



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOLONLARIN TAŞIMA GÜCÜ KAPASİTESİ ÜZERİNDE YANGININ ETKİSİ

ERDEM GÜVENÇ

Eylül 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KOLONLARIN TAŞIMA GÜCÜ KAPASİTESİ ÜZERİNDE YANGININ ETKİSİ

ERDEM GÜVENÇ

Yüksek Lisans Tezi


Danışman


Prof. Dr. Hakan ERDEM

Ağustos 2019

Erdem GÜVENÇ tarafından **Prof. Dr. Hakan ERDEM** danışmanlığında hazırlanan **“Kolonların Taşıma Gücü Kapasitesi Üzerinde Yangının Etkisi”** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :  Prof. Dr. Hakan ERDEM

Üye :  Doç. Dr. Ersin AYDIN

Üye :  Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

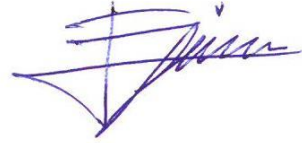
...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Erdem GÜVENÇ



ÖZET

KOLONLARIN TAŞIMA GÜCÜ KAPASİTESİ ÜZERİNDE YANGININ ETKİSİ

GÜVENÇ, Erdem

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hakan ERDEM

Eylül 2019, 35 sayfa

Bu tez çalışmasında yangına maruz kalan betonarme kolonların dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Seçilen kesit, malzeme, donatı düzeni ve yangın etkime yüzeyleri için excelde yazılan program yardımı ile karşılıklı etki diyagramının koordinatları olan N-M değerleri elde edilmiştir. Kesite farklı yüzeylerden 30 ve 60 dakika süre ile yangın etkidiği kabul edilmiş ve ISO834 bağıntısı ile yangın etki eden yüzeylerin sıcaklığı (°C) bulunmuştur. Kesit içindeki sıcaklık dağılımı sonlu farklar yöntemi ile elde edilmiş, kesit küçük sonlu elemanlara ayrılmış ve her bir parçada sıcaklığa bağlı olarak beton ve donatıdaki dayanım kayıpları Eurocode2’de verilen bağıntılar ile belirlenmiştir. Seçilen tarafsız eksen değerleri için oluşan kuvvetler kullanılarak eksenel taşıma kuvveti N ve kesit ortasına göre yazılan moment denklemleri ile de kolonun eğilme taşıma gücü M elde edilerek abaklardaki noktalar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucu yangının etkime süresinin artmasının kesit içinde sıcaklığı artırdığı ve buna bağlı olarak beton ve donatıların dayanımlarında da azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Malzemelerin dayanımlarının azalmasının da N-M değerlerini olumsuz etkilediği de elde edilen sonuçlardan görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Kolon, yangın, eksenel kuvvet, moment

SUMMARY

EFFECT OF FIRE ON CARRYING CAPACITY OF COLUMNS

GÜVENÇ, Erdem

Nigde Omer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Professor Dr. Hakan ERDEM

September 2019, 35 pages

In this thesis, the change in the endurance of the concrete columns subjected to the fire has been investigated. For the cross section, material, reinforcement structure and fire effect faces, N-M values which are the coordinates of correlative effect diagram have been obtained with the help of the software written by excel. It is assumed that fire has been exposed to the cross section for 30 and 60 minutes from the different faces, and the temperature of the faces subjected to the fire have been obtained by using ISO 834 correlation. Distribution of the temperature of the cross section has been obtained by finite difference method, cross section has been divided into finite elements and concrete and reinforcement loses at every elements have been obtained by using correlations given at Eurocode2. Axial carrying force N has been obtained by using the forces occurring for the chosen neutral axial values and tilt carrying capacity M has been obtained by using moment equations according to the middle of the cross section, and then points at the abacus have been obtained. After the comparison of the obtained results, it is concluded that increase in the time of firing effect results in the increase at the temperature of the cross section and due to this, reduction at the endurance of the concrete and the reinforcement has been observed. Also it has been observed that reduction in the endurance of the material results in the negative effect on N-M values.

Keywords: Column, fire, axial force, moment

ÖN SÖZ

Yüksek lisans tezi boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Hakan ERDEM'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu güne kadar üzerimde emeği olan bütün hocalarımı saygıyla hatırlıyorum. Son olarak da bana her şartta destek olan ve güvenen, aileme minnettarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR	xi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II MATERYAL VE METOD.....	4
2.1 Kolonlar	4
2.1.1 Kolon çeşitleri.....	4
2.1.2 Kolon boyutları.....	5
2.1.3 Boyuna donatı.....	5
2.1.4 Enine donatı	7
2.1.5 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolon.....	8
2.1.6 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisi altındaki kalın kolonların hesabı (taşıma gücünün belirlenmesi)	9
2.1.7 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisi altındaki kolonların boyutlandırılması ...	11
2.2 Isı Transferi.....	15
2.2.1 Giriş	15
2.2.2 Enerjinin korunumu	16
2.2.3 Sürekli rejimde iki boyutlu ısı iletimi.....	17
2.2.4 Ağ yapısı.....	17
2.2.5 Isı denkleminin sonlu farklarda gösterimi	18
2.3 Beton Basınç Dayanımındaki Değişim.....	19
2.4 Donatı Akma Dayanımındaki Değişim.....	20
2.5 ISO834 Yangın Etkime-Sıcaklık Süresi Bağıntısı.....	20
BÖLÜM III SAYISAL UYGULAMA	22
3.1 Sabit Donatı Alanı ve Sabit Tarafsız Eksen için N-M Değerlerinin Yangın Etkime Süresine Göre Değişimi	22

3.2 Yangın Etkime Süreleri ve Sabit Donatı Oranı için N-M Eğrisinin Değişimi	27
BÖLÜM IV SONUÇLAR	29
KAYNAKLAR	30
ÖZ GEÇMİŞ	35



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. N ve M yangın etkime süresine göre değişimleri	23
Çizelge 3.2. Yangın süresine bağlı olarak farklı tarafsız eksenler için N-M değerlerinin değişimi.....	28



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kolon çeşitleri ve kesit örnekleri	5
Şekil 2.2. Boyuna donatılar ve sargı tipleri	6
Şekil 2.3. Ara donatılı dikdörtgen kesite sahip kolonlar için denge ve uygunluk denklemlerinin çıkarılması	10
Şekil 2.4. Karşılıklı etki diyagramı hesaplamaları gösterimi.....	12
Şekil 2.5. Seçilen donatı miktarı için elde edilen eğrinin karşılıklı etki diyagramı üzerinde gösterimi.....	12
Şekil 2.6. Seçilen donatı miktarı için elde edilen eğrinin boyutsuz olarak karşılıklı etki diyagramı üzerinde gösterimi	13
Şekil 2.7. Seçilen donatı düzeni için elde edilen karşılıklı etki diyagramı	14
Şekil 2.8. Seçilen donatı düzeni için elde edilen karşılıklı etki diyagramı	15
Şekil 2.9. Kartezyen eksen takımında sonsuz küçük kontrol hacmi.....	16
Şekil 2.10. İki boyutlu iletimde ağ gösterimi.....	18
Şekil 2.11. Beton ve çelik için malzeme dayanımı küçültme faktörleri	19
Şekil 2.12. ISO834 sıcaklık yangın etkime süresi	21
Şekil 3.1. Kolona ait kesit, malzeme ve donatı bilgileri	22
Şekil 3.2. N-M'in yangın etkime süresine göre değişimi	23
Şekil 3.3. Beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama sıcaklıklar	24
Şekil 3.4. Beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama malzeme dayanım katsayıları.....	24
Şekil 3.5. Yangın alt ve üst yüzeyden etkimesi için N-M'in değişimi	25
Şekil 3.6. Yangın alt, sol ve sağ yüzeyden etkimesi için N-M'in değişimi.....	25
Şekil 3.7. Yangının kesitin farklı yüzlerinden etkimesi durumları için beton ve donatıdaki ortalama sıcaklık (Tc-Ts) değişimi	26
Şekil 3.8. Yangının kesitin farklı yüzlerinden etkimesi durumları için beton ve donatıdaki malzeme dayanımı azaltma faktörü (kc-ks) değişimi	26
Şekil 3.9. Farklı yangın etkime süreleri ve $\rho_t=0.0134$ donatı oranı için N-M eğrisinin değişimi.....	27

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
σ_{si}	Donatıdaki gerilme
\bar{x}	Kuvvet uygulanan taraftaki kolon yüzünden basınç bloğu bileşkesinin uzaklık
ρ_t	Kolonlarda boyuna donatı oranı
σ_{cT}	Yüksek sıcaklıklarda azalan beton basınç dayanımı
c_p	Özısı
\dot{q}	Ortam birim hacimdeki birim zamanda üretilen ısı enerjisi
A_c	Kolon enkesit alanı
A_{cc}	Basınç bloğu alanı
A_{st}	Toplam boyuna donatı alanı
e	Dışmerkezlik
e_b	Dengeli dışmerkezlik
i	Donatı sırası numarası
k	Isı iletim katsayısı
k_c	Eurocode2’de verilen beton basınç dayanımı azaltma faktörü
M_d	Tasarım momenti
n	Kesitteki toplam donatı sırası
N_d	Eksenel kuvvet
x_i	Donatı ağırlık merkezinden kesit ağırlık merkezine olan mesafe
x_p	Ağırlık merkezinin uzaklığı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
BA	Betonarme
ISO834	ISO 834 standart ısı-zaman eğrisi
ASTM E119	ASTM E119 kodlu ABD standardı ısı-zaman eğrisi

BÖLÜM I

GİRİŞ

Betonarme yapılar, gerek kullanılan malzemenin temininin kolay ve ekonomik olması gerek ülkemizde betonarme yapılar konusunda yetişmiş ustaların çok sayıda olması ve yapıda istenilen taşıma kapasitesini sağlaması nedenleriyle ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yapılar gibi betonarme yapılarda kendisine etkiyen sabit, hareketli, toprak, ısı, rüzgâr ve deprem gibi kuvvetleri güvenle taşıyabilmelidir. Zaman zaman çıkan yangınlar nedeni ile betonarme yapılar zarar görebilmektedir. Bilindiği üzere yangın, yapılarda yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve taşıyıcı elemanların özelliklerinin kaybolmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yangının betonarme yapı elemanları üzerindeki etkisinin incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada betonarme kolonlar üzerinde, yangının neden olduğu yüksek sıcaklık etkisi incelenmektedir.

Yapılarda durabilite problemine yol açan fiziksel etkilerden biri de yangın etkisiyle oluşan yüksek sıcaklıktır. Bu etki yapılarda kalıcı hasarlar oluşturarak, can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir (Aydın vd., 2003). Danimarka'da bulunan Channel Tünelde ve Great Belt Tünelinde 1994 ve 1996 yıllarında çıkan yangınlarda, yüksek sıcaklık etkisi ile betonda meydana gelen parçalanma ve parça fırlatmalar nedeni ile beton kesitindeki azalmalar büyük hasarlara neden olmuştur. Yine New York'taki Dünya Ticaret Merkezi Binalarının çökmesi ile çok sayıda can ve mal kaybı olmuştur (Khoury, 2003b, Schrefler vd. 2002, Baradan vd., 2002).

Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının çeliğe, betona ve betonarme yapılara etkisi 1922'den günümüze kadar araştırılıp incelenmektedir. Yapılan araştırmalarda yangın sırasında ve sonrasında malzemenin karmaşık davranışı, yapısal güvenlik ve yapının bütünlüğü anlaşılmaya çalışılmıştır (Khoury, 2000). 20 yıl öncesine kadarki çalışmalarda yüksek sıcaklığın normal dayanımlı betona etkileri üzerinde durulmuştur (Khoury, 2003b). Fakat günümüzde modern yapılarda, tünellerde, endüstri yapılarında veya özel hizmet amaçlı inşa edilen yapılarda kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile yüksek performanslı ve dayanımı yüksek betonlar kullanılmaktadır. Bu betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı iyi bilmek gerekir, çünkü bu betonların

boşluk oranı düşük, yapısı daha yoğun olduğu için yüksek sıcaklık etkisinde performansı normal dayanımlı betona göre daha düşük olmaktadır (Schrefler vd., 2003).

Günümüzde birçok ülkenin yangından koruma yönetmelikleri vardır. Bu yönetmelikler bir binada bütün eleman ve bileşenlerin fonksiyonlarına, konum ve taşıyıcı olup olmadıklarına bakılmaksızın belirli süre yangına ve etkilerine karşı direnç göstermelerini zorunludur (Baradan vd., 2002). Yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme bir yapının yıkım ya da onarımına karar vermek için yerinde ve laboratuvarında tahribatla ve tahribatsız deneyler yapılmalıdır. Yerinde yapılan ilk inceleme görsel gözlemdir, bu aşamada betonda dağılımların, çatlakların, renk değişiminin olup olmadığına bakılmaktadır (Guise vd., 1996).

Betonarme yapıları oluşturan taşıyıcı elemanlar ve betonarme malzemesini oluşturan beton ve çeliğin yüksek sıcaklık altında davranışını inceleyen bazı çalışmalar literatürde mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

El-Hawary vd.'ne (1997) göre farklı pas paylarında betonarme kirişlerin farklı sürelerde 600 °C sıcaklığında tutulmasından sonra Schmidt çekici ile beton yüzey sertlikleri değerlendirilerek dayanımları belirlenmiş, farklı pas payının dayanımları önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Mahsanlar yüksek sıcaklık etkisinde betonun davranışını incelemiştir. Bu çalışmada yüksek sıcaklığın ve söndürme türünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri yapılan bazı deneyler ile incelenmiştir. Bu amaçla CEM I 42.5 R çimentosu silis ve agregalar, silis dumanı, cüruf, uçucu kül gibi puzolanlar farklı sıcaklıklara maruz bırakılarak soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde kontrol deneyleri yapılarak rengin bileşenleri olan tür, değer ve doymuşluk tayfsal ısıölçer ile sayısal olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarından yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı ve rengin tür bileşenlerinde meydana gelen değişim arasında ilişki kurularak yüksek sıcaklığa maruz kalan yapılarda renk ölçüm yapılarak elemanın maruz kaldığı sıcaklık derecesi ve basınç dayanımdaki kayıplar hakkında yol gösterici olabileceği kanısına varılmıştır (Mahsanlar, 2006).

Karanfil betonarme paspayının yüksek sıcaklık etkisi altında kalan yapılarda çelik donatı özellik değişimine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada betonarme yapıların yangın etkisi sonucunda donatılarda oluşabilecek hasarların belirlenebilmesi için dört farklı paspay kalınlığı ile deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile pas payının donatının sıcaklık etkilerinde karşı korunmasında önemli rolü olduğu kanısında varılmıştır (Karanfil, 2007).

Zeybek betonarme kolonların yangın koşullarında tasarımı ve kontrolünü incelemiştir. Bu çalışmada önce konuyla ilgili olarak teorik araştırma yapılmış, daha sonra ve deneysel çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar sonucunda geliştirilen iki farklı yöntem incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan tasarım ve kontrollerde ISO 834 standart yangın eğrisi esas alınmıştır (Zeybek, 2008).

Erdem, yangın etkisinde kalan betonarme döşemelerin taşıma gücü momentini tahmin etmek için yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Yapay sinir ağları ile tahmin edilen sonuçların hesaplarla bulunan sonuçlar ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Erdem, 2010a). Erdem, yüksek sıcaklık etkisindeki tablalı kesitli betonarme kirişlerde sıcaklık dağılımı için pratik bir yöntem önermiş ve yüksek sıcaklığın kirişlerin taşıma gücüne olumsuz etkisini incelemiştir (Erdem, 2010b) Erdem, yangın etkisi altında olan kutu kesitli betonarme kirişin moment kapasitesini incelemiştir. Yüksek sıcaklığın neden olacağı olumsuz etkileri gidermek için kesit içerisinde su dolaşımının sağlayacağı faydaları göstermiştir (Erdem, 2009). Erdem, yangın etkisinde kalan betonarme kirişler içerisinde sıcaklık dağılımı üzerinde yalıtım malzemelerinin pozitif etkilerini incelemiştir (Erdem, 2010c). Erdem, plak betonarme döşemelerin taşıma gücü üzerinde yüksek sıcaklığın etkisini incelemiştir. ISO834'te tanımlanan bağıntı ile sıcaklık modellenmiş ve Eurocode2 'de verilen küçültme katsayıları kullanılarak beton ve çeliğin malzeme özelliklerini tanımlamıştır. Kesit içerisindeki ısı geçişinin sürekli rejimde ve bir boyutlu olduğu kabul edilmiştir (Erdem, 2008).

Bu çalışmada önce kolonlar hakkında bilgiler verilecek, ısı transferi hakkında bilgiler verilecek, daha sonra sıcaklık etkimesi durumu için kullanılacak bağıntılardan bahsedilecektir. Sonraki bölümlerde ise farklı donatı yerleşimi ve sıcaklık etkimesi için elde edilen sonuçlar verilecektir.

BÖLÜM II

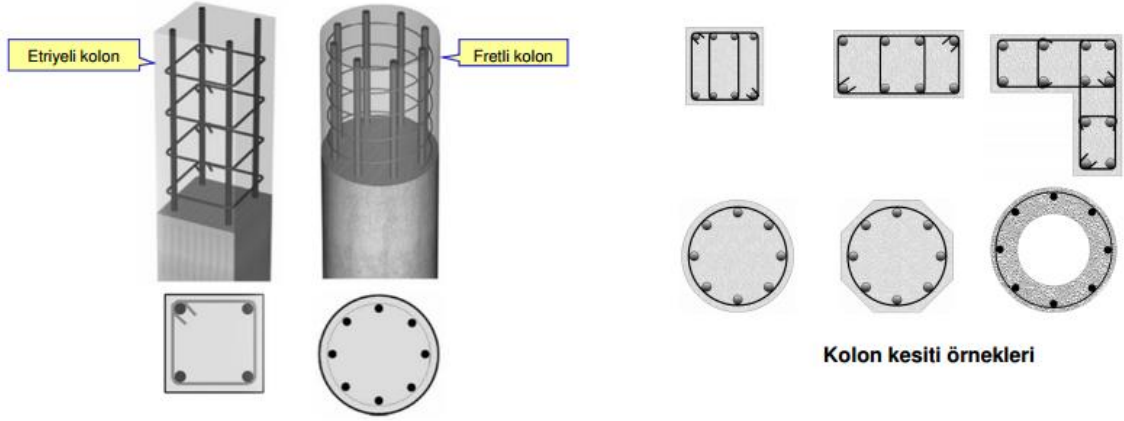
MATERYAL VE METOD

2.1 Kolonlar

Betonarme yapılar için seçilen taşıyıcı sistemlerin hemen hemen hepsinde kolon vardır. Çerçeve sistemli yapılarda düşey taşıyıcılar kolonlardır. Bu sistemde kolonların iki önemli görevi vardır birincisi yapıya etkileyen tüm düşey ve yatay yükleri temel sistemine güvenli bir şekilde aktarmak ikincisi ise yatay yüklerden dolayı meydana gelecek rölatif kat ötelenmelerinin sınır değerler içinde kalmasını sağlamaktır. Perde duvarlı sistemlerde ise kolonların görevi azalmakta ötelenmeleri karşılama görevi büyük ölçüde perde duvarlar tarafından yerine getirilmektedir (Doğangün, 2018).

2.1.1 Kolon çeşitleri

Betonarme kolonlar sargı donatısının biçimine bağlı olarak etriyeli ve fretli (spiral donatılı) kolonlar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Diğer bir sınıflandırma da kalın kolon ve narin kolon olarak yapılmaktadır ancak bu ayrım kolonun görünüşüne bakarak yapılmaz yapılacak narinlik hesapları ile kolonun narin yada kalın kolon olduğuna karar verilir. Ülkemizde yaygın olarak etriyeli kolonlar kullanılmakta olup bazen spiral donatılı kolonlarda kullanılmaktadır. Etriye kolonlar kare dikdörtgen yada dairesel kesitli geometrilerde karşımıza çıkabilmektedir (Şekil 2.1.). Kalın (Kısa) kolonların hesap ve tasarımı sadece aksel basınç etkisinde, bir doğrultuda bileşik eğilme etkisinde ve iki doğrultuda bileşik eğilme etkisinde olması durumlarına göre farklılık gösterir. Bu çalışmada bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolonların hesap ve tasarım formülasyonları ile uygulamaları yapılacaktır.



Şekil 2.1. Kolon çeşitleri ve kesit örnekleri (URL 1)

2.1.2 Kolon boyutları

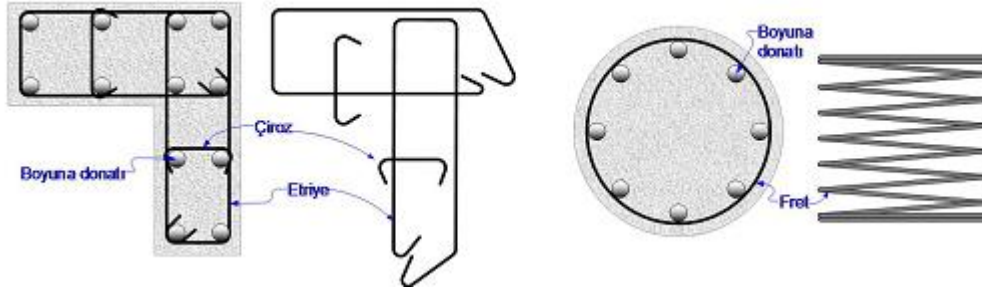
Kolon enkest boyutları için TS 500'de b ve h sembolleri kullanılmaktadır, h eğilme doğrultusundaki kolon boyutudur. Kolon tek başına düşünüldüğünde eğilme doğrultusundaki boyutu büyük seçmek doğru olacaktır.

Dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliği 300 mm den az olamaz, kesiti dikdörtgen olmayan I, T, L gibi kesitlere sahip kolonlar için kesit genişliği 200 mm, kutu kesitlerde ise en küçük kalınlık 120 mm olabilmektedir. Daire kesitli kolonlarda kolon çapı 350 mm den az olamaz.

$$A_c \geq \frac{N_{dm}}{0,4f_{ck}} \quad (2.1)$$

2.1.3 Boyuna donatı

Kolon boyuna donatı miktarı hesap sonunda belirlenen donatılardan ve hesap sonucu belirlenmeyen ancak yönetmelik gereği yerleştirilmesi zorunlu olan donatılardan meydana gelmektedir. Kolona yerleştirilen boyuna donatıların toplam alanı A_{st} sembolü ile gösterilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Boyuna donatılar ve sargı tipleri (URL1)

Kolonlar için minimum donatı çapı 14 mm dir. Donatı çapı için bir üst sınır bulunmamakta fakat uygulamada 26 mm den kalın çapların kullanılması tavsiye edilmemektedir. Kolonlarda boyuna donatı oranı ρ_t toplam boyuna donatı alanının (A_{st}), kolon enkesit alanına (A_c) bölümüyle belirlenmektedir.

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad (2.2)$$

$$\text{Dikdörtgen enkesitli kolonlar için: } \rho_t = \frac{A_{st}}{b \cdot h} \quad (2.3)$$

$$\text{Daire enkesitli kolonlar için: } \rho_t = \frac{A_{st}}{\pi d_0^2 / 4} \quad (2.4)$$

Kolonun donatısız beton eleman gibi kırılmasını önleyerek daha sünek davranışa zorlamak, enine donatıların yerleştirilmesinde kolaylık sağlamak, öngörülmeyen eğilme momentlerini karşılamak, büzülme ve özellikle sünme deformasyonlarını engellemek amacıyla minimum donatı oranı koşulu vardır. Bu amaçla kolonlarda toplam boyuna donatı oranı (ρ_t), aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$\rho_t \geq 0,01 \quad (2.5)$$

Kolon kesit boyutlarının çok küçülerek yatay yüklere karşı eğilme rijitliğinin aşırı azalmasını engellemek, çelikte tasarruf sağlamak ve kesitin basınç bölgesindeki betonun öncelikli olarak ezilmesinin önüne geçmek (daha sünek davranmasını sağlamak) için, boyuna donatı oranına bir üst sınır vardır. Boyuna donatı oranının maksimum sınırları:

$$\text{Bindirme bölgeleri dışında: } \rho_t \leq 0,04 \quad (2.6)$$

$$\text{Bindirme bölgelerinde: } \rho_t \leq 0,06 \quad (2.7)$$

Dikdörtgen kesitli kolonlarda etriye ya da çirozla tutulmuş olan boyuna donatı çubukları arasındaki uzaklık diğer bir deyişle etriye kolları ve/veya çirozlar arasındaki mesafe, enine donatının serbest boyunu azaltmak ve yanal basınç sağlamak amacıyla, 300 mm den fazla olamaz.

2.1.4 Enine donatı

Kolonlarda boyuna donatılarla birlikte etriye yada fret donatı olarak adlandırılan enine donatılarda yerleştirilmektedir.

Enine donatının kesme kuvvetini beton ile birlikte karşılamaya, boyuna donatıların burkulmasını önlemeye, çekirdek betonun dayanımını artırmaya, çekirdek betonun sünekliğini artırmaya, betonun yerleştirilmesi sırasında boyuna donatıyı yerinde tutmaya gibi görevleri vardır.

Enine donatı yerleştirilmesi açısından kolonlar TS500 de, sarılma ve orta bölgelere ayrılmamıştır. Adı geçen standartta enine donatı aralığının en küçük donatı çapının 12 katından ve 200 mm den daha fazla olamaz. Deprem Yönetmeliğinde ise kirişlerde olduğu gibi kolonlar da iki sarılma ve bir orta bölge olmak üzere toplam üç bölgedir. Diğer taraftan enine donatı koşullarını etkileyen bir ayrım da Deprem Yönetmeliğinde kolonların süneklik düzeyi normal ve yüksek kolonlar olarak iki sınıfta incelenmiştir. Aşağıda, tasarımcıya kolaylık sağlaması bakımından, kolonlara yerleştirilecek enine donatıların aralıkları için TS500 ve Deprem Yönetmeliği koşulları birlikte dikkate alınarak, ortak değerler verilmektedir. Kolonlarda kullanılacak en küçük enine donatı çapı 8 mm dir.

2.1.5 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolon

Kolonların aksenal basınca göre tasarımına izin verilmez. Kolonda yüklemeler sonucunda hiç eğilme momenti oluşmasa bile, yine de aksenal basınca göre tasarıma izin verilmez.

Dışmerkezliğin küçük olması halinde kolon kesiti tamamen basınç etkisi altındadır. Bu durumda kolonlardaki donatılarda çekme gerilmesi meydana gelmez. Büyük dışmerkezlik durumunda ise dışmerkezlik arttıkça, kesitteki çekme etkisinde kalan alan da artmaktadır. Bu yüzden çekme alanına bağlı olarak kolon donatılarının bir kısmı çekme etkisinde kalacaktır.

Kolonların davranışları için karşılıklı etki diyagramı olarak adlandırılan moment-aksenal kuvvet etkileşim diyagramları yol göstericidir. Bu diyagramlar, donatının kenarlarda ya da orta bölgede bulunması gibi belirli donatı düzenleri için kolonların taşıyabileceği eğilme momenti ve aksenal kuvvet çifti için çizilmektedir. Karşılıklı etki diyagramları için her bir eğri, taşıma gücü bağıntılarından elde edildiğinden dayanım zarfı olarak da adlandırılabilirler. Dolayısıyla moment ve aksenal kuvvete göre: belirlenen kesişim noktası, eğrinin içinde kalıyorsa taşıma gücü açısından bir sorun yoktur.

Standart ve yönetmeliklerde söz konusu eğrilerin, kullanılabilecek alanlarıyla ilgili bazı kısıtlamalar vardır;

- Kolonda küçük moment hesaplanması durumunda minimum dışmerkezlilik koşulu vardır
- Sünek davranış sağlamak amacıyla aksenal kuvvetin maksimum değerine sınırlama vardır
- Kolon enkesitin boyutlarının çok küçük olması nedeniyle yatay yüklere karşı eğilme rijitliğinin fazla azalmasını önlemek, çelikte tasarruf ve kesitin basınç bölgesindeki betonun öncelikli ezilmesini önlemek için kolon boyuna donatısında üst sınır vardır.

- Kolonun donatısız eleman gibi kırılmasını önlemek ve daha sünek davranmasını sağlamak ve etriyelerin yerleştirilmesini kolaylaştırmak için minimum donatı oranı vardır

2.1.6 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisi altındaki kalın kolonların hesabı (taşıma gücünün belirlenmesi)

Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kalın bir kolonun taşıma gücü hesabı iki denge denklemi ve donatı sırası kadar uygunluk denklemi ile yapılabilir. Genel durum için denge denklemleri, dikdörtgen enkesite sahip kolonu da kapsayacak şekilde, aşağıdaki gibidir:

$$N_r = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_{cc} + \sum_{i=1}^n A_{si} \cdot \sigma_{si} \quad (2.8)$$

$$M_r = N_r \cdot e \rightarrow M_r = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_{cc} (x_p - \bar{x}) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} x_i \quad (2.9)$$

Burada A_{cc} basınç bloğu alanını, i donatı sırası numarasını, σ_{si} donatıdaki gerilmeyi (çekme ya da basınç), n kesitteki toplam donatı sırasını, x_i donatı ağırlık merkezinden kesit ağırlık merkezine olan mesafeyi, \bar{x} kuvvet uygulanan taraftaki kolon yüzünden basınç bloğu bileşkesinin uzaklığını ve x_p ağırlık merkezinin uzaklığını göstermektedir.

Kesitteki her bir donatı sırası için uygunluk bağıntısı yazılıp bu sıradaki donatılardaki gerilmeler belirlenebilir. Örneğin birinci sıradaki donatılar için bu bağıntılar aşağıdaki gibi yazılabilir: Diğer donatı sıraları için de benzer şekilde bağıntılar çıkarılabilir.

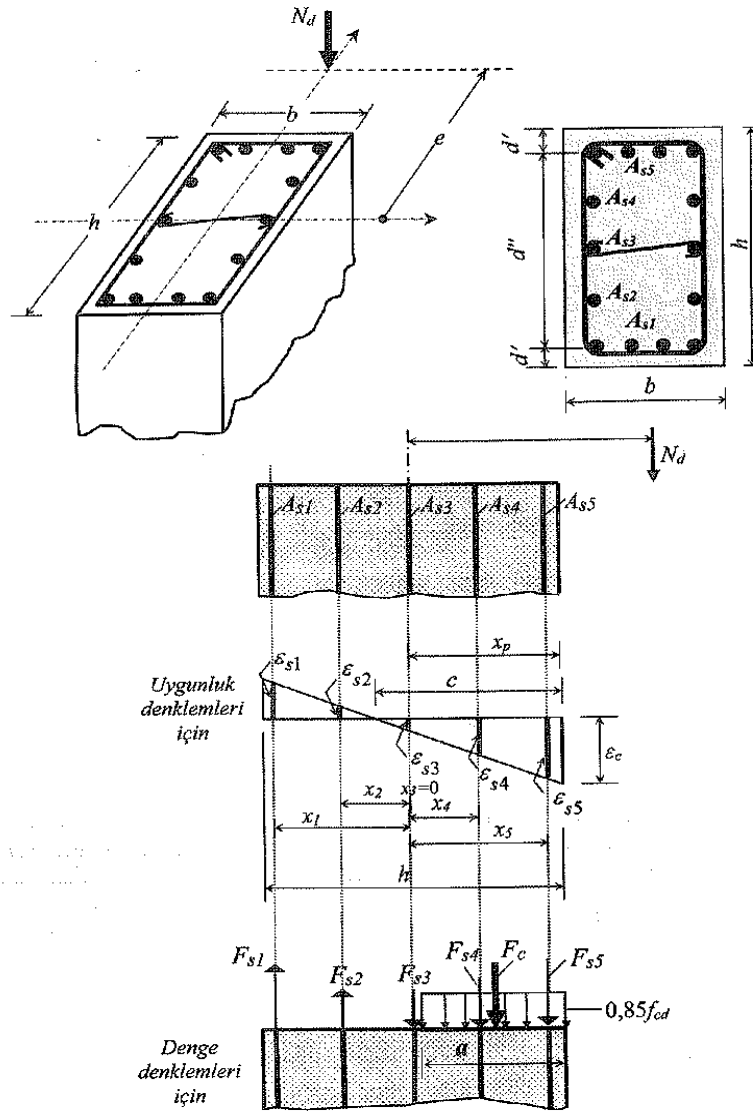
$$\varepsilon_{s1} = 0,0035 \frac{x_1 - (c - x_p)}{c} \quad (2.10)$$

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \rightarrow \sigma_{s1} \leq f_{yd} \quad (2.11)$$

Kalın kolonların hesabında ilk olarak kırılma çeşidinin belirlenmesi gerekir. Bunun için, daha önce açıklanmış olan dengeli kırılmaya ilişkin bağıntılardan faydalanılmaktadır. Eğer dışmerkezlik (e) dengeli dışmerkezlikten (e_b) büyükse çekme kırılması, küçükse

basınç kırılması durumu oluşmaktadır. Bu durum aynı zamanda tasarım aksel kuvveti (N_d), dengeli durumdaki aksel kuvvetten (N_d) küçükse çekme kırılması, büyükse basınç kırılması durumunun oluşması şeklinde de açıklanabilir.

Basınç kırılması durumunda tanım gereği donatılardaki gerilmeler, donatı çekme dayanımından küçük ya da eşittir. Çekme kırılmasının oluşması durumunda ise, basınç bölgesindeki donatının akıp akmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Ancak genellikle basınç donatısı akmaktadır. Aksi durumla nadiren karşılaşılmaktadır.

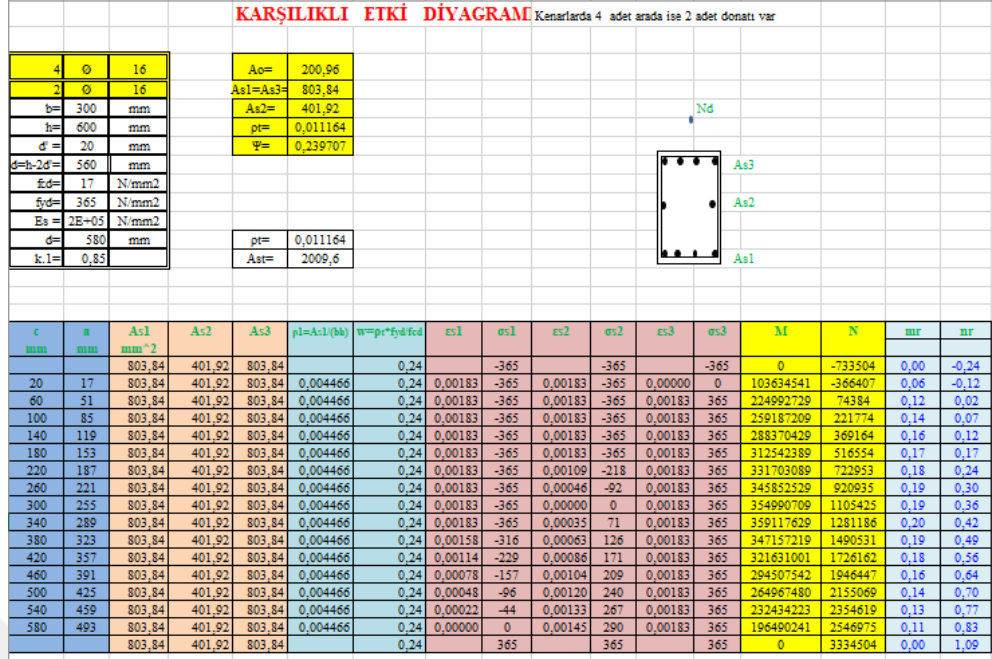


Şekil 2.3. Ara donatılı dikdörtgen kesite sahip kolonlar için denge ve uygunluk denklemlerinin çıkarılması

2.1.7 Bir doğrultuda bileşik eğilme etkisi altındaki kolonların boyutlandırılması

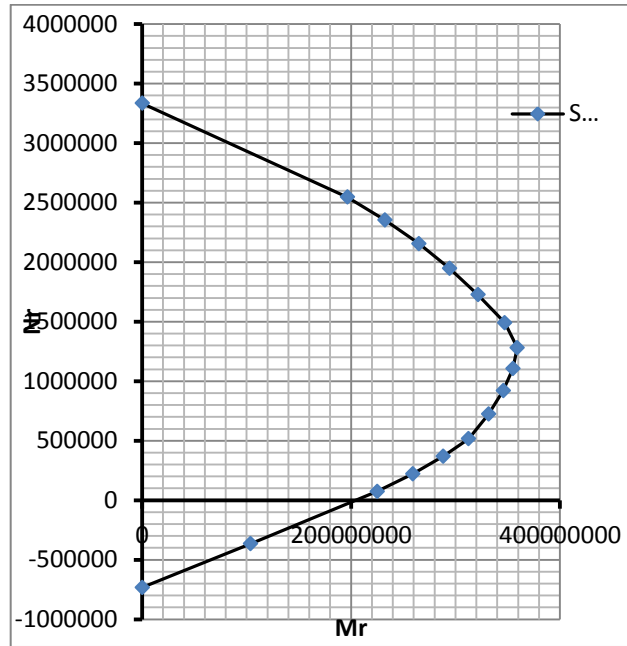
Kolonların boyutlandırılması; yapısal çözümlenmeden elde edilen kesit etkileri ve yük birleşimleri dikkate alınarak belirlenen tasarım aksel kuvveti (N_d) ve tasarım momentine (M_d) göre yapılmaktadır. Döşeme ve kirişlerde donatının belirlenmesinde yük birleşimlerine göre belirlenen en büyük moment, tasarım momenti (M_d) olarak dikkate alınmaktadır. Kolonlarda ise durum böyle değildir. Çünkü yük birleşimleri ve elverişsiz yüklemeler dikkate alındığında çok sayıda N_d ve M_d çifti bulunmaktadır. Bu durumda doğrudan en büyük momenti ya da en büyük aksel kuvveti tasarımda kullanmak doğru değildir.

Kolonların donatı hesabında karşılıklı etki diyagramı denilen abaklar kullanılmaktadır. Bu abaklar farklı donatı yerleşim düzenleri, beton sınıfları, donatı sınıfları, pas payının kesit yüksekliğine oranı ve boyuna donatı oranları için elde edilirler. Kolonun betonarme hesabında istenilen özellikler için hazırlanan abaklar seçilerek donatı hesabı yapılabilir. Abak çiziminde, seçilen bilgiler kullanılarak, sıfır ile kolonun eğilme doğrultusunda kesit boyutu ($0 \leq c \leq h$) arasında olacak biçimde tarafsız eksen için değer kabul edilerek, eksen doğrultusunda kuvvetlerin denge denklemi ve kesit ortasına göre moment denge denklemleri yazılarak eğri üzerinde bir nokta (N, M) bulunur. Farklı tarafsız eksen değerleri için elde edilen bu noktalar birleştirilerek seçilen donatı alanı için abak üzerinde bir eğri elde edilir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Karşılıklı etki diyagramı hesaplamaları gösterimi

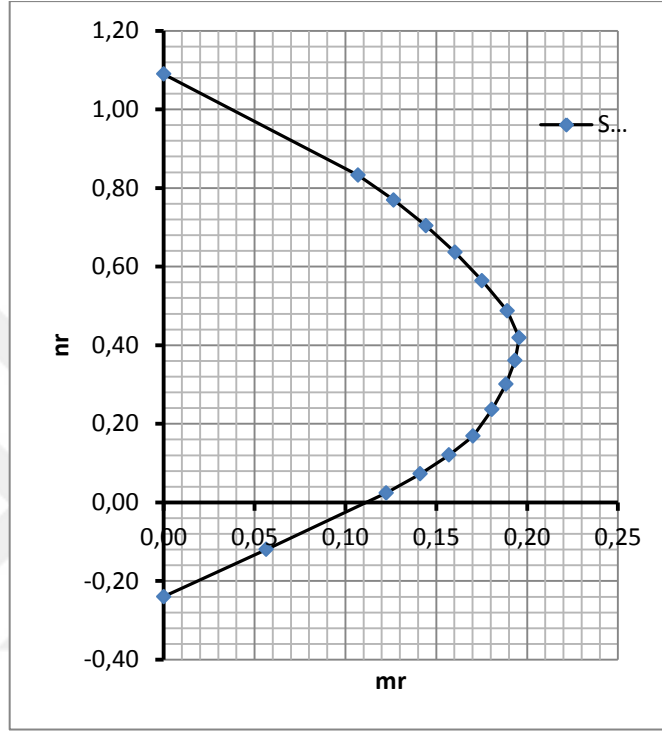
Şekil 2.5’de, Şekil 2.4’de verilen değerler, donatı alanı ve donatı düzeni için elde edilen karşılıklı etki diyagramı üzerinde bulunan bir eğrinin gösterimi verilmiştir. Bu eğrinin dikey eksenini aksenal kuvvet N’i ve yatay eksenini ise eğilme momenti M’i göstermektedir.



Şekil 2.5. Seçilen donatı miktarı için elde edilen eğrinin karşılıklı etki diyagramı üzerinde gösterimi

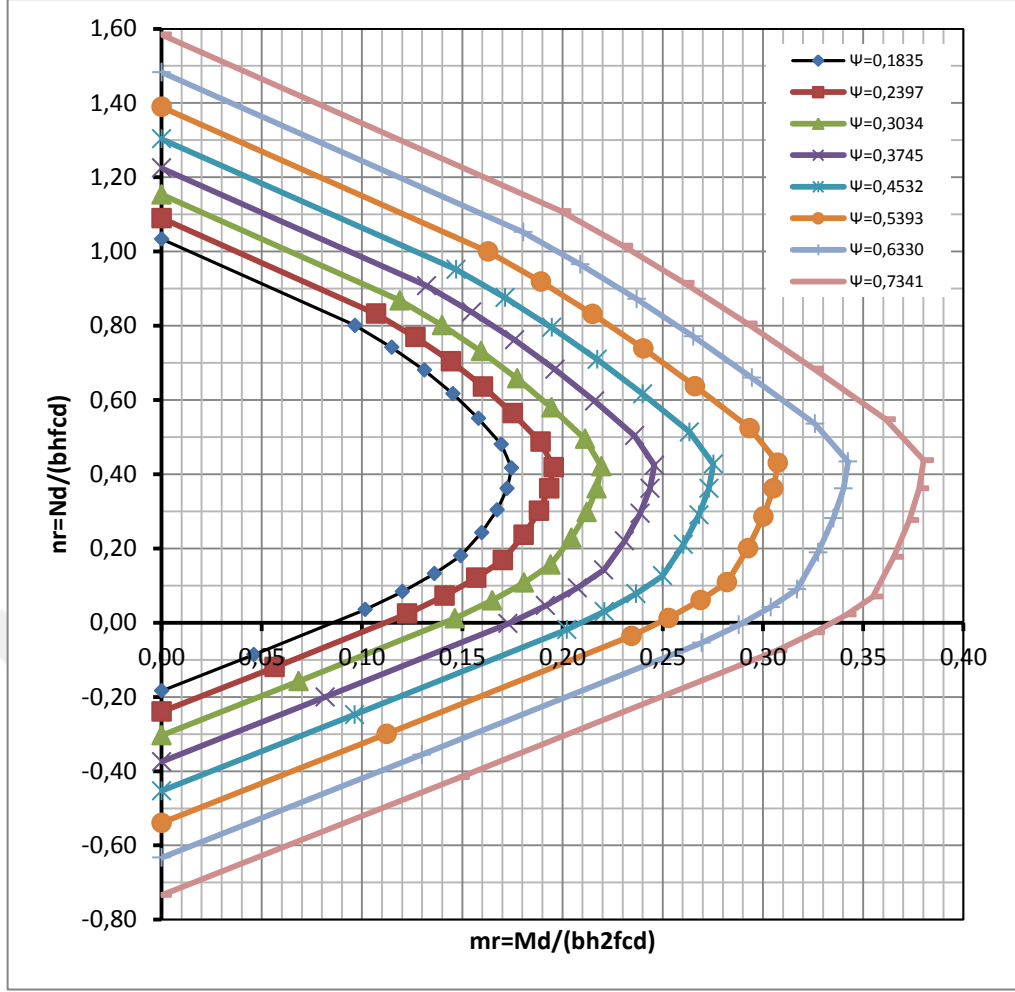
Eğrinin beton, donatı ve kesit boyutlarından bağımsız hale getirmek için aksenal kuvvet ve eğilme momenti Denklem 2.12. ile boyutsuz hale getirilir (Şekil 2.6).

$$n = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_{cd}}, \quad m = \frac{M}{bh^2 f_{cd}} \quad (2.12)$$



Şekil 2.6. Seçilen donatı miktarı için elde edilen eğrinin boyutsuz olarak karşılıklı etki diyagramı üzerinde gösterimi

Yukarıdaki işlemler donatı alanları değiştirilerek farklı donatı alanları için tekrarlanır ve eğriler üst üste çizilerek abak oluşturulur (Şekil 2.7).

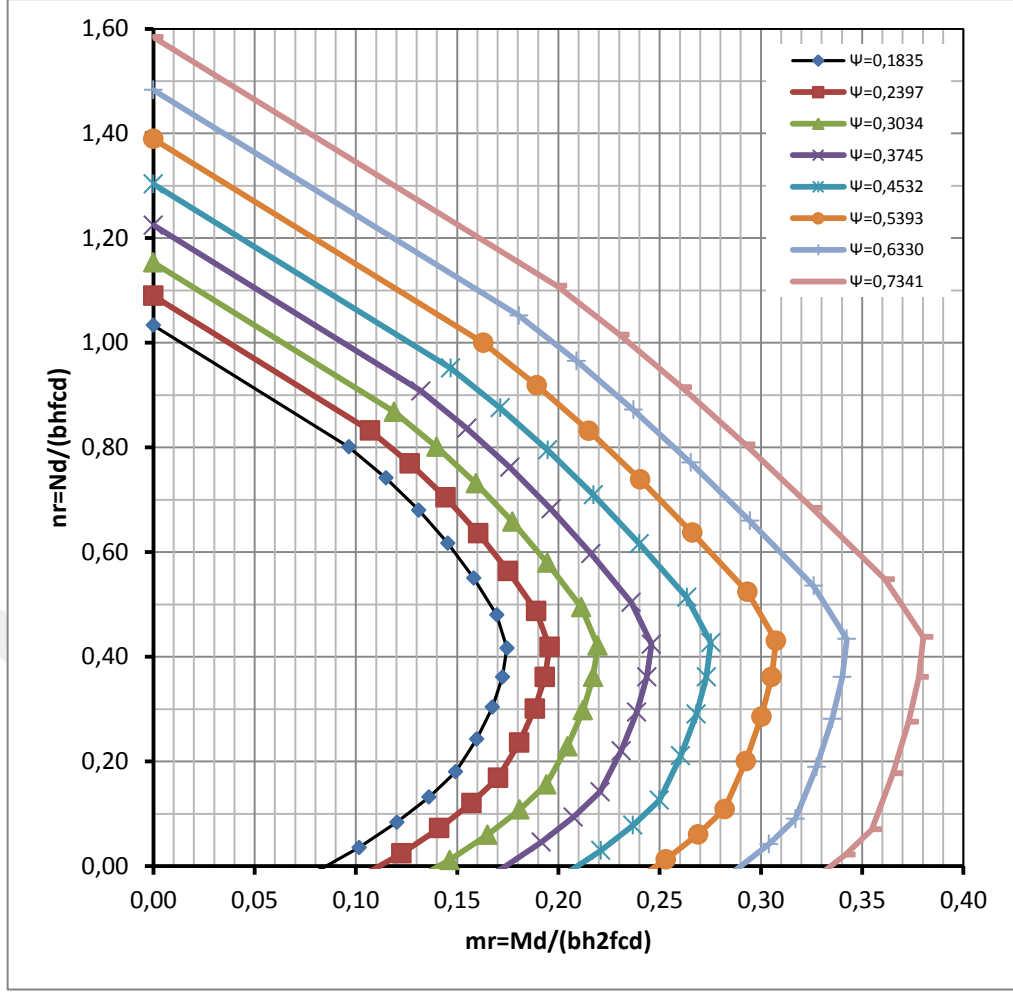


Şekil 2.7. Seçilen donatı düzeni için elde edilen karşılıklı etki diyagramı

Bu karşılıklı etki diyagramı üzerindeki eğriler boyutsuz donatı alanını gösteren mekanik donatı değerleridir.

$$\psi = \rho_t \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (2.13)$$

Betonarme kolonlar genellikle aksel basınca çalışacağından abak üzerinde eğrilerin üst kısmında kalan kısmı kullanılır. Bu eğri üzerinde ayrıca aksel kuvvet için üst sınır değeri geçmemesi, minimum dış merkezlik, minimum ve maksimum donatı alan içinde sınır değerler eğri üzerinde gösterilebilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Seçilen donatı düzeni için elde edilen karşılıklı etki diyagramı

2.2 Isı Transferi

2.2.1 Giriş

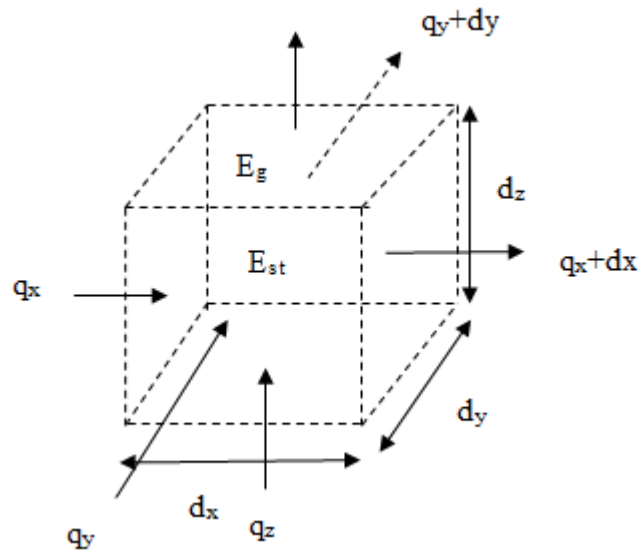
Isı geçişi, sıcaklık farkından kaynaklanan enerji aktarımıdır. Bir ortam içinde veya ortamlar arasında bir sıcaklık farkı mevcut olan her durumda, ısı geçişi mutlaka oluşmaktadır. Katı veya akışkan bir durgun ortam içinde, bir sıcaklık farkı olması durumunda, ortam içinde meydana gelen ısı geçişi için, iletim terimi kullanılır. Buna karşın, bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında meydana gelen ısı geçişi, taşınım terimi ile anılır. Isı geçişinin üçüncü türü ise, ısı ışınım olarak adlandırılır. Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler, elektromagnetik dalgalar halinde enerji yayarlar. Dolayısıyla, farklı sıcaklıklardaki iki yüzey arasında, birbirlerini

görmeye engel olan bir ortam yoksa, ışınlımla ısı alışverişi meydana gelir (Çengel, 2015).

2.2.2 Enerjinin korunumu

Birçok ısı geçişi problemlerinde, termodinamiğin birinci yasası (enerjinin korunumu ilkesi) kullanılmaktadır. Diferansiyel kontrol hacmi üzerinden sistemin davranışını veren sistemin her bir noktasındaki şartlar için kullanılacak bir diferansiyel denklem oluşturulur.

Isı iletim probleminin çözümündeki asıl amaç, verilen sınır koşulları için bir ortamda sıcaklık dağılımını tespit etmektir. Bu aşamada sıcaklık dağılımının nasıl belirlenebileceği ele alınmakta, enerji korunumu ilkesinin uygulandığı yöntem izlenmektedir. Bunun için, bir diferansiyel kontrol hacmi tanımlandıktan sonra, ilgili ısı geçiş türleri belirlenerek uygun an denklemleri oluşturulmaktadır. Bu sayede sınır koşulları için, ortamdaki sıcaklık dağılımını sağlayan bir diferansiyel denklem oluşturulur. İçinde kütle hareket olmayan ve $T(x, y, z)$ sıcaklık dağılımının kartezyen eksen takımında gösterildiği homojen bir ortam ele alındığında enerji korunumu ilkesi sonsuz küçük bir kontrol hacminde uygulanır ise, bunun üzerinden ısı yayılım denklemi elde edilir.



Şekil 2.9. Kartezyen eksen takımında sonsuz küçük kontrol hacmi

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.14)$$

Denklem 2.16 ısı yayılım denkleminin kartezyen eksen takımındaki genel biçimidir. Genellikle ısı denklemi olarak bilinen bu denklem ısı iletimi problemin çözümünün temelidir. Bu denklemin çözümünden $T(x,y,z)$ sıcaklık dağılımı zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Burada k ısı iletim katsayısını, \dot{q} ortam birim hacimdeki birim zamanda üretilen ısı enerjisi, c_p özısıyı, ρ yoğunluğu temsil etmektedir.

2.2.3 Sürekli rejimde iki boyutlu ısı iletimi

Bu tür problemlerde bir boyutlu çözüm kullanılırsa ısı iletimi çok fazla basitleştirilmiş olur ve çok boyut etkileri göz önüne alınmalıdır. Önceden de bahsedildiği üzere herhangi bir ısı iletimi çözümlemesinde iki önemli maksat vardır. Birincisi ortam içindeki sıcaklık dağılımının bulunmasıdır. Yapılması gereken incelenen problem için bu $T(x,y)$ nin bulunmasıdır. Bu adım genellikle ısı denkleminin uygun biçimi çözülerek gerçekleştirilir. Isı üretiminin olmadığı, iki boyutlu, sürekli rejim ve sabit ısı iletim katsayısı için bu bağıntı Denklem 2.14'den

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.15)$$

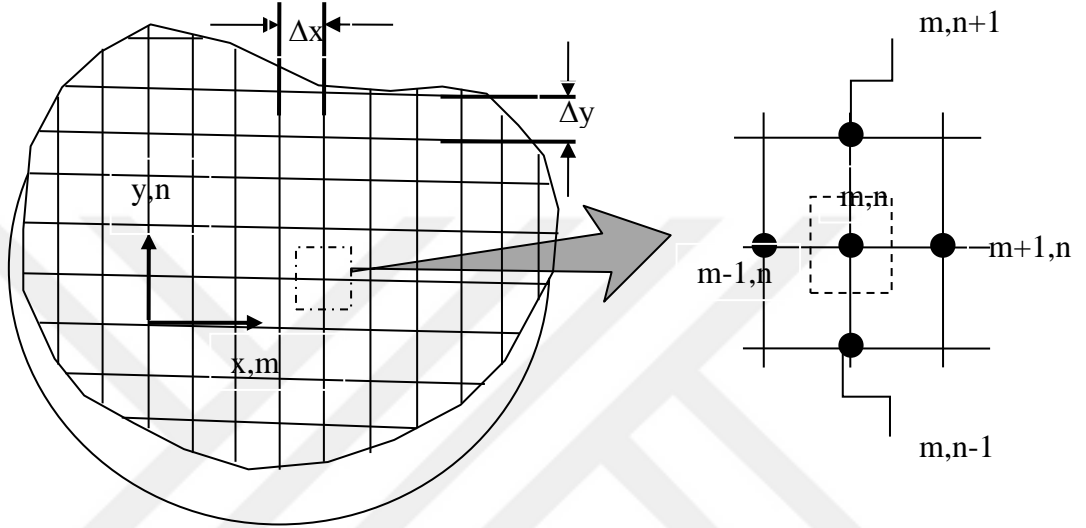
şeklinde elde edilir.

Eğer Denklem 2.15 $T(x,y)$ için çözülebilirse, ısı akısı bileşenleri q_x ve q_y nin bulunması olan ikinci önemli maksat, diğer eşitlikleri uygulanarak kolayca gerçekleştirilebilir. Denklem 2.15'in çözüm yöntemleri, analitik, grafik ve sayısal (sonlu fark, sonlu eleman veya sınır eleman) yaklaşımlarıdır. Sonlu farklar yöntemi, uygulanmasındaki kolaylık nedeniyle sayısal yöntemlere giriş olarak kullanılmaya çok müsaittir.

2.2.4 Ağ yapısı

Çözüm bölgesinin her noktasında sıcaklığın belirlenmesine olanak sağlayan analitik çözüme karşı, sayısal çözümle de sıcaklık sadece ayrık noktalarda bulunabilir. Bunun

için öncelikle bu noktalar belirlenir. Bu işlem çözüm alanını alt bölgelere bölerek ve her birinin merkezine bir referans noktası verilerek yapılır. Referans noktası genelde düğüm noktası adıyla kullanılır ve bu noktaların tümüne de ağ veya kafes denir. Düğüm noktaları, iki boyutlu çözüm için numaralandırılmış olarak Şekil 2.10'daki gibi bir şekil alır. Şekilde düğüm noktalarının x ve y koordinatları, sırasıyla m ve n indisleri ile gösterilir.



Şekil 2.10. İki boyutlu iletimde ağ gösterimi

2.2.5 Isı denkleminin sonlu farklarda gösterimi

Sayısal olarak sıcaklık dağılımının bulunması, sıcaklıkları belli olmayan her düğüm noktasında uygun denge eşitliğinin yazılmasını gerektirir. Bulunan denklem takımı, her noktadaki sıcaklık için birbirlerine bağlı olarak çözülebilir. Isı üretimi olmaması ve ısı iletim katsayısının sabit olması durumunda, iki boyutlu problemin herhangi bir noktası için enerji dengesi, ısı Denklemi 2.15 veya 2.16 denklemi ile verilir.

$$T_{m,n+1} + T_{m,n-1} + T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 4T_{m,n} = 0 \quad (2.16)$$

Böylece, m, n noktası için gerçekte bir diferansiyel denklem olan ısı denklemini yaklaşık olan cebirsel eşitliğe indirgenir.

Bu çalışmada sonlu farklar yöntemi kullanılarak kesitteki iki boyutlu sürekli ortamdaki sıcaklık dağılımı bulunacaktır. Hesaplamalarda Excel programından faydalanılacaktır.

2.3 Beton Basınç Dayanımındaki Değişim

Eurocode2'de verilen beton basınç dayanımı azaltma faktörü k_c kullanılarak yüksek sıcaklıklarda azalan beton basınç dayanımı σ_{cT} , hesaplanabilir (Eurocode2, 1995):

$$\frac{\sigma_{cT}}{\sigma_{c20^\circ C}} = k_c$$

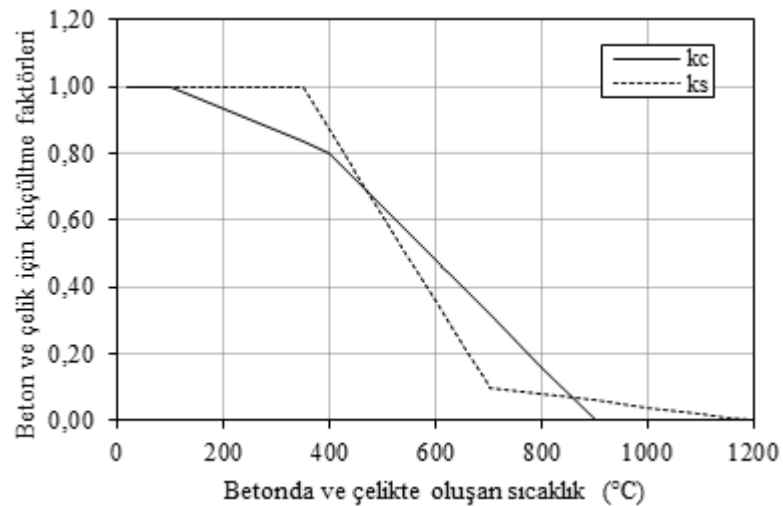
$$k_c = 1 \quad T \leq 100$$

$$k_c = (1,067 - 0,00067T) \quad 100 \leq T \leq 400 \quad (2.17)$$

$$k_c = (1,44 - 0,0016T) \quad 400 \leq T \leq 900$$

$$k_c = 0 \quad 900 \leq T$$

Burada $\sigma_{c20^\circ C}$ normal ortam sıcaklığındaki beton basınç dayanımıdır. Şekil 2.11'den de görüleceği üzere beton basınç dayanımında, 100°C den sonra azalma görüleye başlar ve 400°C de normal değerinin % 80 ine kadardır. Sıcaklığın artmasıyla azalma devam eder ve dayanım 900°C de sıfır değerine gelir.



Şekil 2.11. Beton ve çelik için malzeme dayanımı küçültme faktörleri

2.4 Donatı Akma Dayanımındaki Değişim

Eurocode2’de verilen bağıntılardan sıcaklık nedeniyle azalma gösteren donatı akma dayanımı ise aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\frac{f_{suT}}{f_{su20^{\circ}C}} = k_s$$
$$k_s = 1 \quad 0 \leq T \leq 350$$
$$k_s = 1,899 - 0,00257T \quad 350 \leq T \leq 700 \quad (2.18)$$
$$k_s = 0,24 - 0,0002T \quad 700 \leq T \leq 1200$$
$$k_s = 0 \quad 1200 \leq T$$

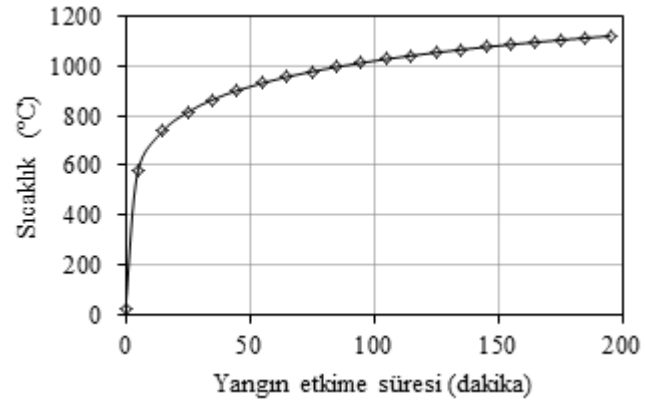
Burada $f_{su20^{\circ}C}$ ve f_{suT} sırasıyla 20°C deki ve artan sıcaklık altındaki donatının akma dayanımıdır. k_s ise akma dayanımı küçültme faktörüdür. Akma dayanımı 350°C ye kadar sabit kalmakta, 700°C de ilk dayanımının % 10 seviyesine düşmekte ve 1200°C de ise tamamen kaybolmaktadır (Şekil 2.11).

2.5 ISO834 Yangın Etkime-Sıcaklık Süresi Bağıntısı

Bu çalışmada, literatürde bulunan yangın etkime süresi- sıcaklık eğrilerinden (ISO 834, 1975; BS 476-20,1987; ASTM 119-98, 1998; NFPA 251, 1999; Eurocode1, 2002) ISO834’de verilen bu bağıntı ile zamana bağlı sıcaklık hesaplanabilmektedir (ISO 834, 1975):

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_a \quad (^{\circ}C) \quad (2.19)$$

Burada, T_a ise °C cinsinden sıcaklık, t ise dakika cinsinden etkime süresidir.



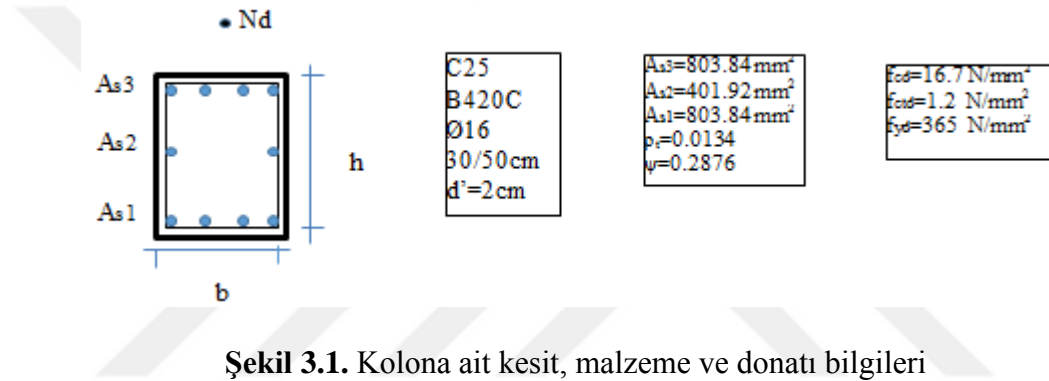
Şekil 2.12. ISO834 sıcaklık yangın etkime süresi

BÖLÜM III

SAYISAL UYGULAMA

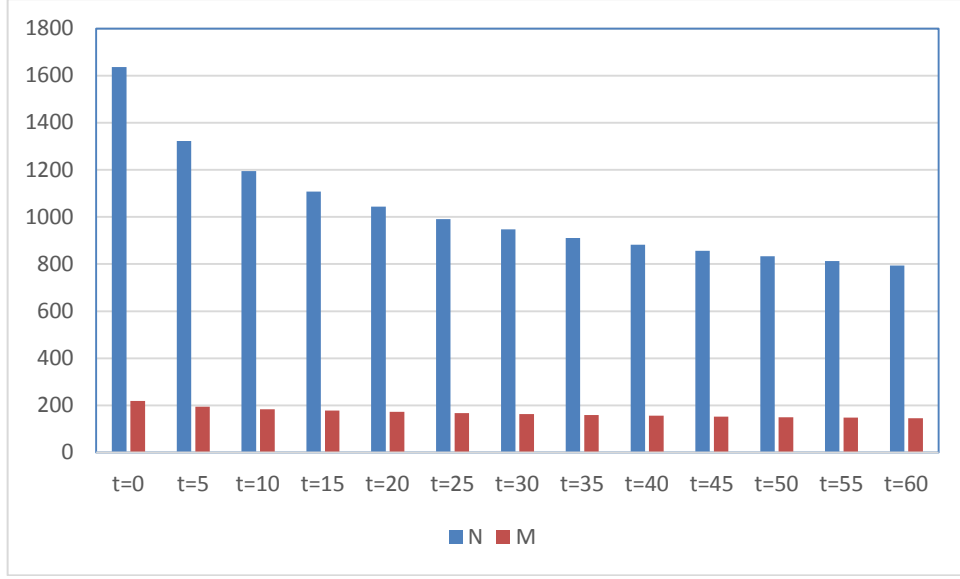
3.1 Sabit Donatı Alanı ve Sabit Tarafsız Eksen için N-M Değerlerinin Yangın Etkime Süresine Göre Değişimi

Şekil 3.1’de, kesit, malzeme ve donatı özellikleri verilen kolonun, N-M taşıma kapasitelerinin yangın etkime süresine göre değişimleri tarafsız eksenin $c=380\text{mm}$ seçilmesi durumu için incelenmiştir.



Şekil 3.1. Kolona ait kesit, malzeme ve donatı bilgileri

Yangın kolonun Şekil 3.1’de gösterildiği üzere sol ve sağ kenarlarından etkilediği kabul edilmiş, diğer kenarların duvar içinde kalıp yangından etkilenmediği kabul edilmiştir. Yangın etkime süresinin artması sıcaklık artışına neden olmakta ve buna bağlı olarak kesit içinde sıcaklık artışı gerçekleşmektedir. Sıcaklığın zamana göre değişimi ISO834 ile hesaplanmış ve kesitin yangına maruz kalan yüzeylerine etkilmiştir. Kesit içinde sıcaklık dağılımı ise sonlu farklar yöntemi ile hesaplanmıştır. Kesitte oluşan aksel kuvvetlerin toplamından kesit aksel kuvvet taşıma kapasitesi ve kesit ortasına göre bu kuvvetlerin momentlerinin toplamı ile de kesitin taşıma gücü momenti hesaplanmıştır. Bu işlemler $t=0, 5, 10, \dots, 50, 55, 60$ dakika için tekrarlanmıştır.



Şekil 3.2. N-M'in yangın etkime süresine göre değişimi

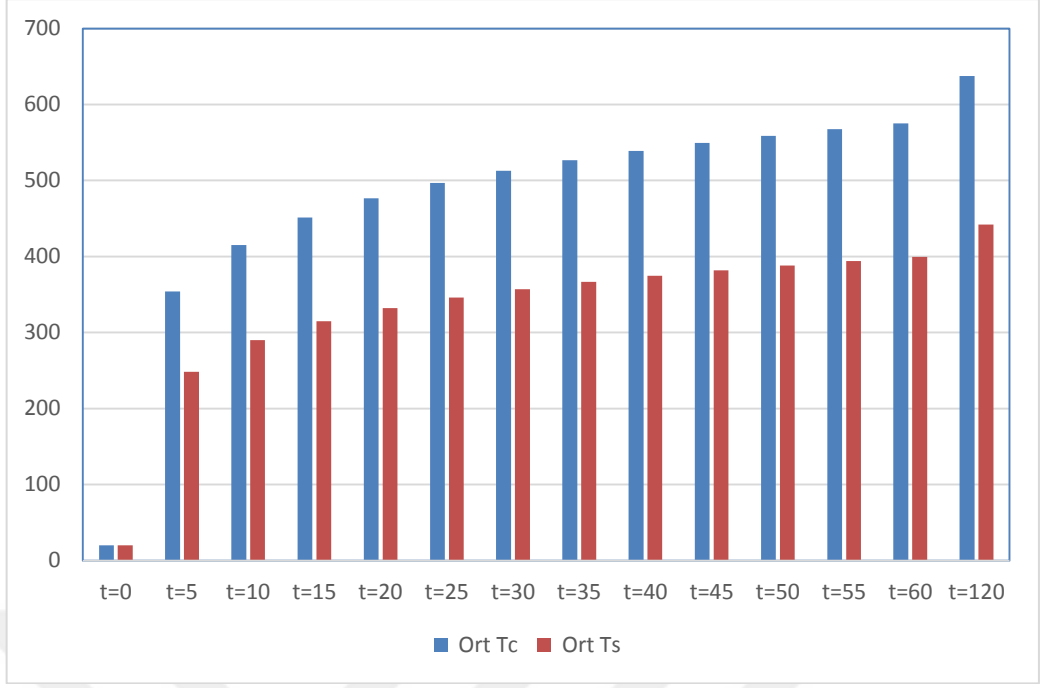
Şekil 3.2'den N-M değerlerinin yangın etkime süresi arttıkça azaldığı görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı beton ve donatıdaki dayanım kayıpları buna neden olmaktadır. Beton ve donatıdaki dayanım kayıpları Eurocode2'de verilen bağıntılar ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. N ve M yangın etkime süresine göre değişimleri

	t=0	t=5	t=10	t=15	t=20	t=25	t=30	t=35	t=40	t=45	t=50	t=55	t=60
N	1636,18	1322,56	1194,74	1107,99	1043,96	990,75	946,91	910,94	881,90	856,33	833,56	812,70	793,87
M	219,44	193,96	184,20	177,44	172,43	167,79	163,16	159,22	155,79	152,77	150,08	147,62	145,40
N(t)/N(t=0)	1,00	0,81	0,73	0,68	0,64	0,61	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,50	0,49
M(t)/M(t=0)	1,00	0,88	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,66

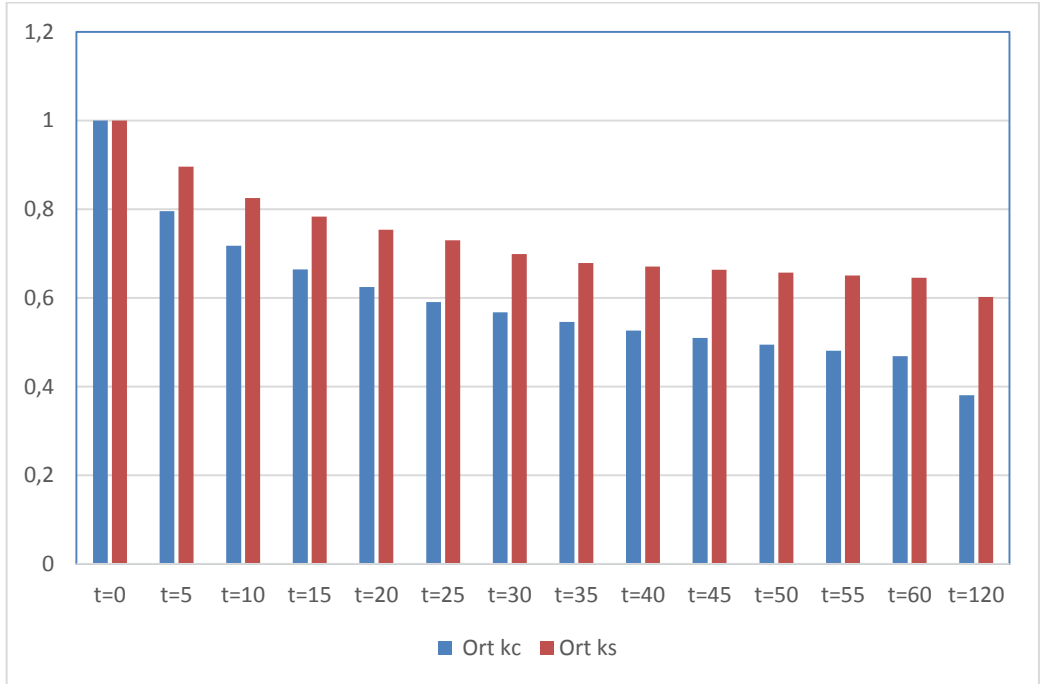
Çizelge 3.1'de ise N ve M yangın etkime süresine göre değişimleri ve bunların yangın olmaması durumuna ait değerlere oranları verilmiştir. Eksenel kuvvet dayanımı 60dakika için %49, momentte ise %66 seviyelerine düşmüştür.

Şekil 3.3'de beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama sıcaklıklar verilmiştir. Yangın etkime süresinin artması ile sıcaklıklarda büyük artışlar olduğu ve donatılardaki sıcaklıkların beton ortalamasına göre daha düşük olduğu görülmektedir.



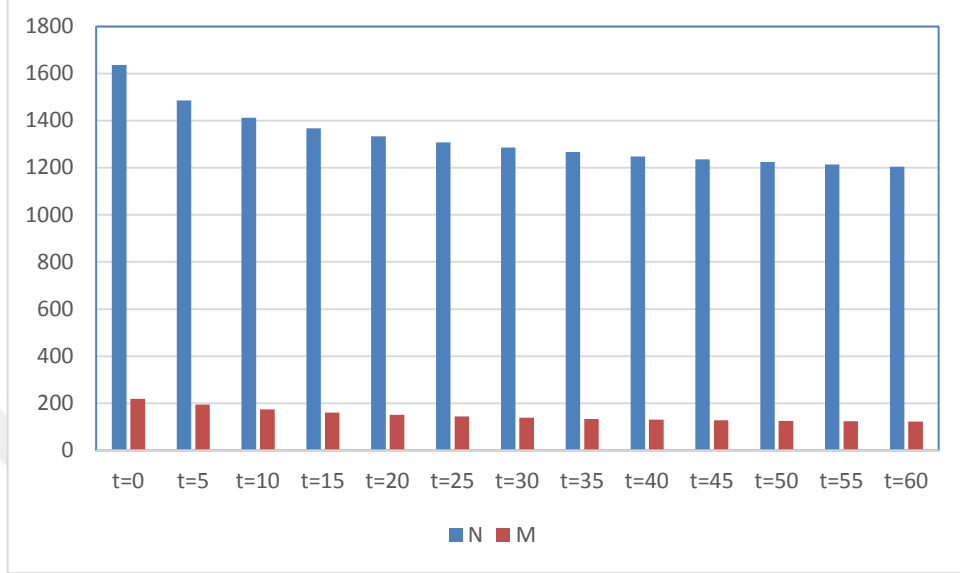
Şekil 3.3. Beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama sıcaklıklar

Şekil 3.4’de beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama malzeme dayanım katsayıları verilmiştir. Yangın etkime süresinin artması ile hem betonun hem de donatının dayanım katsayılarının değerlerinde belirgin bir artış gözlenmektedir.



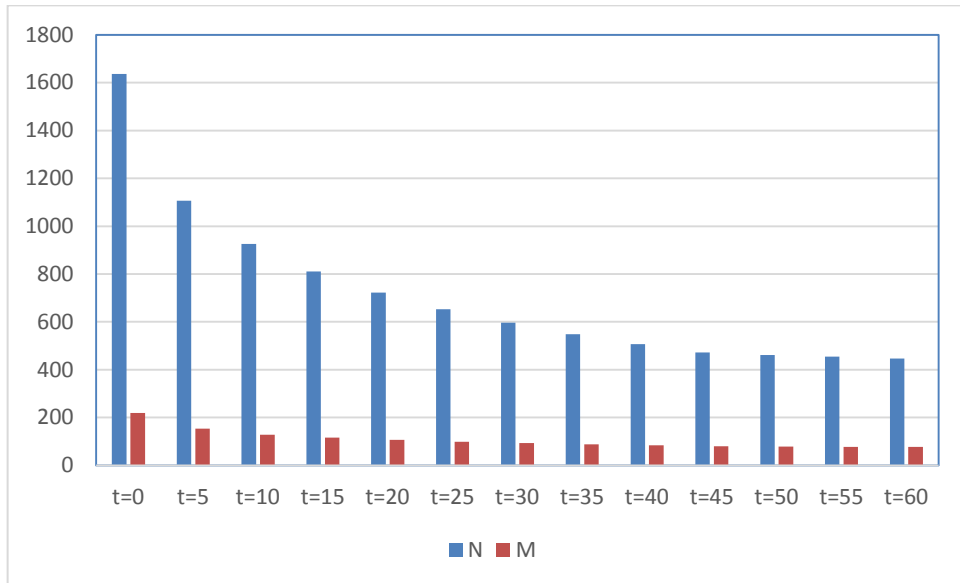
Şekil 3.4. Beton kolon kesitinde ve donatılarında oluşan ortalama malzeme dayanım katsayıları

Yangının kesitin alt ve üst yüzeylerden etkimesi durumuna ait elde edilen değerler Şekil 3.5’de yangının sol, sağ ve alt yüzeylerden etkimesi için ise Şekil 3.4’de elde edilen değerler verilmiştir.



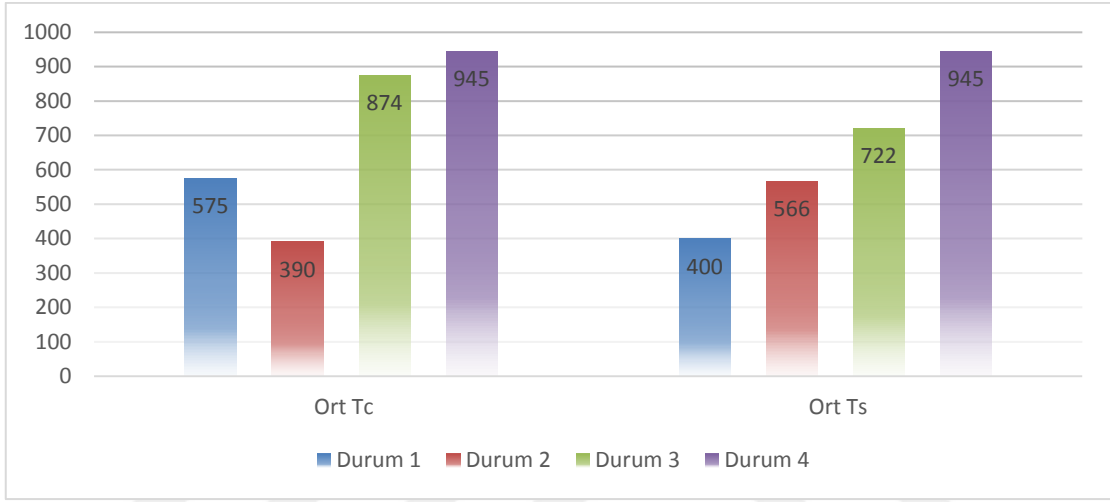
Şekil 3.5. Yangın alt ve üst yüzeyden etkimesi için N-M’in değişimi

Şekil 3.6’den yangının etkiye yüzeylerinin artmasının neden olacağı olumsuzluk belirgin olarak görülmektedir. 60 dakikada başlangıç dayanımının %25 seviyelerine düşülmektedir.

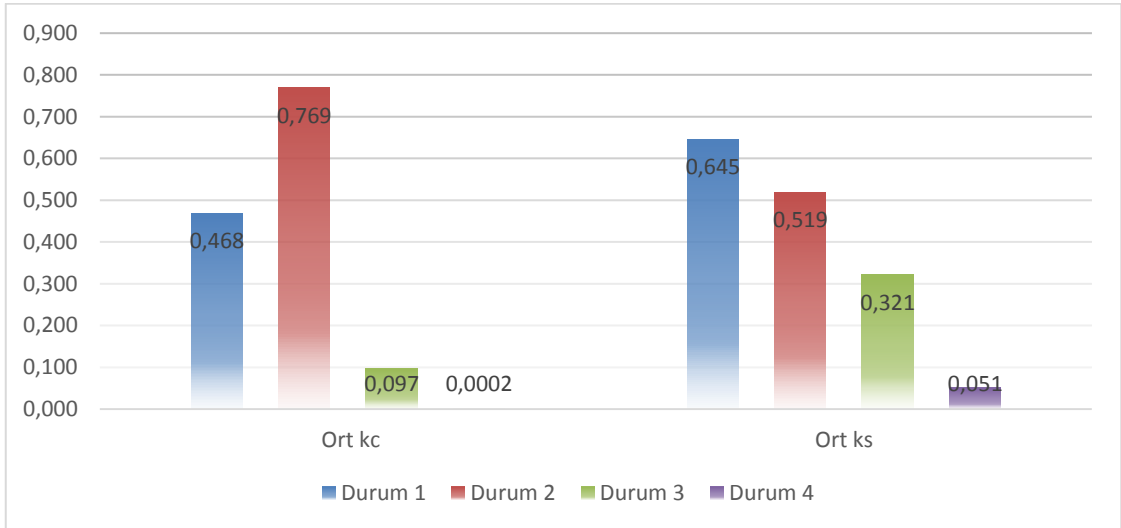


Şekil 3.6. Yangın alt, sol ve sağ yüzeyden etkimesi için N-M’in değişimi

Şekil 3.7 ve 3.8’de yangının farklı etkiye yüzeylerinin beton ve donatının ortalama sıcaklık ve ortalama malzeme dayanımı azaltma faktörlerindeki etkisi görülmektedir. Yangının kesite 60 dakika süre ile etkidiği kabul edilmiştir. Durum 1’de yangın kesitin sol ve sağ yüzünden, Durum 2’de kesitin üst ve alt yüzünden, Durum 3 ‘te kesitin üç yüzünden U şeklinde, Durum 4’te ise kesitin dört yüzünden etkidiği kabul edilmiştir. Şekillerde yangın etki eden yüzeylerin artmasının neden olacağı olumsuzluk belirgin olarak görülmektedir.



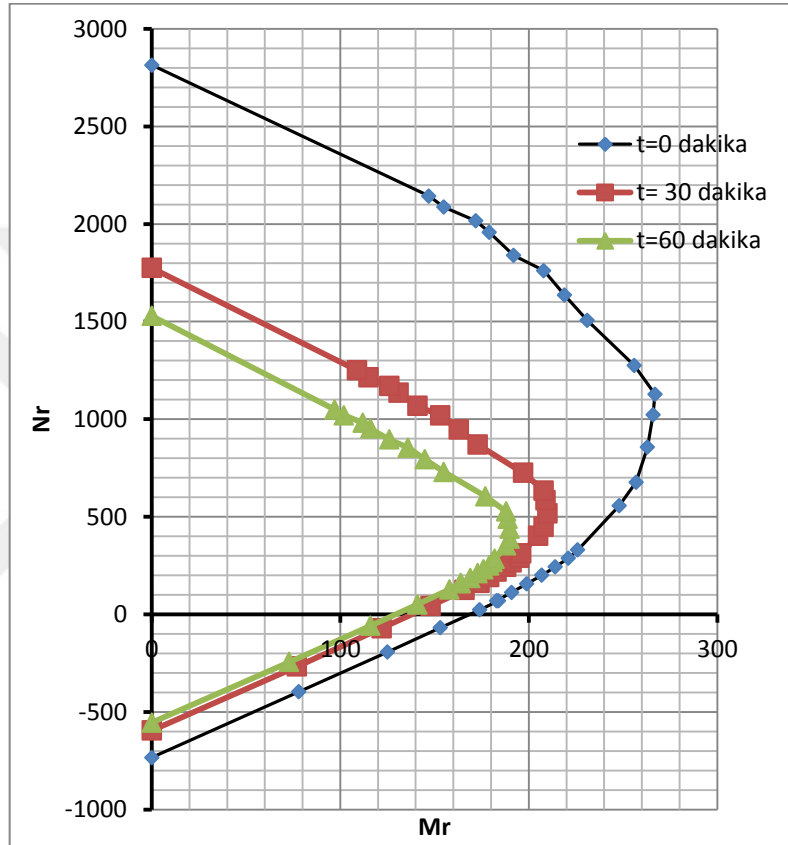
Şekil 3.7. Yangının kesitin farklı yüzlerinden etkimesi durumları için beton ve donatıdaki ortalama sıcaklık (Tc-Ts) değişimi



Şekil 3.8. Yangının kesitin farklı yüzlerinden etkimesi durumları için beton ve donatıdaki malzeme dayanımı azaltma faktörü (kc-ks) değişimi

3.2 Yangın Etkime Süreleri ve Sabit Donatı Oranı için N-M Eğrisinin Değişimi

Şekil 3.1’de kesit ve malzeme özellikleri verilen kolonun farklı yangın etkime süreleri ve $\rho_t=0.0134$ donatı oranı için N-M eğrisindeki değişim incelenmiştir. Sıfır ile h arasında seçilen farklı tarafsız eksen değerleri için sıcaklık etkime sürelerini de dikkate alarak 3 farklı eğri elde edilmiş ve eğrilerdeki değişim şekilde verilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Farklı yangın etkime süreleri ve $\rho_t=0.0134$ donatı oranı için N-M eğrisinin değişimi

Kolonun farklı yangın etkime süreleri ve $\rho_t=0.0134$ donatı oranı için N-M değerlerindeki değişim Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge incelenirse bütün tarafsız eksen seçimlerine karşılık gelen N-M değerlerinde yangın etkime süresi artışı ile belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2. Yangın süresine bağlı olarak farklı tarafsız eksenler için N-M değerlerinin değişimi

c	t=0 dakika		t=30 dakika		t=60 dakika	
	M	N	M	N	M	N
Çekme	0	-734	0	-595	0	-555
20	78	-397	77	-267	73	-244
30	125	-193	122	-71	116	-59
40	153	-69	148	44	141	50
50	174	23	166	125	158	127
60	184	70	174	161	164	160
70	183	70	173	161	164	160
80	191	113	179	191	169	186
90	199	157	183	218	173	210
100	207	200	188	244	176	231
110	214	243	191	267	179	250
120	221	287	195	290	181	268
140	226	330	196	312	182	285
180	248	556	205	403	188	353
200	257	677	208	449	190	388
240	263	857	210	518	190	439
280	266	1023	209	585	189	489
300	267	1128	208	634	188	527
320	256	1275	197	725	177	605
360	231	1507	173	870	155	729
380	219	1636	163	947	145	794
400	208	1761	153	1019	136	854
420	192	1839	141	1068	126	896
440	179	1958	131	1136	116	952
450	172	2016	126	1170	112	981
470	155	2087	115	1215	102	1020
480	147	2143	109	1250	97	1049
Basınç	0	2814	0	1775	0	1529

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yangına maruz kalan betonarme kolonların dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Seçilen kesit, malzeme, donatı düzeni ve yangın etkime yüzeyleri için excelde yazılan program yardımı ile karşılıklı etki diyagramının koordinatları olan $N-M$ değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalarda iki boyutlu ısı transferi bağıntısı, ISO834 standardı ve Eurocode2 bağıntıları kullanılmıştır.

Yangın kesite farklı yüzeylerden etki ettirilmiş buna bağlı olarak kesitin taşıma gücü değerleri kıyaslanmıştır. Yangın kesite farklı zaman dilimlerinde etki ettirilmiş buna bağlı olarak kesitin taşıma gücü değerleri kıyaslanmıştır. Yangın kesite farklı tarafsız eksen değerleri kabul edilerek etki ettirilmiş ve buna bağlı olarak kesitin taşıma gücü değerleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Moment-Eksenel Kuvvet değerleri, beton ve donatıda oluşan ortalama sıcaklıklar (T_c-T_s) ve beton ve donatılarda oluşan malzeme dayanım katsayıları (k_c-k_s) değerleri için grafikler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucu yangının etkime süresinin artmasının kesit içinde sıcaklığı artırdığı ve buna bağlı olarak beton ve donatıların dayanımlarında azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Malzemelerin dayanımlarının azalmasının da $N-M$ değerlerini olumsuz etkilediği de elde edilen sonuçlardan görülmüştür. Yangın etkime yüzeylerinin artmasının bu kayıpları daha da artırdığı gözlenmiştir.

Yapı ve yapıyı kullanan insanların güvenliği için düşey taşıyıcı eleman olan kolonların yangından sonra taşıma kapasitelerinin azalmaması gerekmektedir. Bunun için kolonların yangına karşı yalıtılmasının ve bu konu ile ilgili bir çalışma yapılmasının olumlu olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdalla H., “Concrete cover requirements for FRP reinforced members in hot Climates”, *Composite Structures* 73(1), 61-69, 2005.

Akman M. S., “Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığının Belirlenmesi”, *Yapıda Yangından Korunma Sempozyumu*, İstanbul, 1992.

Alonso, C., Andrade, C., Castellote M. and Khoury G. A., “Microstructure-Solid Phases”, *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy, 2003.

Andrade, C., Alonso, C. and Khoury, G. A., “Relating Microstructure to Properties”, *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy, 2003.

ASTM 119-98, Standard Test Methods for Fire Testing of Building Construction and Materials: *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, 1998.

Aydın S. ve Baradan B., “Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Geliştirilmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulusal Beton Kongresi*, 451-460, İstanbul, 2003.

Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, Yayın No 298, İzmir, 2002.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, *Resmi Gazete*, Tarih 26.7.2002, sayı 24827, 2002.

Bratina, S., Cas, B., Saje, M. and Planinc, I., “Numerical modeling of behavior of reinforced concrete columns in fire and comparison with Eurocode 2”, *International Journal of Solids and Structures* 42(21-22), 5715- 5733, 2005.

BS 476-20: Method of Determination of Fire Resistance of Elements of Constructions: Fire Tests on Building Materials and Structures, *British Standard Institution*, 1987.

Chung, J. H. and Consolazio, G. R., “Numerical modeling of transport phenomena in reinforced concrete exposed to elevated temperatures”, *Cement and Concrete Research* 35, 597-608, 2005.

Çengel, T., Isı ve Kütle Transferi, *Palme Yayınları*, İstanbul, 2015.

Diederichs U. ve Schneider U., “Bond Strength at High Temperatures”, *Magazine of Concrete Research* 33, 75-84, 1981.

Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, 15. Baskı, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2018.

Dotreppe, J. C., Franssen, J. M. and Vanderzeypen, Y., Calculation Method for Design of Reinforced Concrete Columns under Fire Conditions, *ACI Structural Journal*, January-February , 9-18, 1999.

El-Hawary M. M., Ragab A. M., El-Azim Abd, A. and S. Elibiari, Effect of fire on shear behaviour of R.C. Beams, *Computers and Structures* 65, 281-287, 1997.

Erdem, H. (a), “Prediction of the moment capacity of reinforced concrete slabs in fire using artificial neural networks”, *Advances in Engineering Software* 41, 270-276, 2010.

Erdem, H. (b), “Yüksek sıcaklığa maruz t-kesitli betonarme kirişlerin eğilme taşıma gücü”, *İMO Teknik Dergi* 5023-5036, 2010.

Erdem, H. (c), “Effects of insulation materials on temperature-distribution inside reinforced concrete beam exposed to fire, 9th International Congress on Advances in Civil Engineering”, *KTÜ*, Trabzon, September 27-30, 2010.

Erdem, H., “Betonarme döşemelerin taşıma gücü üzerinde yüksek sıcaklık etkisi”, 30. yıl sempozyumu, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, Adana, 16-17 Ekim, 2008.

Erdem, H., “Nominal moment capacity of box reinforced concrete beams exposed to fire”, *Turkish J. Eng. Env. Sci., TUBİTAK* 33, 31-44, 2009.

Erdoğan T. Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, Ankara, 2003.

Eurocode 1, Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: External Fire Curve Section 3.2.2. *European Committee for Standardization Brussels*, 2002.

Eurocode 1, Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Hydrocarbon Curve Section 3.2.3. *European Committee for Standardization Brussels*, 2002.

Eurocode 1, Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Parametric Temperature-time Curve Appendix A. *European Committee for Standardization Brussels*, 2002.

Eurocode 1, Actions on Structures. ENV1991 Part 1-2: Parametric Temperature-time Curve Appendix A. *European Committee for Standardization Brussels*, 2002.

Eurocode 2, Design of Concrete Structures. ENV 1992 Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design. *European Committee for Standardization, Brussels*, 1995.

Freudenberger, J., Gaganov, A., Hickman, A. L. and Jones H., “Mechanical behaviour of high nitrogen stainless steel reinforced conductor for use in pulsed high field magnets at cryogenic temperature”, *Cryogenics* 43, 133-136, 2003.

Guise, S. E., Short, N. R. and Purkiss, J. A., “Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete”, *Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee*, Scotland/UK, 1996.

ISO-834, Fire Resistance Tests-elements of Building Construction Part 1-9: *International Standards Organisation*, Geneva, 1975.

Karanfil, H., “Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Kalan Betonarme Yapılarda Çelik Donatı Özeliğ Değişimine Pas Payı Kalınlığının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2007.

Khoury, G. A., “Spalling”, *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy, 2003a.

Khoury, G. A., “Fire & Assessment”, *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy, 2003b.

Khoury, G. A., “Effect of Fire on Concrete and Concrete Structures”, *Progress in Structural Engineering and Materials* 2, 429-447, 2000.

Mahsanlar, N., “Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2006.

Neville, A. M., “Properties of Concrete”, Fourth Edition, *Longman Scientific and Technical*, New York/USA, 2000.

NFPA 251, Standart Methods of Test of Fire Endurance of Building Construction and Materials: *National Fire Protection Association*, Quincy, 1999.

Poon, C. S., Shui Z. H. and Lam L., “Compressive Behavior of Fiber Reinforced High-Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures”, *Cement and Concrete Research*, 2004.

Riley, M. A., "Possible New Method for the Assessment of Fire Damaged Concrete", *Magazine of Concrete Research* 43, 87-92, 1991.

Saafi, M., "Effect of fire on FRP reinforced concrete members", *Composite Structures* 58, 11-20, 2005.

Schrefler B. A., Brunello P., Gawin D., Majorana C. E. and Pesavento F., "Concrete at High Temperature with Application to Tunnel Fire", *Computational Mechanics* 29, 43-51, 2002.

Schrefler B. A., Gawin D., Khoury G. A. and Majorana C. E., "Physical, Mathematical & Numerical Modelling", *International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete*, Udine/Italy, 2003.

Tan, K. H. and Yao Y., "Fire resistance of reinforced concrete columns subjected to 1, 2-, and 3- face heating", *Journal of Structural Engineering* 29, 2/24-2/1, ASCE, 2004.

URL1: http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/dersler/betonarme1/sunular/betonarme_1_7.pdf

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

ÖZ GEÇMİŞ

Erdem GÜVENÇ 1982 yılında Niğde’de doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Niğde’de tamamladıktan sonra 2007 yılında Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2008 yılında kendi firmasını kurarak çalışma hayatına atılmıştır.



