekanik özeliklerinin korunmasında önemli bir fark yaratmadığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda donatıyı koruyan pas payı harcının hasar görmesine karşın, numune içerisindeki donatıyı korumaya devam ettiği görülmüştür.

Kaya ve Yazıcıoğlu (2015) çalışmalarında, yüksek sıcaklığa maruz kalan sıva kaplamalı betonların mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu amaçla maksimum tane çapı (d_{max}) 8mm olan agrega ve 400 dozlu beton ile 50x50x50 mm küp numuneler üretilmiştir. Numuneler 20±2°C' de 28 gün standart su küründe tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler 100x100x100 mm ölçülerinde küp kalıplar içerisine sıva kalınlığı 25 mm olacak şekilde ortalanarak yerleştirilmiştir. Kaplanan numuneler 180 gün boyunca laboratuar koşullarında bekletilmiştir. Referans (sıva kaplamasız) ve üç farklı sıva malzemesi ile kaplanmış numunelere 60 dakika 350, 550, 700 ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası sıvalar temizlenip beton numunelerin ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanım değerleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık artışıyla beraber basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızlarında azalmalar görülmektedir. 1000 °C sıcaklıklarda tüm numunelerde dağılmalar meydana geldiği için dayanım tespit edilmemiştir. 350, 550, 700 °C sıcaklıklar sonrasında en iyi dayanım ve ultra ses değerleri alçı sıva kaplamalı numunelerden elde edilmiştir. En yüksek dayanım kayıpları 700 °C'de sırayla referans, ısı yalıtım, çimento esaslı ve alçı sıvalarda meydana gelmiştir.

Nassar ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada betonarme kolonların yüksek sıcaklıktaki dayanımını araştırmıştır. Betonarme kolonlarda polipropilen lifler kullanılmıştır. Farklı polipropilen içeriklerinde üç karışım betonu hazırlanmıştır (0,0 kg/m³, 0,5 kg/m³ve 0,75 kg/m³). Betonarme kolon boyutları (100 mm x100 mm x300

mm)'dir. Numuneler 2,4 ve 6 saat boyunca 400 ° C, 600 ° C ve 800 ° C'de sıcaklığa maruz bırakılmış ve basınç dayanımı açısından test edilmiştir. Ayrıca, Betonarme kolon donatıları incelenmiştir. 800 ° C de 6 saat ısıtıldıktan sonra 2 cm ve 3 cm pas payına sahip betonarme numunelere güçlendirici çelik çubuklar yerleştirilmiştir. Daha sonra takviye çelik çubuklar daha sonra ekstrakte edilmiş ve sünme stresi ve maksimum uzama oranı açısından test edilmiştir. Deneysel programdan elde edilen sonuçların analizi, kullanılacak polipropilenin en iyi miktarının 0,75 kg / m³ olduğunu göstermiştir. Ayrıca, 3 cm pas payının yangın dayanımını arttırmakta yararlı olduğu ve takviye çeliği çubukları için iyi bir koruma sağladığı görülmüştür. Bu koruma 6 saatte ve 600 ° C'de 2 cm'lik pas payına sahip kolon örneklerinden % 5 daha yüksektir.

Kristensen ve Hansen (1994) tarafından yapılan, yangın etkisi veya ısıl şoktan dolayı çimento hamuru ve beton örneklerinde oluşan çatlakların incelendiği çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, numunelerde çatlak oluşmasının beklendiği, deneysel olarak çatlakların gözle görülebildiği sıcaklık değerleriyle hesaplanan değerler arasındaki ilişki incelenmiştir. İkinci bölümde ise 0^0C-900^0C, 0^0C -800^0C, 0^0C -700^0C ve 0^0C -500^0C "ye kadar ısıtarak ultrasonik dalga hızı ölçümlerinde oluşan değişiklikler belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ve hesaplamalara dayanarak çimento hamuru numunelerinde 300^0C sıcaklıkta çatlaklar gözlendiğini, beton numunelerinde ise 500^0C sıcaklıkta iç çatlakların oluştuğu belirtilmiştir.

Lau ve Anson (2006) çalışmalarında %1 oranında çelik fiber içeren betonların 105^0C-1200^0C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra basınç, eğilme mukavemetleri, elastisite modülleri ve porozitelerini incelemiştir. Çalışmada 10 cm boyutlu küp ve 10x20 cm boyutlu silindir numuneler kullanılmıştır. 400^0C'nin altındaki sıcaklıklarda basınç mukavemeti kaybının çok az olduğu görülmüştür. Bütün beton grupları için 400^0C sıcaklıktan itibaren basınç mukavemetlerinde büyük azalmalar başlamıştır. 600^0C'den itibaren yüksek dayanımlı betonların normal betona göre daha fazla mukavemet kaybı göstermiştir. Fiber kullanımının ısıtılmış betonda 1200^0C'ye kadar olumsuz bir etkisi olmadığı aksine betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Lawson ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yüksek sıcaklık etkisinden önce basınç mukavemetleri 40–100 MPa arasında değişen betonların üç grubu yüksek dayanımlı, biri ise normal dayanımlı kontrol grubudur. Numuneler ısıtılmadan önce her beton grubu için fiziksel boyutlar, kütle ve boyuna

titreşim frekansları ölçülmüştür. Çalışmada belirlenen 100^0C, 200^0C, 300^0C ve 450^0C sıcaklıklara 50^0C /dak artış hızı ile ulaşılmıştır. Isıtma işleminden sonra numuneler fırında oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve tartılarak tekrar boyuna titreşim frekansı ölçülmüştür. Her numunenin basınç mukavemeti ve dinamik elastisite modülü belirlenmiştir. Çalışmada 240^0C -280^0C arasında silis dumanı içeren iki farklı grup yüksek dayanımlı betonun patlayarak parçalandığı ancak silis dumanı içermeyen diğer karışımda patlama olayına rastlanmadığı belirtilmiştir. Patlayarak parçalanma olayının doğrudan sudaki kimyasal bağların açılması anında meydana gelen iç basıncın etkisiyle olduğu ifade edilmiştir.

Li ve ark. (2004) yaptığı çalışmada C40, C60 ve C70 betonlarının yüksek sıcaklık etkilerinden sonra basınç, çekme ve eğilme mukavemetleri incelenmiştir. Üretilen numuneler 200^0C, 400^0C, 600^0C, 800^0C ve 1000^0C sıcaklıklara kadar ısıtılmış, hedef sıcaklığa ulaşıldığında fırın kapatılarak numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bahsedilen sıcaklıklarda C70 betonu başlangıç basınç mukavemetinin sırasıyla %82,3, %62,3, %58,1 ve %27,3'ünü koruyabilmiştir. Numune boyutu arttıkça mukavemetteki kaybın daha az olduğu da belirtilmiştir. Ayrıca 800^0C üzerinde betonun su içeriğinin basınç mukavemeti üzerinde çok etkisi olmadığı ifade edilmiştir.

Lin ve ark. (1996), laboratuar şartlarında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak soğutulan veya arazide yangın görmüş binalardan alınan örnekler üzerinde stereo mikroskop ölçümleri yapılarak ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) fotoğrafları kullanılarak, yüksek sıcaklıklara maruz kalmış betonların mikro yapıları incelenmiştir. Isıtma süresince çatlama ve parçalanmalar ve soğutma esnasındaki dağılmalar yangın esnasında betonda gözlenen yaygın davranışlar olarak ifade edilmiştir. Çalışmada portland çimentosu ve silis agregası kullanılarak üretilen standart silindir numuneler 100^0C, 250^0C, 400^0C, 550^0C, 750^0C ve 900^0C yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılmıştır. SEM ve polarize ışık mikroskobu deneylerinde, ince çatlaklar hariç, 300^0C sıcaklığın altında çatlak gelişimleri gözlenmediği bu sıcaklığın altında betonda bölgesel bağ çatlaklarının belirgin olduğu belirtilmiştir. 300^0C-500^0C arasındaki sıcaklıklarda agrega parçacıklarının bağlarında ve ara yüzeylerde çatlaklar gözlendiği, 500^0C'nin üstünde ise çimento hamuru ile agrega parçacıkları arasında çok önemli çatlaklar oluştuğu bildirilmiştir. Yangında zarar görmüş betonların tamir edilmesinin pratikte bir mühendislik problemi olduğu, bu sebeple tamirde yeni tekniklerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Luo ve Lin (2007) tarafından yapılan çalışmada dijital görüntü analiz yöntemi yardımıyla çeşitli yüksek sıcaklıklarda çamur külü içeren harç örneklerinin yüzey renk değişiklikleri incelenmiştir. Sonuçlar, harç içine eklenen çamur kül ilavesinin yüzey renk değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kırmızı, yeşil ve mavi'nin yoğunlukları kül katkı maddeleri ile azalmıştır. Harç yüzeyinin renk ve parlaklık dağılımları görüntü analizi ile değerlendirilmiştir. Görüntü analizi yüksek sıcaklıklarda kalmış harçların özelliklerini tespit etmek için yararlı bir araç olarak görev yapabilir.

Maruta ve ark. (1995) bu çalışmada yüksek sıcaklıklar altında beton ve donatının malzeme özelliklerini sunmuşlardır. Ayrıca yüksek sıcaklıklar etkisinde, kalın duvarların ısı transfer özellikleri ve yüksek sıcaklıklara maruz donatılı kirişlerin yapısal davranışı da incelenmiştir. Donatılı beton elemanların yüksek sıcaklık etkilerinde lineer olmayan davranışını tahmin etmek için model oluşturulmak üzere yapılan deneylerden 800^0C'ye kadar veriler sağlanmıştır. Deneyler ısıtma süresinde ve numuneler soğutulduktan sonra yapılarak, betonların sıcak durumdaki ve soğutulduktan sonraki arta kalan özellikleri belirlenmiştir. Betonun ısıl genleşme katsayısı 200^0C'ye kadar küçük değerlerde olmasına karşın, 600^0C civarında çok hızlı bir artış göstermiştir. Bunun sebebi kullanılan agreganın içerdiği kuvartz miktarıdır. Çünkü 573^0C 'de alfa kuvartzdan beta kuvartza dönüşüm gerçekleşir, bunun neticesinde %15 civarında hacim artışı olur. Betonun ısıl iletkenlik katsayısında sıcaklık artışıyla azalma tespit edilmiştir. Betonun basınç mukavemetinde ise 200^0C civarında bir artış olmuş, bundan sonra ise sıcaklık artışıyla mukavemette hızlı azalmalar görülmüştür. Kalsiyum silikat hidratenin bozulması sonucunda 700^0C'de çok belirgin kayıplar olmuş, bu sıcaklıkta mukavemet başlangıç değerinin %20'si olarak ölçülmüştür. Çelik çubukların ısıl genleşme katsayıları sıcaklığın artmasıyla 400^0C'ye kadar artmış, 400^0C -700^0C aralığında sabit kalmış, daha sonra azalmış ve 800^0C civarında yaklaşık sıfıra düşmüştür. Akma mukavemetlerinde 300^0C'ye kadar küçük değişimler belirlenmiş, ancak daha sonra sıcaklığın artmasıyla mukavemetler doğrusal şekilde azalmıştır.

Raouffard ve Nishiyama (2017)'nın yaptığı çalışmanın amacı, betonarme kiriş-kolon alt montajlarının yüksek sıcaklıklarda yapısal tepkilerini incelemektir. Bu hedef, ISO-834 standart yangın testini, iki özdeş bir üçüncül ölçekli betonarme kiriş sütun alt montaj testi örneği üzerinde yürütmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Her biri bir betonarme kolonun orta yüksekliğine demirlenmiş bir betonarme konsol kirişinden oluşan test numuneleri, tam ölçekli bir fırına monte edilip sırasıyla aşağı ve yukarı

servis yüklerine tabi tutulmuştur. Yangın bölmesi konsol kirişlerini (kirişlerin üst yüzü ve yükleme noktaları hariç), kiriş sütun bağlantılarını ve alt kolonları tamamen sarmıştır. Yukarıya monte edilmiş dirsek kirişin gerilme boyuna çelik çubukları, önceden belirlenmiş kritik sıcaklığa 530 ° C ulaştığında, yangın testi 74 dakika sonra sona erdirilmiştir. Alt sütunlar kısmi beton dökülme sergilemiş ve kiriş-kolon bağlantılarında tipik çapraz çatlaklar ortaya çıkmıştır. Eklem çekirdeklerde kaydedilen iç sıcaklık dağılımlarına dayanarak, yangında malzeme direnci kaybının eklemlerin yük taşıma mekanizması üzerinde önemsiz bir etkisi olduğu bulunmuştur. Öte yandan, yangın sırasında kiriş uçlarının dönüş kapasitesinde kademeli olarak azalma, yük-bükülme ilişkisini önemli derecede etkilemiştir.

Park ve ark. (2011), sıcaklık dağılımı ve parçalanma dâhil yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanımlı kolonların davranışlarını araştırmak için bu çalışmayı yapmıştır. Bu amaca doğru 7 farklı HSC kolon (high strength concrete) farklı dizayn parametreleri ile üretilmiştir ve yangın testleri için bir ısıtma odasına yerleştirilmiştir. Dizayn parametreleri; kesit alanları, pas payı kalınlıkları, takviyeli çubukların düzenlemeleridir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki; dizayn parametreleri sıcaklık dağılımları etkileri ve HSC kolonların parçalanması ve yangın güvenlik tasarımının önemli faktörleridir.

Peng ve ark. (2008) tarafından; 200^0C -800^0C arasında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış fiberli betonların soğutulması esnasında termal şokun betonların mekanik özelliklerine etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Doğal soğutma, 5 ile 60 dakika arasında değişen sürelerde su püskürtme ve su içinde tutma gibi farklı soğutma şekilleri uygulanmıştır. Su içinde tutma ve 30 dakikadan fazla sürelerde su püskürtme gibi hızlı soğutma tekniklerinin termal şoka sebep olduğu belirlenmiştir. Hızlı soğutma yöntemlerinin daha fazla hasara sebebiyet verdiği ve betonun basınç mukavemeti, çekme mukavemeti ve kırılma enerjisi özelliklerinde, doğal soğutmaya kıyasla daha fazla kayıplara yol açtığı belirtilmiştir. 30 dakika ve üzerinde su püskürtmenin suda bekletme ile eşdeğer hasara yol açtığı, ayrıca çelik ve polipropilen fiber kullanımının hem mukavemet hem de kırılma enerjisi özelliklerine olumlu etki yaptığı açıklanmıştır.

Phan ve Carino (1998) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklık etkilerinde, yüksek mukavemetli betonların mekanik özelliklerinin incelendiği deneysel çalışmada, normal ağırlıklı, kalkerli ve silisli agregalar ve hafif agregalar kullanılmıştır. Bazı karışımlarda normal portland çimentosu, bazılarında da silis dumanı, uçucu kül, çelik lif gibi katkılar kullanılmıştır. Sıcaklıkların etkisiyle beraber yüksek mukavemetli

betonların malzeme özelliklerinin normal mukavemetli betonlarınkinden farklılık gösterdiği ve bu farklılıkların 250^0C ile 400^0C arasında daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Bu aralıkta yüksek mukavemetli betonlar normal mukavemetli betonlara göre daha hızlı bir mukavemet kaybı göstermiştir. 300^0C sıcaklık değeri bütün betonlar için elastisite modülünün daha yüksek hızlarda düşmeye başladığı değer olarak bildirilmiştir. Hafif agrega betonlarının normal ağırlıklı betonlara göre orijinal elastisite modüllerinin daha büyük bir oranını muhafaza ettikleri de belirtilmiştir.

Poon ve ark. (2001), tarafından yapılan çalışmada silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren yüksek mukavemetli betonların 800^0C'ye kadar olan yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve durabilite performanslarını karşılaştırılmıştır. 600^0C'nin altındaki sıcaklıklarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren betonların sadece çimento ile üretilen kontrol gruplarına kıyasla en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Yüksek mukavemetli betonların yüksek sıcaklıklarda normal betonlarınkine benzer bir mukavemet azalması gösterdiği ancak arta kalan mukavemetlerinin göreceli olarak çok daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Poon ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada; farklı puzolanlar içeren 20 beton karışımı (normal ve yüksek dayanımlı) hazırlanmıştır ve 800°C ye varan yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Doğal soğutulduktan sonra numuneler su içinde ve kontrollü bir ortamda toplam 56 gün yangın sonrası küre tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler bazı testlerden geçirilmiştir. Test sonuçları yangın sonrası küre tabi tutulan betonun, önemli ölçüde dayanım ve dayanıklılığını geri kazanmıştır ve bunun boyutu beton türlerine, maruziyet sıcaklığına, yöntemlere ve yineleme süresine bağlıdır. Bir durumda geri kazanılan gücü, orjinal yanmaya maruz kalmamış gücün 93%'ü dür.

Rostasy ve ark. (1980), 900^0C'ye kadar olan yüksek sıcaklıkların betonun gözenek yapısı üzerindeki etkisini cıva porozimetresi yöntemiyle incelemiş ve yüksek sıcaklıkların toplam gözenek hacminde artışa sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir.

Saad ve ark. (1996), normal portland çimentosu yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında silis dumanı içeren betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine yüksek sıcaklıkların etkisini incelemiştir. Numuneler her bir inceleme için 200-600^0C arası sıcaklıklarda 100^0C aralıklarla üçer saat fırında bekletilmiştir. Isı yükseltme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler deneylerin yapılacağı koşul olan oda sıcaklığına soğutulmuştur. %10 silis dumanı içeren beton numunelerin bütün sıcaklıklarda daha düşük porozite ve en yüksek basınç mukavemeti değerlerine sahip oldukları, 600^0C'ye ısıtılan betonda basınç mukavemetlerinin normal betona göre %64,6 daha fazla olduğu

belirtilmiştir. Bununla birlikte %20–30 arasında silis dumanı içeren betonların 600^0C'ye ısıtıldığında normal portland çimentosu ile yapılan betonlara göre mukavemetlerindeki artışın sadece %28 olduğu bildirilmiştir.

Sakr ve El-Hâkim (2005) tarafından yapılan yüksek sıcaklıkların (250^0C,500^0C,750^0C ve 950^0C) ve bu sıcaklıklara maruz bırakılma sürelerinin (1,2 ve 3 saat) ağır betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İlmenit ile üretilen betonlarının en yüksek yoğunluk, elastisite modülü ve en düşük absorbsiyon yüzdesine sahip olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca çakıl ve barit betonuna kıyasla, ilmenit betonlarında daha fazla basınç, çekme, eğilme ve bağ mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Bütün beton türleri için ısıtma süresinin mekanik özellikler ile ters orantılı olarak ilişkisi belirlenmiştir. Suda soğutmanın beton özelliklerinde büyük hasara sebebiyet vermesinden dolayı köpük ile veya havada soğutmanın daha iyi bir teknik olduğu vurgulanmıştır.

Sancak ve Şimşek (2006) tarafından bims agregası ile üretilen taşıyıcı hafif beton (HB) ve normal yoğunluklu agrega ile üretilen normal betonların (NB) karşılaştırmalı olarak 1000^0C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı ve yangın sonrası basınç dayanımları araştırılmıştır. Çalışmada silis dumanı (SD), mineral katkı olarak %0, %5 ve %10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. HB'ların birim ağırlıkları, NB'lara göre %23 daha düşüktür. Çalışma sonucunda 20^0C, 100^0C ve 400^0C sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında, NB'ların HB'lara kıyasla daha dayanıklı oldukları görülmüştür. 800^0C ve üstündeki sıcaklıklarda, SD kullanım oranına bağlı olarak basınç dayanımı kaybının arttığı belirtilmiştir. Hafif betonlardaki ağırlık kaybı değerlerinin; 400^0C -800^0C'lerde normal betonlardan fazla iken, 100^0C'de düşük kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca hafif ve normal betonların basınç dayanımlarının 100^0C'ye kadar önemli oranda azalma göstermediği, hatta bir miktar arttığı bildirilmiştir.

Savva ve ark. (2005), farklı oranlarda puzolanik malzeme içeren betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra mekanik özellikleri tahribatsız deney metotları ile belirlemiştir. Kireç taşı ve silis agregaları kullanılarak üretilen numuneler 100^0C,300^0C,600^0C ve 750^0C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır.300^0C'ye kadar olan sıcaklıklarda puzolanik malzeme kullanılarak üretilen betonların sadece portland çimentosu ile üretilenlere oranla daha iyi sonuç verdiğini ancak sonraki sıcaklıklarda bu betonların daha hassas olduğu belirtilmiştir. 100^0C -300^0C arasında bütün karışımlarda başlangıç mukavemetine göre bir miktar artış olduğu ve bu artışın silis agregalı

betonlarda daha fazla olduğu, 300^0C -750^0C aralığının ise betonda mukavemet kaybı için kritik değerler olduğu bildirilmiştir. Her sıcaklıkta elastisite modülünde düşüş görülmüş ve bu düşüşün kireçtaşı agregaları ile üretilen betonlarda daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Short ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada, betonun ısıtılmasıyla kırmızı-pembe renk değişimi durumunda beton basınç dayanımındaki önemli kaybın başlamasının aynı zamana denk geldiği gözlemlenmiştir. Renkli görüntü analizi ile birlikte optik mikroskop yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonun için renk değişikliklerini ölçmek için kullanılmıştır. Numunelerin renk tanımı için doygunluk ve yoğunluk alındı, yansıyan ışık ve renk ölçümleri incelenmiştir. Sonuç olarak, bu teknik şu anda kullanılan öznel görsel değerlendirmeye göre üstündür. Kırmızı-pembe renk değişiminin gelişimi beton basınç dayanımındaki önemli ölçüde azalma olduğu zamana rastlar. Bu yöntem dayanım azalması meydana gelen yerden ısıtılmış yüzeye olan uzaklığı tanımlamak için de kullanılabilir.

Subaşı ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada sürdürülebilir bir beton elde etmek için çevresel faktörlerde önemli bir yeri olan yüksek sıcaklığın uçucu kül ikameli çimentolar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada çimento belli oranlarda (%5–10–20) uçucu kül ile ikame edilmiş ve TS EN 196–1 standardında belirtilen referans kum kullanılarak 40x40x160 mm boyutlarında harç numuneleri hazırlanmıştır. Her bir grup karışımında gerekli olan su miktarı ASTM C230, C109 ve C1437 standartlarında belirtilen akma çapına göre akma tablası deneyi ile belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler 100–200–300–400–500-600^{o}C sıcaklıklarına maruz bırakılarak basınç ve eğilme dayanımı deneyleri TS EN 196–1 standardına uygun olarak yapıldıktan sonra elde edilen veriler istatiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; %5 oranında uçucu kül ikamesi ile çimento mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşmeler sağlanmıştır. %10'a kadar uçucu kül ikamesi ile çimento harçları yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar görmüştür. Tüm uçucu kül ikame oranlarında sıcaklık artışına paralel olarak dayanım değerleri düşmüştür.

Morita ve ark. (2017), sert bir merminin yüksek hızlı çarpmasının ardından yangına maruz kalan beton duvarın sıcaklığı ve yapısal davranışı üzerine bir deneysel çalışma yapmışlardır. Darbe ve yangın testleri, küçük ölçekli beton plakalar ve betonarme perdeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yerel hasarın etkisini ve darbe yüklerine ve ateşe maruz bırakılan kısa fiber takviyeli betonun avantajını göstermektedir.

Tan ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada**,** beton pas payı kalınlığı farklı altı numune, (10–30 mm) yangına maruz kalan betonarme eğilme elemanlarının özelliklerine pas payının etkisini incelemek için test edilmiştir. Örneklerin alt ve iki yanal yüzeyi ısıtılmıştır. Bu test sonuçlarından görüldüğü üzere, alt pas payının numunenin nihai yükleme kapasitesi üzerinde önemli etkisi vardır. Fakat bu etkinin derecesi pas payı kalınlığındaki bir artış ile azalacaktır. Bu yüzden, numunenin yangın direncini arttırmak için pas payı kalınlığının aşırı derecede arttırılması yanlıştır.

Terro (2006) çalışmasında ince ve iri agrega yerine atık cam kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonun özelliklerine etkisi araştırmıştır. İnce agrega, iri agrega ve her ikisi yerine %0–100 arası oranlarda atık cam kullanılmıştır. 700^0C'ye kadar sıcaklıklarda atık cam kullanımının beton mukavemetini orijinal değerine kıyasla %20 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Genel olarak, %10 oranında atık cam kullanılmasının daha büyük miktarlardaki kullanımlara göre normal ve yüksek sıcaklıklarda daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrıca sadece ince agrega yerine cam kullanılan numunelerde, iri agrega yerine ve ince-iri agreganın her ikisi yerine cam kullanılan numunelerden, normal ve yüksek sıcaklıklarda, daha yüksek basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

Topçu ve Demir (2005) tarafından yapılan çalışmada standart harç numunelerinde çimento yerine %0,10,20,30 oranlarında uçucu kül katılmıştır. Hazırlanan harç serileri TS 7748'e göre 3 saat süreyle 150,300,400,600 ve 900 ^{0}C sıcaklıklarda tutularak ve sonrasında havada soğumaya bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik özellikleri her sıcaklık için belirlenip değerlendirilmiştir. Belirli yüzdelerde betona çimento ile birlikte katılan uçucu külün; yangın ve yüksek sıcaklık etkisinde betona ,600^0C'ye kadar olan sıcaklıklarda tatmin edici özellikler kazandırdığı, fakat kazandırdığı bu özellik yanında eğilme ve çekme dayanımlarında azalmalar meydana getirdiği bu çalışma sonunda saptanmıştır.

Uysal (2004) tarafından yapılan çalışmada çeşitli betonarme yapı elemanları için ısı iletimi durumları incelenmiştir. Öncelikle ele alınan yapı elemanları matematiksel olarak modellenmiştir. Daha sonra uygun sınır koşulları için özel çözümler elde edilmiştir. Hesaplar için perde, kolon, döşeme ve kiriş betonarme elemanlar kullanılmıştır. Perde elemanların iki yüzeyinden, kolon elemanların da dört yüzeyinden yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldığı düşünülmüştür. Yine döşeme elemanlar için $y_1>y_2$ olmak üzere; alt yüzeyinden y_1 ve üst yüzeyinden y_2 sıcaklık değerinin tesir ettiği durumlar için çözümler yapılmıştır. Kiriş elemanlarda ise etkinin üç yüzeyden de tesir

ettiği düşünülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda betonarme yapı elemanlarındaki boyut artışının ve fiziksel özelliklerin iyileştirilmesinin yangın dayanımı üzerindeki olumlu etkileri açıklanmıştır. Kolon kiriş, döşeme ve perdelerde, eleman boyutu büyüdükçe eleman içinde herhangi bir x uzaklığındaki sıcaklık, yangının t inci dakikasında daha düşük olmaktadır. Bu da eleman boyutu büyüdükçe yangından görülen hasarın azalacağını açıkça göstermektedir. Buna bağlı olarak taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan bir binanın yangın güvenliği ile büyük boyutlu kolonlar içeren bir yapının yangın dayanıklılığı aynı olmayacaktır. Taşıyıcı sistem düzenlenirken yangın sırasında ve sonrasındaki davranışlar da dikkate alınırsa sadece perdelerden oluşan bir sistem yerine, büyük boyutlu kolonlar veya tuğla, alçı panolarla mantolanarak korunmuş kolonlar ve perdeler içeren bir sistem tercih edilebilir. Yangın hasarı yapının üst katlarına çıkıldıkça artmaktadır. Üst katlarda yapı üzerindeki yüklere göre kolon boyutları küçülürken bu sonuç da dikkate alınmalı ve kolon boyutlandırmasında yangın etkisi de düşünülmelidir. Yangın hasarı, en az kolonların alt kısımlarında oluşurken en fazla hasar kolonların üst bölgelerinde, kirişlere yakın yerlerde ve döşemelerin altlarında meydana gelmektedir.

Ünlüoğlu ve ark. (2007) tarafından Yüksek sıcaklık altında, 25 mm'lik pas payına sahip betonarme bir yapının donatı özeliklerindeki değişimi belirlemek amacı ile yapılmış bu çalışmada, hasarlı ve hasarsız deneyler sonunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

• Yapılan deneyler sonucunda, yüksek sıcaklıklarda harç ile sağlanan 25 mm pas payının, donatıları koruyarak, akma ve çekme dayanımı kayıplarını azalttığı, pas paysız donatılara göre dayanımların yüksek olduğu görülmektedir.

• Sıcaklık 500 °C'ye kadar çıkarıldığında, ısıl işlem görmemiş numunelerle yaklaşık olarak aynı akma ve çekme dayanımlarına sahip olduğu görülen pas paylı numunelerin, bu sıcaklık aşıldığında dayanım kayıplarına uğradığı bulunmuştur.

• Pas payının 25 mm olduğu bu çalışmada, 500 °C üzerinde donatı mekanik özeliklerinin korunamadığı görülmektedir. Yapılan araştırmalar, normal bir konut yangınının 815 °C civarında olabildiği ve anlık olarak 1093 °C'lik zirve sıcaklığına ulaşabildiği belirtilmiştir. Bu bilgiye göre, pas payı arttırılarak bu sıcaklıklarda donatıyı koruyabilecek pas payı kalınlığı bulunabilir.

Vydra ve ark. (2001) betonun çimento jelindeki yapısal değişiklikler üzerine 250^0C-910^0C aralıklarında ısıl yüklerin etkisini araştırmıştır. Bu değişimler nitrojenin fiziksel absorbsiyonu ve cıva porozimetresi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

Gözeneklerin yüzeylerinin ve hacimlerinin yaklaşık 500^0C'ye kadar arttığı belirtilmiştir. Daha sonraki sıcaklıklarda ise gözeneklerin yüzey ve hacimlerinin azaldığı ve dolayısıyla sıcaklık etkisiyle gözenek yapısının ilişkisinin parabolik kabul edilebileceği söylenmiştir.

Zhu ve ark. (2014) tarafından yüksek dayanımlı betonarme kısa kolonların eksenel yük performansı üzerine deneysel bir incelemenin sonuçları sunulmaktadır. Hasar şekli, yük-gerilme tepkisi, basınç dayanımı ve süneklik dahil olmak üzere toplam on numunenin performansı araştırılmıştır. Bu çalışmada ele alınan parametreler, sargı donatsı ve yapısal donatı düzenlemelerdir. Etkin mukavemet tanımı, tepe noktasındaki kuvvetin ani düşmesi nedeniyle kolonların basınç dayanımını ölçmek için geliştirilmiştir. Kolonların sünekliği, eksenel gerilmeye karşı planlanan eksenel yük eğrisinin altında pik sonrası ve piksiz alanın oranı ile karakterize edilir. Deneysel araştırmaya dayanarak, sargı donatılarının kolonların sünekliğini ve kalıcı dayanımlarını etkilediği, zirve mukavemetini etkilediği bulunmuştur. Yapısal donatı kolonların pik ve kalıcı mukavemetini ve sünekliğini etkilermiştir.

Xiao and König (2004) yaptıkları çalışmalarda; sıcaklığın oda sıcaklığından 400°C'ye çıkmasıyla çeliğin mukavemeti bir miktar artacağını, ancak düktilitesinin azalacağını belitmiştir. 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise çeliğin mukavemetinin düzenli olarak azalacağını ve 700°C'de başlangıç mukavemetinin ancak %20'sinin kalacağını söylemiştir. Çeliğin elastisite modülü de sıcaklığın artmasıyla beraber düzenli olarak azalır. Yüksek sıcaklıklarda betonun ısıl genleşmesi donatı çeliğinin genleşmesinden çok daha düşük olduğundan, betonun donatıyı etrafınca sıkması, beton ve donatı arasındaki sürtünmeyi artırır. Öte yandan betonun çekme mukavemeti azalır. Bu nedenle yüksek sıcaklık etkileriyle değişmiş olan beton ile donatı arasındaki aderans yangına maruz kalmış betonarme elemanların çatlak, deformasyon ve yük taşıma kapasitesine etki eder. Yüksek sıcaklık etkilerinden sonra beton-donatı aderansının çok belirgin şekilde değiştiği söylenebilir. Aderanstaki bozulma miktarı, betonun basınç mukavemetindeki hasardan daha fazla miktardadır. Bunun sebebi de betonun çekme mukavemetindeki azalma oranıdır. Aderans, düz donatılarda nervürlü donatılara göre daha çok azalır. Düz çubuklarda 100°C, nervürlü çubuklarda ise 300°C'ye kadar aderansta küçük artışlar belirlenmekle beraber, bundan sonraki sıcaklıklarda bağ kuvvetleri önemli ölçüde azalmıştır. Paslı ve passız donatıların farklı davranış sergilediği belirtilmiştir. Böylece donatının pas durumunun aderans üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Yüzer ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerinde olduğu gibi renk özelliğinde de önemli değişiklikler olduğuna işaret edilmekte, renk ölçümü yapılarak elemanın maruz kaldığı sıcaklık ve basınç dayanımında meydana gelen kayıplar hakkında fikir edinilebildiği belirtilmektedir.

Yüzer ve ark (2004) tarafından yapılan çalışmada; yangının ve söndürmenin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak için, normal ve silis dumanı katkılı harçlar 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmış, renk değişimi Munsell Renk Dizgesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüksek sıcaklık, normal ve silis dumanı katkılı harçların, mekanik özelliklerinde özellikle suda soğutulan numunelerde 600 °C'de önemli kayıplara neden olmuştur. Çalışmada, renk değişimlerinin incelenmesinden harçların yangında maruz kaldığı sıcaklık ve dolayısı ile dayanımdaki kayıp hakkında fikir edinilebileceği kanısına varılmıştır.

Zeybek ve Aydoğan'ın (2008) çalışmalarında önceden yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilen iki ayrı yöntemi incelemiştir. Her iki yöntemde kullanılan formüller Rankine formülasyonuna dayanmaktadır. Birinci yöntemde tasarım formülü üç basamakta elde edilmiştir. Birinci basamak, kolonun arttırılmış ısıdaki plastik ezilme yükünün belirlenmesidir. İkinci basamak, merkezi yüklü kolonların burkulma katsayısının belirlenmesidir. Üçüncü basamak ise eksantrik yükler için lineer olmayan bir büyütme teriminin geliştirilmesidir. Formül, pas payının etkilerini ve narinlik etkisini dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir. İkinci yöntem, Rankine yönteminin donatı ve beton özelliklerine sıcaklığın etkisi dikkate alınacak tarzda yangına maruz betonarme kolonlara uyarlanmasıdır. Tez kapsamında deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olan bu iki yönteme ait formülasyon ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra bu yöntemler kullanılarak bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım yardımıyla iki ayrı tip probleme, kesit tayini ve kesit tahkiki problemi, ait çok sayıda tipik uygulama yapılmıştır.

Zoldners ve Wilson (1973) tarafından yapılan çalışmada genleşmiş şist ve cüruf agregaları kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Daha sonra bu karışımlarla hazırlanan numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakmıştır. Bazı karışımlarda çimento yerine %25–40 arasında oranlarda uçucu kül, silis dumanı, şist külü gibi mikro filler malzeme kullanılarak bu malzemelerin beton davranışına etkisi incelenmiştir.

Numuneler fırında oda sıcaklığından 1000^0C'ye kadar sıcaklıklara ısıtılmış, sonra kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda farklı sıcaklık etkilerinde, tam hafif betonların yarı hafif betonlara göre daha iyi dayanım gösterdiği, yüksek fırın cürufu kullanılmasının yangın etkilerinde bir avantaj sağlamayıp aksine betonun eğilme mukavemetini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca portland çimentosu yerine mikro filler malzeme kullanımının 500^0C'ye kadar hafif betonun ısıl dayanımını iyileştirdiği, silis dumanının basınç mukavemetinde %20, eğilme mukavemetinde %10 artış sağlayarak en belirgin iyileştirmeye sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

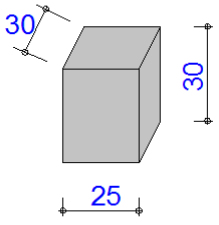
3. MATERYAL VE YÖNTEM

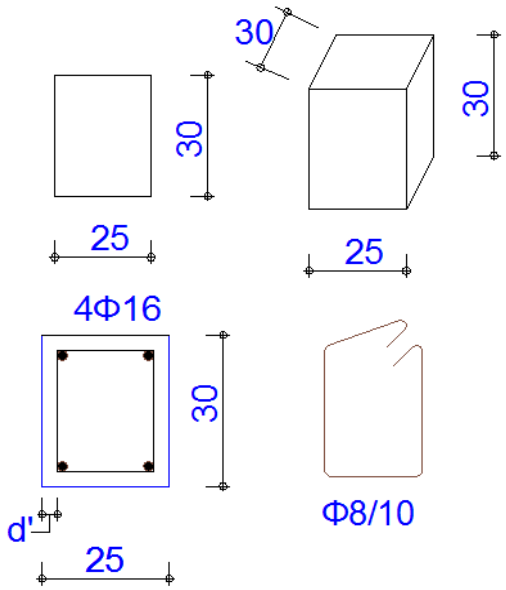
Bu bölümde yer alan materyal kısmında çalışmanın amacı doğrultusunda çelik donatı, beton karışımı ve kullanılan diğer malzemeler ile çalışmalarda kullanılan aletler hakkında bilgi verilmektedir. Yöntem kısmında ise betonarme kolonların testleri ile ilgili deney yöntemi, beton ve donatıların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri ve yangın deney yöntemi açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada; üç farklı beton sınıfında (beton basınç dayanımları birbirinden farklı olan) 2,0/3,0/4,0/5,0 cm pas paylarına sahip 25x30x30 cm boyutlarında 12 farklı tipte 60 adet kısa kolon numunesi hazırlanmıştır. Bu kolon numunelerinden 12 tanesi referans numunesi olarak kullanılmıştır. 48 adet numune ise, 30, 60, 90 ve 120 dk sürelerde, yangına maruz bırakılmıştır. Çizelge 3.1'de seçilen parametreler ve toplam numune sayısı verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.1'de üretilen kısa kolonların basit teknik çizimleri yer almaktadır. Numunelerin üretiminde en düşük dayanıma sahip olan Tip-1(daha düşük dayanıma sahip beton) betonlu kısa kolon numunelerinde düz donatı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Parametre Matrisi

Parametre	**Hedeflenen Beton Basınç Dayanımı f_c (MPa)**	**Pas Payı d' (cm)**	**Yangın Süresi t (dk)**	**Eleman Boyutları (cm)**
Değişim Aralığı	16	2.0	0	
	20	3.0	30	
	30	4.0	60	
	---	5.0	90	
	---	---	120	
Değişim Sayısı	3	4	5	
Toplam Numune	60			



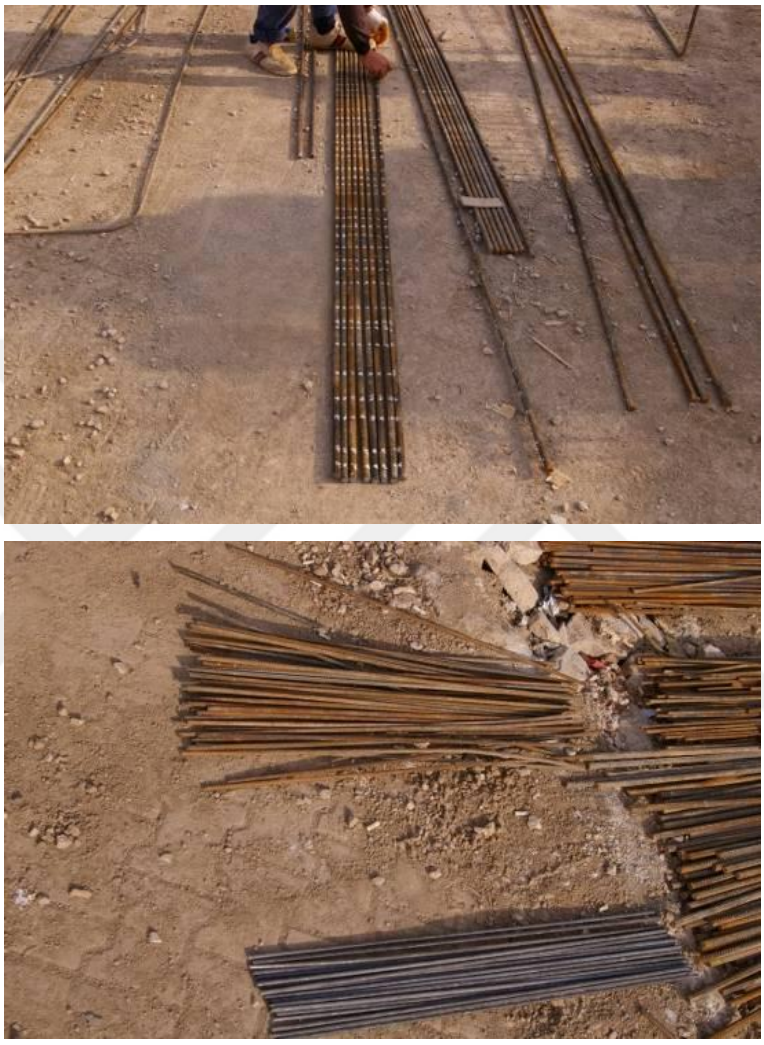
Şekil 3.1. Üretilecek Olan Tip Deney Numuneleri

Kullanılan numune kalıpları Konya'da bulunan mobilya tesisinde 1.8 mm et kalınlığına sahip mdf (sert veya yumuşak ahşap kalıntılarını parçalayıp ahşap life çevirdikten sonra, yüksek ısı ve basınç altında mum ve reçine tutkal ile oluşan levha şeklinde tasarlanmış ahşap ürün) malzemesiyle yapılmıştır. Şekil 3.2'de görülen numune kalıpları; kalıp malzemesinin beton içindeki suyu emmesini engellemek, kalıp söküldüğünde düzgün bir beton yüzeyi elde etmek ve betonun kalıp içine boşluk olmadan iyi bir şekilde yerleşmesi için beton dökümünden önce yağlanmıştır.



Şekil 3.2. Numune kalıpları

Çalışmada, merkezi Kayseri ili Kocasinan ilçesinde bulunan Eryılmazlar Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen 8 mm ve 16 mm çapında nervürlü, S420 donatılar numunelerin 40 adedinde kullanılmıştır. 20 adet numune için, Konya'dan temin edilen 8 mm ve 16 mm çapında nervürsüz S220 donatı kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. 8 mm ve 16 mm düz-nervürlü donatılar

Temin edilen donatı çeliklerine kullanılmadan önce Konya Alyans Malzeme ve Zemin Laboratuvarı'nda çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Düz donatı çekme deneyi



Şekil 3.5. Nervürlü donatı çekme deneyi

Çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çekme testlerinin sonuçlarından S220 olarak tarif edilen düz donatının aslında oldukça yüksek akma dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber toplam maksimum yükteki toplam uzama oranlarının ise TS-500 ve TS-708'de yer alan sınırların üzerinde kalmakla beraber S420 olarak anılan donatıya göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Sınıfı	Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm^2)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Max. Yük.Toplam Uzama %
S220	8.00	400.68	514.53	21.54
S220	8.00	444.47	513.73	21.55
S220	8.00	431.33	517.32	20.01
Ortalama		**425.49**	**515.19**	**21.03**
S420	8.00	473.58	581.01	34.16
S420	8.00	487.46	600.52	34.54
S420	8.00	469.35	590.17	35.35
Ortalama		**476.79**	**590.57**	**34.68**
S220	16.00	295.93	437.60	33.77
S220	16.00	293.49	431.53	32.15
S220	16.00	284.14	432.37	32.35
Ortalama		**291.18**	**433.83**	**32.75**
S420	16.00	425.72	566.18	33.79
S420	16.00	419.74	568.52	32.17
S420	16.00	431.70	571.16	33.76
Ortalama		**425.72**	**568.62**	**33.24**

Kolon numunelerinin donatıları Karatay Mehmet Karaciğanlar İmam Hatip Ortaokulu İnşaatı şantiyesinde hazırlanmıştır. Kolon numunelerinin donatılarının hazırlanması Şekil 3.6 (a), Şekil 3.7 (b) ve Şekil 3.8 (c)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kolon numunelerinin hazırlanması (a)




Şekil 3.7. Kolon numunelerinin hazırlanması (b)




Şekil 3.8. Kolon numunelerinin hazırlanması (c)

Beton üretimi, Konya Yardımcı Hazır Beton Tesisinde yapılmıştır. Betonun dökülmesi ve kalıplara yerleştirilmesi Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Şekil 3.11 de görüldüğü gibi 2 cm, 3 cm, 4 cm ve 5 cm olarak MDF'den kesilerek hazırlanan pas payı çıtaları donatılarla birlikte kalıplara yerleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Kolon kalıplarına donatıların yerleştirilmesi



Şekil 3.10. Kolon kalıplarına donatıların yerleştirilmesi ve numaralandırılması



Şekil 3.11. Beton dökülmesi

Dökülen betonların karışım hesapları sınıfına göre Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'te verilmiştir. Ayrıca kullanılan agregaların granülometri eğrileri de Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Tip-1 Beton karışım hesabı

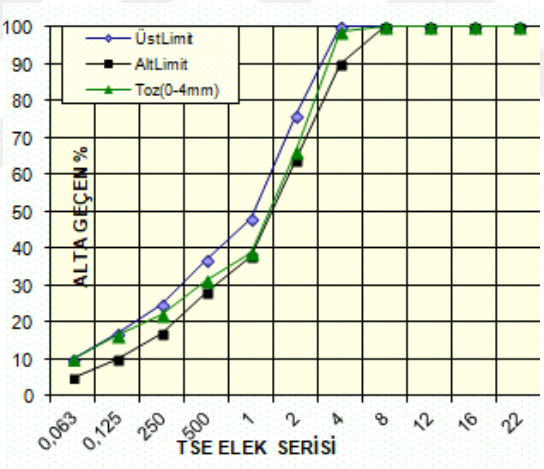
KARIŞIM HESABI *(TS 802'ye göre)*									
KARIŞIM		**ÖZ AGR.**	**D.G.M**	**D.G**	**KÜMÜLATİF**	**1m³**	**RUTUBET**	**DÜZELTİLMİŞ**	**0,970 dm³**
MALZEME	**%**			**HACİM**	**HACİM**		**MİKTARI**	**1m³ BETON KARIŞIMI**	**için**
ÇİMENTO		3,100	210	67,742	67,74	210	0	210	203,700
UÇUCU KÜL		3,100	0	0	0,00	0	0	0	0,000
2 NO	0,30	2,680			226	606	0,000	606	587,802
1 NO	0,10	2,680			75,37	202	0,000	202	195,934
T,TOZU	0,60	2,670			452,22	1207	0,000	1207	1171,217
KUM	0,00	2,690			0,00	0	0,000	0	0,000
KATKI 1(N)	0,90%	1,080	1,890	1,8	1,75	1,9		1,890	1,833
ANTİFİRİZ	0,00%	1,100	0,000	0,0	0,00	0,000		0,000	0,000
HAVA %'Sİ	1,3	1,000		13	13				
SU		1,000	163,8	163,8	163,8	163,8		164	158,886
KATKI ADI	DRACO FLUCON XXX			246,3	1000			0,000	
W /C =	0,78	D.G.K.HACİM		753,7	T.B.AGIRLIK	2391		2391	2319,372

Çizelge 3.4. Tip-2 Beton karışım hesabı

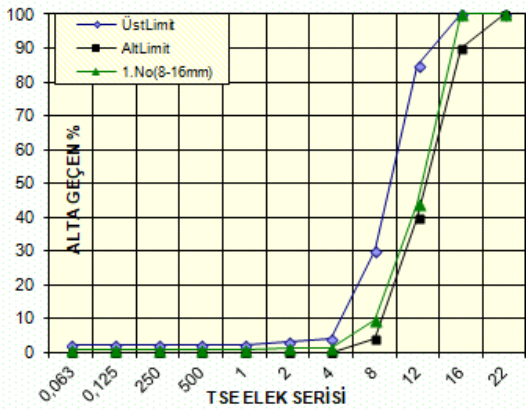
KARIŞIM HESABI *(TS 802'ye göre)*									
KARIŞIM		**ÖZ AGR.**	**D.G.M**	**D.G**	**KÜMÜLATİF**	**1m³**	**RUTUBET**	**DÜZELTİLMİŞ**	**0,970 dm³**
MALZEME	**%**			**HACİM**	**HACİM**		**MİKTARI**	**1m³ BETON KARIŞIMI**	**için**
ÇİMENTO		3,100	255	82,258	82,26	255	0	255	247,350
UÇUCU KÜL		3,100	0	0	0,00	0	0	0	0,000
2 NO	0,30	2,680			217	581	0,000	581	563,349
1 NO	0,08	2,680			57,79	155	0,000	155	150,226
T,TOZU	0,62	2,670			447,86	1196	0,000	1196	1159,910
KUM	0,00	2,690			0,00	0	0,000	0	0,000
KATKI 1(N)	0,80%	1,080	2,040	1,9	1,89	2,040		2,040	1,979
ANTİFİRİZ	0,00%	1,100	0,000	0,0	0,00	0,000		0,000	0,000
HAVA %'Sİ	1,5	1,000		15	15				
SU		1,000	178,5	178,5	178,5	178,5		179	173,145
KATKI ADI :	DRACO FLUCON XXX			277,6	1000			0,000	
W /C =	0,70	D.G.K.HACİM		722,4	T.B.AGIRLIK	2367		2367	2295,959

Çizelge 3.5. Tip-3 Beton karışım hesabı

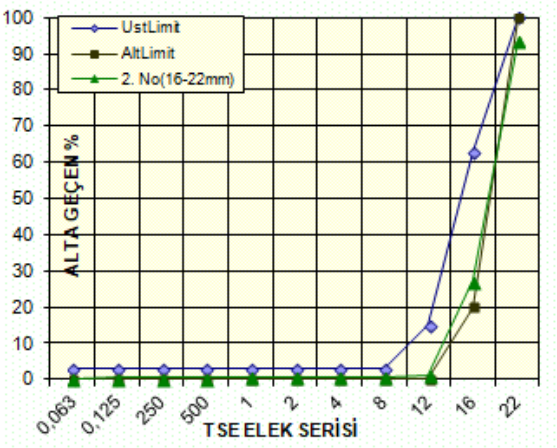
KARIŞIM HESABI *(TS 802'ye göre)*									
KARIŞIM		**ÖZ AGR.**	**D.G.M**	**D.G**	**KÜMÜLATİF**	**1m³**	**RUTUBET**	**DÜZELTİLMİŞ**	**0,970 dm³**
MALZEME	**%**			**HACİM**	**HACİM**		**MİKTARI**	**1m³ BETON KARIŞIMI**	**İÇİN**
ÇİMENTO		3,100	320	103,23	103,23	320	0	320	310,400
UÇUCU KÜL		3,100	0	0	0,00	0	0	0	0,000
2 NO	0,30	2,680			212	567	0,000	567	550,130
1 NO	0,08	2,680			56,43	151	0,000	151	146,701
T,TOZU	0,62	2,670			437,35	1168	0,000	1168	1132,694
KUM	0,00	2,690			0,00	0	0,000	0	0,000
KATKI 1(N)	0,80%	1,080	2,560	2,4	2,37	2,560		2,560	2,483
ANTİFİRİZ	0,00%	1,100	0,000	0,0	0,00	0,000		0,000	0,000
HAVA %'Sİ	1,3	1,000		13	13				
SU		1,000	176,0	176,0	176,0	176,0		176	170,720
KATKI ADI :	DRACO FLUCON XXX			294,6	1000			0,000	
W /C =	0,55	D.G.K.HACİM		705,4	T.B.AGIRLIK	2385		2385	2313,129



Şekil 3.12. T.Tozu Granülometri Eğrisi



Şekil 3.13. 1 No Granülometri Eğrisi



Şekil 3.14. 2 No Granülometri Eğrisi

Sıkıştırma, beton dökümünün sonuca etki eden en önemli aşamasıdır. İçerisinde bir miktar hapsolmuş hava boşluğu bulunduran taze beton, yerleştirildiği kalıbın içerisini tamamen doldurmamış ve yoğunluğu az olan bir beton durumundadır. Beton yerine yerleştirildikten hemen sonra bünyesinde yer alan hapsolmuş havanın, mümkün olabildiği kadar dışarıya çıkartılması gerekmektedir. Taze betonun içerindeki hapsolmuş havanın dışarıya çıkartılması işlemine "betonun sıkıştırılması " denilmektedir. Çeşitli vibratörlerle, şişleme, tokmaklama ve özel beton yapımında kullanılan bazı yöntemlerle sıkıştırma yapılabilir. Şekil 3.15'de görüldüğü üzere vibratör ile sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra beton döküm işlemi Şekil 3.16'da görüldüğü üzere tamamlanmıştır.



Şekil 3.15. Vibrasyon yapılması işlemi



Şekil 3.16. Beton dökme işleminin tamamlanması

Beton dükümü sırasında alınan küp numuneler Şekil 3.17'de görüldüğü üzere basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Beton dökümü sırasında alınan numune deney sonuçları

Beton Tipi	**Yanmamış Beton Küp basınç dayanımları (kg/cm^2)**
Tip-1	231,70
Tip-2	298,96
Tip-3	441,78



Şekil 3.17. Küp numunelerin basınç deneyi

3.2. Yöntem

Sertleşmiş betonun basınç mukavemetinin tayini Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılırken (Şekil 3.17) beton numunelerinin, yüksek sıcaklık etkileri için yangına tabi tutulması aynı üniversitenin Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı Laboratuvarında hazırlanan yangın odasında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Yangın Deneyi

Yapılarda kullanılan malzemelerin sıcaklık davranışı, hasar oluşumuyla doğrudan ilgilidir. Malzemelerin sıcaklık ölçümleri yapılarak ortaya çıkabilecek kusurların sebebi anlaşılabilir. Bu amaçla, tahribatsız muayene yöntemleri (malzemelerin ömrüne müdahale etmeden ve tahrip etmeden) kullanılabilir.

Bu yöntemlerden biri olan IRT (Image Temperature Technical) tekniği, cisimlerin yüzey sıcaklıklarını tespit etmek için kullanılmaktadır (Selek ve ark., 2009).

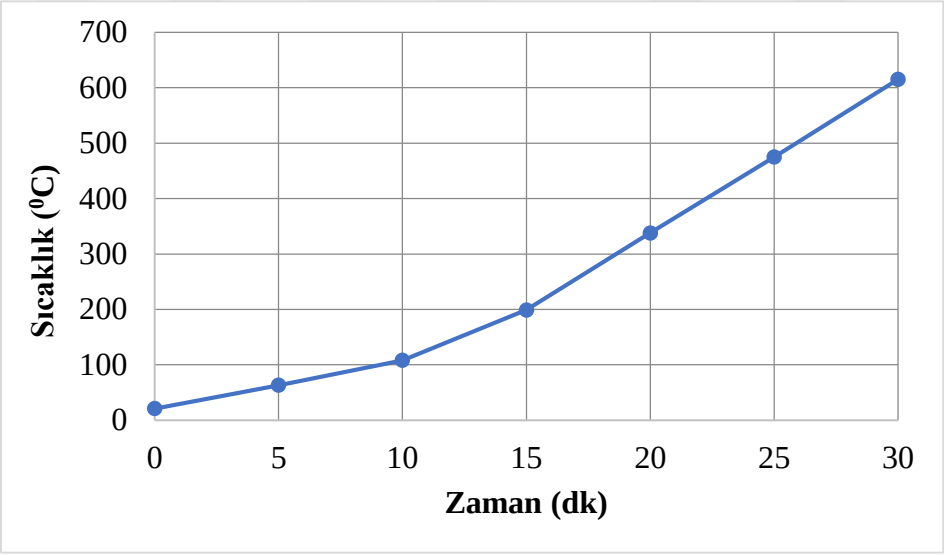
Bu yöntem, incelenecek olan alandan yayılan termal radyasyonun şiddetine göre bölgenin ısı dağılımını veren iki boyutlu bir resmin oluşmasını sağlar (Wirahadikusumah ve ark., 1998; Moropoulou ve ark.,2000). IRT tekniği, binaların performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle enerjinin korunumu bağlamında, ısı köprüleri, hava sızdırmazlığı ve nemli bölgeler gibi binalarda oluşabilen yapısal kusurları tespit etmek için yaygın olarak kullanılmıştır (Grinzato ve ark.,1998; Titman ve ark., 2001).

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar için bir test düzeneği hazırlanmış ve doğal yangını betimlemek üzere 4 adet deneysel çalışma (30 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk) yapılmıştır. Aynı zamanda deney esnasında infrared termografi ile yangın odasından termal görüntüler alınarak deney düzeneğinde kullanılan dijital termometre ile alınan verilerle karşılaştırmaları yapılmıştır. İnfrared termografi tekniği ile alınan görüntülerin yangın odası ve içindeki numunelerin incelenmesine olanak verdiğinden ve istenilen bölgedeki kusurlar sürekli izlenebildiğinden güvenle kullanılabilecek bir teknik olduğu söylenebilir. Yangın sırasında veriler Şekil 3.18'de görüldüğü gibi kayıt altına alınmıştır.



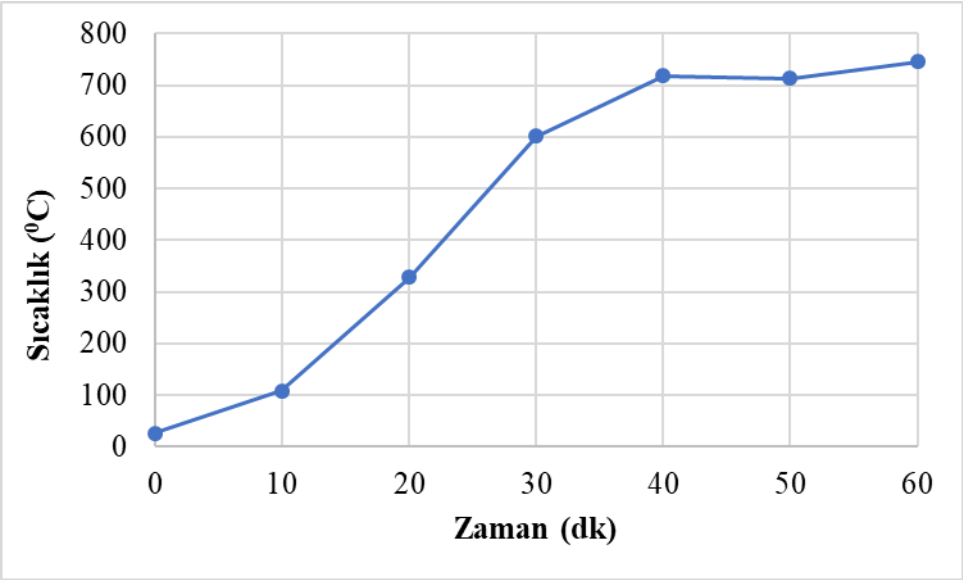
Şekil 3.18. Yangın sırasında verilerin kaydedilmesi

Şekil 3.19'da 30 dk yangına maruz kalmış numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği verilmiştir.



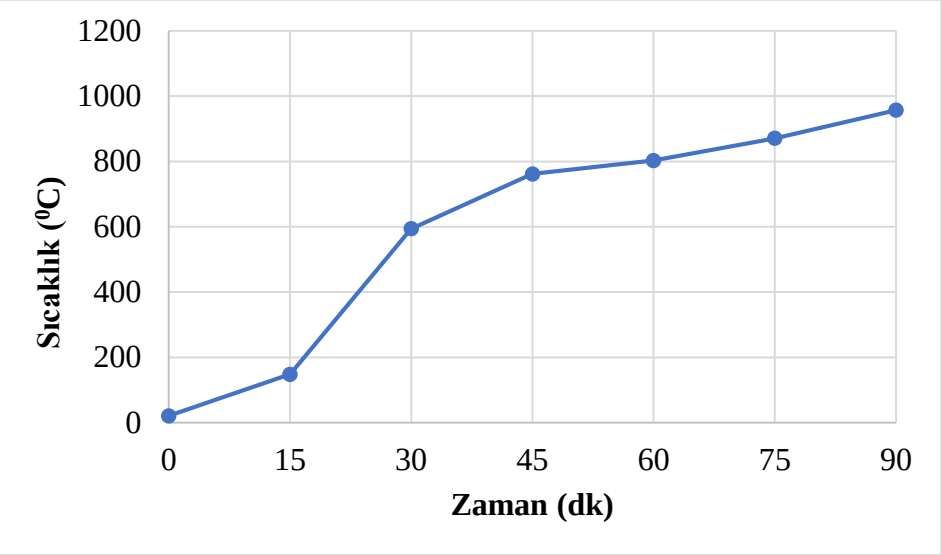
Şekil 3.19. 30 dk süreli yangında sıcaklık değişimi

Şekil 3.20'de 60 dk yangına maruz kalmış numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği verilmiştir.



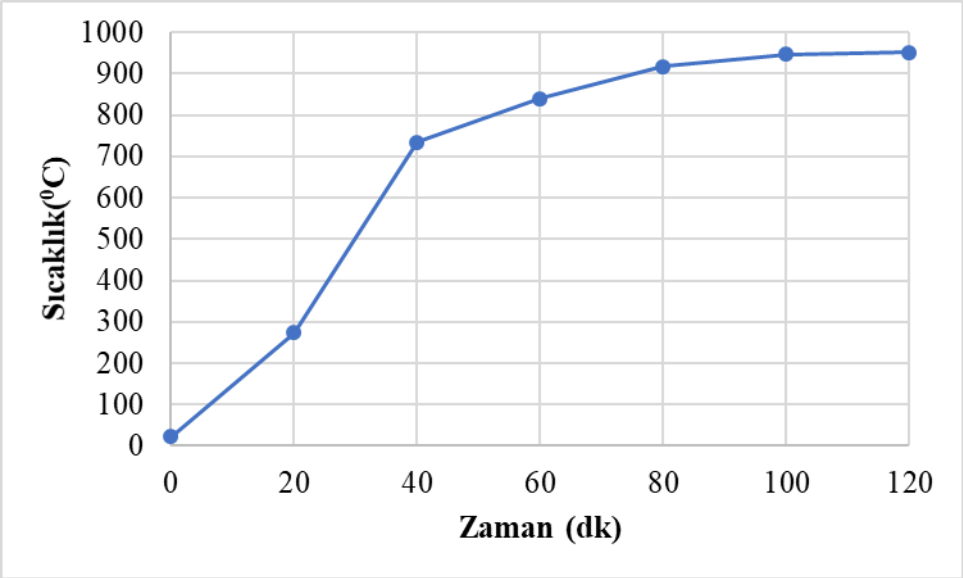
Şekil 3.20. 60 dk süreli yangında sıcaklık değişimi

Şekil 3.21'de 90 dk yangına maruz kalmış numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği verilmiştir.



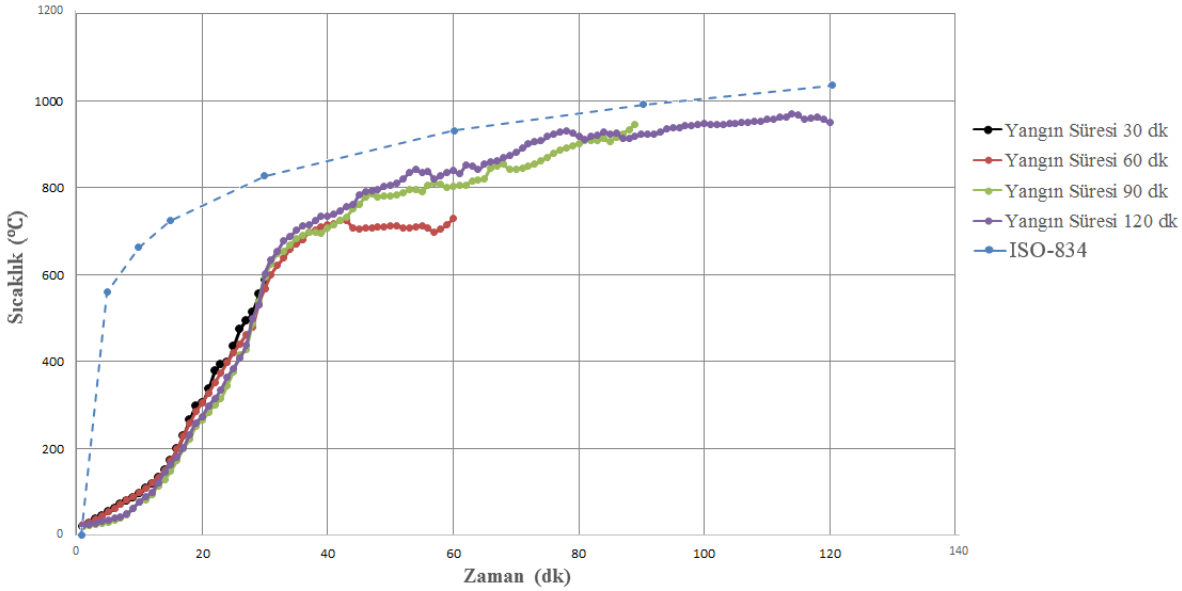
Şekil 3.21. 90 dk süreli yangında sıcaklık değişimi

Şekil 3.22'de 120 dk yangına maruz kalmış numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.22. 120 dk süreli yangında sıcaklık değişimi

Yangın deneyinin sıcaklık-zaman eğrisi Şekil 3.23' te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Yangın deneyinin sıcaklık-zaman eğrisi

Dijital termometre, termal kamera, kamera, yangın odası ve yanıcı ahşap malzemeler materyal olarak kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan Dijital termometre 1200ºC sıcaklık duyarlı olup ELIMKO marka ve ENDA markalı göstergesi ile Türk Akreditasyon Kurumu tarafından TS EN ISO/EC 17025'e göre kalibrasyonları yapılmış, H12S392 sayı ile Kalibrasyon sertifikası alınmıştır. Dijital termometre Şekil 3.24'te görülmektedir.



Şekil 3.24. Dijital termometre

Dijital termometrenin yangın odasında kullanımı Şekil 3.25'te görülmektedir.



Şekil 3.25. Dijital termometrenin yangın odasındaki teşkili ve yangın odası çatısındaki durumu

Deneyde Flir marka T200 modeli termal kamera kullanılmıştır. Termal kamera görseli (kızılötesi termografi cihazı) Şekil 3.26'da ve özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

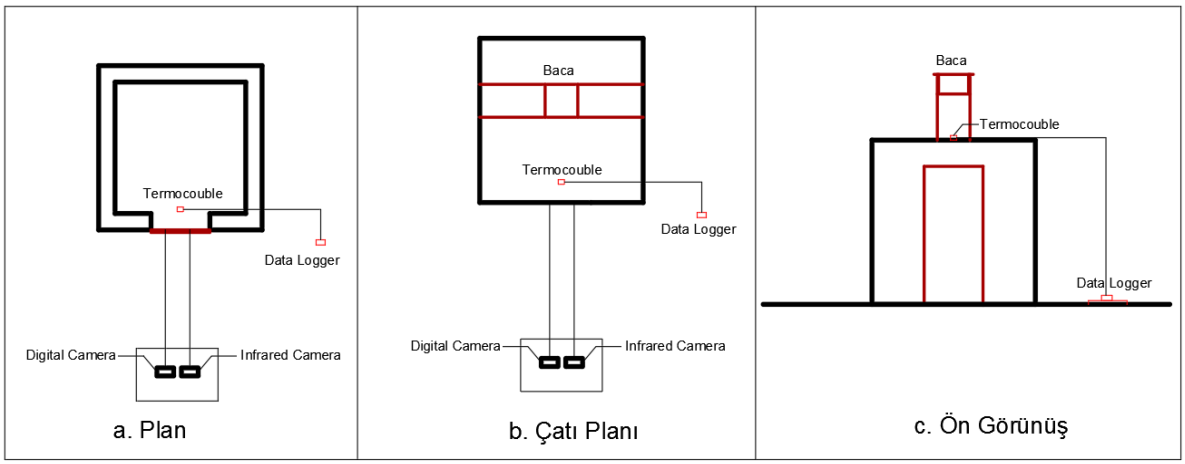


Şekil 3.26. Termal kamera

Çizelge 3.7. Termal Kameranın Özellikleri

Kızılötesi çözünürlük	200 × 150 piksel
Spektral aralık	7.5 - 13 µm
Nesne sıcaklık aralığı	-20°C to +120°C (–4°F to +248°F) - 0°C to +350°C (+32°F to +662°F)
Doğruluk	±2°C (±3.6°F) veya ±2% (okunulan değerin)
Termal duyarlılık/NETD	< 0.1°C @ +30°C (+86°F) / 100 mK
Ekran	Dahili dokunmatik ekran, 3.5 in. LCD, 320 × 240 piksel
Görüntü ayarı	Otomatik (min span 4°C / 7.2°F) veya el ile (min span 2°C /3.6°F)
Görüş alanı (FOV) / Minimum odaklanma uzaklığı	25˚x19˚/0.4m (1.31ft)
Radyometrik kızılötesi-Video akışı	USB kullanarak bilgisayara tam dinamik bağlantı
Çalışma sıcaklığı aralığı	–15°C to +50°C (+5°F to +122°F)

Beton numunelerin yangın dayanımını tespiti için, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı Laboratuvarında hazırlanan yangın odası kullanılmıştır. Söz konusu yangın odası ve deney düzeneğinin şematik görseli Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.27. Yangın Odası ve Deney Düzeneği Şematik Görünümü

Deneylerde yangınların gerçekleştirildiği yangın odası, ana taşıyıcı duvarı yığma tuğlası olan ve iç kısımları ateş tuğlasından örülmüş ve dış yüzeyi sıvandıktan sonra taş yünü ile yangın yalıtımı yapılmış olan yangın odası esasen doğal bir yangını modellemek için tasarlanmıştır. (Şekil 3.28) Bu odada oksijen girişiyle yangının sürekliliğini ve duman tahliyesini sağlamak içinde ayrıca üst kısmına saç baca

yapılmıştır. Baca düzenli olarak ortama oksijen girişini sağladığından dolayı odaya ayrıca pencere boşluğu açmaya gerek duyulmamıştır.



Şekil 3.28. Yangın odası ve düzeneği

Duvar malzemesi olarak Tam yığma tuğla ile taşıyıcı duvarlar oluşturulmuş, İç kısmında dolu harman tuğlası ile kaplanmış ve dış kısmında 5 cm kalınlığında ve 150 kg/m^3 yoğunluğunda taş yünü mantolama yapılmış yangın odasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çatı kısmında Ytong firması tarafından üretilen ve imalatı yapılan gaz beton çatı malzemeleri kullanılmıştır. Gaz beton çatıya ait teknik özellikler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Gazbetonun Özellikleri

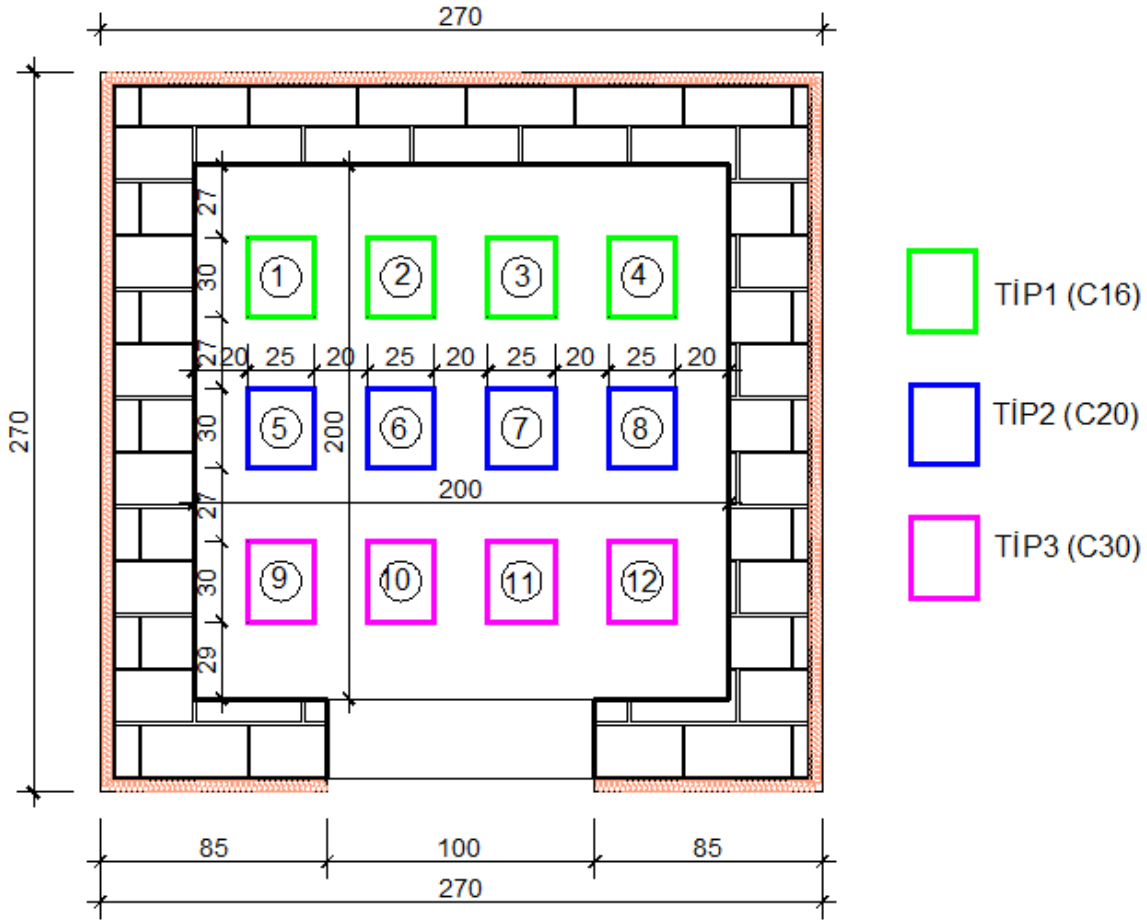
Boyut Toleransı	± 1,5 mm
Profil Yapısı	Düz ve Tek-Çift Lamba Zıvana Geçmeli
Derz	Ytong Örgü Tutkalı (1–3 mm kalınlık)
Alev / Yangın Direnci	Ateşe mukavim (F180-A)
Ses Direnci	45–65 dB
Ortalama Basınç Dayanımı	50 kgf/cm²
Kuru birim hacim ağırlığı	600 kg/m³
Duvarın Statik Hesap Ağırlığı	700 kg/m³
Isı İletkenlik Hesap Değeri (λh)	0.19 (W/mK)

Yangın kapısı olarak, Konya merkezli ME-HA Çelik Kapı Sistemleri tarafından 1000/2200 mm ebatlarında imal edilmiş olan EN 1363-1 (2012) ve EN 1634-4 (2009) standartlarına uygun yangın kapısı kullanılmıştır. Numuneler yangın odasına Şekil 3.29'da görüldüğü şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.29. Numunelerin yangın odasına yerleştirilmesi

Numunelerin yangın odasındaki konumunun şematik olarak çizimi Şekil 3.30'da görülmektedir.



Şekil 3.30. Numunelerin yangın odasındaki konumu

Deneyde doğal yangını betimlemek ve 120 dakika boyunca yangını devam ettirebilmek için yanıcı madde hesabı yapılmış ve yaklaşık 700 kg suntalam ve mobilya atölye atıkları gibi günlük hayatta sıkça karşılaşılan yanıcı malzemeler ile eski lastikler kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. (Şekil 3.31 ve 3.32)



Şekil 3.31. Yangında kullanılan yanıcı maddelerin numuneler arasına yerleştirilmesi



Şekil 3.32. Yangın öncesi ve yangın sırasında yangın odasının görüntüsü

Yangın süresi sonunda itfaiye ekipleri tarafından yangın söndürülmüştür. Bu uygulama Şekil 3.33'de görülmektedir.



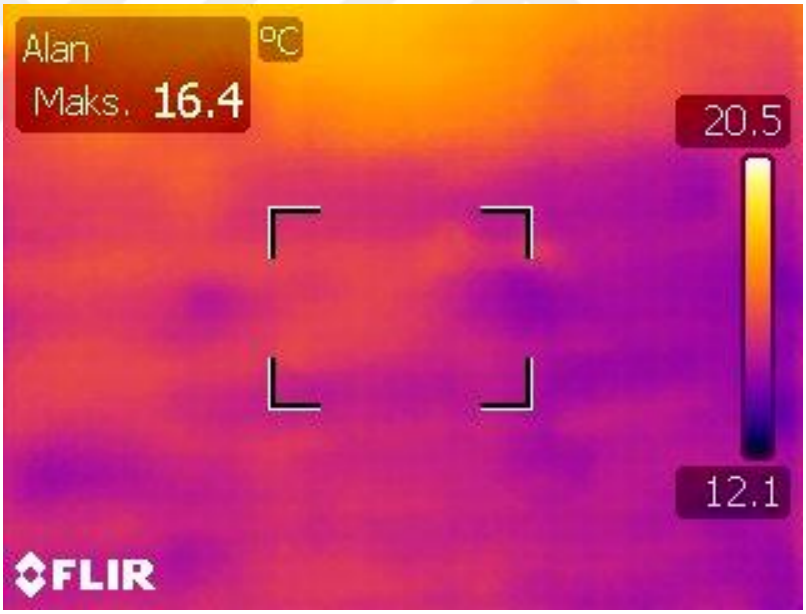
Şekil 3.33. Yangının söndürülmesi

Yangının tamamen söndürülmesinden hemen önce ve yangın sonrası numunelerin yangın odasındaki durumu Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Numuneler soğuduktan sonra yangın odasından çıkarılarak laboratuvara alınmıştır.



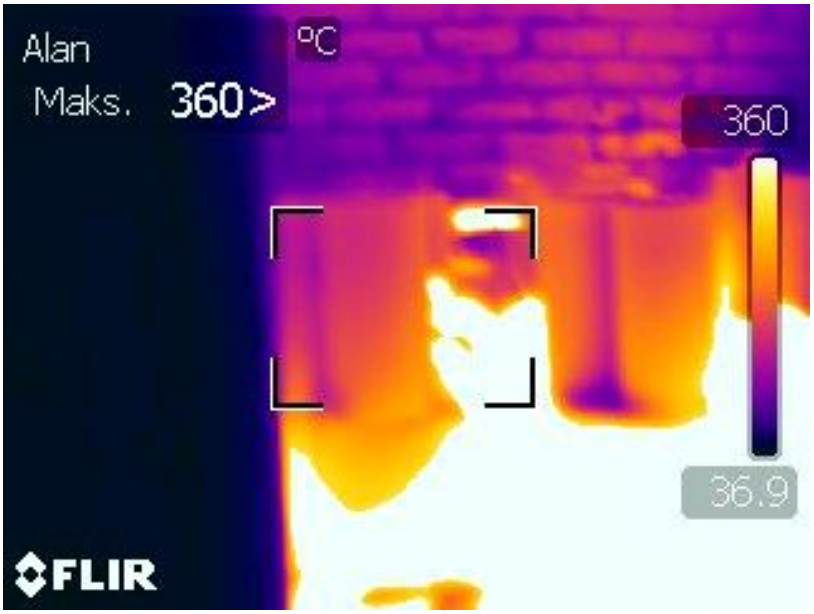
Şekil 3.34. Yangın sönmeden hemen önce ve yangın sonrasında yangın odasındaki numunelerin görüntüsü

Yangın sırasındaki görüntüler termal kamera ile kayıt altına alınarak, deney sonunda numune yüzeyindeki değişim gözlemlenmiştir. Şekil 3.35'te deney başlangıcında deney odası duvarının termal kamera görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.35. Deney başlangıcında deney odası duvarının termal görüntüsü

Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de belirli dakikalarda kaydedilen yangın odası termal görüntüsü verilmiştir.

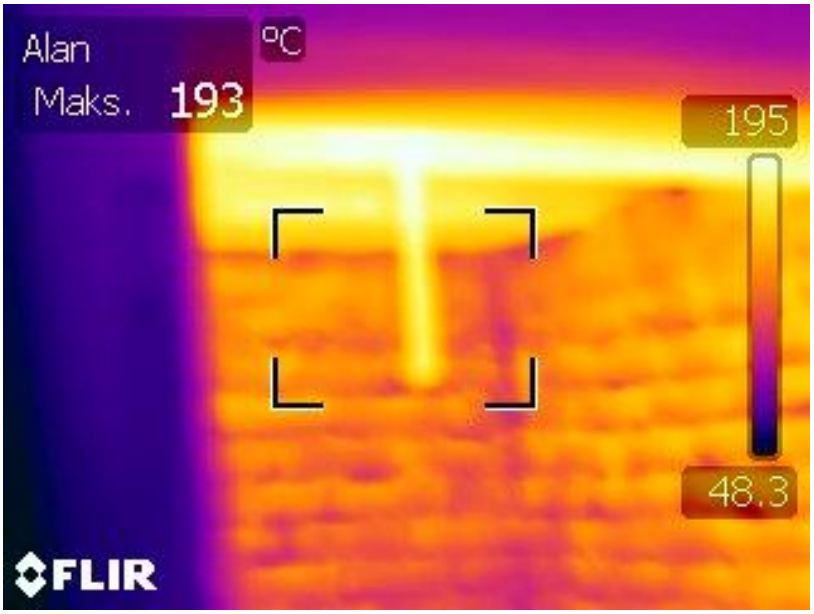


Şekil 3.36. Yangının ortalama 20. dakikasında yangın odası içindeki numunelerin termal görüntüsü

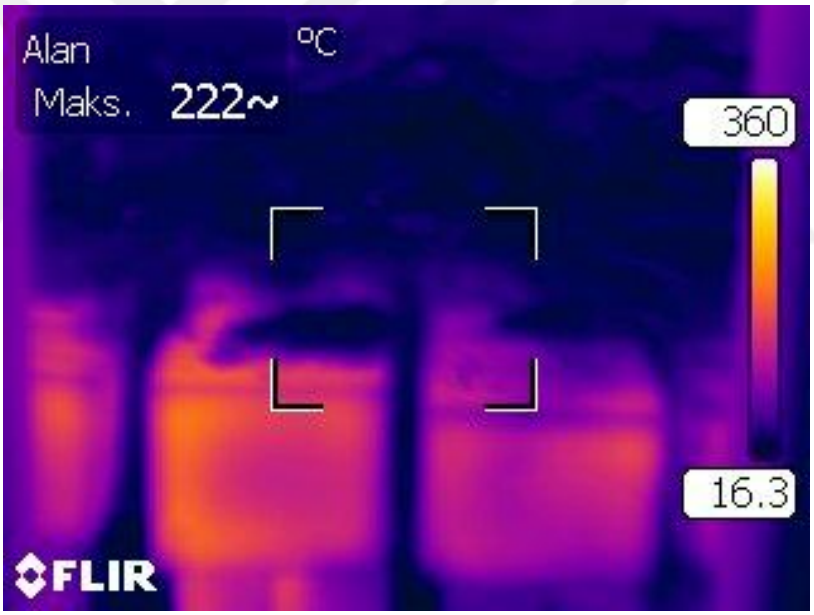


Şekil 3.37. Yangının ortalama 14. dakikasında yangın odası içindeki numunelerin termal görüntüsü

Şekil 3.38'de yangın sırasında dijital termometre görülmektedir. Şekil 3.39'da ise yangın sonunda yangın odasının termal görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.38. Yangın sırasında dijital termometrenin termal kamera görüntüsü



Şekil 3.39. Yangın söndürüldükten sonra numunelerin termal kamera görüntüsü

Çeşitli sürelerde yanmış 48 adet ve yanmamış 12 adet toplamda 60 adet kısa kolonun basınç dayanımı tayini (normal kuvvet taşıma kapasiteleri), Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarında, (TS EN 12390-3, 2003)' ya uygun olarak yapılmıştır. Deneyler ALFA TESTING GAGE (B001/EKD-PC) 200 ton kapasite cihazında yapılmış ve deney esnasında uygulanan yükleme hızı 3 KN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur. Basınç deneyinden bazı fotoğraflar Şekil 3.40'ta görülmektedir.



$S_{1\text{-}90}$



$S_{2\text{-}60}$



$S_{10\text{-}30}$



$S_{11\text{-}60}$

Şekil 3.40. Basınç Deneyi görüntüleri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yangın deneyleri gerçekleştirilmiş olan kolonların ve beton örneklerinin deneysel verileri sunulmuştur. Çalışmada üç farklı beton sınıfında (beton basınç dayanımları birbirinden farklı olan), beş farklı pas payına sahip 25x30x30 cm boyutlarında 60 adet kısa kolon numunesinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri elde edilmiş ve belirli bir gruplandırma ile grafiksel ortamda sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar yangın süresi, pas payı miktarı ve basınç dayanımı kriterlerine göre irdelenmiştir. Çalışmada ayrıca kolon içinde yer alan donatıların yangın sonrası dayanım değerlerine de bakılmıştır.

4.1. Yangın Öncesi ve Sonrası Malzeme Deneyi Sonuçları

Deney sonrası kolonlardan çıkarılan enine ve boyuna donatılar, Konya Analiz Malzeme ve Zemin Laboratuarı'nda çekme deneyine tabii tutulmuştur. Çizelge 4.1'te yangın öncesi yapılan çekme deneyi sonuçları ile yangın sonrası çekme deneyi sonuçları birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yangına maruz kalmış donatıların çekme deneyi sonucu ortalama değerleri ve yangın öncesi referans numuneler ile karşılaştırılması

			Yangın Süresi (dk)				
Donatı Türü	**Çap (mm)**	**Ölçüm Parametresi**	**0**	**30**	**60**	**90**	**120**
			Deneysel Olarak Ölçülen Gerilme (N/mm^2) ve Kopma Uzaması Miktarı (mm)				
S220	8	Ort. Akma	425.49	450.33	452.00	448.67	456.00
		Ort. Çekme	515.19	487.33	493.00	490.00	493.67
		Top. Uzama	21.03	22.57	28.87	26.47	24.27
S220	16	Ort. Akma	291.18	320.67	397.00	353.00	333.00
		Ort. Çekme	433.83	429.33	420.67	435.00	433.33
		Top. Uzama	32.75	39.43	41.77	38.87	39.73
S420	8	Ort. Akma	476.79	451.00	471.67	444.67	457.00
		Ort. Çekme	590.57	574.00	580.67	553.00	577.67
		Top. Uzama	34.68	53.47	52.47	55.57	49.27
S420	16	Ort. Akma	425.72	454.67	420.67	432.00	447.67
		Ort. Çekme	568.62	582.67	556.33	563.33	573.67
		Top. Uzama	33.24	24.90	27.90	28.43	28.33

Çizelge 4.1'teki sonuçlar göz önüne alındığında;

a) 8 mm çaplı S220 donatıların akma dayanımını yangın öncesinde 425.49 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %6.2'lik bir oranla arttığı görülmüştür. Bu çelik örneklerinin ortalama çekme dayanımı yangın sonrasında ortalama %4,7 düşmüştür. Kopma anındaki deformasyon ise yine yangın öncesinde verilen kopma deformasyonuna göre ortalama %17,7 artmıştır.

b) 16 mm çaplı S220 donatıların yangın sonrasında, ortalama akma dayanımının %14,4'lük bir oranla arttığı görülmesine karşın ortalama çekme dayanımında kayda değer bir değişme görülmemiştir. Kopma anındaki deformasyon ise yine yangın öncesinde verilen kopma deformasyonuna göre ortalama %21,30 artmıştır.

c) 8 mm çaplı S420 donatıların akma dayanımını yangın öncesinde 476.79 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %4.15'lik bir oranla azaldığı görülmüştür. Bu çelik örneklerinin ortalama çekme dayanımı yangın sonrasında ortalama %2,2 düşmüştür. Kopma anındaki deformasyon ise yine yangın öncesinde verilen kopma deformasyonuna göre ortalama %42,0 artmıştır.

d) 16 mm S420 donatıların akma dayanımının yangınla birlikte 425.72 MPa'dan 447.67 MPa'a %5.15'lik bir oranla arttığı görülmüştür. Bu çelik örneklerinin ortalama çekme dayanımının yangın sonrasında ortalama %0,9 arttığı görülmüştür. Kopma anındaki deformasyon ise yine yangın öncesinde verilen kopma deformasyonuna göre ortalama %14,77 azalmıştır.

Bulunan değerlere göre donatıların hepsi TS-708-2010'da verilen minimum mekanik özellikler kriterlerine uymaktadır. Sonuç olarak Çizelge 4.1'den de detaylı olarak görüleceği gibi ilk üç tip donatıda (S220, Φ8 ve Φ16 ile S420 Φ8) numuneler için her ne kadar akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması standartta belirtilen değerleri sağlamaktadır. Kopma uzamasının artması donatı çeliğinin yangından sonra elastisite modülünün değiştiğini, donatı çeliğinde plastik şekil değiştirmeler oluştuğunu göstermektedir. Bu değişimlerin S420 Φ16 türü donatılarda gözlemlenmemesi ise donatının içeriği ve bünye özellikleri ile ilgilidir. Donatının yangın sonrasındaki davranışı donatı türüne bağlı olarak değişmektedir. TDY-2017 (taslak) yönetmeliğinde B S420 c türü donatı zorunlu hale gelmektedir. Bu donatı Çizelge 4.1'de verilen S420 ϕ16'ya oldukça yakın bir donatıdır.

Betonun yangın sonrasında durumu için ise aşağıda Çizelge 4.2'de verilen değerlere ulaşılmıştır. Bu değerler aynı yangın sürecinde (aynı ortamda) betonun ve lifli betonun davranışını inceleyen Ali Murthada Ali'nin (2017) tezinde de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Beton basınç dayanımında meydana gelen yüzdesel değişiklik

	Yangın Süresi (dk)			
	30	**60**	**90**	**120**
Basınç Dayanımında Değişim Miktarı	%9,2 azalma	%3,7 azalma	%8.01 azalma	%27 azalma

4.2. Yangın Öncesi ve Sonrası Kolon Deneyi Sonuçları

Bu bölümde 60 farklı betonarme kısa kolonun eksenel yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalar yangın süresine, pas payına, beton sınıfına ve donatı sınıfına bağlı olarak gruplandırılarak yapılmıştır. Çizelge 4.3'de deney numuneleri tiplerine göre 12 farklı sınıfa ayrılmıştır.

Çizelge 4.3. Deneyde kullanılan mini kolonların özellikleri

Numune İsmi	**Beton Tipi***	**Boyuna ve Enine Donatı Tipi**	**Pas payı(cm)**
S_1	C16	S220	2
S_2	C16	S220	3
S_3	C16	S220	4
S_4	C16	S220	5
S_5	C20	S420	2
S_6	C20	S420	3
S_7	C20	S420	4
S_8	C20	S420	5
S_9	C30	S420	2
S_{10}	C30	S420	3
S_{11}	C30	S420	4
S_{12}	C30	S420	5

*: İmalat öncesinde hedeflenen basınç dayanımlarıdır.

Çizelge 4.4'te beton tipi olarak hedeflenen değerler (C16, C20 ve C30) gösterilmiştir. Bununla beraber beton imalatı sonrasında gerçek beton dayanımların

daha farklı olduğu görülmüştür. Çizelge 4.4'de gerçek beton basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Beton dökümü sırasında alınan küp numunelerin üçerli ortalama basınç dayanımı değerleri

Üretilmesi Planlanan Beton Sınıfı	**Tip**	**Üretilen Küp Basınç Dayanımları (kg/cm^2)**	**Üretilen Eşdeğer Silindir Basınç Dayanımları (kg/cm^2)**
C16	Tip-1	231,70	185,36
C20	Tip-2	298,96	239,17
C30	Tip-3	441,78	353,42

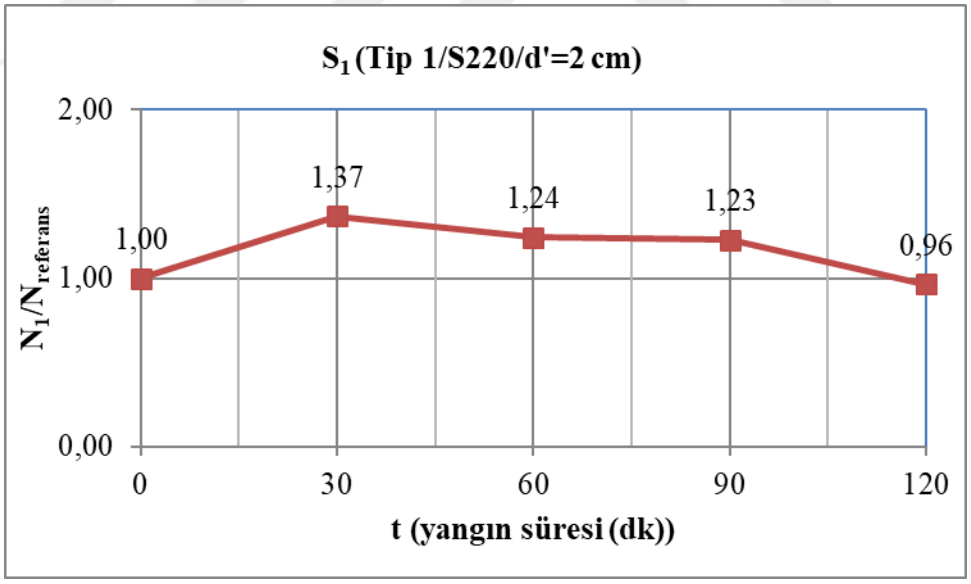
12 adet olarak gruplandırılmış kısa kolonlardan her bir grupta beş adet olmak üzere 60 adet üretim yapılmıştır. Üretilen kolonlar referans (yangın geçirmemiş) ve 4 farklı sürede yangın geçirmiş (30, 60, 90 ve 120 dk) numuneler olmak üzere test edilmiştir. Toplam 60 adet kısa kolonun deneysel olarak bulunan normal kuvvet kapasiteleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Test edilen tüm kolonların normal kuvvet taşıma kapasiteleri

Numune İsmi	**Yangın süresi (dk)**				
	0 (referans)	**30**	**60**	**90**	**120**
	N_{max} (ton)				
S_1	101,90	139,30	126,60	125,20	98,30
S_2	119,00	108,30	122,30	124,40	127,40
S_3	69,40	109,20	122,20	101,30	113,00
S_4	92,80	98,10	120,10	102,60	107,30
S_5	182,20	189,30	156,40	170,50	168,90
S_6	174,70	190,00	149,60	119,20	175,70
S_7	149,00	146,30	147,40	168,90	160,50
S_8	170,70	147,00	179,10	169,20	136,70
S_9	158,20	145,50	185,20	152,30	174,80
S_{10}	104,70	142,60	149,20	144,30	108,80
S_{11}	150,40	117,80	161,10	128,00	94,80
S_{12}	155,40	150,10	177,20	135,90	77,20

4.2.1. Yangın süresine göre numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi

Bu bölümde her kolon türü yangın süresine bağlı olarak münferit değerlendirilmiştir. S_1 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu numunelerin yangın süresine bağlı olmakla beraber özellikle 30 dk yangın süresinde en bariz şekilde hissedilmekle beraber normal kuvvet taşıma kapasitesinde bir artış meydana gelmiştir. Grafiğin genel eğilimine bakıldığı zaman yangın süresinin çok artmasının (120 dakika ve sonrası) kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesini giderek azaltacağı da görülmektedir. Şekil 4.2'de verilen kırılma türlerinden özellikle uzun süreli yangın geçirmiş olan S_1 kolonlarının normal kuvvet etkisi altında kabuk betonunda bariz bir azalma görülmektedir. Bu durum uzun süreli yanmış numuneler için pas payının oldukça düşük olması durumunda kabuk betonun daha hızlı dökülme eğiliminde olduğunu ve numunelerde uzun süreli yangınlarda kabuk betonu alanı (A_c-A_{ck}) ile orantılı olarak normal kuvvet taşıma kapasitesinde azalmanın olduğunu göstermektedir.



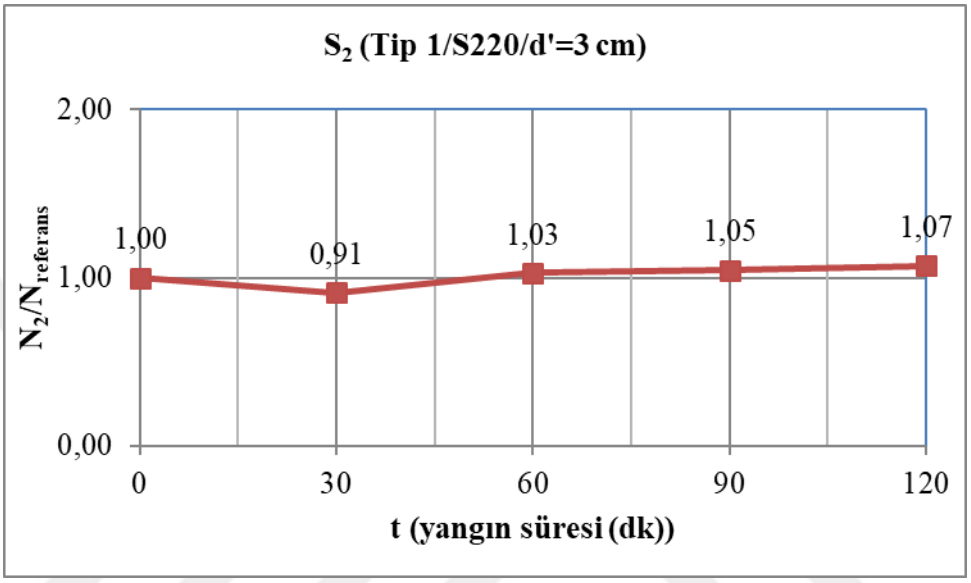
Şekil 4.1. S_1 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk. t=60 dk. t=90 dk. t=120 dk.

Şekil 4.2. S_1 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_2 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu numunelerin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olmakla önemli bir azalma görülmemiş sadece 30 dk yangın süresinde normal kuvvet taşıma kapasitesinde bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.4'te ise S_2 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



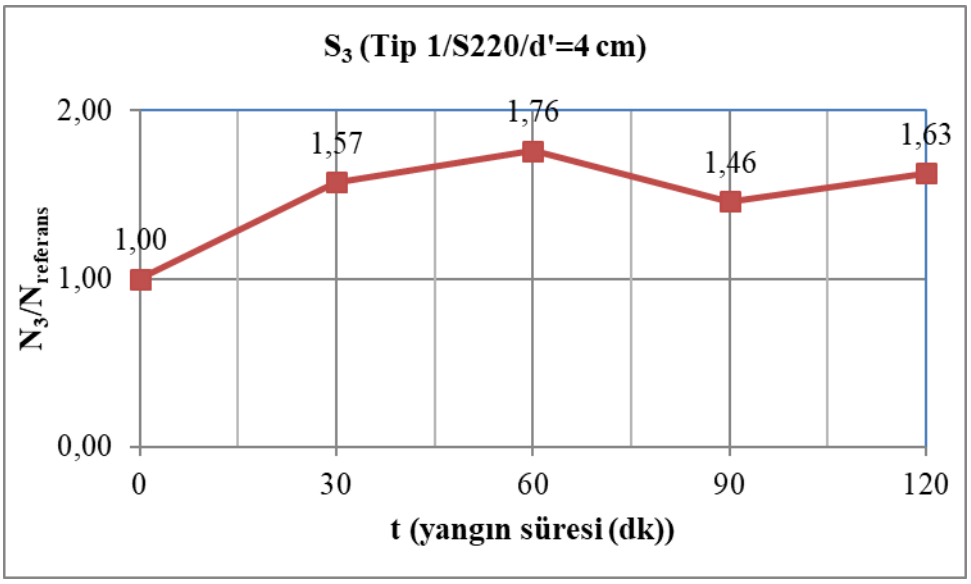
Şekil 4.3. S_2 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.4. S_2 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_3 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.5'de verilmiştir. Bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak yaklaşık %60'a yakın oranda artma görülmüştür. Şekil 4.6'da ise S_3 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



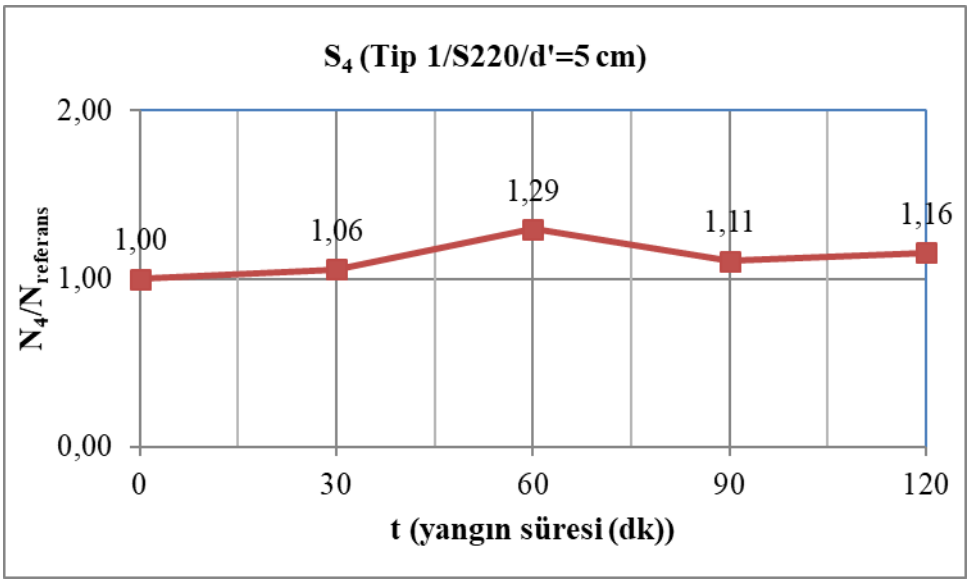
Şekil 4.5. S_3 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.6. S_3 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_4 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.7'de verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak yaklaşık %15'e yakın oranda artma görülmüştür. 60 dk yangın süresinde bu numunenin normal kuvvet taşıma kapasitesi en yüksek değeri almıştır. Şekil 4.8'de ise S_4 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



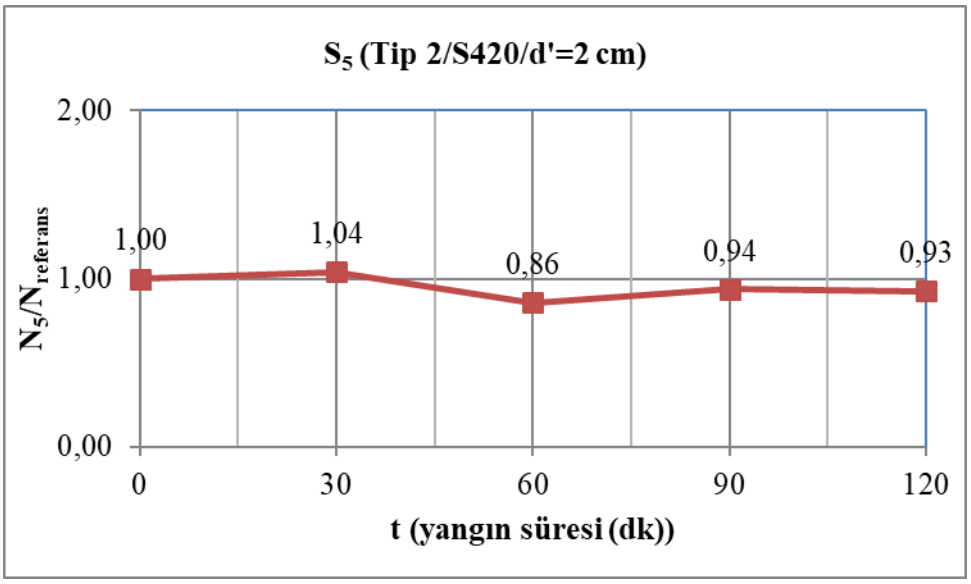
Şekil 4.7. S_4 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.8. S_4 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_5 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak yaklaşık %7'lik oranda azalma görülmüştür. Özellikle 60 dk ve üzeri süren yangınlarda normal kuvvet taşıma kapasitesinde azalma görülmüştür. En düşük normal kuvvet taşıma kapasitesine ait yangın süresi 60 dk'dır. Şekil 4.10'da ise S_5 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



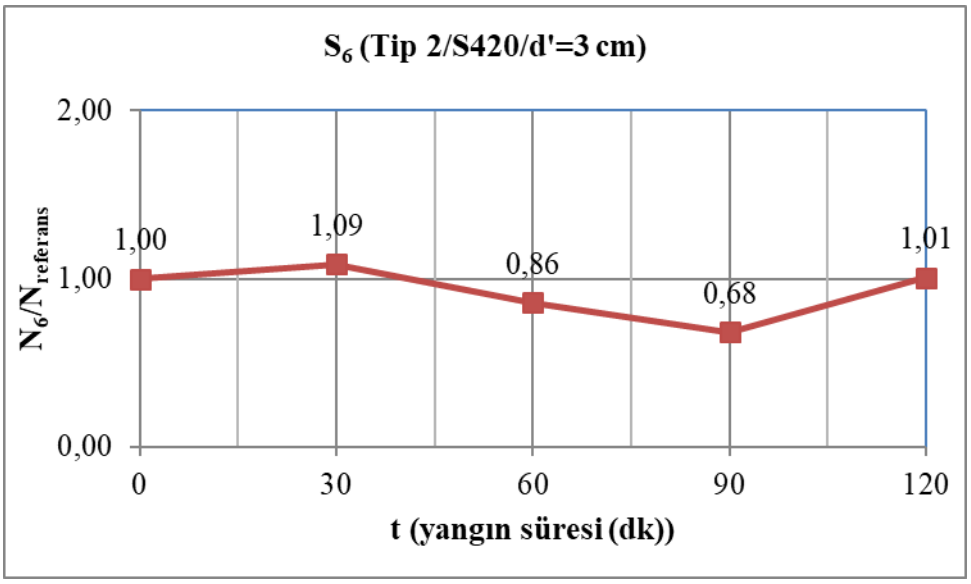
Şekil 4.9. S_5 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.10. S_5 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_6 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.11'de verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak önemli bir değişim görülmemiştir. Bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde 30 dk yangın süresinde başlayan azalma 90 dk yangın süresine kadar devam etmiştir. 90 dk'dan sonra ilk ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesine hemen hemen ulaşmıştır. Şekil 4.12'de ise S_6 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



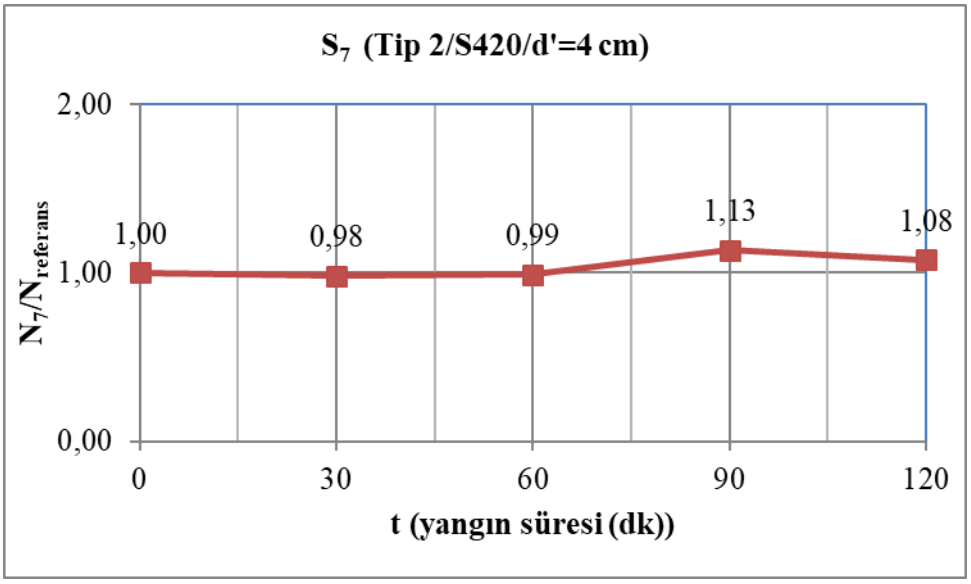
Şekil 4.11. S_6 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.12. S_6 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_7 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.13'de verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak %8' lik bir artma görülmüştür. 0, 30 ve 60 dk yangın sürelerinde ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinin sabit olduğu ve daha sonra artıp 90 dk yangın süresinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Şekil 4.14'te ise S_7 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



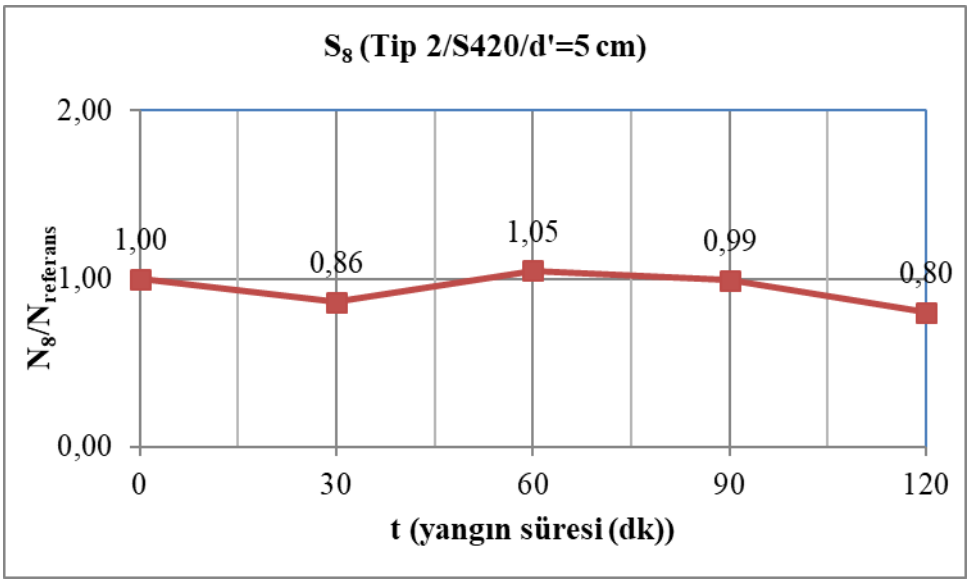
Şekil 4.13. S_7 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.14. S_7 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_8 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.15'de verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde 120 dk yangın süresi sonunda %20' lik bir azalma görülmüştür. Bu numune sadece 60 dk yangın süresinde ilk normal kuvvet taşıma kapasitesinin üzerine çıkmıştır. 0-30 dk ve 60-120 dk yangın sürelerinde normal kuvvet taşıma kapasitesinde azalma görülmüştür. Şekil 4.16'da ise S_8 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



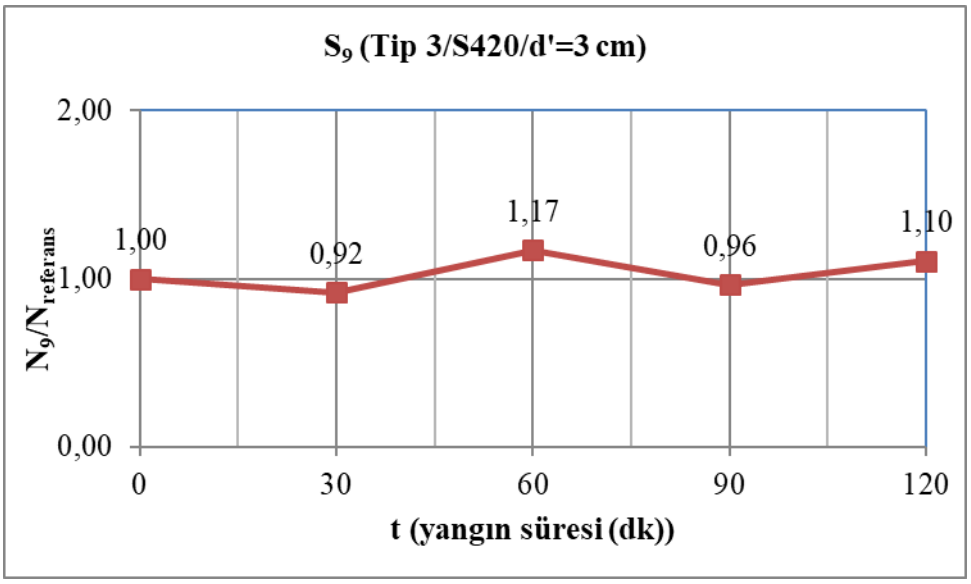
Şekil 4.15. S_8 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.16. S_8 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_9 türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.17'de verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında bu numunenin ortalama normal kuvvet taşıma kapasitesinde yangın süresine bağlı olarak dalgalanmalar mevcuttur. 120 dk yangın süresinde %10'luk bir artma görülmüştür. Şekil 4.18'de ise S_9 türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



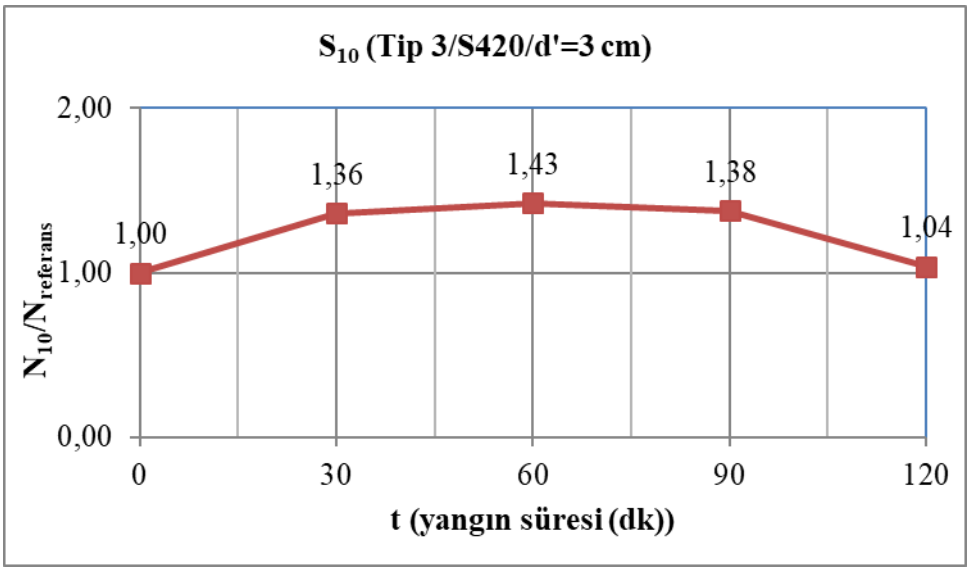
Şekil 4.17. S_9 türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.18. S_9 türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_{10} türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafiğin geneline bakıldığında; normal kuvvet taşıma kapasitesinde 120 dk. yangın süresinde bir miktar artma olmuştur. En yüksek normal kuvvet taşıma kapasitesi değeri 60 dk'da görülmüştür. Şekil 4.20'de ise S_{10} türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



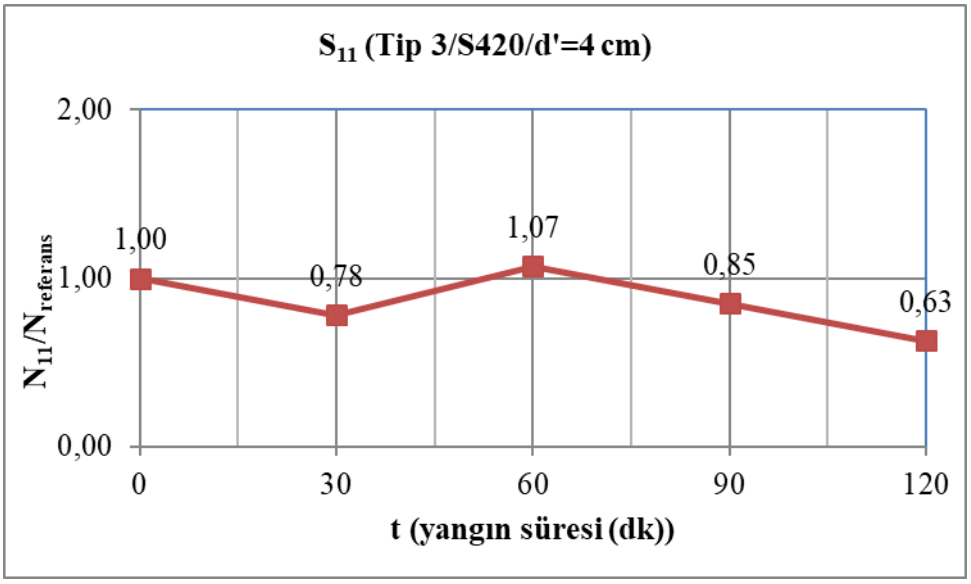
Şekil 4.19. S_{10} türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.20. S_{10} türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_{11} türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.21'de verilmiştir. Bu numunenin normal kuvvet taşıma kapasitesinde 120 dk. yangın sonunda yaklaşık %35'lik bir azalma görülmüştür. Bu numunenin normal kuvvet taşıma kapasitesi, en büyük değerini 60 dk yangın süresinde, en küçük değerini 30 dk yangın süresinde almıştır. Şekil 4.22'de ise S_{11} türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



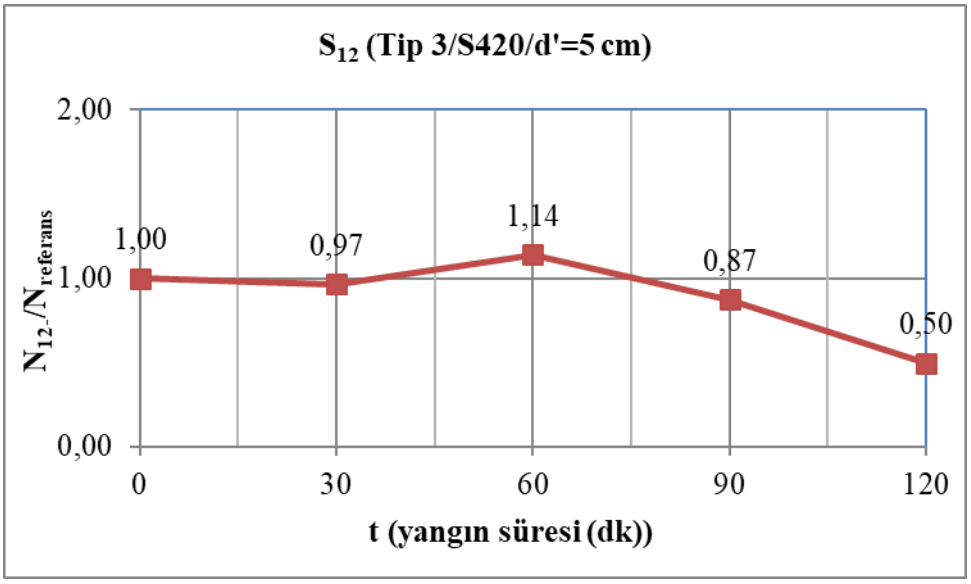
Şekil 4.21. S_{11} türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.22. S_{11} türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

S_{12} türü kolonların yangın öncesi ve sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesinde meydana gelen değişim Şekil 4.23'te verilmiştir. Bu numunenin normal kuvvet taşıma kapasitesinde 60. dk'dan itibaren başlayan azalma 120 dk yangın süresinde, başlangıca göre %50 azalarak en düşük değerine ulaşmıştır. Şekil 4.24'de ise S_{12} türü kolonların kırılma şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.23. S_{12} türü kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesi-yangın süresi değişimi



t=0 t=30 dk t=60 dk t=90 dk t=120 dk

Şekil 4.24. S_{12} türü kolonların maksimum yük anında kırılma şekilleri

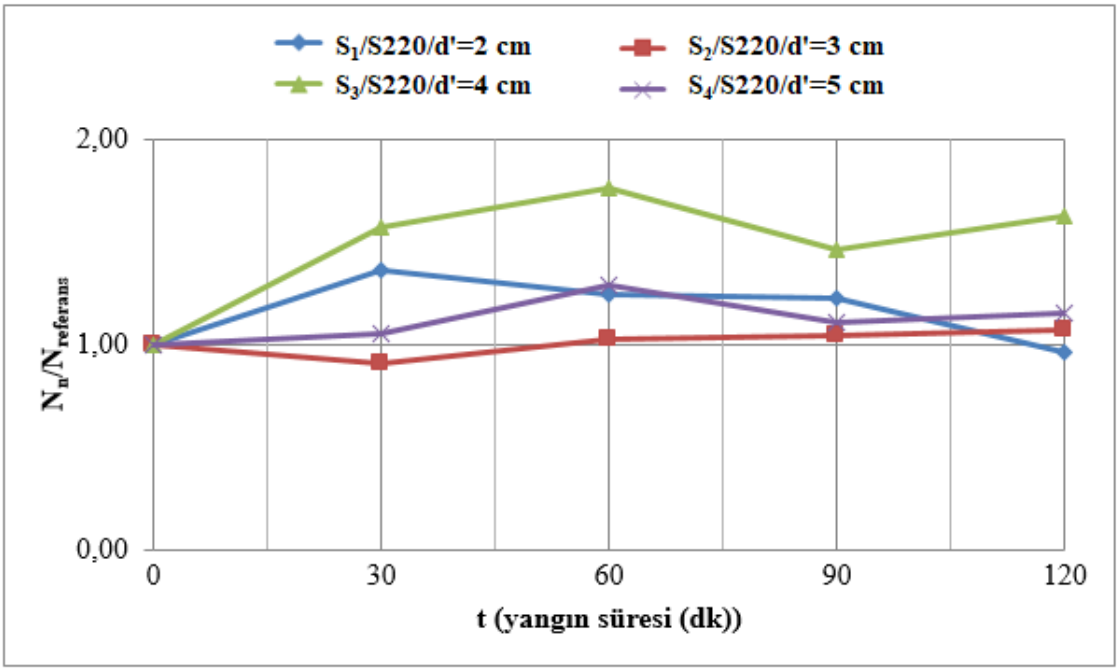
4.2.2. Farklı pas payına sahip aynı tür numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi

Bu bölümde kısa kolonlar aynı malzeme özelliklerine göre üretilenler gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Bunun için Çizelge 4.6'da verildiği şekli ile bir gruplandırma yapılmıştır.

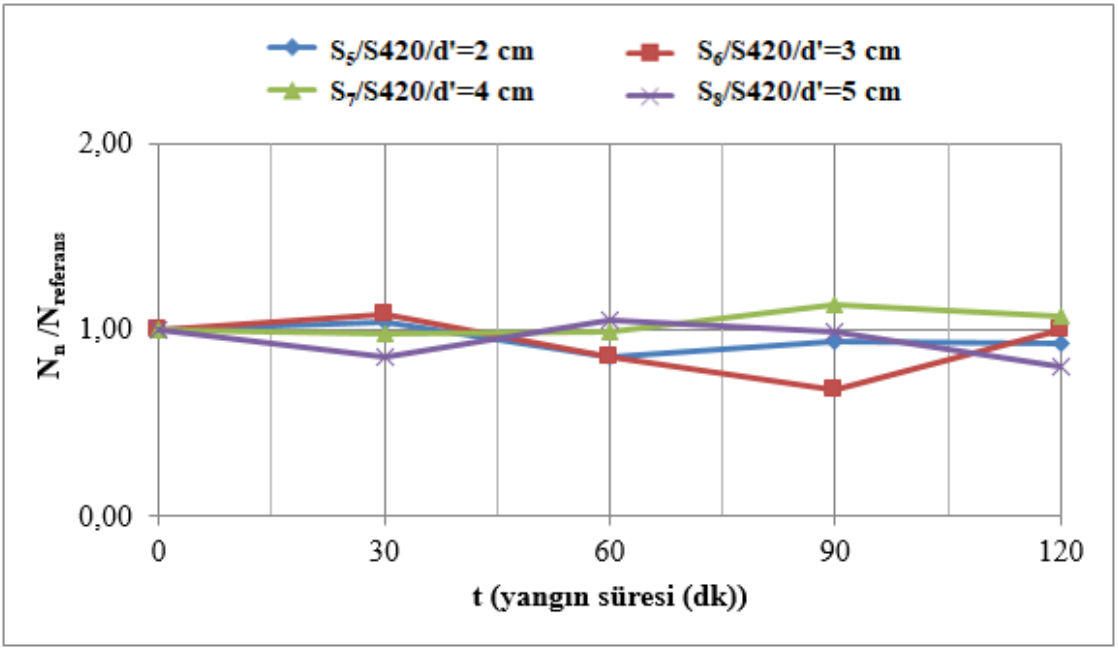
Çizelge 4.6. Malzeme özelliklerine göre kolonların gruplandırılması

Pas Payı (cm)	Gruplandırma Şekli
Tip-1	S_1 / S_2 / S_3/ S_4
Tip-2	S_5 / S_6 / S_7/ S_8
Tip-3	S_9 / S_{10} / S_{11}/ S_{12}

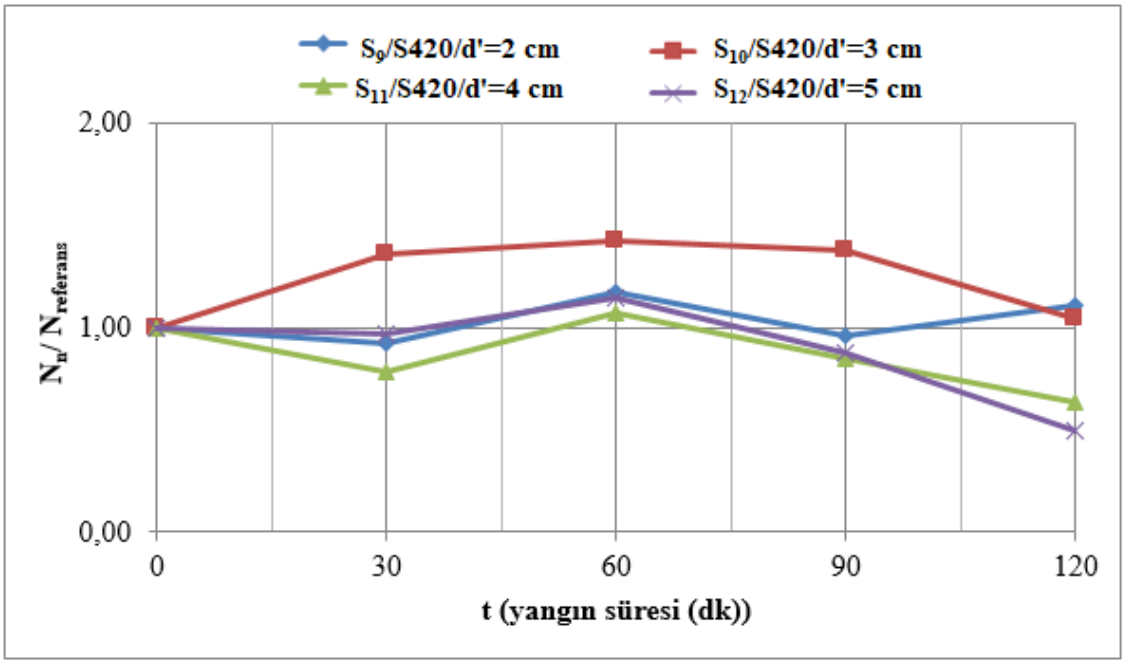
Çizelge 4.6'da verilen şekliyle yapılan gruplandırmaya göre Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 oluşturulmuştur. Şekil 4.25'e göre yangının Tip 1 (düşük dayanımlı beton) ve S220 boyuna donatı ile üretilen kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesinde önemli bir azalmaya neden olmadığı görülmektedir. Tam tersine numunelerin çoğunda yangının referans numuneye göre daha yüksek bir normal kuvvet taşıma kapasitesine ulaştırdığı da görülmektedir. Normal kuvvet taşıma kapasitesinin en fazla arttığı numune pas payının 4 cm olduğu S_3 numunesi olmuştur. Benzer durum Tip 2 betona sahip kolonlarda da gözlemlenmiştir. Bu kolonlarda da pas payının fazla olmasının uzun süreli yangınlarda göreceli olarak normal kuvvet taşıma kapasitesinde bir miktar artışa neden olduğu görülmektedir. Tip 3 (yüksek dayanımlı) betonlarda ise pas payının düşük olmasının yangında avantaj sağladığı görülmüştür. Pas payı arttıkça normal kuvvet taşıma kapasitesi yangın süresine bağlı olmak kaydı ile göreceli olarak düşmüştür.



Şekil 4.25. Tip 1 numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri



Şekil 4.26. Tip 2 numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri



Şekil 4.27. Tip 3 numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri

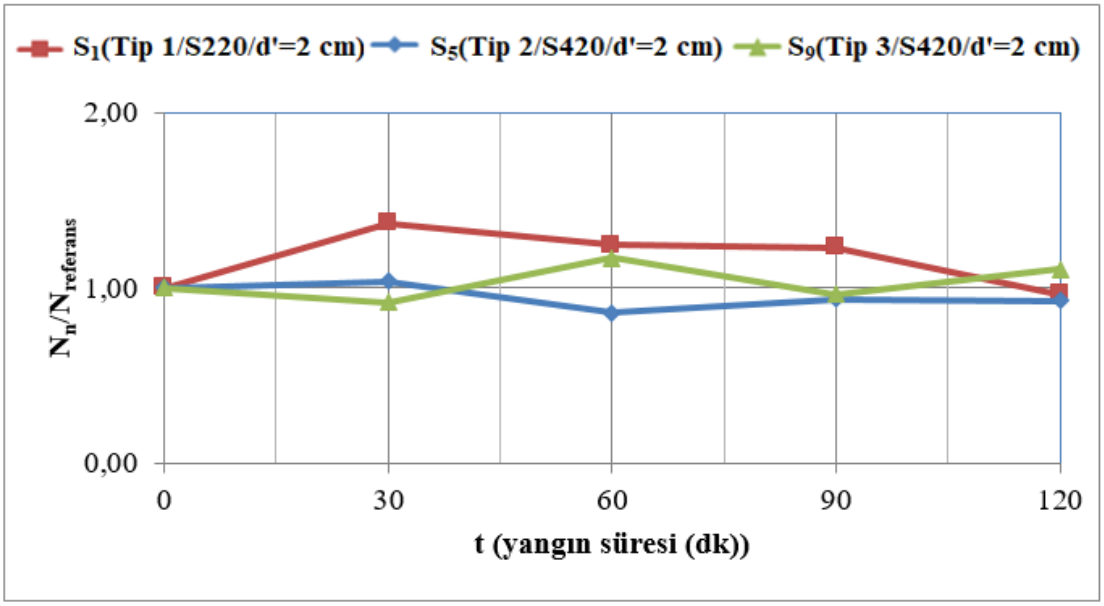
4.2.3. Aynı pas payına sahip farklı tür numunelerin normal kuvvet taşıma kapasitelerinin incelenmesi

Bu bölümde kısa kolonlar aynı pas payına göre gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Bunun için Çizelge 4.6'da verildiği şekli ile bir gruplandırma yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Pas paylarına göre kolonların gruplandırılması

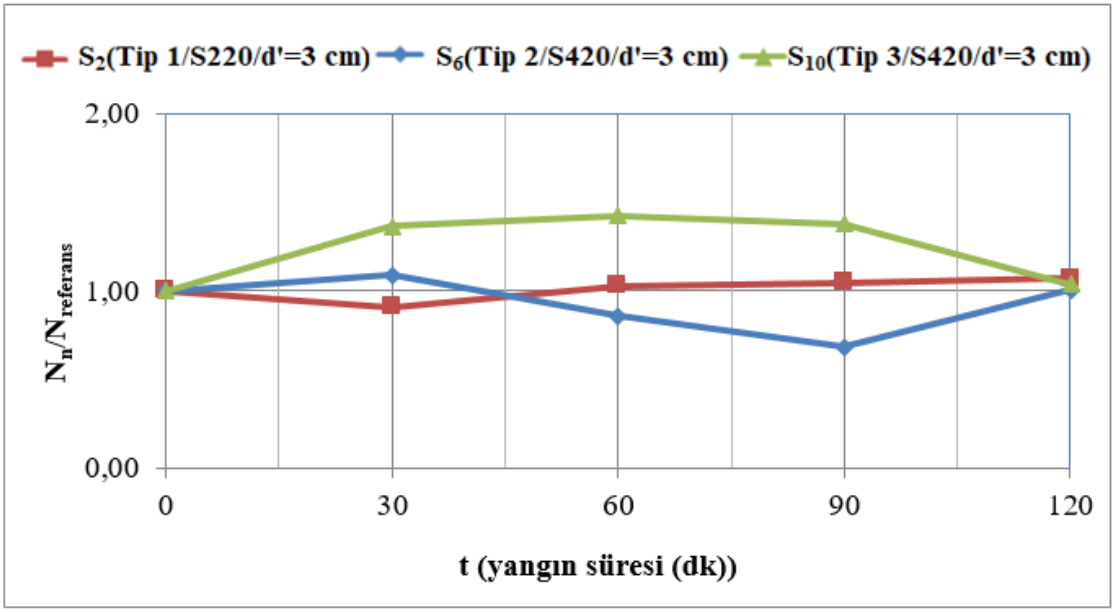
Pas Payı (cm)	Gruplandırma Şekli
2	S_1 / S_5 / S_9
3	S_2 / S_6 / S_{10}
4	S_3 / S_7 / S_{11}
5	S_4 / S_8 / S_{12}

Pas payı 2 cm olan 1. Grup kolonların yangın süresine bağlı olarak Şekil 4.28' te görülen normal kuvvet değişimleri incelendiği zaman yangın sonrasında S_1 numunesine genel olarak bir kapasite artışı gözlemlenirken S_5 ve S_9 numunelerinde yangın süresine bağlı olmakla beraber net bir eğilim görülmemiştir. S_1 kolonlarında donatı sınıfının S220 olması ve özellikle 16'lık boyuna donatının yangın süresine bağlı olarak dayanımında artışın oluşması (Çizelge 4.1) normal kuvvetin artmasında önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.



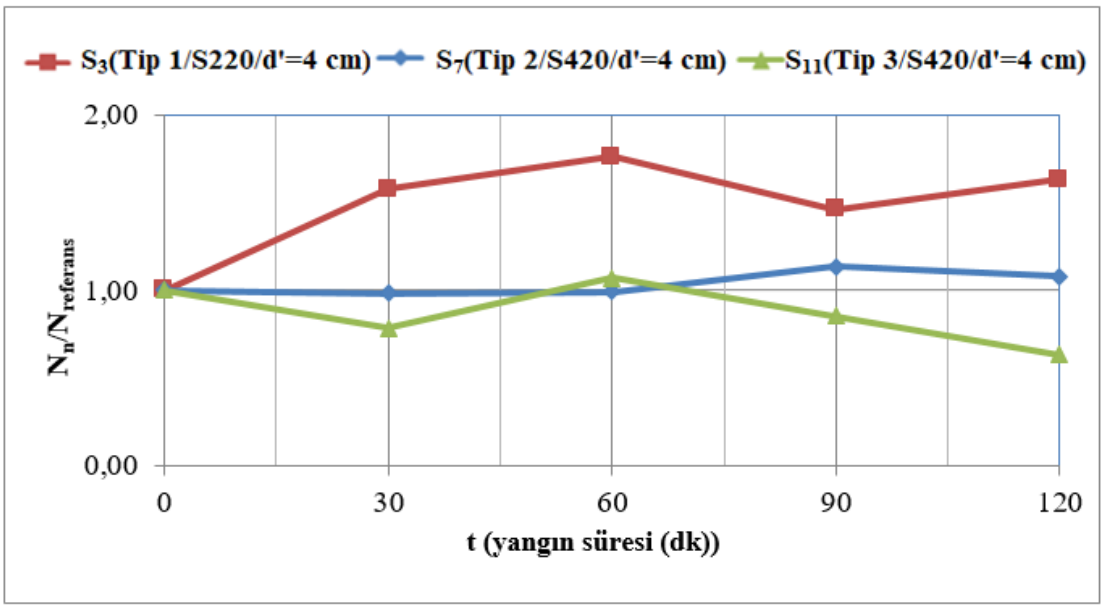
Şekil 4.28. d=2 cm pas payına sahip S_1, S_5 ve S_9 numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri

Pas payı 3 cm olan 2. grup kolonların yangın süresine bağlı olarak Şekil 4.29' da görülen normal kuvvet değişimleri incelendiği zaman yangın sonrasında S_2 ve S_{10} numunelerinde genel olarak bir kapasite artışı gözlemlenirken S_6 numunesinde yangın süresine bağlı olarak bir azalma meydana gelmiştir.



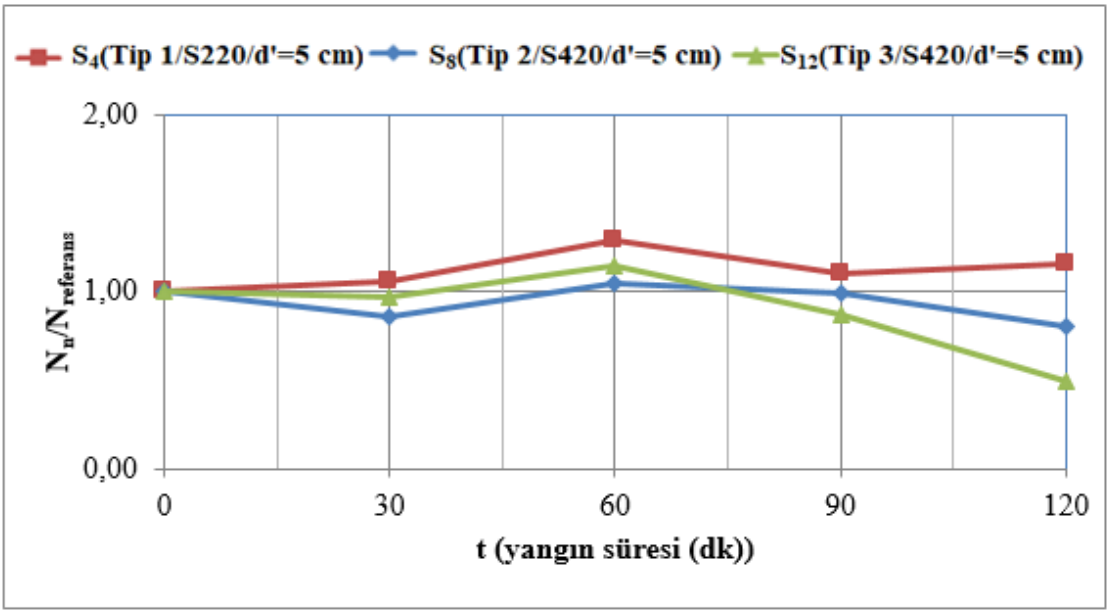
Şekil 4.29. d=3 cm pas payına sahip S_2, S_6 ve S_{10} numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri

Pas payı 4 cm olan 3. Grup kolonların yangın süresine bağlı olarak Şekil 4.30' de görülen normal kuvvet değişimleri incelendiği zaman yangın sonrasında S_3 ve S_7 numunelerinde genel olarak bir kapasite artışı gözlemlenirken S_{11} numunesinde yangın süresine bağlı olarak bir azalma meydana gelmiştir. S420 donatıya ve yüksek dayanımlı betona sahip S_{11} numunesinde pas payının artması olumsuz etkiye sebep olmuştur.



Şekil 4.30. d=4 cm pas payına sahip S_3, S_7 ve S_{11} numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri

Pas payı 5 cm olan 4. Grup kolonların yangın süresine bağlı olarak Şekil 4.31' de görülen normal kuvvet değişimleri incelendiği zaman yangın sonrasında S_4 numunesinde genel olarak bir kapasite artışı gözlemlenirken S_8 ve S_{12} numunelerinde yangın süresine bağlı olarak bir azalma meydana gelmiştir. S420 donatıya ve yüksek dayanımlı betona sahip S_{12} numunesinde pas payının artması olumsuz etkiye sebep olmuştur.



Şekil 4.31. d=5 cm pas payına sahip S_4, S_8 ve S_{12} numunelerinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri

5. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Tez kapsamında üç farklı beton sınıfında (beton basınç dayanımları birbirinden farklı olan), beş farklı pas payına sahip 25x30x30 cm boyutlarında 12 farklı tipte 60 adet kısa kolon numunesinin normal kuvvet taşıma kapasiteleri elde edilmiş ve belirli bir gruplandırma ile grafiksel ortamda sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar yangın süresi, pas payı miktarı ve beton basınç dayanımı kriterlerine göre irdelenmiştir. Çalışmada ayrıca kolon içinde yer alan donatılarında ve betonlarda yangın sonrası dayanım değerlerine bakılmıştır. Çalışmada 60 adet kolonun yangın öncesi ve sonrası basınç dayanım değişimleri münferit olarak ve mukayeseli olarak irdelenmiştir. Çalışma kapsamında hali hazırda yürürlükte bulunan yangın yönetmeliğinde yer alan pas payı kriterleri, deprem yönetmeliğinde yer alan donatı ve beton sınıfının da yangın sonrası normal kuvvet taşıma kapasitesine olan etkisi de tartışılmıştır. Çalışmanın içeriğinde yer alan kolonların bir kısmının kısmen düşük dayanımlı olması ve düşük kalitede betonarme çeliği ile üretilmiş olmaları özellikle eski betonarme binalarında yangın performansı açısından bazı ipuçları vermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir;

1)Kolonlarda kullanılan betonarme çeliğinin özellikle 16 mm çaplı S220 olanlarının akma dayanımını yangın öncesinde 291.18 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %14.4'lük bir oranla arttığı görülmüştür. 8 mm çaplı S220 donatılarda ise akma dayanımını yangın öncesinde 425.49 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %6.2'lik bir oranla arttığı görülmüştür. 8 mm çaplı S420 donatıların akma dayanımını yangın öncesinde 476.79 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %4.15'lik bir oranla azaldığı görülmüştür. 16 mm S420 donatıların akma dayanımını yangın öncesinde 425.72 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %5.15'lik bir oranla arttığı görülmüştür. Bulunan değerlere göre donatıların hepsi yangından önce TS-708-2010'da verilen minimum mekanik özellikler kriterlerine uymaktadır. Bununla beraber yangından sonra da numuneler standartta belirtilen akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerini sağlamaktadır. Kopma uzamasının standartta verilen değerlerin üzerine çıkması donatı çeliğinin yangından sonra elastisite modülünün değiştiğini, donatı çeliğinde plastik şekil değiştirmeler oluştuğunu göstermektedir. Bu değişimlerin S420

Φ16 türü donatılarda gözlemlenmemesi ise donatının içeriği ve bünye özellikleri ile ilgilidir. Donatının yangın sonrasındaki davranışı donatı türüne bağlı olarak değişmektedir. TDY-2017 (taslak) yönetmeliğinde B S420 c türü donatı zorunlu hale gelmektedir. Erdoğan (2014) ile Arslan ve ark. (2017) çalışmalarında da gerçek bir yangın geçirmiş olan bir betonarme binadan alınan donatı çelik örneklerinden benzer sonuçlara ulaşmıştır. Özellikle B500c sınıfında donatıların akma dayanımlarında %5-20 arasında değişen kayıpların oluştuğundan bahsetmiştir.

2)Tez çalışmasında aynı yangına maruz bırakılmış beton küp örneklerinin yangın sonrasında dayanımlarına bakıldığı zaman yangın öncesi dayanımlara göre %9,2 ile %27 arasında değişen oranda azalmalar ölçülmüştür. Özellikle 30,60 ve 90 süren yangınlarda azalmalar %9,2'yi geçmez iken 120 dk süren yangında azalma %27'lere ulaşmıştır. Bu çalışmada ulaşılan bulgulara benzer sonuçları Chan et al. (1999)'in yapmış olduğu çalışmada da görmek mümkündür. Özellikle 1 saat süreyle 200 ^{0}C ve 800 ^{0}C arasında bekletilen betonların mukavemetlerinin önemli ölçüde kaybolduğu rapor edilmiştir. Betonun yüksek sıcaklıkların etkisiyle gözenek yapısında irileşme etkisi ortaya çıktığı söylenebilir. Li et al. (2004) orta ve yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra basınç dayanımları değişimlerini incelemiş ve 200 ^{0}C ve 1000 ^{0}C arasında bekletilen betonların basınç dayanımlarında yaklaşık %20-%80 arasında kayıp meydana geldiğini rapor etmiştir. Erdoğan (2014) çalışmasında yangından sonra betonların basınç dayanımlarında meydana gelen azalmanın %30 mertebesinde olduğundan bahsetmektedir.

3)Literatürde beton ve betonarme elemanlar üzerinde yangın etkisini inceleyen çalışmaların birçoğunda sıcaklık seviyesi bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Örneğin Chan ve ark. (1999); Li ve ark. (2004); Arıöz (2007); Janotka ve Bagel (2002); Kalifa ve ark. (2000), Karaca ve ark. (1997), yaptıkları çalışmalarda 200 ^{0}C ve 1000 ^{0}C arasında numune davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalardaki ortak kanı 400 ^{0}C'ya kadar betonun basınç mukavemetinde hatırı sayılır bir azalma görülmediği yönündedir. Bu bulguları Bilow ve ark. (2008)'nın yılında Portland Çimento birliği adına yaptıkları bilimsel çalışmada desteklemektedir. Söz konusu çalışmada normal bir betonun 400 ^{o}C'den sonra basınç dayanımında değişiklikler başladığını rapor etmişlerdir. 650 ^{o}C'den sonra betonun basınç dayanımında %55'lik bir azalma meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında ise yangın ile ilgili temel parametre yangın anında oluşan sıcaklık değil yangın süresidir. Benzer şekilde sadece yangın süresini baz alarak yapılan bazı yangın deneyleri mevcuttur. Mesela Bikhiet ve ark. (2014) çalışmasında da 600 ^{o}C yangına

maruz bırakılmış kolonlarda oluşan hasarın yanmamış kolonlara göre daha hızlı geliştiği söylenmektedir. Söz konusu çalışmada 0-90-135 ve 180 dk yangına denk gelecek sürede numuneler yakılmıştır.

4)Yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada doğal bir yangın üretilmiş ve üretilen bu yangının süresi kontrol parametresi olarak 30, 60, 90 ve 120 dk olarak düşünülmüştür. Çalışmada yangın sırasında termal kamera ile ölçüm yapılarak ortamdaki sıcaklık da aynı zamanda ölçülmüştür. Maksimum süreli yangında ortam sıcaklığının 960^{o}C'ye kadar çıktığı görülmüştür. Fakat 30 ve 60 dk'lık yangınlarda sıcaklık 600 ^{o}C'yi çok fazla geçmemiştir.

5)Çalışmada yangın sonrası betonarme kısa kolonların normal kuvvet taşıma kapasiteleri yangın öncesi referans numune ile kıyas edilmiştir. 30, 60, 90 ve 120 dk boyunca doğal yangın geçiren numunelerin normal kuvvet taşıma kapasiteleri incelenen pas payı, donatı sınıfı ve beton dayanımı parametrelerine bağlı olarak büyük değişkenlik göstermektedir. Özellikle 120 dakikalık yangın süresine bakıldığı zaman ki en fazla sıcaklık bu yangında ölçülmüştür, S_{11} ve S_{12} numunesinin kapasitesinde %37 ve %50 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Bu numunelerin beton sınıfı oldukça yüksek (Tip-3) ve pas payları da sırasıyla 4 ve 5 cm'dir. Burada uzun süreli yangın etkisiyle 960^{o}C'ye kadar çıkan sıcaklığın betonun dayanımında önemli düşmelere sebep olması, pas payının ve beton basınç dayanımının fazla olması nedeniyle kabuk betonda meydana gelen dökülmeden meydana gelen kapasite kaybının da diğer numunelere göre daha fazla olduğu yorumu yapılabilir. Buradan elde edilen sonuç Bikhiet ve ark. (2014) çalışmasında bulunan sonuçları desteklemektedir. Bikhiet ve ark. (2014), 600^{o}C yangına maruz bırakılmış kolonlarda oluşan hasarın yanmamış kolonlara göre daha hızlı geliştiğini söylenmektedir.

6) Tip-1 betondan imal edilmiş 1. Grup numunelerin (S_1, S_2, S_3 ve S_4) genel grafik eğilimlerine bakıldığı zaman özellikle kısa süreli yangınlarda kolonların normal kuvvet taşıma kapasitelerinde artış gözlemlenmektedir. Bu artış pas payı miktarı arttıkça azalmaktadır. Bu durum malzeme deneylerinden yorumlanarak şu şekilde açıklanabilir; kolonlarda kullanılan betonarme çeliğinin özellikle 16 mm çaplı S220 olanlarının yani Tip-1'de kullanılanlarının akma dayanımını yangın öncesinde 291.18 MPa olduğu ve yangın süresine bağlı olmakla beraber yangın sonrasında ortalama akma dayanımının %14.4'lük bir oranla arttığı görülmüştür. Başka bir ifade ile yangın etkisi altında S220 donatısının mekanik özellikleri değişmekte ve donatının yangın sonrası akma dayanımı

bir miktar artmaktadır. Fakat yangın süresi uzadıkça t>120 dk grafiklerin genel eğiliminden kapasitelerin azalacağı görülmektedir.

7)Çalışmada elde edilen bulgulara göre yangın etkisi altında betonarme kolonların normal kuvvet taşıma kapasitesinin değişimin incelemek için çok daha yüksek bir sıcaklık ve daha uzun bir yangın süresine ihtiyaç olduğu açıktır. Özellikle 600^{o}C ve üzerindeki sıcaklıklarda numunelerin belirli bir sürede yanması gerekmektedir. Bu tez kapsamında 600^{o}C'nin üstünde en az 120 dk kalması gerektiği anlaşılmıştır. Şekil 3.19'da verilen yangın süresi sıcaklık ilişkisine bakıldığı zaman deney süresinin 60 dakikayı geçmesi gerektiği görülmektedir. 60 dk ve altındaki deneylerde sıcaklık seviyesi istenilen seviyede olmayacağı için davranışın yorumlanması güçleşmektedir. Doğal bir yangının seyri açısından yorumlanırsa eğer yangın ilk 60 dakika içinde söndürülüp ortam soğutulmaya başlanırsa betonarme elemanlarda özellikle normal kuvvet taşıma kapasitesi açısından ciddi bir değişimin olmayacağı beklenebilir.

8)Bu tez konusunda araştırılmayan kiriş ve döşeme gibi elemanların daha çok eğilme etkisinde davrandığı bilindiği için ve eğilmede donatı dayanımı parametresinin beton basınç dayanımı parametresine göre daha belirleyici olmasından dolayı donatının dayanım değişikliği moment taşıma kapasitesinde önemli etkiye sebep olacaktır. Bundan dolayı donatının korunması yani pas payının yüksek tutulması bu tür elemanlarda oldukça önemlidir. Kolonlarda normal kuvvet taşıma kapasitesinde beton basınç dayanımı daha etkili bir parametredir. Beton basınç dayanımı da yüksek sıcaklık ya da uzun süreli yangınlarda daha belirgin olarak değişmektedir.

9)Tez çalışmasında oluşturulan doğal yangının özellikle 120 dk ve üzerinde daha kritik sonuçlar vermesi, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin bahsettiği 'Betonarme elemanların yangına karşı 2 saat dayanıklı olabilmesi için en dıştaki çelik profil veya donatının dış yüzü ile en dış beton lifi arasında kalan mesafe olan net beton ölçüsünün, kolonlarda en az 35 mm, kirişlerde 25 mm ve döşemelerde ise en az 20 mm olması gerekir." ibaresini de desteklemektedir. Bununla beraber pas payının minimum 4 cm olması koşulu kolonlardan ziyade kirişler için daha büyük önem taşımaktadır. Kolonlarda yüksek pas payı kabuk beton parçalanması ile oluşan kapasite kaybını azaltacak ve normal kuvvet kapasitesinde oldukça önemli olan beton katkısının azalmasından dolayı yangın sonrası önemli oranda kapasite kaybına neden olacaktır. Kirişlerde ise daha çok eğilme etkisinde olan elemanlar oldukları için moment taşıma kapasitesinin önemli rölatif olarak kolonlara göre daha fazladır. Bu nedenle donatının mekanik özelliklerinin kaybı moment taşıma kapasitesini daha fazla etkileyecektir.

Kirişlerde pas payı için mutlaka yönetmelikte verilen minimum pas payı kuralına uyulması gerekmektedir.

10)Gelecekte yapılacak yangın deneylerinin 90 dk'nın altında olmaması mümkünse 90, 120 ve 180 dk vb. gibi sürelerde deneylerin gerçekleştirilmesi sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırılacaktır.

11)Ayrıca yangın düzeneği içinde elemanların yangının çıkış noktasına eşit uzaklıkta olması elde edilen sonuçların daha doğru olarak yorumlanmasını sağlayacaktır.

Çoğu akademik tez çalışmasında olduğu gibi, bu çalışmada elde edilen sonuçların, daha fazla numune sayısı ve iyileştirilmiş deney düzeneklerin kullanılarak teyit edilmesi gerekmektedir. Örneğin, her yangın türü ve kolon tipi için en az 3 kolon seçilmesi (bu çalışma için 180 kolon örneği gibi) yangın etkisinin daha uzun süreli olacak şekilde tasarlanması uygun olacaktır. Yangın etkisi altında kolonların eşit oranda zarar görmesi ve yangının daha uzun süre sabit sıcaklıkta etki etmesi çalışmanın doğruluğunu daha da artıracak ve daha çok bilimsel kesinlik taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

Alarcon-Ruiza, L., Platretb, G., Massieub, E. and Ehrlachera, A., 2005, The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste, *Cement and Concrete Research* 35 (3), 609-613.

Altın, M., 2015, Charring rate of timbers in terms of size, layer material and fire class evaluated by the Taguchi method, *Materials Testing*, 57(3), 252-258.

Altın, M., 2012, Determining behaviors of fire doors with thermal camera and traditional methods comparatively, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 465-474.

Altın, M., Taşdemir, S., Pehlivan, G. F., Boztepe Erkiş, S. D. and Altın, S., 2015, The Experimental and Statistical Analysis of the Wood Strength against Pressure According to Different Wood Types, Sizes, and Coatings, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 97, International Journal of Chemical*,

Annerel, E. and Taerwe, L., 2009, Basic Approach for the Diagnosis of Concrete after Fire Exposure, *Applications of Structural Fire Egineering : proceedings of international conference,* Czech Republic , 172-177.

Arıöz, Ö., 2007, Effects of elevated temperatures on properties of concrete, *Fire Safety Journal*, 42, 516- 522.

Arslan M.H., Erdoğan Ö., Köken A., ve Doğan G., 2017, Evaluation of fire performance of prefabricated concrete buildings in Turkey, *Ice Institution of Civil Engineers*, 389-401.

Ataman, R., 1991, Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversiresi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

Aydın, S. ve Bardan, B., 2003, Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Harç Geliştirilmesi, *TMMOB 5. Ulusal Beton Kongresi,* İstanbul.

Aydın, S. and Baradan, B., 2007, Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars, *Cement and Concrete Research,* 37 (6), 988-995.

Aydın, S., Yazıcı, H. and Baradan, B., 2008, High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers, *Construction and Building Materials*, 22(4), 504-512.

Beitel, J.; Iwankiw, N., 2008, Analysis of Needs and Existing Capabilities for Full-Scale 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.

Bikhiet M. Mohamed, El-Shafey Nasser F., El-Hashimy Hany M., 2014, Behavior of reinforced concrete short columns exposed to fire, *Alexandria Engineering Journal*.

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.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007-2015.

Bingöl, A.F., and Gül, R., 2004, Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 11, 68-72.

Ceylan, H. ve Saraç, M.S., 2006, Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 10(3), 413-421.

Chan, Y. N., Peng, G. F. and 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, 23-27.

Chan, S.Y.N., Luo, X. and Sun, W., 2000, Effect of high temperature and cooling regimes on the compressive strength and pore properties of high performance concrete, *Construction and Building Materials*, 14, 261-266.

Chang, Y.F., Chen, Y.H., Sheu, M.S. and Yao, G.C., 2006, Residual stres-strain relationship for concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Research*, 36, 1999-2005.

Chen, B. and Liu, J., 2004, Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Research*, 34, 1065- 1069.

Demir, A. ve Topçu, İ.B., 2008, Kiremit Kırığı Agregalı Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir.

Demirel, B. and Gönen, T., 2008, Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,*14(2), 223-228.

Dronnadula V. Reddy, Khaled Sobhan, Lixian Liu, Jody D. Young Jr., 2015, Size effect on fire resistance of structural concrete, *Engineering Structures 99*, 468-478.

El-Hawary, M.M., Ragab, A.M., El-Azim, A.Abd. and Elibiari, S., 1997, Effect of Fire on Shear Behaviour of R.C. Beams, *Computers and Structures*,65 (2), 281-287.

Erdem, H., 2010, Yüksek Sıcaklığa Maruz T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Eğilme Taşıma Gücü, *İMO Teknik Dergi,* 5023-5036.

Ergün, A., Kürklü, G. ve Başpınar M.S., 2009, Yüksek Sıcaklık Sonrası Farklı Sınıflardaki Betonarme Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 97-103.

European Standard EN 1363-1, (2012), Fire Resistance Tests—Part 1: General Requirements, European Committee for Standardization CEN, Brussels,

European Standard EN 1634-4, (2009), Fire resistance and smoke control tests for door, shutter and open able window assemblies and elements of building hardware - Part 1: Fire resistance tests for doors, shutters and open able Windows, European Committee for Standardization CEN, Brussels.

Gökçer, B., Yıldız, S. and Keleştemur, O., 2013, Atık Mermer Tozu Ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, *SDU International Technologic Science,* 5(2), 42-55.

Gustaferro, A.H., Abrams, M.S. and Litvin, A., 1971, Fire Resistance of Lightweight Insulating Concrete, *ACI Publication,* 29, 161-180.

Grinzato, E., Vavilov, V., and Kauppinen, T., (1998). Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy Buildings*; 29: 1–9.

Hager, I., 2014, Colour Change in Heated Concrete, *Fire Technology,* 50(4), 945-958.

Handoo, S.K., Agarwal, S. and Agarwal, S.K., 2002, Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures, *Cement and Concrete Research,* 32, 1009-1018.

Heo, Y.S., Sanjayan, J.G., Han, C.G., Han, M.C, 2011, Construction application of Fibre/Mesh method for protecting concrete columns in fire, *Construction and Building Materials*, 25 (6), 2928-2938.

Heo, Y-S., Sanjayan, J-G., Han, C-G., Han, M-C, 2012, Relationship between inter aggregate spacing and the optimum fiber length for spalling protection of concrete in fire, *Cement and Concrete Research,* 43 (3), 549-557.

Hertz, K.D., 2003, Limits of spalling of fire-exposed concrete, *Fire Safety Journal,* 38(2), 103-116.

Hongying Dong, Wanlin Cao, Jianhui Bian ve Jianwei Zhang, 2014, The Fire Resistance Performance of Recycled Aggregate Concrete Columns with Different Concrete Compressive Strengths, *Materials, 7*, 7843-7860

Hüsem, M., 2006, The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete, *Fire Safety Journal*, 41, 155-163.

Janotka, I. and Bagel, L., 2002, Pore structures, permeabilities and compressive strengths of concrete at temperatures up to 800^0C, *ACI Materials Journal*, 99 (2), 196-200.

Kalifa, P., Menneteau, F.D. and Quenard, D., 2000, Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures, *Cement and Concrete Research*, 30, 1915-1927.

Karaca, Z., Durmuş, A. ve Hüsem, M., 1997, Hafif Betonun Yangın Dayanımının İncelenmesi, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 3. Teknik Kongre,* Ankara.

Karanfil, H. and Topçu, İ.B., 2007, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Kalan Betonarme Yapılarda Çelik Donatı Özelik Değişimine Pas Payı Kalınlığının Etkisi,Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir.

Kaya, T., Yazıcıoğlu, S., 2015, Farklı Tip Sıvalarla Kaplı Betonun Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 43-52.

Khaled Mohammed Nassar and Samir Shihada, 2011, Improving Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns**,** *Islamic University of Gaza Higher Education Deanship Faculty of Engineering Civil Engineering Department Design and Rehabilitation of Structures.*

Kristensen, L. and Hansen, T.C., 1994, Cracks in concrete core due to fire on thermal heating shock, *ACI Materials Journal*, 91 (5), 453-459.

Lau, A. and Anson, M., 2006, Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, 36, 1698-1707.

Lawson, J.R., Phan, L.T. and Davis, F., 2000, Mechanical properties of high performance concrete after exposure to elevated temperatures, *Department of Commerce Technology Administration*, NIST, USA.

Li, M., Qian, C. and Sun W., 2004, Mechanical properties of high-strength concrete after fire, *Cement & Concrete Research*, 34, 1001-1005.

Lin, W.M., Lin, T.D. and Powers-Couche, L.J., 1996, Microstructures of Fire Damaged Concrete,*ACI Materials Journal*, 93 (3), 199-205.

Luo, H.L. and Lin, D.F., 2007, Study the surface color of sewage sludge mortar at high temperature, *Construction and Building Materials*, 21 (1), 90-97.

Maruta, M., Yamazaki, M. and Miyashita T., 1995, A study on shear behavior of reinforced concrete beams subjected to long-term heating, *Nuclear Engineering and Design*, 156(1), 29-37.

Mohammad Mahdi Raouffard, Minehiro Nishiyama, 2017, Fire response of exterior reinforced concrete beam-column subassemblages, *Fire Safety Journal.*

Moropoulou, A., Koui, M., and Avdelidis, N.P., 2000, Infrared thermography as an NDT tool in the evaluation of materials and techniques for the protection of historic monuments. *Insight: Non-Destructive Test Condition Monitoring*;42(6):379–83.

Park, J. E., Shin, Y. S., and Kim, H. S., 2011, Various Factors Influencing on Thermal Behaviors of High Strength Concrete (HSC) Columns under Fire, *The Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction – EASEC12,* South Korea, 427–433.

Peng, G.F., Bian, S.H., Guo, Z.Q., Zhao, J., Peng, X.L. and Jiang, Y.C., 2008, Effect of thermal shock due to rapid cooling on residual mechanical properties of fiber concrete exposed to high temperatures, *Construction and Building Materials,* 22, 948-955.

Phan, L.T. and Carino, N.J., 1998, Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperatures, *Journal of Materials in Civil Engineering,* 10, 58-64.

Poon, C.S., Azhar, S., Anson, M. and 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,* 31, 1291-1300.

Poon C.S., Azhar S., Anson M. and Wong, Y.L., 2001, Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing, *Cement and Concrete Research,* 31(9), 1307-1318.

Rostasy, F.S., Weiss, R., and Wiedemann, G., 1980, Changes of pore structure of cement mortars due to temperature, *Cement & Concrete Research,* 10, 157-164.

Saad, M., El-Enein, A., Hanna, G.B. and Kotkata, M.F., 1996, Effect of temperature on phsical and mechanical properties of concrete containing silica fume, *Cement and Concrete Research,* 26, 669-675.

Sakr, K. and El-Hakim, E., 2005, Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties, *Cement and Concrete Research,* 35, 590-596.

Sancak, E. ve Şimşek, O., 2006, Yüksek sıcaklığın silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkılı hafif betona etkileri, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi,* 21 (3), 443-450.

Savva, A., Manita, P. and Sideris, K.K., 2005, Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates, *Cement and Concrete Composites,* 27, 239-248.

Selek, M., Sahin, Ö.S., Kahramanlı, S., 2009. "Using artificial neural networks for realtime observation of the endurance state of a steel specimen under loading", *Expert Systems with Applications* 36-4, 7400-7408.

Short, N.R., Purkiss, J.A. and Guise, S.E., 2001, Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis, *Construction and Building Materials,* 15 (1), 9-15.

Subaşı, S., İşbilir, B., Ercan, İ., 2011, Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Politeknik Dergisi,* 14 (2), 141-148.

Takeshi Morita, Masuhiro Beppu, Makoto Suzuki, 2017, An experimental study on the temperature and structural behavior of a concrete wall exposed to fire after a high velocity impact by a hard projectile, *Fire Safety Journal*.

Tan, X.S., Tan, T.H., Tan, K.H. and Guo Z., 2004, Influence of Concrete Cover on Fire Resistance of Reinforced Concrete Flexural Members, *Journal of Structural Engineering,*130 (8), 1225-1232.

Terro, M.J., 2006, Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures, Building and Environment, 41 (5), 633-639.

Titman, D.J., (2001). Applications of thermography in non-destructive testing of structures. *NDT and E International*; 34: 149–54.

Topçu, İ.B. ve Demir, A., 2005, Uçucu Kül Katkılı Harçlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi, *6.Ulusal Beton Kongresi,* İstanbul,455-463.

Uysal, A., 2004, Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul,

Ünlüoğlu, E., Topçu, İ.B. ve Yalaman, B., 2007, Yüksek Sıcaklıkta Kalmış Yapılarda Pas Payının Betonarme Çelik Donatı Özeliklerine Etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 273, 4145-4155.

Vydra, V., Vodak, F., Kapickova, O. and Hoskova, S., 2001, Effect of temperature on porosity of concrete for nuclear-safety structures, *Cement and Concrete Research,* 31, 1023-1026.

Wei-Qing Zhu, Gang Meng, Jin-Qing Jia, 2014, Experimental studies on axial load performance of high-strength concrete short columns, *Ice Institution of Civil Engineers*, 509-519.

Wirahadikusumah, R., Abraham, D.M., Iseley, T., and Prasath, R.K., (1998). Assessment technologies for sewer system rehabilitation. Automation in Construction; 7: 259–70.

Xiao, J. and König, G., 2004, Study on concrete at high temperature in China-and overview, *Fire Safety Journal*, 39(1), 89-103.

Yüzer, N., Aköz, F. ve Kızılkanat, A.B., 2004, Yüksek Dayanımlı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası XVII. Teknik Kongresi*, İstanbul.

Yüzer, N., Aköz, F. ve Öztürk, L., 2004, Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature, *Cement and Concrete Research*, 34, 1803-1807.

Zeybek, A., Aydoğan, M., 2008, Betonarme Kolonların Yangın Koşullarında Tasarımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul.

Zoldners, N.G., and Wilson, H.S., 1973, Effect of sustained and cyclic temperature exposures on lightweight concrete, Behavior of concrete under temperature extremes, *ACI Publication*, (39) 9, 149-178.