

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLARIN YANGIN
KOŞULLARINDA TASARIMI VE KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ali ZEYBEK**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Yapı Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin AYDOĞAN

OCAK 2008

**BETONARME KOLONLARIN YANGIN
KOŞULLARINDA TASARIMI VE KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ali ZEYBEK
(501041007)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin AYDOĞAN

Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Konuralp GİRGIN

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü)

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında benimle yakından ilgilenen, çalışmalarımı inceleyip benden değerli bilgi ve tecrübelerini ve her türlü yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Metin AYDOĞAN'a, verdikleri eğitimle yüksek lisans tezimi yapmamda büyük katkısı olan Yapı Anabilim Dalı öğretim üyelerine ve tezin hazırlandığı süre boyunca benden yardım ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

OCAK 2008

Ali ZEYBEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Özeti	1
1.2. Çalışmanın Amacı	1
2. YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR	3
2.1. Teorik Çalışmalar	3
2.2. Deneysel Çalışmalar	3
2.2.1. Çalışma 1 (R.Hass 1986)	3
2.2.2. Çalışma 2 (T.T. Lie ve J.L. Wollerton 1988)	5
2.2.3. Çalışma 3 (J.C. Dotreppe, J.M. Franssen ve Y. Vanderzeypen 1996)	7
2.2.4. Çalışma 4 (J.C. Dotreppe, J.M. Franssen ve Y. Vanderzeypen 1996)	9
3. RANKİNE YÖNTEMİ	11
4. TASARIMDA KULLANILAN YANGIN EĞRİSİ	13
5. YANGIN DAYANIMINI ETKİLEYEN ETMENLER	14
6. YAYGIN OLARAK KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİ	16
6.1. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonların Tasarımı için Hesaplama Metodu (1. Yöntem)	16
6.1.1. Nihai yükün ve yangın dayanımının belirlenmesi yöntemi	16
6.1.1.1. Yüksek ısıda plastik ezilme yükü	16
6.1.1.2. Merkezi yüklü narin kolonlarda nihai yük	21
6.1.1.3. Eksantrik yüklü kolonlarda nihai yük	22
6.1.1.4. Modelin sınırlamaları	26
6.2. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonlar için Etkileşim Formülü (2. Yöntem)	26
6.2.1. Yangın ortamında eksenel yüklü betonarme kolonlar	27
6.2.2. Yangın ortamında eksantrik yüklü betonarme kolonlar	32
7. FORMÜLASYONLARIN PROGRAMLANMASI	39
7.1. Birinci Yöntem	39

7.2. İkinci Yöntem	40
8. UYGULAMALAR	41
8.1. Birinci Yöntem Uygulamaları	41
8.1.1. Belirli bir yangın dayanımı R_f için nihai yük N_u nun bulunması	41
8.1.2. Belirli bir uygulama yükü N için R_f yangın dayanımının bulunması	51
8.2. İkinci Yöntem Uygulamaları	59
8.2.1. Belirli bir yangın dayanımı R_f için nihai yük P nin bulunması	59
8.2.2. Belirli bir uygulama yükü P için yangın dayanımı R_f nin bulunması	76
9. SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	95
EKLER	96
EK - A	96
A.1. Kesit Tayini Problemi	96
A.1.1. Birinci yöntem	96
A.1.2. İkinci yöntem	97
A.2. Kesit Tahkiki Problemi	99
A.2.1. Birinci yöntem	99
A.2.2. İkinci yöntem	100
ÖZGEÇMİŞ	102

KISALTMALAR

BA	: Betonarme
ISO834	: ISO 834 standart ısı-zaman eğrisi
ASTM E119	: ASTM E119 kodlu ABD standardı ısı-zaman eğrisi
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Çalışma 1'in detayları	4
Tablo 2.2 Çalışma 2'nin detayları	6
Tablo 2.3 Çalışma 3'ün detayları	7
Tablo 2.1 Çalışma 4'ün detayları	9
Tablo 9.1 1. Yöntem kesit tayini hesabı toplu sonuçları	91
Tablo 9.2 2. Yöntem kesit tayini hesabı toplu sonuçları	92
Tablo 9.3 1. Yöntem kesit tahkiki hesabı toplu sonuçları	93
Tablo 9.4 2. Yöntem kesit tahkiki hesabı toplu sonuçları	93

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Çalışma 1 için rankine tahminleri	5
Şekil 2.2 : Çalışma 2 için rankine tahminleri	7
Şekil 2.3 : Çalışma 3 için rankine tahminleri	8
Şekil 2.4.1 : Çalışma 4 için rankine tahminleri	9
Şekil 2.4.2 : $P^{\text{Rankine}} / P^{\text{test}}$ oranının dağılımı	10
Şekil 4.1 : ISO 834 standart yangın eğrisi	13
Şekil 6.1 : Pas payının farklı değerleri için β_2 faktörünün değişimi	19
Şekil 6.2 : β_2 nin Şematik Temsili	20
Şekil 6.3 : Paspayının farklı değerleri için N_u / N_p nin değişimi	22
Şekil 6.4 : Kolon etkileşim diyagramı	33
Şekil 6.5 : a_p nun bir gösterimi	34
Şekil 6.6 : Dengeli göçme modu	35
Şekil 7.1 : 1. yöntem akış diyagramı	39
Şekil 7.2 : 2. yöntem akış diyagramı	40

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Beton kesit alanı
A_s, A_{sr}, A_{yr}	: Donatı kesit alanı
α_ρ	: Eğilme momentine direnç gösteren donatının etkinliği
b	: Kesit genişliği
$\beta_1(t)$	: Isıya bağlı olarak beton kesitin ezilme yükünü azaltma katsayısı
$\beta_2(t)$	: Isıya bağlı olarak donatının akma yükünü azaltma katsayısı
c	: Pas payı
d	: Etkin yükseklik
d'	: Basınç donatısının, kolon enkesitinin basınç ucuna olan mesafesi
e	: Yük eksantrisitesi
e_b	: Dengeli göçme noktasındaki yük eksantrisitesi
e_p	: Göçme noktasındaki eksantrisite
E	: Elastisite modülü
$E(T)$	: Yüksek ısıya maruz malzemenin elastisite modülü
E_c, E_{sr}	: Beton ve donatının elastisite modülleri
ϵ_{yr}	: Donatının akma şekil değiştirmesi
ϵ_u	: Betonun göçme şekil değiştirmesi
f_c	: Olağan ısıdaki beton basınç dayanımı
f_y, f_{yr}	: Olağan ısıda donatının akma dayanımı
$f_c[\theta(t)]$	: t zamanda ulaşılan ısıya ilişkin beton basınç dayanımı
$f_y[\theta_j(t)]$	: j donatısında, t zamanda ulaşılan ısıya ilişkin, donatı akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
I	: Atalet momenti
I_c, I_{sr}	: Beton ve donatının atalet momentleri
$k_E(T)$	: Elastisite modülünü azaltma faktörü
K_M	: Göçme anındaki akmanın büyüklüğünü hesaba katan düzeltme katsayısı
L	: Kolonun boyu
L_e, l_e	: Kolonun etkin (efektif) boyu veya kolonun burkulma boyu
M_b	: Dengeli göçme noktasındaki moment
M_p	: Plastik moment
M_u^*	: Üst sınır durumunda merkezi yüklü kolon için eğilme momenti
N_E	: Euler kritik yükü
$N_p(t)$	: Kolonun plastik ezilme yükü
$N_{pc}(t)$	: Beton kesitin ezilme yükü

$N_{ps}(t)$	: Donatının akma yükü
$N_r(t)$	: Düzeltilmiş burkulma katsayısı
$N_u(t), N_{u3}(t)$	: Eksantrik yüklü kolonlar için nihai yük
$N_{u1}(t)$	: Merkezi yüklü kısa kolonlarda göçme yükü
N_{u2}	: Merkezi yüklü narin kolonlarda nihai yük
N_u^*	: Üst sınır durumunda merkezi yüklü kolon için nihai yük
$\eta(\lambda)$	: Eksantrik yüklü kolonlardaki burkulma katsayısı
P	: Uygulama yükü
P_b	: Dengeli göçme noktasındaki yük
$P_c(T)$	: Rankine yükü
P_e, P_{er}	: Elastik burkulma veya elastik kritik yük
P_p, P_{pr}	: Plastik göçme yükü
P_{Rr}	: İdeal olmayan kolonlar için azaltılmış Rankine yükü
P_y	: Akma yükü
Q_c	: Betonun, plastik ezilme yükü $P_p(0)$ 'a katılımı
Q_{yr}	: Donatının, plastik ezilme yükü $P_p(0)$ 'a katılımı
R_f	: Yangın dayanımı (yangına dayanma süresi)
ρ_t	: Çekme donatısı oranı
$\theta_f(t), \theta_f(t_0)$	: Dakika cinsinden t ve t_0 başlangıç zamanındaki C^o olarak ifade edilen sıcaklık değerleri
θ	: Isı
u_{pr}	: Plastik yük azaltma faktörü
u_{er}	: Elastik kritik yük azaltma faktörü
$\gamma(t)$	: Betonun olası parçalanma (yarılma veya dökülme) faktörü
χ	: Burkulma azaltma çarpanı
λ	: Narinlik oranı
λ_E	: Euler narinlik oranı
$\Lambda_r(t)$	: Normalleştirilmiş narinlik oranı

BETONARME KOLONLARIN YANGIN KOŞULLARINDA TASARIMI VE KONTROLÜ

ÖZET

Betonarme kolonların yangın dayanımı için genellikle pas payı değerleri ve enkesit boyutlarını içeren tablolardan yararlanılmaktadır. Ancak, bu konuda geniş ve etkin bir tasarım yapabilmek için analitik formülasyonun esaslarının bilinmesi ve yapılmış olan deneysel çalışmaların bu esaslara göre değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada önce konuyla ilgili olarak yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmaların sonucunda geliştirilen iki ayrı yöntem irdelenmiştir. Yapılan çalışmalarda tüm tasarım ve tahkiklerde ISO834 standart yangın eğrisi esas alınmaktadır. Her iki yöntemde kullanılan formüller Rankine formülasyonuna dayanmaktadır.

Bu nedenle tasarıma esas teşkil eden ISO834 standart yangın eğrisi ve Rankine formülasyonu da kısaca açıklanmıştır.

Birinci yöntem J.C. Dotreppe, J.M. Franssen ve Y. Vanderzeypen tarafından geliştirilmiştir.

Bu yöntemde tasarım formülü üç basamakta elde edilmiştir. Birinci basamak, kolonun arttırılmış ısıdaki plastik ezilme yükünün belirlenmesidir. İkinci basamak, merkezi yüklü kolonların burkulma katsayısının belirlenmesi; üçüncüsü ise eksantrik yükler için lineer olmayan bir büyütme teriminin geliştirilmesidir.

Formül, pas payının etkilerini ve narinlik etkisini dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir.

İkinci yöntem K.H. Tan ve C.Y. Tang tarafından geliştirilmiştir.

Bu 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 problemine ait çok sayıda tipik uygulama yapılmıştır.

DESIGN AND CHECK OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS IN FIRE CONDITIONS

SUMMARY

The determination of fire resistance of concrete columns is essentially based on tabulated data containing the dimensions of the cross section and values of the concrete cover. However, more scientific approaches such as analytical formulations should be proposed to consulting engineers for a quick and efficient design.

In this paper, two different methods about this issue will be examined. The formulations used in both methods are based on Rankine Method and ISO834 standard fire curve is basement of all studies included designing and checking.

Because of that, ISO834 standard fire curve and Rankine Method are shortly explained in this study.

The first method is produced by J.C. Dotreppe, J.M. Franssen and, Y. Vanderzeypen. In this method, the design formula has been obtained in three steps. The first step consists of determining the plastic crushing load of the column at elevated temperature. The second step is the determination of the buckling coefficient for centrically loaded columns. The last step is the development of a nonlinear amplification term for eccentric loads. The formula has been calibrated to take into consideration the particular effects of the concrete cover and the additional amplification appearing for the high values of slenderness ratio.

The second method is produced by K.H. Tan and, C.Y. Tang

In this method, Rankine approximation is extended to RC columns subjected to fire conditions by taking the temperature effects on steel reinforcement and concrete material into consideration.

Due to the results of these two methods are reasonably close to the experimental results, in this work, the formulation appertain to this two methods will be comprehensively explained.

A computer program is developed by using these methods and a lot of numeric examples are given for design and check problems of columns in fire conditions.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Özeti

Yapıların yangın dayanımı özellikle yanıcı maddeler üreten veya bulunduran sanayi yapılarında büyük önem arz etmektedir. Bilindiği üzere 11 Eylül olayından sonra bu konu üzerindeki ilgi daha da artmış, yapıların tasarımında yangın güvenliği üzerinde önemle durulan bir konu haline gelmiştir.

Genel olarak yangın şartlarında betonun davranışı iyidir. Zira beton yarı yalıtkan bir malzemedir, bu yüzden boyuna donatıyı kaplayan pas payı, belirli derecede ısı yalıtımı sağlar. Bu sayede ana donatılarda ısı artışı yavaş ve sonuç olarak donatının akma dayanımının azalma hızı düşük olur.

Betonarme bir yapıda yangına karşı yeterli dayanıklılığın sağlanması için betonarme elemanların uygun şekilde boyutlandırılması gerekir. Betonda yüksek ısı sonucu oluşan yarılarak dökülme riskini azaltmak için, uygun bir beton karışım seçilip uygun detaylandırma sağlanmalıdır.

Kiriş ve plak gibi eğilmeye çalışan yapı elemanlarının yangına dayanıklılığı konusunda yayınlanmış çok sayıda çalışma mevcut iken, betonarme kolonlar hakkındaki çalışmaların sayısı giriş ve plaklara nazaran oldukça azdır. Yapılan çalışmalarda giriş ve plakların göçme mekanizmasının yeterli derecede iyi bilindiği belirtilerek donatı bölgesindeki ısı artışından dolayı artan akma deformasyonlarının elemanın göçmesine yol açtığı saptanmıştır. Ancak kolonlardaki göçme mekanizması bu kadar açık ve net değildir. Kolonun göçmesi sadece beton ezilmesinden değil aynı zamanda kolon burkulmasından da olabilmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada yangına maruz betonarme kolonlar hakkında bulunan deneysel ve teorik çalışmalar ve bunların sonucunda ortaya konulan iki ayrı yöntem ayrıntılı

olarak açıklanmış ve bu yöntemlerde verilen bağıntılar yardımıyla kesit tayini ve kesit tahkiki problemleri irdelenmiştir. Bu problemler aşağıda verilmiştir:

- ❖ Betonarme bir kolonun yangına dayanıklı olarak tasarımı (kesit tayini problemi)
- ❖ Mevcut geometrisi ve donatısı belirli olan bir betonarme kolonun ISO 834 standardına göre yangına dayanma süresinin belirlenmesi (kesit tahkiki problemi)

2. YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

2.1. Teorik Çalışmalar

Literatürde betonarme kolonların yangına dayanıklılığı ile ilgili az sayıda çalışma bulunabilmiştir. Bu konuda bulunan makaleler çoğunlukla Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) dergilerinde yayınlanmıştır. Bu çalışmaların belli başlı olanları aşağıda verilmiştir:

- Calculation Method for Design of Reinforced Concrete Columns under Fire Conditions - (Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonların Tasarımı için Hesaplama Yöntemi)
by Jean Claude Dotreppe, Jean Marc Franssen and Yves Vanderzeypen
(ACI Structural Journal / January-February 1999)
- Fire Safety of Reinforced Concrete Columns – (Betonarme Kolonların Yangın Güvenliği)
by Karamoko Sidibe, Frederic Duprat, Michel Pinglot, and Bernard Bourret
(ACI Structural Journal / July-August 2000)
- Interaction Formula for Reinforced Concrete Columns in Fire Conditions – (Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonlar için Etkileşim Formülü)
by K. H. Tan and C. Y. Tang
(ACI Structural Journal / January-February 2004)

2.2. Deneysel Çalışmalar

Betonarme (BA) kolonların yangına dayanıklılığı üzerine yapılmış çok sayıda deneysel çalışma bulunmuştur. Bu çalışmaların içerikleri ve sonuçları ayrıntılı bir şekilde kronolojik sıra ile açıklanacaktır.

2.2.1. Çalışma 1 (R. Hass 1986)

R. Hass tarafından 1986 yılında 39 adet dikdörtgen BA kolon Almanya Braunschweig Teknik Üniversitesi'nde, ISO 834 standardı yangınında test edilmiştir. Bu çalışmada $200 \times 200 \text{ mm}^2$ ve $300 \times 300 \text{ mm}^2$ boyutlu iki ayrı numune grubu incelenmiştir. Donatılar 14 mm ve 20 mm çaplı olup, araştırılan başlıca faktörler;

yük düzeyi, kolon boyu, yük eksantrisitesi, beton dayanımı ve donatı miktarıdır.

Tablo 2.1, 39 adet BA kolon grubunun test sonuçlarının ayrıntılarını göstermektedir.

Tablo 2.1 – Çalışma 1’in Detayları

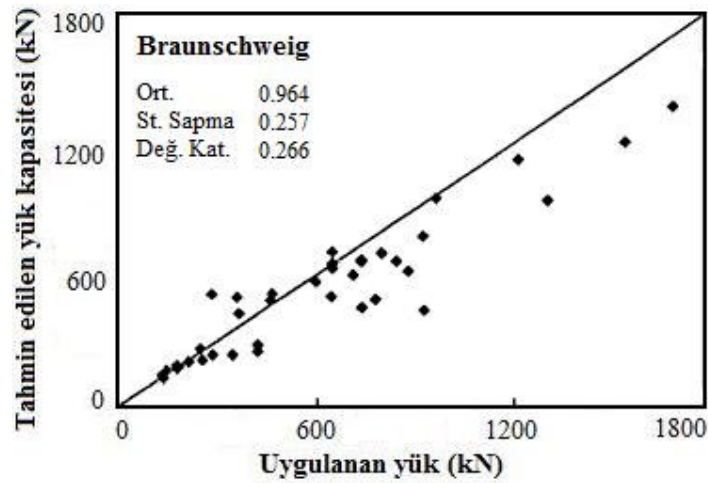
No	<i>b</i> mm	<i>h</i> mm	Donatı mm	<i>L</i> m	f'_c N/mm ²	f_{yr} N/mm ²	Uç*	<i>c</i> mm	<i>e</i> mm	P_{app} kN	t_{test} dk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	300	300	6Ø20	3.76	24.1	487	m-m	38	30	710	86
2	300	300	6Ø20	3.76	24.1	487	m-m	38	0	930	84
3	300	300	6Ø20	3.76	24.1	487	m-m	38	0	930	138
4	300	300	6Ø20	4.76	24.1	487	m-m	38	30	650	63
5	300	300	6Ø20	4.76	34.1	487	m-m	38	0	880	108
6	300	300	6Ø20	5.76	24.1	487	m-m	38	30	600	61
7	300	300	6Ø20	5.76	24.1	487	m-m	38	0	800	58
8	200	200	4Ø20	3.76	24.1	487	m-m	38	0	420	58
9	200	200	4Ø20	3.76	24.1	487	m-m	38	0	420	66
10	200	200	4Ø20	4.76	24.1	487	m-m	38	0	340	48
11	300	300	6Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	30	650	80
12	300	200	6Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	30	650	69
13	300	300	6Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	15	740	85
14	200	300	4Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	10	280	49
15	200	300	4Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	20	240	36
16	300	300	6Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	90	460	75
17	300	300	6Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	150	362	65
18	200	200	4Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	60	170	49
19	200	200	4Ø20	4.76	30.7	462	m-m	38	100	130	53
20	300	300	6Ø20	3.80	33.2	458	m-a	38	30	845	111
21	300	300	6Ø20	3.80	33.2	418	m-a	38	50	780	125
22	200	200	4Ø20	5.76	32.4	443	m-m	38	10	208	40
23	300	300	6Ø20	4.76	30.7	433	m-a	38	15	735	160
24	300	300	6Ø20	4.76	43.2	544	m-a	38	150	355	89
25	300	300	6Ø20	4.76	31.5	499	m-m	38	±15 [⊥]	735	93
26	300	300	6Ø20	4.76	38.2	449	m-m	38	±30 [⊥]	645	135
27	300	300	6Ø20	4.76	38.2	404	m-m	38	5	1224	48
28	300	300	6Ø20	3.76	42.3	452	m-m	38	5	1695	57
29	300	300	6Ø20	4.70	34.9	505	m-m	38	5	1548	38
30	300	300	6Ø20	4.70	31.5	503	m-m	38	10	970	55
31	300	200	6Ø20	4.70	31.5	526	m-m	38	10	1308	57

32	300	200	6Ø20	4.70	31.5	503	m-m	38	150	280	49
33	300	200	6Ø20	4.70	31.5	526	m-m	38	150	465	50
34	200	200	6Ø14	5.71	41.5	480	m-m	30	100	140	31
35	200	200	6Ø14	5.71	41.5	477	m-m	33	10	245	40
36	200	200	6Ø14	5.71	41.5	480	m-m	33	50	172	35
37	200	200	6Ø14	5.71	41.5	482	m-m	33	10	175	49
38	200	200	6Ø14	5.71	41.5	485	m-m	33	50	122	52
39	200	200	6Ø14	5.71	41.5	478	m-m	30	10	128	72

* m sembolü mafsallı, a sembolü ise ankastre mesnet koşulunu göstermektedir.

[⊥] ± işareti iki kolon ucuna uygulanan karşılıklı eksantrisiteyi göstermektedir.

Şekil 2.1 tahmin edilen yük kapasitesiyle uygulanan gerçek yükün bir karşılaştırmasını göstermektedir. 0.964 ortalama ve 0.266 değişim katsayısı ile tahminlerin çoğunun makul tarafta oldukları görülmektedir.



Şekil 2.1 – Çalışma 1 için Rankine Tahminleri

2.2.2. Çalışma 2 (T.T. Lie ve J.L. Wollerton 1988)

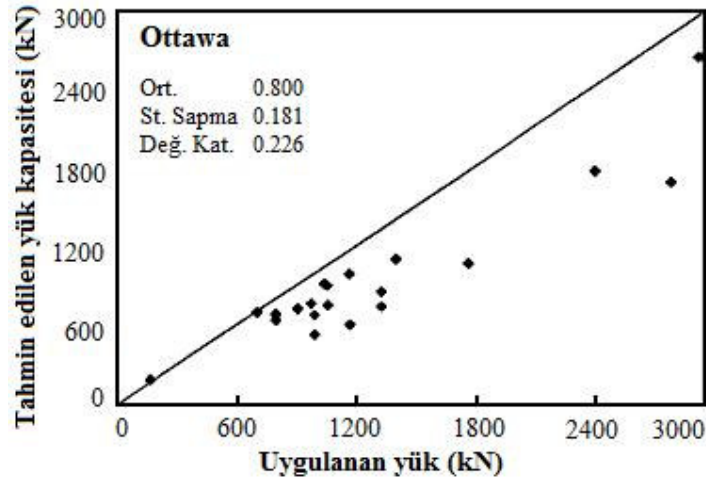
T.T. Lie ve J.L. Wollerton tarafından 1988 yılında BA kolonların yangına dayanıklılığı konusunda, yük düzeyi, uç koşulları, kesit boyutu, eksantrisite ve donatı miktarı ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. 21 adet kolonun deney sonuçları amaca uygun bulunmuş olup, bu çalışmanın veri tabanını oluşturmuştur. Bu çalışmada tüm kolonların boyları 3.81 m ve çoğunun ucu ankastre mesnetlidir. Kolonların özellikleri Tablo 2.2 de özetlenmektedir.

Tablo 2.2 – Çalışma 2’nin Detayları

No	b mm	h mm	Donatı mm	L , m	f'_c N/mm ²	f_{yr} N/mm ²	Uç*	c mm	e mm	P_{app} kN	t_{test} dk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	305	305	4Ø25.5	3.81	36.9	444	a-a	48	0	1333	170
2	305	305	4Ø25.5	3.81	34.2	444	a-a	48	0	800	218
3	305	305	4Ø25.5	3.81	35.1	444	a-a	48	0	711	220
4	203	203	4Ø20	3.81	42.3	442	a-a	48	0	169	180
5	305	305	4Ø25.5	3.81	36.1	444	a-a	48	0	1067	208
6	305	305	4Ø25.5	3.81	34.8	444	a-a	48	0	1778	146
7	305	305	4Ø25.5	3.81	38.3	444	a-a	48	0	1333	187
8	305	305	4Ø25.5	3.81	43.6	444	a-a	48	0	1044	201
9	305	305	4Ø25.5	3.81	35.4	444	a-a	48	0	916	210
10	305	305	4Ø25.5	3.81	52.9	444	a-a	48	0	1178	227
11	305	305	4Ø25.5	3.81	49.5	444	a-a	48	0	1067	234
12	305	305	8Ø25.5	3.81	42.6	444	a-a	48	0	978	252
13	305	305	8Ø25.5	3.81	37.1	444	a-a	48	0	1333	225
14	406	406	8Ø25.5	3.81	38.8	444	a-a	48	0	2418	262
15	406	406	8Ø32.3	3.81	38.4	414	a-a	48	0	2795	285
16	406	406	8Ø32.3	3.81	46.2	414	a-a	64	0	2978	213
17	305	305	4Ø25.5	3.81	39.6	444	m-a	48	0	800	242
18	305	305	4Ø25.5	3.81	39.2	444	m-a	48	0	1000	220
19	305	305	4Ø25.5	3.81	39.9	444	m-m	48	25	1000	181
20	305	457	8Ø22.2	3.81	42.5	414	a-a	48	0	1413	356
21	305	305	4Ø25.5	3.81	37.9	444	m-a	48	25	1178	183

* m sembolü mafsallı, a sembolü ise ankastre mesnet koşulunu göstermektedir.

Şekil 2.2 söz konusu 21 adet kolonla ilgili Rankine tahminlerini göstermektedir. Yine burada da tahminler makul yöndedir. Standart sapma 0.181, değişim katsayısı 0.226 ve ortalama 0.800 dür.



Şekil 2.2 – Çalışma 2 için Rankine Tahminleri

2.2.3. Çalışma 3 (J.C. Dotreppe, J.M. Franssen ve Y. Vanderzeypen 1996)

16 adet BA kolon Dotreppe, Franssen ve Vanderzeypen tarafından 1996 yılında Ghent Üniversitesi'nde, ISO 834 standardına göre test edilmiştir. Tüm kolonların boyları 3.9 m olup, her iki uçlarından mafsallıdır. Bu deneylerde ilk olarak bir kolonun yangına dayanıklılığı teorik olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değer teorik yangına dayanma süresi kabul edilmiştir. Uygulanan yük, teorik yangına dayanma süresine kadar sabit tutulmuştur. Eğer hala göçme oluşmamışsa, yük, kolon göçünceye kadar hızla arttırılmıştır. Tablo 2.3 test edilen kolonların özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2.3 – Çalışma 3'ün Detayları

No	b mm	h mm	Donatı mm	L , m	f'_{cu} N/mm ²	$f'_c +$ N/mm ²	f_{yr} N/mm ²	U_{ϕ}^*	c mm	e mm	P_{app} kN	t_{test} dk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	300	300	4Ø16	3.9	40.9	33.9	576	m-m	25	0	950	61
2	300	300	4Ø16	3.9	42.7	35.4	576	m-m	25	0	622	120
3^	300	300	4Ø16	3.9	44.0	36.5	576	m-m	25	20	220	125
4	300	300	4Ø16	3.9	40.2	33.4	576	m-m	25	20	664	128
5	300	300	4Ø16	3.9	35.3	29.3	576	m-m	25	0	422	116
6	300	300	4Ø16	3.9	44.1	36.6	576	m-m	40	20	349	123
7^	300	300	4Ø25	3.9	43.7	35.0	576	m-m	25	20	304	69
8	300	300	4Ø25	3.9	35.1	28.1	576	m-m	25	20	475	120
9	300	300	4Ø16	3.9	43.3	35.9	576	m-m	25	20	370	126
10^	300	300	4Ø25	3.9	35.9	28.7	576	m-m	40	20	425	66
11	400	400	8Ø16	3.9	35.7	29.6	576	m-m	25	20	1650	93

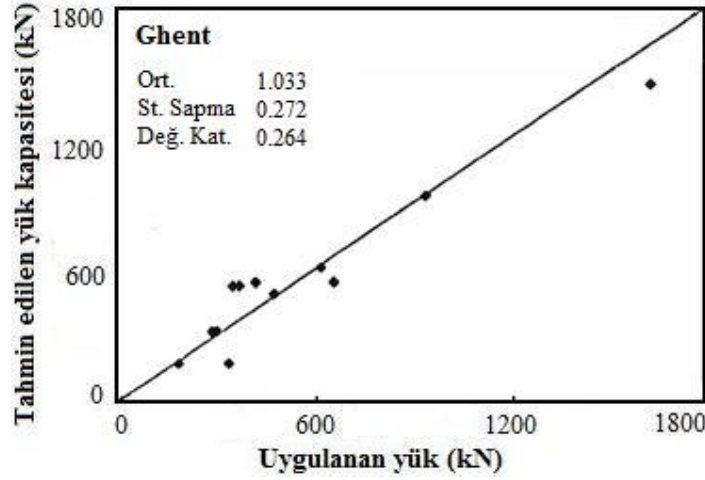
12^	400	400	4Ø25	3.9	37.4	29.9	576	m-m	25	20	1680	34
13	200	300	6Ø12	3.9	37.6	31.1	493	m-m	25	20	300	60
14	300	200	6Ø12	3.9	35.7	29.6	493	m-m	25	20	178	120
15	200	300	6Ø12	3.9	39.2	32.5	493	m-m	35	20	283	60
16	200	300	6Ø12	3.9	39	32.4	493	m-m	25	20	334	120

+ f'_c Belçika Liege Üniversitesi'nde J.M. Franssen tarafından elde edilen silindir mukavemeti.

* m sembolü mafsallı mesnet koşulunu göstermektedir.

^ Bu satırlar çalışmadan çıkarılmıştır.

Tablo 2.3'te özellikleri gösterilen 7,10 ve 12'nolu kolonlarda aşırı derecede beton dökülmesi nedeniyle erken göçme gözlemlenmiştir. Bu üç kolonda, 25 mm pas paylı, 25 mm çaplı boyuna donatılar bulunmaktadır. Sonuç olarak Dotreppe, Franssen ve Vanderzeypen, küçük pas payı ile büyük ana donatı kullanılmasının, yangın şartlarındaki BA kolonlarda oldukça yüksek bir yük kapasitesi tahminine yol açacağı sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.3 – Çalışma 3 için Rankine Tahminleri

Bu çalışmada, bu üç kolonla ilgili sonuçlar, test sonuçlarıyla karşılaştırmaya dâhil edilmemiştir. Bir de Tablo 2.3'teki 3'nolu kolonun yük düzeyi oldukça düşük bulunmuştur. ($P_{app} / P_p = 0.068$). Bunun sonucunda, termal gerilmelerin etkisinin diğer etkilere göre oldukça önemli hale geldiği görülmüştür ki bunun da Rankine bağıntısı ile verilen değer oldukça üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Karşılaştırma açısından bu kolon da veri tabanından çıkarılmıştır. Geriye kalan 12 kolonla ilgili sonuçlar Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda Rankine Yöntemi ile kolonların yük kapasitesinin biraz fazla hesaplandığı düşünülmektedir (Ortalama=1.033, St. Sapma=0.272 ve Değ. Kat.=0.264).

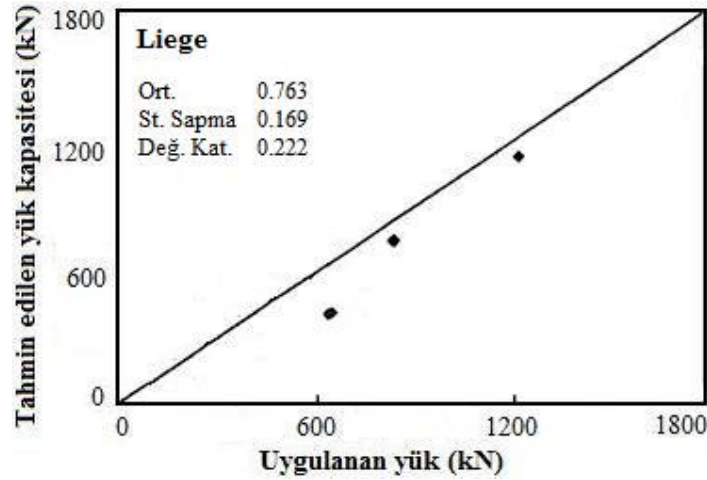
2.2.4. Çalışma 4 (J.C. Dotreppe, J.M. Franssen ve Y. Vanderzeypen 1996)

İki ucundan mafsallı 5 kısa kolon ($L = 2.1$ m) Liege Üniversitesi'nde test edilmiştir. Yük Çalışma 3 teki gibi uygulanmıştır. Bu beş kolonun özellikleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 – Çalışma 4'ün Detayları

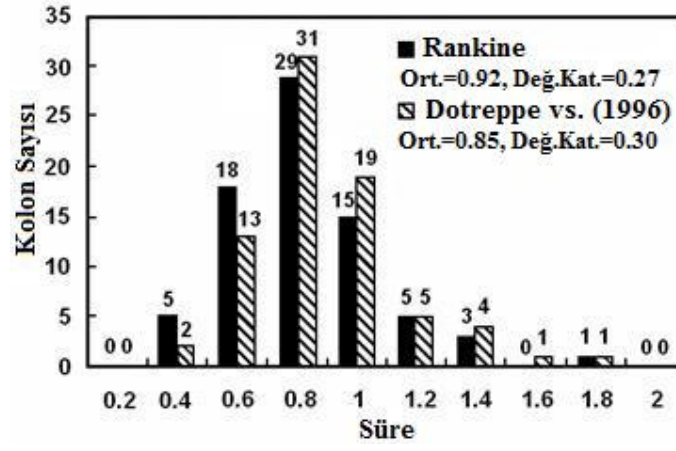
No	b mm	h mm	Donatı mm	L , m	f_{cu} N/mm ²	$f_c +$ N/mm ²	f_{yr} N/mm ²	Uç*	c mm	e mm	P_{app} kN	t_{test} dk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	300	300	4Ø16	2.1	38.5	29.3	576	m-m	25	0	1270	63
2	300	300	4Ø16	2.1	38.1	28.6	576	m-m	25	0	803	123
3^	300	300	4Ø25	2.1	32.7	26.2	591	m-m	25	0	878	69
4	200	300	6Ø12	2.1	40.0	30.6	493	m-m	25	0	611	107
5	200	300	6Ø12	2.1	37.6	27.3	493	m-m	35	0	620	97

Yine burada da, 3'nolu kolonun, büyük çaplı boyuna donatıya karşın küçük pas payına sahip olması nedeniyle, erken göçme gösterdiği tespit edilmiştir. Bu kolonla ilgili sonuç dikkate alınmamış, diğer kolonların sonuçları Şekil 2.4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4.1 – Çalışma 4 için Rankine Tahminleri

Şekil 2.4.2’de ise tahminin doğruluğunu gösteren $P^{Rankine} / P^{test}$ oranının dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.4.2 - $P^{Rankine} / P^{test}$ oranının dağılımı

3. RANKİNE YÖNTEMİ

Prof. W.J.M. Rankine tarafından, 1866 yılında, bir ucundan mafsallı diğer ucundan ankastre kolonların göçme yükünün tahmini konusunda, dayanım ve kararlılığın (stabilite) etkileşimine dayanan deneysel bir formül geliştirilmiştir. Formül esas olarak çelik kolonlar için çıkarılmıştır. Ancak betonarme kolonların yangına dayanıklılığı konusunda tez kapsamında incelenecek olan iki yöntem bu formülü esas aldığı için burada kısaca açıklanacaktır.

Rankine Yöntemi'nde çelik kolonun her belirli T ısısında, dayanımı ve stabilitesi ayrı ayrı belirlenmektedir. Elastik-burkulma yükü P_e , kolon stabilitesini belirtirken, rijit-plastik göçme yükü P_p , kolon dayanımını belirlemede kullanılmaktadır. İdealleştirilen bu iki davranışın etkileşimi, Rankine Yüğü P_c ' yi vermektedir.

$$\frac{1}{P_c(T)} = \frac{1}{P_p(T)} + \frac{1}{P_e(T)} \quad (\text{Rankine Formülü}) \quad (1)$$

Burada Rankine Yüğü, $P_c(T)$, T ısısına maruz kolonun yük taşıma kapasitesi olan P' ye eşittir.

Tam olarak düzgün olan bir kolonun maksimum elastik-burkulma yükü P_e ,

$$P_e(T) = \frac{\pi^2 E(T) I}{l_e^2} \quad (2)$$

dir. Burada; $E(T) = k_E(T)E$, yüksek ısıya maruz malzemenin elastisite modülüdür; $k_E(T)$, elastisite modülü E 'yi azaltma faktörü; I , atalet momenti; l_e , kolonun etkili (efektif) boyudur.

Eksenel yüklü bir kolonun elastik-burkulma yükü P_e , teorik olarak küçük başlangıç eğriliğinden bağımsızdır, fakat burkulma modu nedeniyle mesnet koşullarından önemli ölçüde etkilenir. Mesnet koşulları kolonun etkili boyunu belirler.

Eksenel yüklü kolonun rijit-plastik göçme yükü P_p , basit olarak ezilme ya da akma yükü P_y ye eşittir.

Bu durumda Denklem (1);

$$\frac{1}{P_c(T)} = \frac{1}{P_y(T)} + \frac{1}{P_e(T)} \text{ halini alır.} \quad (3)$$

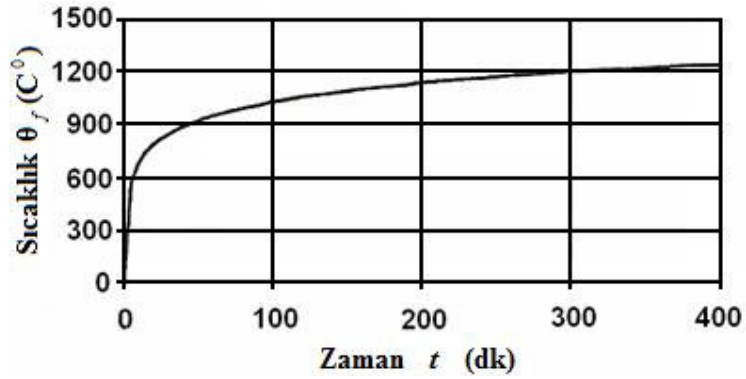
Yangına maruz betonarme kolonlar konusunda bulunan çalışmalarda ortaya konulan iki yöntemde, bu formülün betonarme kolonlara uyarlanması ve betonarme bir kolonun yangına dayanıklılığını belirlemede bu formülü esas alan basit bir hesaplama metodunun çıkarılması amaçlanmaktadır.

4. TASARIMDA KULLANILAN YANGIN EĞRİSİ

Betonarme kolonların yangına dayanıklılığının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda, test edilen betonarme kolon ISO 834 standart yangın eğrisine göre tanımlanan yangına maruz bırakılmıştır. Bu standarda göre kolon, kapalı bir bölümde etrafı gazla kaplı halde ısı alışverişi etkisindedir. Bu gazın ısıısının zamana bağlı olarak, ISO 834 yönetmeliğindeki formüle göre değiştiği varsayılmıştır.

$$\theta_f(t) = \theta_f(t_0) + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (4)$$

Burada; $\theta_f(t)$ ve $\theta_f(t_0)$, o bölümdeki dakika cinsinden t ve t_0 başlangıç zamanındaki C^0 olarak ifade edilen sıcaklık değerleridir. Bu formülden elde edilen eğri Şekil 4.1'te gösterilen ISO 834 standart yangın eğrisidir. Tüm hesap ve tahkiklerde bu eğri esas alınmaktadır.



Şekil 4.1 – ISO 834 Standart Yangın Eğrisi

5. YANGIN DAYANIMINI ETKİLEYEN ETMENLER

Betonarmenin yangın dayanımı ile ilgili özellikleri, bu kompozit yapı sistemini oluşturan çelik ve beton malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca sıcaklığa karşı çok hassas olan donatının da fazla ısıya maruz kalmaması gereklidir. Bu görevi yeter kalınlıktaki beton pas payı tabakası yerine getirir.

Beton yarı yalıtkan bir malzemedir. Bu nedenle pas payı tabakası ısı yalıtkanlığı görevi de yapar. Yapılan çalışmalarda, sıcaklık arttıkça çeliklerin çekme mukavemeti ve akma sınırı gibi mekanik özelliklerinin hızla azaldığı ve 500~600⁰C gibi yüksek sıcaklıklarda bütün çelik türlerinin mekanik özelliklerini hemen hemen aynı derecede yitirdikleri görülmüştür.

Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da soğuk şekil değiştirme yolu ile sertleştirilmiş çelik türlerinde, yangındaki ısınma ve soğuma sonucunda çeliğin sertliğini kaybederek özelliğini yitirmesinin görülmesidir.

Yapılan deneylerde, betonarmede yangına dayanma süresinin çelik donatının ısınma hızına bağlı oluşunun saptanması, beton pas payı kalınlığının önemini açıkça göstermektedir. Çeliğin ısı difüzyon katsayısının yüksek oluşu, kesitin her noktasında sıcaklığın hemen dengelenmesine neden olmaktadır. Çeliğin eriştiği sıcaklık böylece çelik bulunmayan beton içindeki sıcaklık olarak kabul edilebilmektedir.

Betonun yalıtıcı özeliği içindeki agreganın türüne de bağlıdır. Eğer agrega olarak kalker kullanılmışsa, bunlar beton kesitin ısınmasını yavaşlatırlar. Çünkü kirecin yüksek sıcaklıkta ayrışması ısı enerjisi harcar. Pas payı tabakasının koruyuculuğu, bu tabakanın çatlayıp dökülmesi ile sona ermektedir. Buna da en çok kesitin her noktasının eşit ısınması ve ıslak betondaki suyun buharlaşması, gibi faktörler neden olabilir.

Özet olarak, betonarme kolonların yangın dayanımını etkileyen başlıca etmenler sırasıyla;

- Pas payı,
- Betonun içindeki agrega türü,
- Beton kalitesi,
- Çelik kalitesi,
- Beton kesit şekli ve boyutu,
- Donatı çapı ve miktarı,
- Kolon boyu,
- Kolonun mesnetlenme koşulları
- Yük eksantrisitesi

olarak sıralanabilir.

6. YAYGIN OLARAK KULLANILAN HESAP YÖNTEMLERİ

Bu konuda yapılan araştırmalarda, yaygın olarak iki tip yöntemin kullanıldığı görülmüştür. Bu iki yöntemde, iki tür formülasyon ortaya konulmuştur. Her iki formülasyon da Rankine Yöntemi'ne dayanmakta olup her iki yöntemin sonuçları deneysel sonuçlara oldukça yakın bulunmuş olduğu için burada bu iki yönteme ait formülasyon ayrıntılı olarak açılanacaktır.

6.1. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonların Tasarımı için Hesaplama Yöntemi (1.Yöntem)

Bölüm 2.1.1 de bahsedilen bu çalışmada geliştirilen tasarım formülü, burkulma katsayısı ve eksantrik yüklerin etkisini hesaba katmakta ve yüksek ısıya maruz BA kolonun doğrusal olmayan büyütme terimiyle azaltılmış, plastik ezilme yükünün hesabına dayanmaktadır.

Formül, değerleri bilinen bir BA kolonun yangına dayanıklılığının belirlenmesinden başka, öngörülen yangın dayanımı için BA kolonun nihai yük kapasitesinin belirlenmesinde de kolay kullanılır hale getirilmiştir.

6.1.1. Nihai Yükün ve Yangın Dayanımının Belirlenmesi Yöntemi

6.1.1.1. Yüksek Isıda Plastik Ezilme Yüğü

Çok kısa kolonlarda (narinlik etkisinin ihmal edildiğı kolonlar) burkulma olmamaktadır ve merkezi yüklü kısa kolonlar için nihai yük, plastik ezilme yüğü olarak kabul edilmektedir. Kolon yangına maruz kaldığında bu nihai yük, zamanla devamlı olarak değişmektedir. Belirli bir andaki ezilme yüğü, beton ve çelikteki ısının bir fonksiyonudur. Donatıdaki ısı, yeterli derecede iyi tespit edilebilmektedir, fakat ısı bir noktadan ötekine değiştiğinden beton için aynı şeyi söylemek ve dolayısıyla betonun ısıya bağı olan basınç dayanımını tespit etmek oldukça zordur. BA kolonun belirli bir termal programa (ISO 834 standart ısı-zaman eğrisi) uyan, belli bir “*t*” zamanındaki plastik ezilme yüğü;

$$N_p(t) = N_{pc}(t) + N_{ps}(t) = \int_{A_c} f_c[\theta(t)] \cdot dA_c + \sum_{j=1}^{nb} f_y[\theta_j(t)] A_{sj} \quad (5)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

Burada;

- $N_p(t)$: Kolonun plastik ezilme yükü
- $N_{pc}(t)$: Beton kesitin ezilme yükü
- $N_{ps}(t)$: Donatının akma yükü
- $f_c[\theta(t)]$: t zamanda ulaşılan ısıya ilişkin, beton basınç dayanımı
- $f_y[\theta_j(t)]$: j donatısında, t zamanda ulaşılan ısıya ilişkin, donatı akma dayanımı
- A_c : Beton kesit alanı
- A_{sj} : j donatısının kesit alanı
- θ : Isı
- nb : En kesitteki çubuk sayısı

Eğer kesit ağlara (mesh) ayrılırsa, $N_p(t)$ aşağıdaki gibi yazılabilmektedir;

$$N_p(t) = \sum_{i=1}^{nm} A_{ci} f_c[\theta_i(t)] + \sum_{j=1}^{nb} A_{sj} f_y[\theta_j(t)] \quad (6)$$

Burada;

- nm : Beton en kesiti üzerindeki ağ sayısı
- A_{ci} : Beton en kesiti üzerindeki i ağının alanı

Denklem (6) basit olarak;

$$N_p(t) = \sum_i A_{ci} f_{ci}(t) + \sum_j A_{sj} f_{yj}(t) \quad (7)$$

şeklinde yazılır.

Beton basınç dayanımının azaltılması aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$f_c(\theta) = k_c(\theta) \cdot f_c \quad (8)$$

- f_c : Olağan ısıdaki beton basınç dayanımı
- $k_c(\theta)$: Malzeme ısısına bağlı azaltma faktörü

$N_{pc}(t)$ aşağıdaki eşitlikle ifade edilir;

$$N_{pc}(t) = \beta_1(t) \cdot A_c \cdot f_c \quad (8a)$$

Burada;

$$\beta_1(t) = \frac{\sum_i^{nm} A_{ci} f_{ci}(t)}{A_c f_c} \quad (9)$$

dir. $\beta_1(t)$, açıkça görüldüğü gibi kesitin türüne ve boyutuna bağlıdır. Bu çalışmada sadece dikdörtgen kesitler dikkate alınmıştır. Uygulamada hiçbir kare kolon kesiti $150 \times 150 \text{ mm}^2$ den küçük değildir ve yüksek binalar hariç, çok azı $500 \times 500 \text{ mm}^2$ den büyüktür.

$\beta_1(t)$ için yeterli yaklaşıklıkta bir bağıntı aşağıda verilmektedir:

$$\beta_1(t) = \frac{1}{\sqrt{1 + (a_1 t)^{a_2}}} \quad (10a)$$

burada t saati göstermektedir.

a_1 ve a_2 değişkenleri kolon kesitinin fonksiyonlarıdır. Bunlar için aşağıdaki değerler önerilmektedir;

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.3 A_c^{-0.5} \\ a_2 &= A_c^{-0.25} \end{aligned} \quad (10b)$$

$N_{ps}(t)$ faktörü de, $N_{pc}(t)$ de olduğu gibi sayısal yolla belirlenir. $N_{ps}(t)$ için denklem;

$$N_{ps}(t) = \sum_j A_{sj} f_{yj}(t) \text{ dir.} \quad (11)$$

Çelik akma dayanımının azaltılması aşağıdaki yolla ifade edilebilir;

$$f_y(\theta) = k_y(\theta) \cdot f_y \quad (12)$$

Burada f_y olağan ısıda, çeliğin akma dayanımıdır.

$N_{ps}(t)$ de $N_{pc}(t)$ ile aynı şekilde ifade edilmektedir.

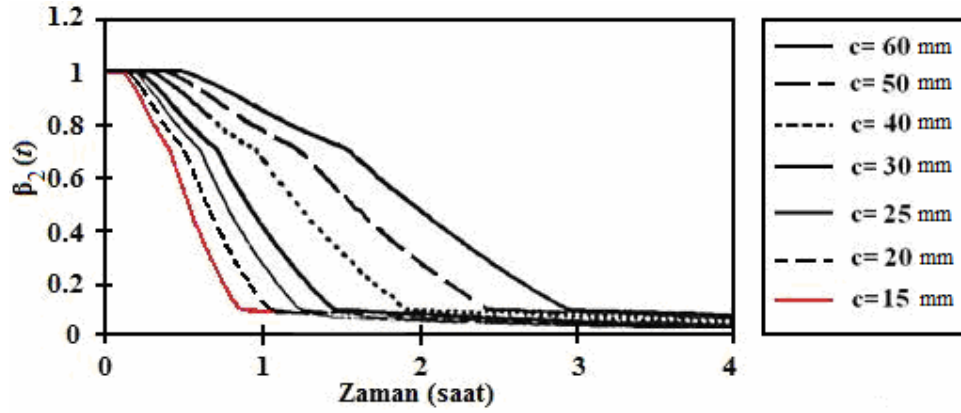
$$N_{ps}(t) = \beta_2(t) \cdot A_s \cdot f_y \quad (13)$$

Burada;

$$\beta_2(t) = \frac{\sum_j A_{sj} f_{yj}(t)}{A_s f_y} \text{ dir.}$$

Bütün donatıların, aşırı ısıya maruz kalma açısından güvenli olan köşelerde toplandıkları varsayılmaktadır.

$\beta_2(t)$, pas payı ve enkesite bağlıdır. Yapılan sayısal işlemler neticesinde, en kesit etkisinin, pas payının etkisiyle mukayese edildiğinde, daha küçük olduğu görülmüş ve bu nedenle ihmal edilmiştir. 300x300 mm² boyutundaki kolonlar ve 15 ila 60 mm arasında değişen pas payı değerleri için $\beta_2(t)$ nin değişimi Şekil 6.1 de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 – Pas payının farklı değerleri için $\beta_2(t)$ faktörünün değişimi

$\beta_2(t)$ 'nin şematik bir gösterimi Şekil 6.2 de "a" eğrisiyle verilmiştir. Bu eğri $P_1(t_1, 1)$ ve $P_2(t_2, 0.1)$ noktalarıyla belirlenmektedir. $N_{ps}(t)$ 'nin $N_p(t)$ 'ye katkısı, $N_{pc}(t)$ 'nin katkısının yanında, gözle görülür şekilde daha az önemli olduğundan, güvenli tarafta bulunan $\beta_2(t)$ için daha basit bir ifade (b eğrisi) kullanılabilir. Bu durumda, $\beta_2(t)$, sadece t_2 'nin bir fonksiyonu olup, zaten kendisi pas payı c 'nin bir fonksiyonudur. Burada, t_2 ve t saat, c de mm cinsinden olmak üzere;

$$\beta_2(t) = 1 - \frac{0.9t}{t_2} > 0 \quad \beta_2(t) = 1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111} > 0 \quad (14)$$

Formül, özellikle beton dökülmesi etkisini dikkate alacak şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır. Hemen hemen bütün kolonlarda $R_f > 30$ dk elde edilebilir, fakat bu ilk yarım saatlık sürede, kolonların çoğunun, etkin kesit daralmasına yol açan, beton dökülmesinden etkileneceği açıktır.

Deneyisel sonuçların karşılaştırılmasından, 0.85'lik bir azaltma faktörünün uygulanması gerektiği görülmektedir. Betonun aniden parçalanarak dökülmesi, sıfır ile otuzuncu dakikalar arasında görülmektedir, fakat tam olarak hangi noktada olacağını kestirmek imkânsızdır. O nedenle, etkin kesit bölümünün ilk yarım saat süresince devamlı olarak daraldığı düşünülmektedir.

Merkezi yüklü kısa kolonlarda göçme yükünü veren $N_{u1}(t)$ bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılabilir;

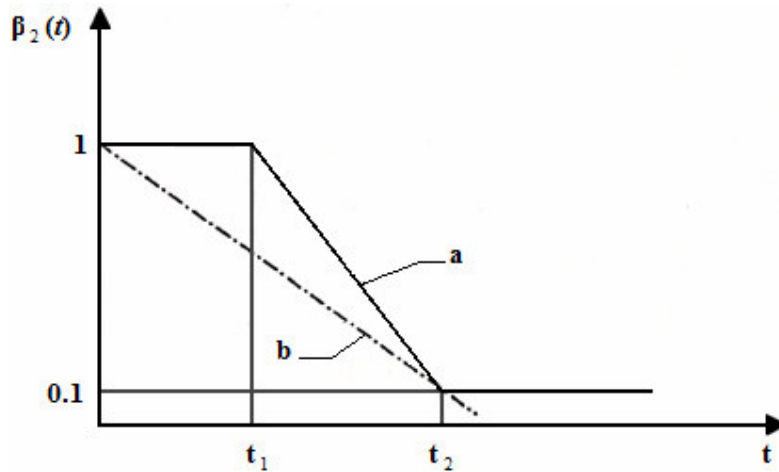
$$N_{u1}(t) = \gamma(t) \cdot N_p(t)$$

$$\gamma(t) = 1 - 0.3t \quad t < 0.5 \text{ saat}$$

(15)

$$\gamma(t) = 0.85 \quad t > 0.5 \text{ saat}$$

Beton dökülmesinin, donatı ısısındaki artışa etkileri sonraki aşamalarda dikkate alınacaktır.



Şekil 6.2 - $\beta_2(t)$ nin şematik temsili

6.1.1.2 Merkezi Yüklü Narin Kolonlarda Nihai Yük

Kolon uzunluğu arttıkça, burkulma söz konusu olur. Göçme, artık beton ezilmesinden değildir ve merkezi yüklü kolonlardaki özel şartlarda nihai yük, burkulma yükü olur. Aşağıdaki bağıntı nihai yükü vermektedir;

$$N_u = \chi(\lambda) \cdot N_p \quad (16)$$

Burada;

χ : Burkulma azaltma çarpanı
 λ : Narinlik oranı

dır. Yüksek ısıda Denklem (16)'nın hala geçerli olduğu, fakat burkulma katsayısının, olağan sıcaklıktaki değerinden farklı olması gerektiği düşünülmüştür. Aslında, etkin rijitliğin sürekli azalmasından dolayı, burkulma etkisi daha çok önemli olmaktadır. Yüksek ısıda Denklem (16) şu hale gelmektedir;

$$N_{u2}(t) = \chi(\lambda) \cdot N_{u1}(t) \quad (17)$$

Burada $N_{u2}(t)$: Merkezi yüklü narin kolonlar için göçme yüküdür.

Sayısal işlemler yapılarak ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir;

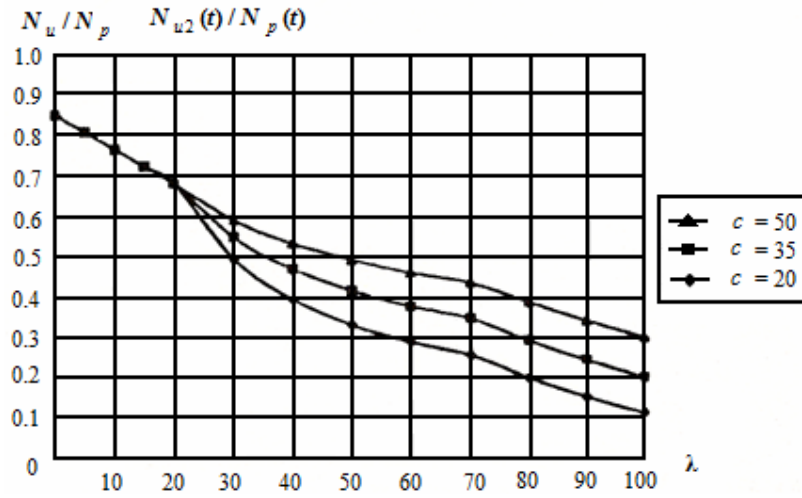
$$\begin{aligned} \chi(\lambda) &= 1 - \frac{\lambda}{100} & \lambda \leq 20, \\ \chi(\lambda) &= 0.80 \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5} & 20 < \lambda \leq 70, \\ \chi(\lambda) &= 0.80 \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{\lambda}{70} \right) \left(\frac{225-c}{200} \right)^5} & \lambda > 70 \end{aligned} \quad (18)$$

Burada c 'nin birimi mm dir.

Yüksek sıcaklıklarda, $R_f > 30$ dk her zaman elde edilebilmektedir ve Denklem (15) te tarif edilen γ katsayısı 0.85' e eşit olur. Bu nedenle, 0.85 katsayısını dâhil ederek

N_u / N_p karşılaştırması yapmak daha isabetli olacaktır. Şekil 6.3 pas payının farklı değerleri için N_u / N_p oranının değişimini göstermektedir.

Görülebileceği gibi, Denklem (18) deki ifadelerde, pas payının etkisi dikkate alınmaktadır. Bu etki fiziksel olarak açıklanabilmektedir. Çeşitli kusurlar nedeniyle, kolonun yanal dönme yaptığı görülmüştür. Özellikle elemanın merkezi kısımlarında çatlaklar belirlenmiş ve bu çatlakların giderek büyüdüğü gözlenmiştir. Çatlamış bölgedeki çekmeye çalışan donatılar, donatı ısısını kontrol eden pas payının, yüksek sıcaklıklardaki önemini açıklamaktadır.



Şekil 6.3 – Pas payının farklı değerleri için N_u / N_p 'nin değişimini

6.1.1.3 Eksantrik Yüklü Kolonlarda Nihai Yük

Bu problem, olağan ısıda yapılmış hemen hemen hiçbir analitik formülasyon bulunamadığı için daha karmaşıktır.

Bu bölümde izlenen yol, etkileşim formülleri mevcut olan, olağan ısıdaki çelik kolonlar için yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Uyarlama (Adaptasyon) ve ölçümleme (kalibrasyon), daha sonra yüksek ısıdaki beton kolonlar üzerinde yapılan deney sonuçları ile iyi bir uyum sağlamak üzere gerçekleştirilecektir.

Birleşik eğilme ve eksenel basınca maruz elemanların aşağıdaki bağıntıyı sağlaması gerekir ki burada eğilmenin sadece bir yönü hesaba katılmaktadır ve yanal burulma burkulmasıyla (lateral torsional buckling) ilgili değildir.

$$\frac{N}{\chi \cdot N_p} + \frac{kM}{M_p} < 1 \quad (19)$$

N_p : Plastik eksenel yük,
 M_p : Plastik moment
 $\chi \cdot N_p$: Merkezi yüklü aynı kolon için nihai yük

Limit durumda bu bağıntı;

$$\frac{N_u^*}{N_u} + \frac{kM_u^*}{M_p} = 1 \quad (20)$$

Burada N_u^* , M_u^* : sırasıyla limit durumdaki merkezi yüklü kolon için, eksenel yük ve eğilme momenti; k , lineer olmayan büyütme terimidir.

Limit durumu ve göçme durumunda akmanın devam ettiğini dikkate alarak, bu formül şöyle yazılabilir;

$$\frac{N_u^*}{N_u} + \frac{K_M}{1 - (N_u^* / N_E)(N_u / N_p)} \frac{M_{u, equ}^*}{M_p} = 1 \quad (21)$$

Burada;

$$N_E : \text{Euler kritik yükü} = \frac{\pi^2 EI}{l_{fl}^2}$$

$$M_{u, equ}^* : (0.6 + 0.4 M_1 / M_2) \text{ olarak verilen eşdeğer moment}$$

M_1 ve M_2 kolon uçlarındaki momentlerdir ve $M_{\max}$, M_1 ve M_2 'den büyük olanın değeridir.

K_M : Göçme durumunda akmanın devam ettiğini hesaba katan düzeltme katsayısıdır.

Denklem (20) ve Denklem (21) karşılaştırıldığında;

$$kM_u^* = \frac{K_M \cdot M_{u, equ}^*}{1 - (N_u^* / N_E)(N_u / N_p)} \quad (22)$$

olur. Eksantrik yüklü kolonlardaki burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ 'yı belirleyerek, aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$N_u^* = \eta(\lambda) \cdot N_p \quad (23)$$

$$N_p / N_E = \chi(\lambda) \cdot \bar{\lambda}^2$$

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_E \text{ yoluyla}$$

$$\lambda_E : \text{Euler narinlik oranı} = \pi (E / f_y)^{1/2}$$

$$M_{u, equ}^* = N_u^* \cdot e_{equ} = N_u^* \cdot e$$

K_M , 1'e yakın olduğundan, yaklaşık 1 olarak kabul edilecektir.

Bu durumda Denklem (21) aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{\eta(\lambda)}{\chi(\lambda)} \left[1 + \frac{\chi(\lambda) \cdot N_p \cdot e}{1 - \eta(\lambda) \cdot \chi(\lambda) \cdot \bar{\lambda}^2 \cdot M_p} \right] = 1 \quad (24)$$

Öyleyse;

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{e \cdot N_p}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - \eta(\lambda) \cdot \bar{\lambda}^2 \cdot M_p}} \quad (25)$$

olur ki burada lineer olmayan büyütme terimi net olarak görülür.

Bu formül, yüksek ısıdaki beton yapılara, doğrudan uygulanamaz. O zaman, formül şu şekilde yazılabilir:

$$N_{u3}(t) = \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \quad (25a)$$

Yüksek ısıdaki beton yapılarda $\eta(\lambda)$ 'yı elde etmek için, aşağıdaki dönüşümler yapılmıştır;

- Dikdörtgen kesitlerin plastik momenti M_p 'yi ve plastik eksenel yükü N_p 'yi inceleyerek;

$$M_p / N_p = h / k_1 \quad (26)$$

h : kesitin küçük boyutu olmak üzere; $k_1 = 10$ 'dur.

Diğer taraftan;

$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_E$ olunca $\lambda_E = \pi(E / f_c)^{1/2}$, sıradan bir beton için 100'e yakındır. Bu bakımdan, $k_2 = 10^{-4}$ olmak üzere;

$$\bar{\lambda}^2 = k_2 \cdot \lambda^2 \quad \text{olarak düşünülmüştür.} \quad (27)$$

- Büyütme teriminin doğrusal olmayışından kaynaklanan problemten kaçınmak amacıyla, tüm kolonlar için $\eta(\lambda)$ hesaplanmıştır ve ortalama değeri (0.3) olarak belirlenmiştir. Sonra, sağ taraftaki $\eta(\lambda)$ değeri, devamlı bir değer olan $k_3 = 0.3$ ile değiştirilmiştir.

Yapılan bu dönüşümler sonucunda denklem (25) şöyle yazılabilir:

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{10 \cdot e / h}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} \quad (28)$$

Sonuç olarak esas formül;

$$N_u(t) = N_{u3}(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \quad (29)$$

olarak düzenlenmiştir. Burada;

$$N_p(t) = \beta_1(t) \cdot A_c \cdot f_c + \beta_2(t) \cdot A_s \cdot f_y \quad \text{dir.} \quad (30)$$

$N_u(t) = N_{u3}(t)$: Eksantrik yüklü kolonlar için nihai yük,

- e : Yük eksantrisitesi (mm),
- h : Enkesitin küçük olan boyutu (mm),
- λ : Narinlik oranı,
- c : Pas payı (mm),
- A_c : Beton alanı (m^2),
- A_s : Çelik alanı (m^2),
- f_c : Beton basınç dayanımı (N/mm^2),
- f_y : Çelik akma dayanımı (N/mm^2),

t : Yangına dayanma süresi (saat).

dir. Bu araştırmada f_{cm} ve f_{ym} ortalama değerleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak dikkate alınmıştır. Tasarım amacıyla Eurocode'da da önerildiği gibi f_{ck} ve f_{yk} karakteristik değerleri esas alınmıştır.

6.1.1.4 Modelin Sınırlamaları

Bu yöntemde çıkarılan formülün sınırlamaları aşağıda gösterilmektedir:

- ✗ Sadece ISO834, ASTM E119 ve ULC S101 standart ısı-zaman eğrilerine uygun kolonlar için dikkate alınabilir.
- ✗ $\Lambda \leq 100$ olmalıdır.
- ✗ $0.04 \text{ m}^2 \leq A_c \leq 0.2 \text{ m}^2$ olmalıdır.
- ✗ $h / b \geq 1/2$ ($h < b$ için)
- ✗ $20 \text{ mm} \leq c \leq 50 \text{ mm}$
- ✗ $e \leq h / 2$
- ✗ Kolon merkezi yüklü olsa bile $e = 10 \text{ mm}$ kabul edilmelidir

6.2. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonlar için Etkileşim Formülü (2.Yöntem)

Burada BA kolonların yangın ortamında, yangına dayanıklılığını belirlemek için Bölüm 2.1.3. de bahsedilen basit bir yöntem önerilmektedir. Burada verilen tasarım formülü, BA kolonların, artan ısı karşısında, elastik burkulma ve plastik ezilme kapasitelerinin etkileşimini esas almaktadır. Bu yöntem, tasarım yangın ısı-sı - zaman eğrisinden, oldukça düzensiz ısınmış kolon kesitine ısı transferi işlemi hesaba katan parametreleri birleştirmektedir. Formül, hem eksenel yüklü ve hem de eksantrik yüklü BA kolonlara uygulanabilmektedir. Ayrıca hem kolonun belli bir yangın eğrisi için taşıma kapasitesinin, hem de sabit bir yük uygulandığı varsayılarak yangına maruz kalma süresinin tahmininde kullanılabilmektedir.

Yangının BA kolonlar üzerinde çeşitli zararlı etkileri bulunmaktadır.

- Malzeme özelliklerinde bozulma, yani malzemenin, mukavemet ve rijitliğinin azalması,
- Elemanın kesitlerinde, düzensiz ısı ve gerilme dağılımı,
- Betonun parçalanarak dökülmesi ki beton ve donatıdaki ısı dağılımını değiştirmektedir,
- Termal genleşme ve termal gradyen (değişim) nedeniyle tetiklenen mekanik gerilmeler.

Etkileşim formülü, birinci ve üçüncü maddelerde bahsedilen yangın etkilerini içermektedir. Ancak, dördüncü maddedeki termal etkiler dikkate alınmamıştır. Ayrıca, çarpıklık gibi diğer ikincil etkiler, pratikte, çoğu BA kolonların genellikle kısa ve rijit yapılı olmalarından dolayı, ihmal edilmiştir. Genel olarak, normal mukavemetteki beton için, $L_e / D \leq 14$ olduğuna göre, (burada L_e , kolonun etkin boyu, D de eğilme eksenine dik olan kesit boyutudur) yük eksantrisitesi “e” dışındaki ikincil etkiler, ihmal edilebilir. BA kolonların, yangına dayanıklılığının tahminindeki olası yanlışlığın başlıca sebebi, genellikle, betonun ısı dağılımı ve parçalanmasının tespitindeki belirsizliklerdir. Bu nedenle, bu birleşik etkiler bir yere kadar diğer ikincil etkileri etkisiz duruma getirmekte veya gizlemektedir. Dolayısıyla, diğerlerine göre daha narin kolonlarda bile, önemli hatalara yol açmadan, ikincil etkiler hala ihmal edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Rankine Formülünden hareketle BA kolonların yangına dayanımını veren bir etkileşim bağıntısının çıkarılmasına çalışılmıştır. Aşağıda, Rankine Formülü, eksenel ve eksantrik yüklü BA kolonlar olmak üzere iki alt başlık altında düzenlenmiştir.

6.2.1. Yangın Ortamında Eksenel Yüklü BA Kolonlar

Eksenel yüklü betonarme kolonların yangına dayanıklılığı;

$$\frac{1}{P_{Rr}(t)} = \frac{1}{u_{pr}P_p(t)} + \frac{1}{u_{er}P_e(t)} \text{ den hesaplanabilir.} \quad (31a)$$

Burada; $P_{Rr}(t)$, ideal olmayan kolonlar için, azaltılmış Rankine yüküdür. u_{pr} ve u_{er} , ayrı ayrı plastik ve elastik kritik yük azaltma faktörüdür; u_{er} , tipik olarak 1’e eşittir. Bu iki faktör, narinlik oranından kaynaklanan ikincil etkilerden çok, yük eksantrisitesini veya uygulanan momenti ayarlamak için kullanılmaktadır.

$$\frac{1}{P_R(t)} = \frac{1}{u_{pr}P_p(t)} + \frac{1}{P_e(t)} \quad (31b)$$

Aynı zamanda, yöntemin, düzeltilmiş burkulma katsayısı $N_r(t)$ bakımından da formüle etmenin yerinde olacağı düşünülmüştür. Bu Rankine Yüğü, $P_{Rr}(t)$ ’nin (veya uygulanan yük P), plastik göçme yükü $P_{pr}(t)$ ’ye oranıyla elde edilebilmektedir.

$$N_r(t) = \frac{P_{Rr}(t)}{P_{pr}(t)} = \frac{P}{P_{pr}(t)} \quad (32)$$

Bir kolonun, plastik ezilme yükünden daha büyük bir yükü taşıması mümkün olmayacağından, $N_r(t)$, 1'den küçük olacaktır. Ayrıca, normalleştirilmiş narinlik oranını $\Lambda_r(t)$ olarak aşağıdaki gibi tanımlamak kolaydır.

$$\Lambda_r(t) = \sqrt{\frac{P_{pr}(t)}{P_{er}(t)}} \therefore \Lambda_r(t) = \sqrt{\frac{u_{pr}}{u_{er}}} \cdot \Lambda(t) \quad (33)$$

Betonarme kolonların pratik değerleri içinde, $\Lambda_r(t)$ terimi, 0.5'in altına düşmektedir. Bu durum, betonarme kolonlardaki ikincil etkilerin, çelik kolonlara göre, neden önemsiz olduğunu açıklamaktadır.

Denklem (31)'in, her iki tarafı $P_{pr}(t)$ ile çarpılırsa;

$$\frac{P_{pr}(t)}{P_{Rr}(t)} = \frac{P_{pr}(t)}{P_{pr}(t)} + \frac{P_{pr}(t)}{P_{er}(t)} = 1 + \Lambda_r^2(t) \quad \Rightarrow \quad \therefore N_r(t) = \frac{1}{1 + \Lambda_r^2(t)} \quad (34)$$

Denklem (34), hem eksenel hem de eksantrik yüklü olmak üzere, iki tür betonarme kolonun burkulma eğrisini belirtmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, hem burkulma katsayısı $N_r(t)$, hem de normalleştirilmiş narinlik oranı $\Lambda_r(t)$ nin ısıya maruz kalma süresi olan t 'ye bağlı olmasıdır. Çünkü hem plastik göçme yükü $P_{pr}(t)$ ve hem de elastik kritik yük $P_{er}(t)$, zamanla monotonik olarak azalır.

Yöntemi daha da basitleştirmek için, $P_{pr}(t)$ ve $P_{er}(t)$ 'yi ortam sıcaklığında, $P_{pr}(0)$ ve $P_{er}(0)$ şeklinde kendi değerlerinde ifade etmek uygun olacaktır.

$$P_{pr}(t) = \phi_p(t) P_{pr}(0) \quad (35a)$$

ve

$$P_{er}(t) = \phi_e(t) P_{er}(0) \quad (35b)$$

Burada ϕ_p ve ϕ_e , sırasıyla malzemenin akma dayanımı ve elastisite modülündeki bozulmayı hesaba katan, elastik kritik yük ve plastik göçme yükünün azaltma

faktörleridir. Aynı yolla, düzeltilmiş burkulma katsayısı $N_r(t)$ ve normalleştirilmiş narinlik oranı $\Lambda_r(t)$ için, tek tek, ortam ısısı veya $t = 0$ olmak üzere elde edilebilir.

Denklem (32) ve (33) ten;

$$N_r(t) = N_r(0) / \phi_p(t) \quad (36a)$$

$$\Lambda_r^2(t) = [\phi_p(t) / \phi_e(t)] \cdot \Lambda_r^2(0) \quad (36b)$$

Böylece, Denklem (34) şu şekilde ifade edilebilir;

$$N_r(0) = \frac{\phi_p(t)}{1 + \frac{\phi_p(t)}{\phi_e(t)} \cdot \Lambda_r^2(0)} \quad (37a)$$

Burada;

$$N_r(0) = \frac{P}{P_{pr}(0)} = \frac{P}{u_{pr} P_p(0)} = \frac{N(0)}{u_{pr}} \quad (37b)$$

ve;

$$\Lambda_r(0) = \sqrt{\frac{P_{pr}(0)}{P_{er}(0)}} = \sqrt{\frac{u_{pr} P_p(0)}{u_{er} P_e(0)}} = \sqrt{\frac{u_{pr}}{u_{er}}} \cdot \Lambda(0) \quad (37c)$$

Burada, sadece eksenel yük bakımından u_{pr} ve u_{er} , toplam 1'e eşittir.

Denklem (37a), Rankine Formülü'nün en kullanışlı olanıdır. Genel olarak, ϕ_p ve ϕ_e azaltma faktörleri, ısıya maruz kalma süresi olan t 'nin fonksiyonudurlar. t 'nin bir fonksiyonu olan Denklem (34) 'e bağlı kalmaktansa, ortam ısısındaki Denklem (37a)'dan yararlanılabilir. Böylece, verilen bir kolon için, $N_r(0)$ ve $\Lambda_r(0)$ 'ın büyüklüğü, ortam ısısında basit bir yapısal analiz uygulamak suretiyle tahmin edilebilir. O zaman, sıcaklığa en uzun maruz kalma süresi, grafiksel olarak veya bir deneme yanılma yöntemiyle belirlenebilecektir.

Literatürde, $\phi_e(t) = [\phi_p(t)]^a$ dır ve a ; 1 ile 2 arasında bir sayıdır. Bu çalışmada, $a = 1$ alınmıştır. K.H. Tan ve C.Y. Tang tarafından yapılan işlemler sonucunda,

$\phi_e(t) = \phi_p(t)$ olduğunu kabul etmenin pek yanlış sayılmayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, daha da ileri giderek, Denklem (37a) şu şekilde basitleştirilmiştir;

$$N_r(0) = \frac{\phi_p(t)}{1 + \Lambda_r^2(0)} \quad (37d)$$

Ortam ısısındaki plastik göçme yükü $P_p(0)$ ve elastik kritik yük $P_e(0)$, aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 0.85 f'_c(0) A_c + f_{yr}(0) A_{sr} \quad (38)$$

ve;

$$P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 E_c(0) I_c + E_{sr} I_{sr}]}{L_e^2} \quad (39)$$

Burada $Q_c(0)$ ve $Q_{yr}(0)$ sırasıyla, beton ve donatının, plastik ezilme yükü $P_p(0)$ 'a katılımıdır. $f'_c(0)$ ve $E_c(0)$, sırasıyla, betonun silindir dayanımı ve elastisite modülüdür. $f_{yr}(0)$ ve $E_{sr}(0)$, sırasıyla donatının akma dayanımı ve elastisite modülüdür. A_c ve A_{sr} , sırasıyla, beton ve donatı alanıdır ve I_c ve I_{sr} , sırasıyla, beton ve donatının ağırlık merkezine göre atalet momentleridir.

Diğer taraftan, yüksek ısıda, ısıнын düzensiz olmasından dolayı, plastik göçme yükü, aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

$$P_p(t) = \int 0.85 f'_c(t) dA_c + \sum f_{yr}(t) A_{sr} \quad (40)$$

ve;

$$P_p(t) = \beta_c(t) \cdot Q_c(0) + \beta_{yr}(t) \cdot Q_{yr}(0) \quad (41)$$

Burada;

$$\beta_c(t) = \frac{\int f'_c(t) \cdot d \cdot A_c}{f'_c(0) \cdot A_c} \quad (42)$$

ve;

$$\beta_{yr}(t) = \frac{\sum f_{yr}(t) \cdot A_{sr}}{f_{yr}(0) \cdot A_{sr}} \quad (43)$$

$\beta_c(t)$ ve $\beta_{yr}(t)$ için, K.H.Tan ve C.Y. Tang, Dotreppe, Franssen ve Vanderzeypen tarafından çıkarılan aşağıdaki formülü kullanmayı önermişlerdir:

$$\beta_c(t) = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \quad (44)$$

$$\beta_{yr}(t) = \gamma(t) \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.11} \right) \geq 0 \quad (45)$$

Burada t , saat cinsinden, yangına maruz kalma süresidir. A_c , m^2 cinsinden kesit alanı, c , mm cinsinden pas payını ifade etmektedir.

Denklem (44) ve (45) teki $\gamma(t)$ faktörü, betonun olası parçalanmasını hesaba katmaktadır ve aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\gamma(t) = 1 - 0.3t \geq 0.85 \quad (46)$$

Denklem (44) ve (46) nın sadece aşağıdaki şartları sağlayan BA kolonlara uygulanabileceğinin dikkate alınması gereklidir:

- Silisli agregalı betonu olan kolonlar,
- ISO834 yangınına maruz kolonlar,
- Dikdörtgen kesit olmak üzere $b/h < 2$ olan kolonlar (burada b ve h , sırasıyla kolon kesitinin genişlik ve yüksekliğini ifade etmektedir).

İlk iki şarttaki kısıtlamalar aşağıdaki uygulamalarla yok edilebilir;

- ✓ Agregat tipini (silisli veya karbonlu), hesaba katmak için, bir α_{agg} düzeltme faktörü ortaya konulur. Agregat tipinin etkisi konusunda yapılmış çalışmalarda, karbonlu agregaya sahip beton kolonların, karbonun daha yüksek ısı kapasitesinden dolayı, silisli agregaya sahip beton kolonlardan yaklaşık olarak %10 daha fazla yangına dayanıklı olduğu görülmüştür.
- ✓ ASTM-E119 gibi diğer benzer standart yangın eğrisini açıklamak için yangına maruz kalma süresi t ye düzeltme faktörü α_{ISO} uygulanmaktadır.

Buradan, Denklem (44) ve (46), sadece t yerine t_e getirilerek değiştirilebilir, bu da,

$$t_e = \alpha_{agg} \cdot \alpha_{ISO} t \quad (47)$$

Burada;

α_{agg} : Silisli agregâ için 1.0, karbonatlı agregâ için 0.9'dur,
 α_{ISO} : ISO834 yangını için 1.0 ve ASTM-E119 yangını için 0.85'tir.

Denklem (35a), (38) ve (41) birleştirilirse;

$$\phi_p(t) = w_c \beta_c(t) + w_{yr} \beta_{yr}(t) \quad (48a)$$

olur. Burada;

$$w_c = \frac{Q_c(0)}{P_p(0)} \quad (48b)$$

ve

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}(0)}{P_p(0)} = 1 - w_c \quad (48c)$$

Denklem (48)'in her iki tarafını da $1 + \Lambda_r^2(0)$ ile bölerek ve Denklem (37d)'yi kullanarak, ortam ısısındaki BA kolonların, düzeltilmiş burkulma katsayısı şöyle ifade edilebilir;

$$N_r(0) = \frac{w_c}{1 + \Lambda_r^2(0)} \beta_c(t) + \frac{w_{yr}}{1 + \Lambda_r^2(0)} \beta_{yr}(t) \quad (49)$$

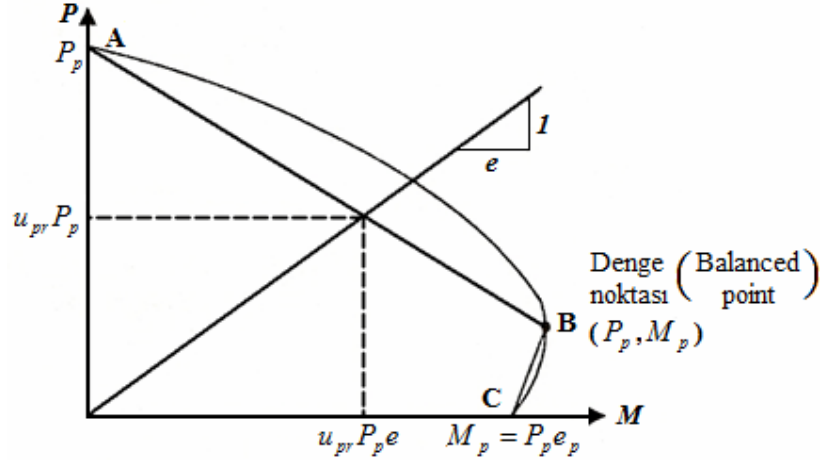
6.2.2. Yangın Ortamında Eksantrik Yüklü BA Kolonlar

Denklem (49) aynı zamanda, Denklem (37b) ve (37c) deki, $N_r(0)$ düzeltilmiş burkulma katsayısı ve $\Lambda_r(0)$ normalleştirilmiş narinlik oranının hesabında göz önüne alınan u_{pr} plastik yük azaltma faktörü hariç tutulursa, yangın ortamında eksantrik yüklü BA kolonlara da uygulanabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken, Denklem (37c)'deki u_{er} teriminin, BA kolonların $\Lambda_r \leq 0.5$ düzeltilmiş narinlik oranıyla, nispeten kısa ve rijit yapılı olmalarından dolayı 1'e eşit kabul edilmesi ve yangına dayanıklılığın tahminindeki başlıca

belirsizliğin, elastik kritik yükün tahmininden çok betonun parçalanarak dökülmesinden kaynaklandığıdır.

Şekil 6.4, bir kolon enkesitindeki eksenel yük P ve eğilme momenti M arasındaki etkileşim diyagramını göstermektedir.



Şekil 6.4 – Kolon etkileşim diyagramı

Genel olarak bir etkileşim diyagramı ABC eğrisiyle gösterilir ki burada, A noktası, nihai eksenel basınç yükü P_p , B noktası, dengeli göçmeyi, C noktası ise nihai eğilme momenti kapasitesi M_p 'yi gösterir. Dengeli göçme noktası B, etkileşim diyagramını iki bölgeye ayırmaktadır; basınç göçme bölgesi (AB bölümü), çekme göçme bölgesi (BC bölümü). B noktası, dengeli göçme modu; yani en dıştaki beton lifinin kopma şekil değiştirmesi ϵ_u 'ya ve kolonun uzak tarafındaki çekme çeliğinin akma şekil değiştirmesi ϵ_{yr} 'ye aynı anda ulaştığı durum veya diğer bir deyişle betonun ezilmesi ile çeliğin akmasının aynı anda meydana geldiği durumu göstermektedir. Kolon bu noktada dengeli göçme yapacaktır. Kolondaki dengeli yük, eğilme momenti ve eksantisite sırasıyla, P_b , M_b ve e_b olarak ifade edilmektedir ki burada b harfi dengeli durumu göstermektedir.(Şekil 6.5). Hesabı basitleştirmek için, diyagramın AB ve BC gibi iki doğrusal çizgiden oluştuğu varsayılmıştır. Böyle bir varsayımın, bir bakıma ölçülü olacağı düşünülmüştür. Yangın şartlarında, artan ısı nedeniyle, elastik burkulma yükü P_e ve plastik ezilme yükü P_p değerlerinin azaldığı görülmüştür. Yani $P - M$ etkileşim diyagramı, ısının artmasıyla daralmaktadır. Fakat deneysel çalışmalarla yapılan sayısal karşılaştırma, $P - M$ etkileşim diyagramının artan ısı sonucu değişme göstermesine rağmen, bu varsayımın, hala geçerli olduğunu

göstermektedir. İzleyen paragraflarda, A,B ve C noktaları, kolon etkileşim diyagramından u_{pr} ifadesinin çıkarılmasıyla açıklanacaktır.

A noktası, P_p nihai eksenel basınç yükünü göstermektedir;

$$P_p = 0.85f'_c b h + f_{yr} \rho b h \quad (50)$$

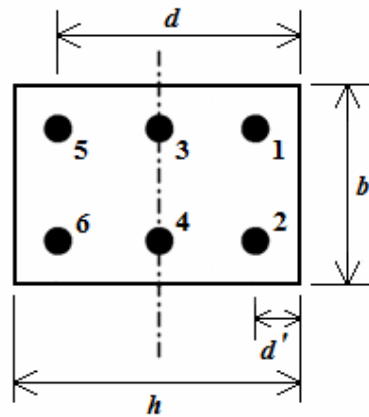
Burada ρ donatı oranıdır. Diğer taraftan, C noktası, eksenel yükün olmadığı durumda ($P_p = 0$), nihai moment kapasitesi M_p 'yi göstermektedir.

$$M_p = \rho_t f_{yr} b d^2 \left(1 - 0.59 \frac{\rho_t f_{yr}}{f'_c} \right) \quad (51a)$$

Burada ρ_t , çekme donatısı oranıdır ve simetrik olarak donatılmış kolonlar içindir;

$$\rho_t = \frac{\alpha_p A_s}{2bd} = \frac{\alpha_p \rho}{2} \cdot \frac{h}{d} \quad (51b)$$

Burada d , etkin derinlik ve α_p , eğilme momentine direnç gösteren donatının etkinliğini hesaba katan bir hesap faktörüdür. Örnek olarak Şekil 6.5'e bakılırsa, burada, eğilme momenti alan simetrik donatıya sahip dikdörtgen bir BA kolon gösterilmektedir.



Şekil 6.5 - α_p 'nin bir gösterimi

Tarafsız ekseninde bulunan iki donatının (3 ve 4 nolu donatılar), momenti almada katkısı yoktur. Bu durumda $\alpha_p = 4/6 = 0.67$ olarak hesaplanır. Bu suretle, M_p / P_p oranı şu şekilde ifade edilebilir;

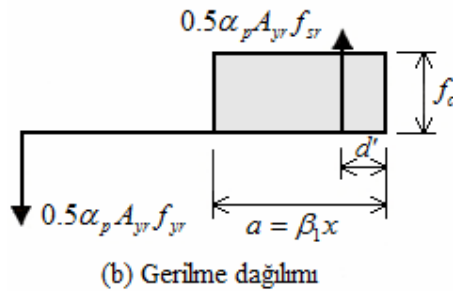
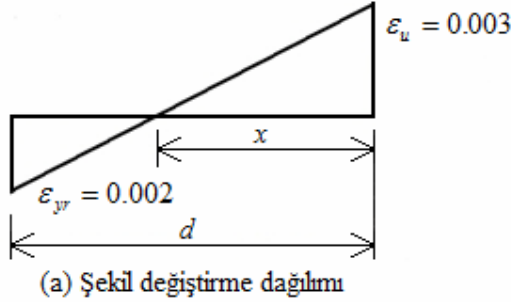
$$e_p = \frac{M_p}{P_p} = h \cdot \frac{0.5\alpha_p w \left(\frac{d}{h} - 0.25\alpha_p w \right)}{1 + w} \quad (52)$$

Burada;

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 f_c'} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \quad (53)$$

Aynı şekilde, dengeli göçme noktası B de belirlenebilir. Şekil 6.6, bir kolon enkesitindeki gerilme-şekil değiştirme dağılımını göstermektedir.

Donatının akma şekil değiştirmesi ε_{yr} , 0.002 olarak düşünülürken, betonun göçme şekil değiştirmesi ε_u , 0.003 olarak alınmıştır. Şekil 6.6(a)'daki benzer üçgenden;



Şekil 6.6 – Dengeli göçme modu

$$\frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_{yr}} = 0.6 \quad \text{bulunur.}$$

Burada x , tarafsız eksenden basınç ucuna olan mesafedir. Bu durumda, basınç bölgesindeki donatının şekil değiştirmesi ε_{sr} , aşağıdaki denklemden elde edilir:

$$\varepsilon_{sr} = \varepsilon_u \cdot \frac{x - d'}{x} = 0.003 \cdot \frac{0.6d - d'}{0.6d} \leq 0.002 \quad (53a)$$

Burada, d' , basınç donatısının, kolon enkesitinin basınç ucuna olan mesafesidir. Şekil 6.6(b). Böylece, $d' / d \leq 0.2$ olduğunda, basınç donatısı akacaktır. Şekil 6.5'te, 1 ve 2 nolu çubuklarda görüldüğü gibi, dış kısımlara yerleştirilen donatılar için, genel olarak, daha önce bahsedilen şartlar yerine getirilir ve böylece basınç donatısının akması belirlenir. İç kısımlara yerleştirilmiş donatılarda akma meydana gelmeyebilir.

Ancak bu kısmi akma etkisi, α_ρ azaltma faktörü tarafından dikkate alınır. Şekil 6.6(b)'den;

$$M_b = 0.85 f_c' ab \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + 0.5 \alpha_\rho A_{yr} f_{sr} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + 0.5 \alpha_\rho A_{yr} f_{yr} \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

ve

$$P_b = 0.85 f_c' ab + 0.5 \alpha_\rho A_{yr} f_{sr} - 0.5 \alpha_\rho A_{yr} f_{yr}$$

Burada a , betonun basınç gerilme bloğunun derinliğini (Şekil 6.6(b)), f_{sr} , basınç donatılarındaki gerilmeyi göstermektedir.

Çekme ve basınç için aynı donatı alanları dikkate alınarak, $f_{sr} = f_{yr}$, M_b ve P_b ifadeleri büyük ölçüde basitleştirilebilmektedir;

$$M_b = 0.85 f_c' ab \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + 0.5 \alpha_\rho A_{yr} f_{yr} (d - d')$$

$$P_b = 0.85 f_c' ab$$

Burada;

$$a = \beta_1 x = \left(1.05 - \frac{f_c'}{128} \right) x$$

olup normal mukavemetteki beton için β_1 faktörü yaklaşık olarak 0.85'tir.

Böylece;

$$a \approx 0.85 \times 0.6d = 0.5d$$

$$\therefore M_b = 0.425 f_c' b d \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{4} \right) + \alpha_\rho A_{yr} f_{yr} \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

ve;

$$P_b = 0.425 f_c' b d \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \therefore e_b &= \frac{M_b}{P_b} = \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{4} \right) + \frac{\alpha_\rho \rho b h f_{yr} \left(d - \frac{h}{2} \right)}{0.425 f_c' b d} \\ \therefore e_b &= h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2\alpha_\rho w \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \end{aligned} \quad (55)$$

Eğilme momenti M_b ;

$$M_b = P_b \cdot e_b. \quad (56)$$

ile hesaplanabilir. Şekil 6.4'teki iki doğrultulu etkileşim diyagramı tamamen A,B ve C noktaları belirlendikten sonra tanımlanmıştır. Bu durumda, plastik yük azaltma faktörü, etkileşim diyagramından bulunabilir. $e < e_b$ (BC bölümü, çekme göçmesi) olması hali düşünülürse Şekil 6.4'ten;

$$\frac{P_p - u_{pr} P_p}{P_p - P_b} = \frac{u_{pr} P_p e}{P_b e_b} \quad (57a)$$

$$\therefore u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b - 1} \right) \frac{e}{e_b}} \quad e < e_b \text{ için}$$

$e \geq e_b$ (AB bölümü, basınç göçmesi) için;

$$\frac{u_{pr} P_p}{P_b} = \frac{u_{pr} P_p e - P_p e_p}{P_p e_b - P_p e_p} \quad (57b)$$

$$\therefore u_{pr} = \frac{1}{\frac{P_p}{P_b} + \frac{e - e_b}{e_p}} \quad e \geq e_b \text{ için}$$

Önceki görüşler, dikdörtgen kesitlerle sınırlı olmakla birlikte, en az bir simetri eksenine olduğu sürece, dairesel ya da düzensiz kesitler için de aynı prensiplerin kullanıldığı kayda değerdir. Dairesel kolonlarda, eksenel yük ve eğilme momenti için etkileşim diyagramı genellikle çizelge ve grafik yardımıyla çıkarılır. e_x ve e_y sırasıyla büyük ve küçük eğilme eksenleri yaklaşık eksantrisiteleri olmak üzere, iki eksenli eğilmedeki kolonlar için plastik azaltma faktörü u_{pr} , aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir;

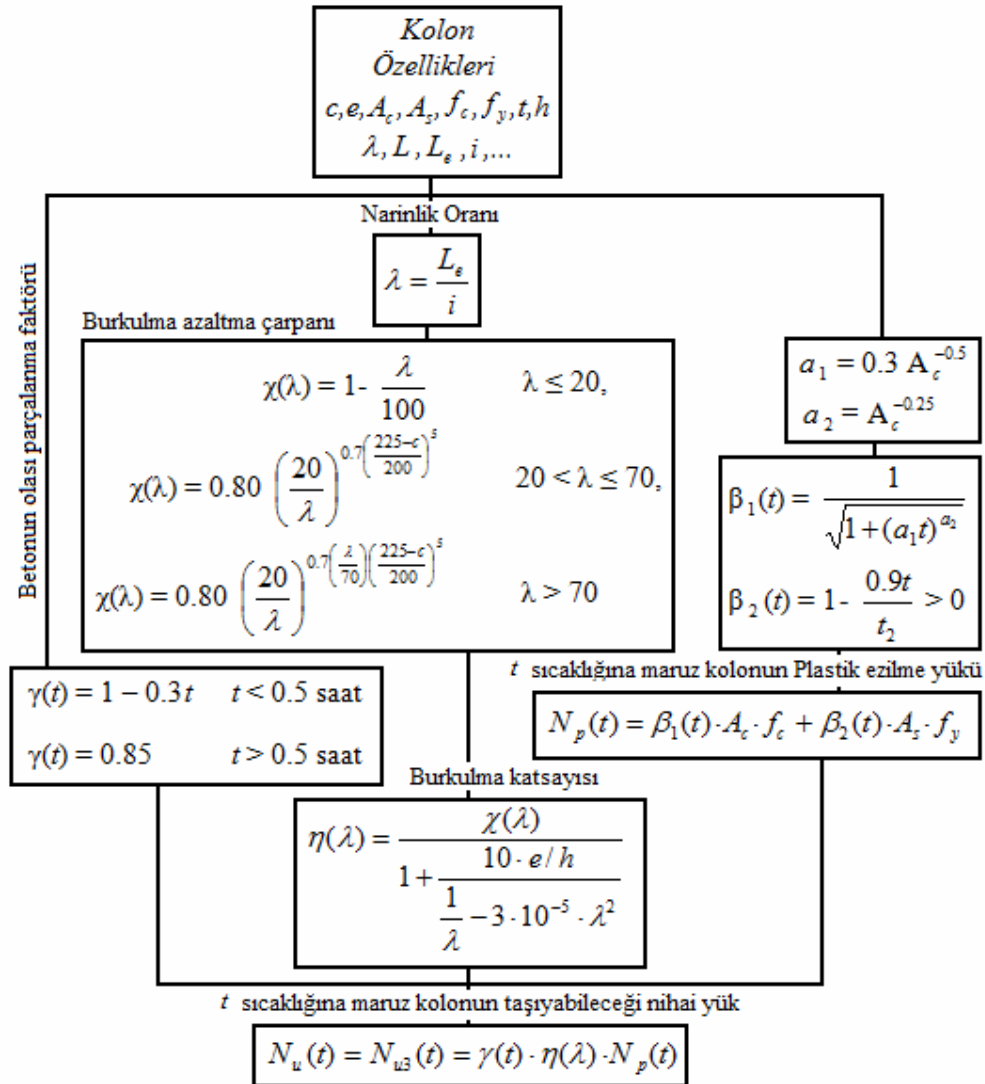
$$\frac{1}{u_{pr} P_p} = \frac{1}{u_{prx} P_p} + \frac{1}{u_{pry} P_p} - \frac{1}{P_p} \quad (57c)$$

Burada u_{prx} , sadece e_x eksantrisitesi bulunduğu zamanki ($e_y = 0$) plastik azaltma faktörü ve u_{pry} de, sadece e_y eksantrisitesi bulunduğu zamanki ($e_x = 0$) plastik azaltma faktörüdür. Bu durumda;

$$\frac{1}{u_{pr}} = \frac{1}{u_{prx}} + \frac{1}{u_{pry}} - 1 \text{ dir.} \quad (58)$$

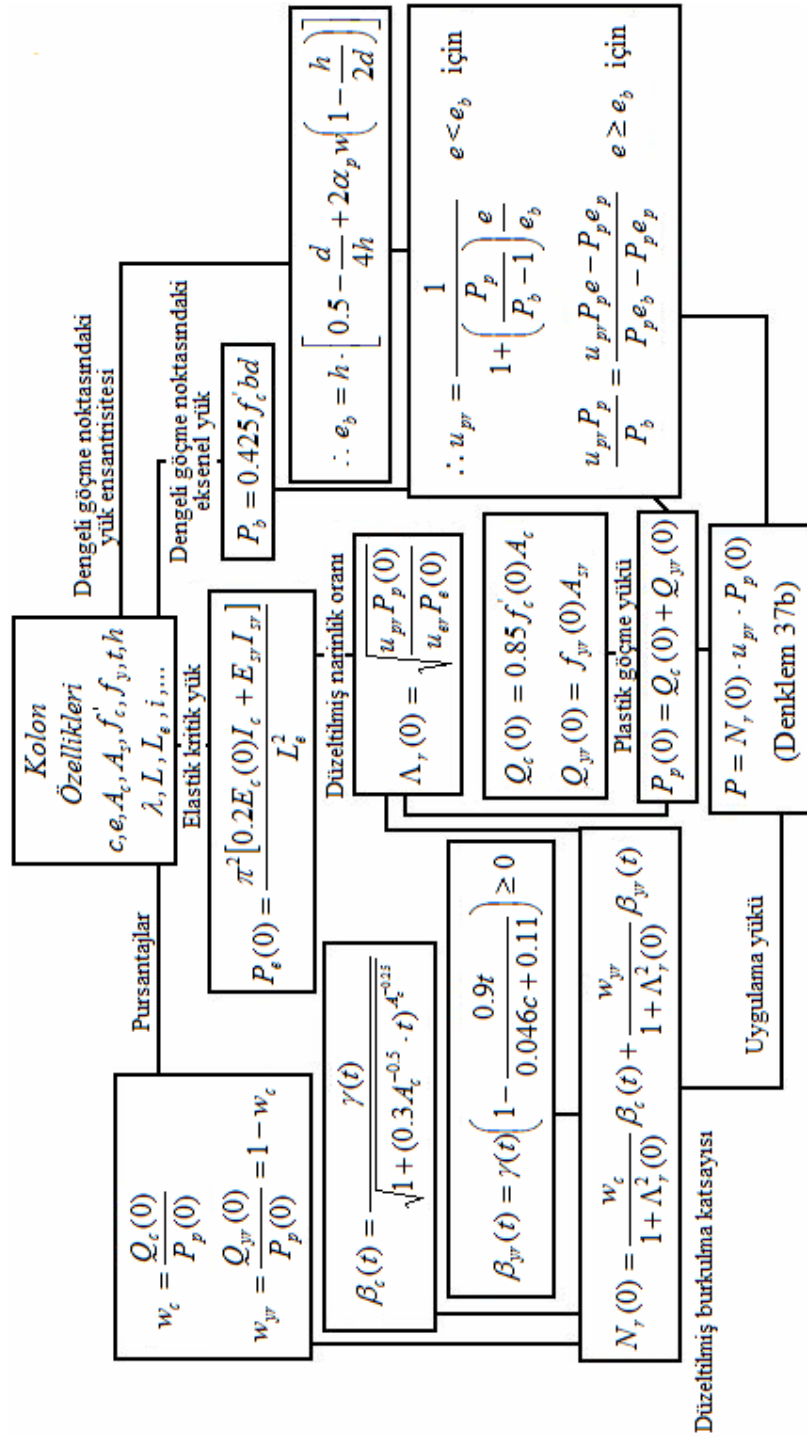
7. FORMÜLASYONLARIN PROGRAMLANMASI (AKIŞ DİYAGRAMLARI)

7.1. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonların Tasarımı için Hesaplama Metodu (1. Yöntem)



Şekil 7.1 – 1. yöntem akış diyagramı

7.2. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonlar için Etkileşim Formülü (2.Yöntem)



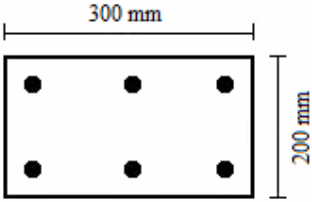
Şekil 7.2 – 2. yöntem akış diyagramı

8. UYGULAMALAR

8.1. Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonların Tasarımı için Hesaplama Metodu (1.Yöntem) Uygulamaları

8.1.1 Belirli bir yangın dayanımı R_f için nihai yük N_u 'un bulunması (Kesit tayini)

1) Tablo 2.3 de 14 nolu BA kolon;

	Verilenler:			
	$A_c = 300 \times 200$	$6\phi 12$	$L = 3.9 \text{ m}$	
	$c = 25 \text{ mm}$	$e = 20 \text{ mm}$	2 uç mafsallı	
	$f_c = 35.7 \text{ N/mm}^2$	$f_y = 493 \text{ N/mm}^2$		
	$R_f = 120dk$	$(t = 2 \text{ saat})$		

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 120 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $N_u = ?$

$$\lambda = \frac{L}{i} \quad \Rightarrow \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{3.9}{\sqrt{\frac{0.3 \cdot 0.2^3}{12 \cdot 0.3 \cdot 0.2}}} \cong 67.5$$

$$A_c = 0.2 \times 0.3 = 0.06 \text{ m}^2$$

$$A_s = 6 \cdot \pi \cdot 0.006^2 \cong 6.8 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 0.3 \cdot A_c^{-0.5} = 0.3 \cdot (0.06)^{-0.5} \cong 1.22$$

$$a_2 = A_c^{-0.25} = (0.06)^{-0.25} \cong 2.02$$

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (a_1 t)^{a_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (1.22 \cdot 2)^{2.02}}} \cong 0.38$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9t}{0.046 \cdot c + 0.111} = 1 - \frac{0.9 \cdot 2}{0.046 \cdot 25 + 0.111} \cong -0.42 \Rightarrow \beta_2 \geq 0 \Rightarrow \beta_2 = 0$$

$$\lambda = 67.5 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{67.5} \right)^{0.7 \left(\frac{225-25}{200} \right)^5} \cong 0.34$$

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{1}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} = \frac{0.34}{1 + \frac{1}{\frac{1}{0.34} - 3 \cdot 10^{-5} (67.5)^2}} \cong 0.25$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 120 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_1(t=0) = 1, \beta_2(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun plastik ezilme yükü;

$$N_p(t=0) = \beta_1(0)A_c f_c + \beta_2(0)A_s f_y \cong 2476 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Fakat kolonun narinliğinin sıcaklıkla bir ilişkisi olmadığı için burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ değişmemektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$N_u(0) = \gamma(0) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(0) \cong 1 \times 0.25 \times 2476 \cong 622 \text{ kN olmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 120 dk maruz kalması sonucu;

$$\Rightarrow \text{Kolonun plastik ezilme yükü} \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t)A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_p(t) = 0.38 \cdot 0.06 \cdot 35700 + 0 \cong 803 \text{ kN'a düşmektedir.}$$

$$(\text{Yani } \% 68 \left(\frac{803}{2476} = 0.32 \right) \text{ azalmaktadır.})$$

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise} \Rightarrow N_u(t)_{hsp} = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t)$$

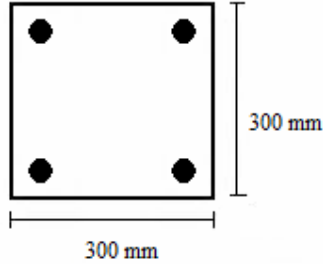
$$N_u(t)_{hsp} = 0.85 \cdot 0.25 \cdot [0.38 \cdot 0.06 \cdot 35700 + 0] \cong 173 \text{ kN} \text{ 'a düşmektedir.}$$

Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle %72 $\left(\frac{173}{622} = 0.28\right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.3'te de görüldüğü gibi bu kolona uygulanan gerçek yük 178 kN dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük $N_u(t)_{hsp}$, $\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}} = \frac{173}{178} \cong 0.97$ oranı ile yapılan deneysel çalışmada bu kolona uygulanan gerçek nihai yük olan $N_u(t)_{dny}$ 'e oldukça yakındır.

2) Tablo 2.3 de 1 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 300 \times 300 & 4\phi 16 & & L &= 3.9 \text{ m} \\ c &= 25 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f_c &= 40.9 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 576 \text{ N/mm}^2 \\ R_f &= 61 \text{ dk} & (t &= 1.02 \text{ saat}) \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 61 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $N_u = ?$

$$\lambda = \frac{L}{i} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} \Rightarrow \lambda = \frac{3.9}{\sqrt{\frac{0.3 \cdot 0.3^3}{12 \cdot 0.3 \cdot 0.3}}} \cong 45.03$$

$$A_c = 0.3 \times 0.3 = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot 0.008^2 \cong 8 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 0.3 \cdot A_c^{-0.5} = 0.3 \cdot (0.09)^{-0.5} \cong 1$$

$$a_2 = A_c^{-0.25} = (0.09)^{-0.25} \cong 1.83$$

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (a_1 t)^{a_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (1 \cdot 1.02)^{1.83}}} \cong 0.7$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9t}{0.046 \cdot c + 0.111} = 1 - \frac{0.9 \cdot 1.02}{0.046 \cdot 25 + 0.111} \cong 0.27$$

$$\lambda = 45.03 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{45.03} \right)^{0.7 \left(\frac{225-25}{200} \right)^5} \cong 0.453$$

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{10 \cdot e/h}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} = \frac{0.453}{1 + \frac{10 \cdot 0/300}{\frac{1}{0.453} - 3 \cdot 10^{-5} (45.03)^2}} \cong 0.453$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 61 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_1(t=0) = 1, \beta_2(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun plastik ezilme yükü;

$$N_p(t=0) \cong 4144 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Fakat kolonun narinliğinin sıcaklıkla bir ilişkisi olmadığı için burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ değişmemektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$N_u(0) = \gamma(0) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(0) \cong 1 \times 0.453 \times 4144 \cong 1878 \text{ kN olmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 61 dk maruz kalması sonucu;

$$\Rightarrow \text{Kolonun plastik ezilme yükü} \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_p(t) = 0.7 \cdot 0.09 \cdot 40900 + 0.27 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 576000 \cong 2710 \text{ kN'a düşmektedir.}$$

$$(\text{Yani } \% 35 \left(\frac{2710}{4144} = 0.65 \right) \text{ azalmaktadır.})$$

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise} \Rightarrow N_u(t)_{hsp} = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t)$$

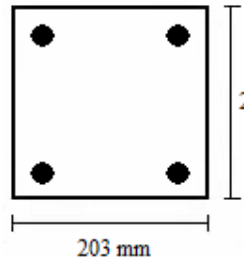
$N_u(t)_{hsp} = 0.85 \cdot 0.453 \cdot [0.7 \cdot 0.09 \cdot 40900 + 0.27 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 576000] \cong 1044 \text{ kN}$ 'a düşmektedir.

Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle %44 $\left(\frac{1044}{1878} = 0.56 \right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.3'te de görüldüğü gibi bu kolona uygulanan gerçek yük 950 kN dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, $\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}} = \frac{1044}{950} \cong 1.09$ oranı ile yapılan deneysel çalışmada bu kolona uygulanan gerçek nihai yük olan $N_u(t)_{dny}$ 'e oldukça yakındır.

3) Tablo 2.2 de 4 nolu BA kolon;

	Verilenler:		
	$A_c = 203 \times 203$	$4\phi 20$	$L = 3.81 \text{ m}$
	$c = 48 \text{ mm}$	$e = 0 \text{ mm}$	2 uç ankastre
	$f_c = 42.3 \text{ N/mm}^2$	$f_y = 442 \text{ N/mm}^2$	
	$R_f = 180 \text{ dk}$	$(t = 3 \text{ saat})$	

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 180 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $N_u = ?$

$$\lambda = \frac{L}{i} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} \Rightarrow \lambda = \frac{3.81}{\sqrt{\frac{0.203 \cdot 0.203^3}{12}}} \cong 65$$

$$A_c = 0.203 \times 0.203 = 0.041 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot 0.01^2 \cong 12.6 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 0.3 \cdot A_c^{-0.5} = 0.3 \cdot (0.041)^{-0.5} \cong 1.48$$

$$a_2 = A_c^{-0.25} = (0.041)^{-0.25} \cong 2.22$$

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1+(a_1 t)^{a_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1+(1.48 \cdot 3)^{2.22}}} \cong 0.188$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9t}{0.046 \cdot c + 0.111} = 1 - \frac{0.9 \cdot 3}{0.046 \cdot 48 + 0.111} \cong -0.164 \Rightarrow \beta_2 \geq 0 \Rightarrow \beta_2 = 0$$

$$\lambda = 65 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{65} \right)^{0.7 \left(\frac{225-48}{200} \right)^5} \cong 0.51$$

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{1}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} = \frac{0.51}{1 + \frac{10 \cdot 0 / 203}{1 / 0.51 - 3 \cdot 10^{-5} (65)^2}} \cong 0.51$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 180 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_1(t=0) = 1, \beta_2(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun plastik ezilme yükü;

$$N_p(t=0) \cong 2299 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Fakat kolonun narinliğinin sıcaklıkla bir ilişkisi olmadığı için burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ değişmemektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$N_u(0) = \gamma(0) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(0) \cong 1 \times 0.51 \times 2299 \cong 1175 \text{ kN olmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 180 dk maruz kalması sonucu;

$$\Rightarrow \text{Kolonun plastik ezilme yükü} \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_p(t) = 0.188 \cdot 0.041 \cdot 42300 + 0 \cong 328 \text{ kN'a düşmektedir.}$$

(Yani % 86 $\left(\frac{328}{2299} = 0.14\right)$ azalmaktadır.)

$\Rightarrow$ Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise $\Rightarrow N_u(t)_{hsp} = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t)$

$N_u(t)_{hsp} = 0.85 \cdot 0.51 \cdot [0.188 \cdot 0.041 \cdot 42300 + 0] \cong 142 kN$ 'a düşmektedir.

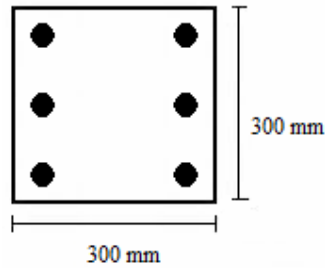
Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle % 88 $\left(\frac{142}{1175} = 0.12\right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.2'de de görüldüğü gibi bu kolona uygulanan gerçek yük 169 kN dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, $\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}} = \frac{142}{169} \cong 0.84$ oranı ile yapılan

deneyisel çalışmada bu kolona uygulanan gerçek nihai yük olan $N_u(t)_{dny}$ 'e oldukça yakındır.

4) Tablo 2.1 de 6 nolu BA kolon;



Verilenler:

$A_c = 300 \times 300$ $6\phi 20$ $L = 5.76$ m
 $c = 38$ mm $e = 30$ mm 2 uç mafsallı
 $f_c = 24.1$ N/mm² $f_y = 487$ N/mm²
 $R_f = 61 dk$ ($t = 1.02$ saat)

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 61 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $N_u = ?$

$$\lambda = \frac{L}{i} \quad \Rightarrow \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{5.76}{\sqrt{\frac{0.3 \cdot 0.3^3}{12}}} \cong 66.51$$

$$A_c = 0.3 \times 0.3 = 0.09 m^2$$

$$A_s = 6 \cdot \pi \cdot 0.01^2 \cong 18.85 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 0.3 \cdot A_c^{-0.5} = 0.3 \cdot (0.09)^{-0.5} \cong 1$$

$$a_2 = A_c^{-0.25} = (0.09)^{-0.25} \cong 1.83$$

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (a_1 t)^{a_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (1 \cdot 1.02)^{1.83}}} \cong 0.7$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9t}{0.046 \cdot c + 0.111} = 1 - \frac{0.9 \cdot 1.02}{0.046 \cdot 38 + 0.111} \cong 0.51$$

$$\lambda = 66.51 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{66.51} \right)^{0.7 \left(\frac{225-38}{200} \right)^5} \cong 0.44$$

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{10 \cdot e/h}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} = \frac{0.44}{1 + \frac{10 \cdot 30/300}{1/0.44 - 3 \cdot 10^{-5} (66.51)^2}} \cong 0.3$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 61 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_1(t=0) = 1, \beta_2(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun plastik ezilme yükü;

$$N_p(t=0) \cong 3087 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Fakat kolonun narinliğinin sıcaklıkla bir ilişkisi olmadığı için burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ değişmemektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$N_u(0) = \gamma(0) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(0) \cong 1 \times 0.3 \times 3087 \cong 924 \text{ kN olmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 61 dk maruz kalması sonucu;

$$\Rightarrow \text{Kolonun plastik ezilme yükü} \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_p(t) = 0.7 \cdot 0.09 \cdot 24100 + 0.51 \cdot 18.85 \cdot 10^{-4} \cdot 487000 \cong 1988 \text{ kN'a düşmektedir.}$$

$$(\text{Yani } \% 36 \left(\frac{1988}{3087} = 0.64 \right) \text{ azalmaktadır.})$$

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise } \Rightarrow N_u(t)_{hsp} = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t)$$

$$N_u(t)_{hsp} = 0.85 \cdot 0.3 \cdot [0.7 \cdot 0.09 \cdot 24100 + 0.51 \cdot 18.85 \cdot 10^{-4} \cdot 487000] \cong 506 \text{ kN 'a}$$

düşmektedir.

Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle $\% 45 \left(\frac{506}{924} = 0.55 \right)$ azalmaktadır.

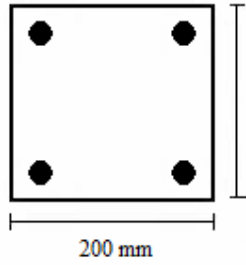
Tablo 2.1’de de görüldüğü gibi bu kolona uygulanan gerçek yük 600 kN dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, $\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}} = \frac{506}{600} \cong 0.84$ oranı ile yapılan

deneysel çalışmada bu kolona uygulanan gerçek nihai yük olan $N_u(t)_{dny}$ ’e oldukça yakındır.

5) Tablo 2.1 de 18 nolu BA kolon;

Verilenler:



$$A_c = 200 \times 200$$

$$4\phi 20$$

$$L = 4.76 \text{ m}$$

$$c = 38 \text{ mm}$$

$$e = 60 \text{ mm}$$

$$2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f_c = 30.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 462 \text{ N/mm}^2$$

$$R_f = 49 \text{ dk}$$

$$(t = 0.82 \text{ saat})$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 49 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $N_u = ?$

$$\lambda = \frac{L}{i} \Rightarrow i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^3}{12}}{bh}} \Rightarrow \lambda = \frac{4.76}{\sqrt{\frac{0.2 \cdot 0.2^3}{12}}} \cong 82.45$$

$$A_c = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot 0.01^2 \cong 12.6 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 0.3 \cdot A_c^{-0.5} = 0.3 \cdot (0.04)^{-0.5} \cong 1.5$$

$$a_2 = A_c^{-0.25} = (0.04)^{-0.25} \cong 2.24$$

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1+(a_1 t)^{a_2}}} = \frac{1}{\sqrt{1+(1.5 \cdot 0.82)^{2.24}}} \cong 0.62$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9t}{0.046 \cdot c + 0.111} = 1 - \frac{0.9 \cdot 0.82}{0.046 \cdot 38 + 0.111} \cong 0.60$$

$$\lambda = 82.45 \Rightarrow \lambda > 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{\lambda}{70} \right) \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{82.45} \right)^{0.7 \left(\frac{82.45}{70} \right) \left(\frac{225-38}{200} \right)^5} \cong 0.35$$

$$\eta(\lambda) = \frac{\chi(\lambda)}{1 + \frac{10 \cdot e/h}{\frac{1}{\chi(\lambda)} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2}} = \frac{0.35}{1 + \frac{10 \cdot 60/200}{1/0.35 - 3 \cdot 10^{-5} (82.45)^2}} \cong 0.16$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 49 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_1(t=0) = 1, \beta_2(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun plastik ezilme yükü;

$$N_p(t=0) \cong 1809 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Fakat kolonun narinliğinin sıcaklıkla bir ilişkisi olmadığı için burkulma katsayısı $\eta(\lambda)$ değişmemektedir. Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$N_u(0) = \gamma(0) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(0) \cong 1 \times 0.16 \times 1809 \cong 296 \text{ kN olmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 49 dk maruz kalması sonucu;

$$\Rightarrow \text{Kolonun plastik ezilme yükü} \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_p(t) = 0.62 \cdot 0.04 \cdot 30700 + 0.6 \cdot 12.6 \cdot 10^{-4} \cdot 462000 \cong 1116 \text{ kN'a düşmektedir.}$$

$$(\text{Yani } \% 38 \left(\frac{1116}{1809} = 0.62 \right) \text{ azalmaktadır.})$$

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise } \Rightarrow N_u(t)_{hsp} = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t)$$

$$N_u(t)_{hsp} = 0.85 \cdot 0.16 \cdot [0.62 \cdot 0.04 \cdot 30700 + 0.6 \cdot 12.6 \cdot 10^{-4} \cdot 462000] \cong 155 \text{ kN 'a}$$

düşmektedir.

Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle $\% 48 \left(\frac{155}{296} = 0.52 \right)$ azalmaktadır.

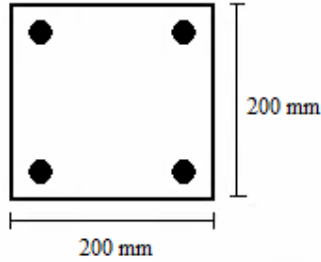
Tablo 2.1’de de görüldüğü gibi bu kolona uygulanan gerçek yük 170 kN dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, $\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}} = \frac{155}{170} \cong 0.91$ oranı ile yapılan

deneysel çalışmada bu kolona uygulanan gerçek nihai yük olan $N_u(t)_{dny}$ ’e oldukça yakındır.

8.1.2 Belirli bir uygulama yükü N için R_f yangın dayanımının bulunması (Kesit tahkiki)

1) Tablo 2.1 de 18 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$A_c = 200 \times 200 \quad 4\phi 20 \quad L = 4.76 \text{ m}$$

$$c = 38 \text{ mm} \quad e = 60 \text{ mm} \quad 2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f_c = 30.7 \text{ N/mm}^2 \quad f_y = 462 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 170 \text{ kN}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 170 kN aksenal yükle yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\lambda = L / i = 82.45$$

$$A_c = 0.04 \text{ m}^2$$

$$A_s \cong 12.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0.3 \cdot (0.04)^{-0.5} \cong 1.5$$

$$a_2 = (0.04)^{-0.25} \cong 2.24$$

$$\lambda = 82.45 \Rightarrow \lambda > 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{\lambda}{70} \right) \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{82.45} \right)^{0.7 \left(\frac{82.45}{70} \right) \left(\frac{225-38}{200} \right)^5} \cong 0.35$$

$$\eta(\lambda) = \frac{0.35}{1 + \frac{10 \cdot 60 / 200}{1 / 0.35 - 3 \cdot 10^{-5} (82.45)^2}} \cong 0.164$$

Başlangıçta $R_f = 50dk$ kabul edelim; $t = 0.83$ saat

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1.5 \cdot 0.83)^{2.24}}} \cong 0.62$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9 \cdot 0.83}{0.046 \cdot 38 + 0.111} \cong 0.60$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

$$N_u(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$\Rightarrow N_u(t) = 0.85 \cdot 0.164 \cdot [0.62 \cdot 0.04 \cdot 30700 + 0.6 \cdot 12.6 \cdot 10^{-4} \cdot 462000] \cong 155kN$$

Uygulama yükü, $N = 170 kN$ 'a yaklaşıncaya kadar deneme yapıldığında;

$$R_f = 45dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 164kN$$

$$R_f = 40dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 176kN$$

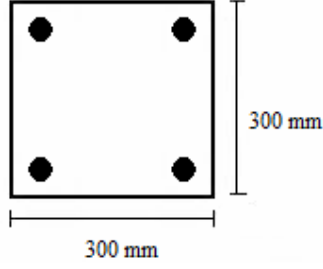
Sonuç:

İnterpolasyon ile $\Rightarrow R_{f_{hsp}} = 42dk$ bulunur.

Tablo 2.1 de bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi $R_{f_{dny}} = 49 dk$ dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan gerçek yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

2) Tablo 2.3 de 8 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 300 \times 300 & 4\phi 25 & & L &= 3.9 \text{ m} \\ c &= 25 \text{ mm} & e &= 20 \text{ mm} & & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f_c &= 35.1 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 576 \text{ N/mm}^2 \\ N &= 475 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 475 kN eksenel yükü yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\lambda = L / i = 45.03$$

$$A_c = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_s \cong 19.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0.3 \cdot (0.09)^{-0.5} \cong 1$$

$$a_2 = (0.09)^{-0.25} \cong 1.83$$

$$\lambda = 45.03 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{45.03} \right)^{0.7 \left(\frac{225-25}{200} \right)^5} \cong 0.45$$

$$\eta(\lambda) = \frac{0.45}{1 + \frac{10 \cdot 20 / 300}{0.45 - 3 \cdot 10^{-5} (45.03)^2}} \cong 0.346$$

Başlangıçta $R_f = 100 \text{ dk}$ kabul edelim; $t = 1.667$ saat

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1 \cdot 1.667)^{1.83}}} \cong 0.53$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9 \cdot 1.667}{0.046 \cdot 25 + 0.111} \cong -0.19 \Rightarrow \beta_2 \geq 0 \Rightarrow \beta_2 = 0$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

$$N_u(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$\Rightarrow N_u(t) = 0.85 \cdot 0.346 \cdot [0.53 \cdot 0.09 \cdot 35100 + 0] \cong 492 \text{ kN}$$

Uygulama yükü, $N = 475 \text{ kN}$ 'a yaklaşıncaya kadar deneme yapıldığında;

$$R_f = 125 \text{ dk için } \Rightarrow N_u(t) \cong 422 \text{ kN}$$

$$R_f = 110 \text{ dk için } \Rightarrow N_u(t) \cong 463 \text{ kN}$$

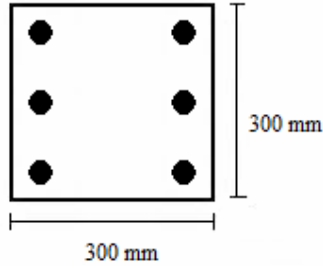
Sonuç:

İnterpolasyon ile $\Rightarrow R_{f_{hsp}} \cong 105 \text{ dk}$ bulunur.

Tablo 2.3 de bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi $R_{f_{dny}} = 120 \text{ dk}$ dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan gerçek yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

3) Tablo 2.1 de 30 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 300 \times 300 & 6\phi 20 & L = 4.70 \text{ m} \\ c &= 38 \text{ mm} & e &= 10 \text{ mm} & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f_c &= 31.5 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 503 \text{ N/mm}^2 \\ N &= 970 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 970 kN eksenel yükü yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\lambda = L/i = 54.27$$

$$A_c = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_s \cong 18.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0.3 \cdot (0.09)^{-0.5} \cong 1$$

$$a_2 = (0.09)^{-0.25} \cong 1.83$$

$$\lambda = 54.27 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{54.27} \right)^{0.7 \left(\frac{225-38}{200} \right)^5} \cong 0.485$$

$$\eta(\lambda) = \frac{0.485}{1 + \frac{10 \cdot 10 / 300}{1 / 0.485 - 3 \cdot 10^{-5} (54.27)^2}} \cong 0.415$$

Başlangıçta $R_f = 35dk$ kabul edelim; $t = 0.583$ saat

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1 \cdot 0.583)^{1.83}}} \cong 0.853$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9 \cdot 0.583}{0.046 \cdot 38 + 0.111} \cong 0.717$$

$$\gamma(t) = 0.85 \quad \Rightarrow \quad (t > 0.5 \text{ saat için})$$

$$N_u(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \quad \Rightarrow \quad N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$N_u(t) = 0.85 \cdot 0.415 \cdot [0.853 \cdot 0.09 \cdot 31500 + 0.717 \cdot 18.8 \cdot 10^{-4} \cdot 503000] \cong 1092kN$$

Uygulama yükü, $N = 970$ kN'a yaklaşıncaya kadar deneme yapıldığında;

$$R_f = 40dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 1050kN$$

$$R_f = 50dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 963kN$$

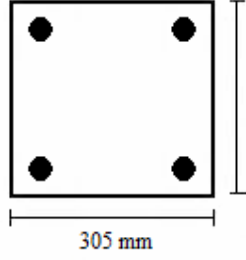
Sonuç:

İnterpolasyon ile $\Rightarrow R_{f_{hsp}} \cong 49dk$ bulunur.

Tablo 2.1 de bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi $R_{f_{dny}} = 55$ dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan gerçek yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

4) Tablo 2.2 de 3 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 305 \times 305 & 4\phi 25,5 & L = 3.81 \text{ m} \\ c &= 48 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f_c &= 35.1 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 444 \text{ N/mm}^2 \\ N &= 711 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 711 kN eksenel yükü yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\lambda = L / i = 21.64$$

$$A_c = 0.093 \text{ m}^2$$

$$A_s \cong 20.4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0.3 \cdot (0.093)^{-0.5} \cong 0.98$$

$$a_2 = (0.093)^{-0.25} \cong 1.81$$

$$\lambda = 21.64 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{21.64} \right)^{0.7 \left(\frac{225-48}{200} \right)^5} \cong 0.776$$

$$\eta(\lambda) = \frac{0.776}{1 + \frac{10 \cdot 0/300}{0.776 - 3 \cdot 10^{-5} (21.64)^2}} \cong 0.776$$

Başlangıçta $R_f = 180 \text{ dk}$ kabul edelim; $t = 3$ saat

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (0.98 \cdot 3)^{1.81}}} \cong 0.353$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9 \cdot 3}{0.046 \cdot 48 + 0.111} \cong -0.164 \Rightarrow \beta_2 \geq 0 \Rightarrow \beta_2 = 0$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

$$N_u(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$\Rightarrow N_u(t) = 0.85 \cdot 0.776 \cdot [0.353 \cdot 0.093 \cdot 35100 + 0] \cong 760 \text{ kN}$$

Uygulama yükü, $N = 711 \text{ kN}$ 'a yaklaşıncaya kadar deneme yapıldığında;

$$R_f = 200 \text{ dk için } \Rightarrow N_u(t) \cong 696 \text{ kN}$$

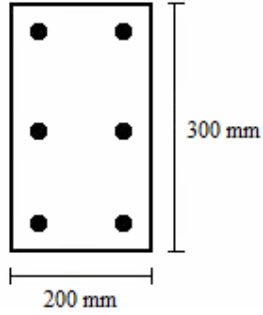
Sonuç:

İnterpolasyon ile $\Rightarrow R_{f_{hsp}} \cong 195 \text{ dk}$ bulunur.

Tablo 2.2 de bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi $R_{f_{dny}} = 220 \text{ dk}$ dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan gerçek yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

5) Tablo 2.4 de 4 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 200 \times 300 & 6\phi 12 & & L &= 2.1 \text{ m} \\ c &= 25 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f_c &= 40 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 493 \text{ N/mm}^2 \\ N &= 611 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 611 kN eksenel yükü yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\lambda = L / i = 24.249$$

$$A_c = 0.06 \text{ m}^2$$

$$A_s \cong 6.786 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_1 = 0.3 \cdot (0.06)^{-0.5} \cong 1.225$$

$$a_2 = (0.06)^{-0.25} \cong 2.021$$

$$\lambda = 24.249 \Rightarrow 20 < \lambda \leq 70 \Rightarrow \chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{\lambda} \right)^{0.7 \left(\frac{225-c}{200} \right)^5}$$

$$\chi(\lambda) = 0.80 \cdot \left(\frac{20}{24.249} \right)^{0.7 \left(\frac{225-25}{200} \right)^5} \cong 0.699$$

$$\eta(\lambda) = \frac{0.699}{1 + \frac{10 \cdot 0/300}{1/0.699 - 3 \cdot 10^{-5} (24.249)^2}} \cong 0.699$$

Başlangıçta $R_f = 90dk$ kabul edelim; $t = 1,5$ saat

$$\beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (1.225 \cdot 1.5)^{2.021}}} \cong 0.4758$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{0.9 \cdot 1.5}{0.046 \cdot 25 + 0.111} \cong -0.071 \Rightarrow \beta_2 \geq 0 \Rightarrow \beta_2 = 0$$

$$\gamma(t) = 0.85 \Rightarrow (t > 0.5 \text{ saat için})$$

$$N_u(t) = \gamma(t) \cdot \eta(\lambda) \cdot N_p(t) \Rightarrow N_p(t) = \beta_1(t) A_c f_c + \beta_2 A_s f_y$$

$$\Rightarrow N_u(t) = 0.85 \cdot 0.699 \cdot [0.4758 \cdot 0.06 \cdot 40000 + 0] \cong 678kN$$

Uygulama yükü, $N = 611 \text{ kN}$ 'a yaklaşıncaya kadar deneme yapıldığında;

$$R_f = 100dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 623kN$$

$$R_f = 105dk \text{ için } \Rightarrow N_u(t) \cong 599kN$$

Sonuç:

İnterpolasyon ile $\Rightarrow R_{f_{hsp}} \cong 102.5dk$ bulunur.

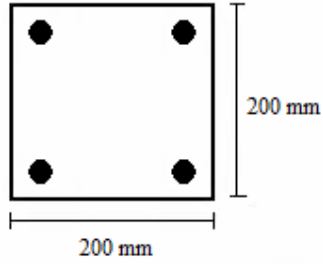
Tablo 2.4 de bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi $R_{f_{dny}} = 107 \text{ dk}$ dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan gerçek yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

8.2 Yangın Şartlarındaki Betonarme Kolonlar için Etkileşim Formülü (2.Yöntem) Uygulamaları

8.2.1 Belirli bir yangın dayanımı R_f için nihai yük P 'nin bulunması (Kesit tayini)

1) Tablo 2.1 de 18 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$A_c = 200 \times 200 \quad 4\phi 20 \quad L = 4.76 \text{ m}$$

$$c = 38 \text{ mm} \quad e = 60 \text{ mm} \quad 2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f'_c = 30,7 \text{ N/mm}^2 \quad f_y = 462 \text{ N/mm}^2$$

$$R_f = 49 \text{ dk} \quad (t = 0.817 \text{ saat})$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 49 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $P = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 4$$

$$d = h - d' = 152 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 62 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.02}{2} \right)^2 \times 4 \cong 12.56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 1.333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 4.831 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 26.04 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1043.8 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 580.566 \text{ kN}$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 1043.8 + 580.566 \cong 1624.366 kN$$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 733.851 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} = \frac{580.566}{1043.8} \cong 0.556$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.643$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.357$$

Dengeli göçme noktasındaki yük;

$$P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot \frac{30.7}{1000} \cdot 200 \cdot 152 \cong 396.644 kN$$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 138.112 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 22.193 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

$$u_{pr} = 0.426 \text{ bulunacaktır.}$$

$$\text{Elastik yük azaltma faktörü } u_{er}, 1 \text{ e eşittir. } \Rightarrow u_{er} = 1$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{4.76}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} = \frac{4.76}{\sqrt{\frac{1.333 \cdot 10^{-4}}{0.04}}} = 82.456$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.972$$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.530$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \quad \Rightarrow \quad \beta_{yr} \cong 0.514$$

$$\text{Düzeltilmiş burkulma katsayısı; } N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.270$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 49 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_c(t=0) = 1$, $\beta_{yr}(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.514 \text{ olmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü de $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$P(0) = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.514 \cdot 0.426 \cdot 1624.366 \cong 356kN \text{ bulunmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 49 dk maruz kalması sonucu;

⇒ Kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.270 \text{ 'e düşmektedir.}$$

$$\text{Yani \% } 47 \left(\frac{0.270}{0.514} = 0.53 \right) \text{ azalmaktadır.}$$

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise } \Rightarrow P(t)_{hsp} = N_r(t) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0)$$

$$P(t)_{hsp} = 0.270 \cdot 0.426 \cdot 1624.366 \cong 187 \text{ kN 'a düşmektedir.}$$

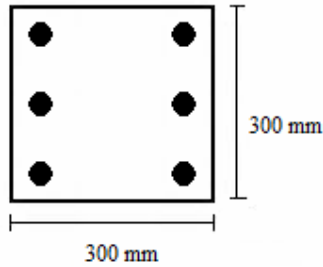
$$\text{Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle \% } 48 \left(\frac{187}{356} = 0.52 \right) \text{ azalmaktadır}$$

Tablo 2.1 de bu kolon için gerçekte uygulanan yük $P(t)_{dny} = 170 \text{ kN}$ dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu

$$\text{taşıyabildiği gerçek nihai yük değerine oldukça yakındır. } \left(\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}} = \frac{187}{170} = 1.1 \right)$$

2) Tablo 2.1 de 1 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$A_c = 300 \times 300 \quad 6\phi 20 \quad L = 3.76 \text{ m}$$

$$c = 38 \text{ mm} \quad e = 30 \text{ mm} \quad 2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f'_c = 24.1 \text{ N/mm}^2 \quad f_y = 487 \text{ N/mm}^2$$

$$R_f = 86 \text{ dk} \quad (t = 1.433 \text{ saat})$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 86 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $P = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 6$$

$$d = h - d' = 252 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.3 \times 0.3 = 0.09 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 112 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.02}{2} \right)^2 \times 6 \cong 18.850 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 6.750 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 2.365 \cdot 10^{-5} m^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 23.073 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1843.65 kN$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 917.973 kN$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 1843.65 + 917.973 \cong 2761.623 kN$$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 5558.405 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} = \frac{917.973}{1843.65} \cong 0.498$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.668$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.332$$

Dengeli göçme noktasındaki yük;

$$P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot \frac{24.1}{1000} \cdot 300 \cdot 252 \cong 774.333 kN$$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 207.921mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 35.676mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2761.623}{774.333} - 1 \right) \frac{30}{207.921}} \cong 0.7298$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.76}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} = \frac{3.76}{\sqrt{\frac{6.75 \cdot 10^{-4}}{0.09}}} = 43.417$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.602$$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{0.25}}}} \cong 0.497$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111} \right) \geq 0 \quad \Rightarrow \quad \beta_{yr} \cong 0.260$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.668 \cdot 0.497 + 0.332 \cdot 0.260}{1 + 0.602^2} \cong 0.307$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 86 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_c(t=0) = 1, \beta_{yr}(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.734 \text{ olmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü de $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Bu duruda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$P(0) = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.734 \cdot 0.730 \cdot 2762 \cong 1479 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 86 dk maruz kalması sonucu;

$\Rightarrow$ Kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.307 \text{ 'e düşmektedir.}$$

Yani % 58 $\left(\frac{0.307}{0.734} = 0.42 \right)$ azalmaktadır.

$\Rightarrow$ Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise $\Rightarrow P(t)_{hsp} = N_r(t) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0)$

$$P(t)_{hsp} = 0.307 \cdot 0.730 \cdot 2762 \cong 618 \text{ kN 'a düşmektedir.}$$

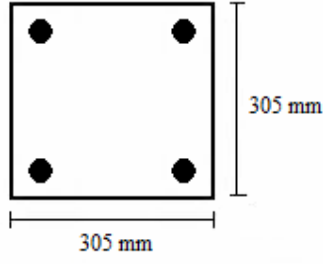
Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle % 58 $\left(\frac{618}{1479} = 0.42 \right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.1 de bu kolon için gerçekte uygulanan yük $P(t)_{dny} = 710 \text{ kN}$ dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu

taşıyabildiği gerçek nihai yük değerine oldukça yakındır. $\left(\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}} \frac{618}{710} = 0.87 \right)$

3) Tablo 2.2 de 3 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 305 \times 305 & 4\phi 25.5 & L = 3.81 \text{ m} \\ c &= 48 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & 2 \text{ uç ankastre} \\ f'_c &= 35.1 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 444 \text{ N/mm}^2 \\ R_f &= 220 \text{ dk} & (t &= 3.667 \text{ saat}) \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 220 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $P = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 60.75 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 4$$

$$d = h - d' = 244.25 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.305 \times 0.305 = 0.093 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 104.5 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.0255}{2} \right)^2 \times 6 \cong 20.428 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 7.211 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 2.231 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 27.845 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 2775.401 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 907.012 \text{ kN}$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 2775.401 + 907.012 \cong 3682.413 \text{ kN}$$

Kolon burkulma boyu " L_e " = 2 uç ankastre olduğu için $L_e = 0.7L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 23359.490 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} = \frac{907.012}{2775.401} \cong 0.327$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.754$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.246$$

Dengeli göçme noktasındaki yük;

$$P_b(0) = 0.425 \cdot f_c' \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot \frac{35.1}{1000} \cdot 305 \cdot 244.25 \cong 1111.298 kN$$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 166.321 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 27.012 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3682.413}{1111.298} - 1 \right) \frac{0}{166.321}} \cong 1$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.81}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} = \frac{3.81}{\sqrt{\frac{7.211 \cdot 10^{-4}}{0.093}}} = 43.273$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.397$$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.254$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \Rightarrow \beta_{yr} \cong -0.423 \Rightarrow \beta_{yr} = 0$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.754 \cdot 0.254 + 0.246 \cdot 0}{1 + 0.397^2} \cong 0.165$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 220 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_c(t=0) = 1, \beta_{yr}(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.864 \text{ olmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü de $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Bu duruda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$P(0) = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.864 \cdot 1 \cdot 3682 \cong 3181kN \text{ bulunmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 220 dk maruz kalması sonucu;

$\Rightarrow$ Kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.165 \text{ 'e düşmektedir.}$$

Yani % 81 $\left(\frac{0.165}{0.864} = 0.19 \right)$ azalmaktadır.

$$\Rightarrow \text{Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise } \Rightarrow P(t)_{hsp} = N_r(t) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0)$$

$$P(t)_{hsp} = 0.165 \cdot 1 \cdot 3682 \cong 609 \text{ kN 'a düşmektedir.}$$

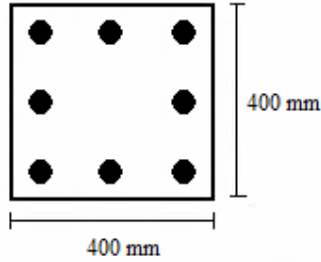
Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle % 81 $\left(\frac{609}{3181} = 0.19 \right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.1 de bu kolon için gerçekte uygulanan yük $P(t)_{dny} = 711 \text{ kN}$ dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu

taşıyabildiği gerçek nihai yük değerine oldukça yakındır. $\left(\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}} = \frac{609}{711} = 0.86 \right)$

4) Tablo 2.3 te 11 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 400 \times 400 & 8\phi 16 & & L &= 3.9 \text{ m} \\ c &= 25 \text{ mm} & e &= 20 \text{ mm} & & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f'_c &= 35.7 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 576 \text{ N/mm}^2 \\ R_f &= 93 \text{ dk} & (t &= 1.55 \text{ saat}) \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 93 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $P = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 33 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 6$$

$$d = h - d' = 367 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.400 \times 0.400 = 0.16 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 175 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.016}{2} \right)^2 \times 8 \cong 16.085 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 2.133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 2.815 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 28.082 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 4855.2 kN$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 926.493 kN$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 4855.2 + 926.493 \cong 5781.693 kN$$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 14327.536 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} = \frac{926.493}{4855.2} \cong 0.191$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.840$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.160$$

Dengeli göçme noktasındaki yük;

$$P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot \frac{35.7}{1000} \cdot 400 \cdot 367 \cong 2227.323 kN$$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 177.717 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 27.876 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{5781.693}{2227.332} - 1 \right) \frac{20}{177.717}} \cong 0.848$$

$$\text{Elastik yük azaltma faktörü } u_{er}, 1 \text{ e eşittir. } \Rightarrow u_{er} = 1$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.9}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} = \frac{3.9}{\sqrt{\frac{2.133 \cdot 10^{-3}}{0.16}}} = 33.778$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.585$$

$$\text{Betonun olası parçalanma riski; } \gamma(t) \Rightarrow t > 0.5 \text{ saat olduğu için } \Rightarrow \gamma(t) = 0.85$$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.564$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111} \right) \geq 0 \quad \Rightarrow \beta_{yr} \cong -0.106 \quad \Rightarrow \beta_{yr} = 0$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.84 \cdot 0.564 + 0.160 \cdot 0}{1 + 0.585^2} \cong 0.354$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 93 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_c(t=0) = 1, \beta_{yr}(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.745 \text{ olmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü de $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Bu duruda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$P(0) = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.745 \cdot 0.848 \cdot 5782 \cong 3652 \text{ kN bulunmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 93 dk maruz kalması sonucu;

$\Rightarrow$ Kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.353 \text{ 'e düşmektedir.}$$

Yani % 53 $\left(\frac{0.353}{0.745} = 0.47 \right)$ azalmaktadır.

$\Rightarrow$ Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise $\Rightarrow P(t)_{hsp} = N_r(t) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0)$

$$P(t)_{hsp} = 0.353 \cdot 0.848 \cdot 5782 \cong 1730 \text{ kN 'a düşmektedir.}$$

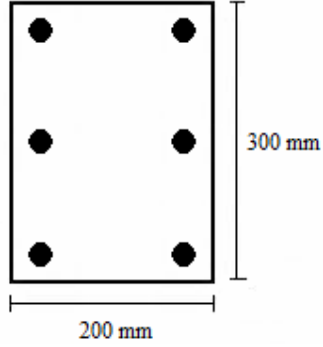
Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle % 53 $\left(\frac{1730}{3652} = 0.47 \right)$ azalmaktadır.

Tablo 2.1 de bu kolon için gerçekte uygulanan yük $P(t)_{dny} = 1650 \text{ kN}$ dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu

taşıyabildiği gerçek nihai yük değerine oldukça yakındır. $\left(\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}} = \frac{1730}{1650} = 1.05 \right)$

5) Tablo 2.4 te 5 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 200 \times 300 & 6\phi 12 & L = 2.1 \text{ m} \\ c &= 35 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f'_c &= 37.6 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 493 \text{ N/mm}^2 \\ R_f &= 97 \text{ dk} & (t &= 1.617 \text{ saat}) \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen, şekildeki BA kolonun, 97 dk boyunca ISO 834 yangınına maruz kalması sonucunda taşıyabileceği nihai yük, $P = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 41 \text{ mm}$$

Etkin donatı sayısı = 6

$$d = h - d' = 259 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.200 \times 0.300 = 0.06 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 115 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.012}{2} \right)^2 \times 6 \cong 6.786 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 8.974 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 28.820 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1917.6 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 334.542 \text{ kN}$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü;

$$P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) = 1917.6 + 334.542 \cong 2252.142 \text{ kN}$$

Kolon burkulma boyu " L_e " = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 9922.227 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f_c'} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} = \frac{334.542}{1917.6} \cong 0.174$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.851$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.149$$

Dengeli göçme noktasındaki yük;

$$P_b(0) = 0.425 \cdot f_c' \cdot b \cdot d = 0.425 \cdot \frac{37.6}{1000} \cdot 200 \cdot 259 \cong 827.764 kN$$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 129.302 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 18.264 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2252.142}{827.764} - 1 \right) \frac{0}{129.302}} \cong 1$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{2.1}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} = \frac{2.1}{\sqrt{\frac{4.510^{-4}}{0.06}}} = 24.249$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.476$$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.381$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \quad \Rightarrow \beta_{yr} \cong 0.131$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.851 \cdot 0.381 + 0.149 \cdot 0.131}{1 + 0.476^2} \cong 0.280$$

Sonuç:

Sıcaklık (ISO 834 standart yangınına 97 dk maruz kalması) etkisinin göz önüne alınmaması halinde $\beta_c(t=0) = 1$, $\beta_{yr}(t=0) = 1$ olmakta ve kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.815 \text{ olmaktadır.}$$

$t = 0$ durumunda betonun olası parçalanma faktörü de $\gamma(t=0) = 1$ olmaktadır.

Bu durumda kolonun taşıyabileceği nihai yük;

$$P(0) = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.815 \cdot 1 \cdot 2252 \cong 1836kN \text{ bulunmaktadır.}$$

Ancak bu kolonun ISO 834 standart yangınına 97 dk maruz kalması sonucu;

$\Rightarrow$ Kolonun düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(t) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong 0.280 \text{ 'e düşmektedir.}$$

Yani % 66 $\left(\frac{0.280}{0.815} = 0.34 \right)$ azalmaktadır.

$\Rightarrow$ Kolonun taşıyabileceği nihai yük ise $\Rightarrow P(t)_{hsp} = N_r(t) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0)$

$P(t)_{hsp} = 0.28 \cdot 1 \cdot 2252 \cong 631 \text{ kN}$ 'a düşmektedir.

Yani kolonun nihai yükü yangın nedeniyle % 66 $\left(\frac{631}{1836} = 0.34 \right)$ azalmaktadır.

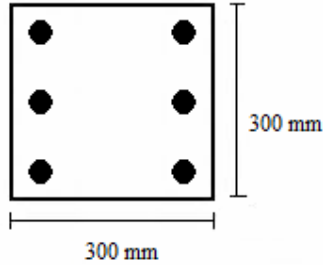
Tablo 2.1 de bu kolon için gerçekte uygulanan yük $P(t)_{dny} = 620 \text{ kN}$ dur.

Dolayısıyla hesapla bulunan nihai yük, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu

taşıyabildiği gerçek nihai yük değerine oldukça yakındır. $\left(\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}} = \frac{631}{620} = 1.02 \right)$

8.2.2 Belirli bir uygulama yükü P için yangın dayanımı R_f 'nin bulunması

1) Tablo 2.1 de 30 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$A_c = 300 \times 300 \quad 6\phi 20 \quad L = 4.7 \text{ m}$$

$$c = 38 \text{ mm} \quad e = 10 \text{ mm} \quad 2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f'_c = 31.5 \text{ N/mm}^2 \quad f_y = 503 \text{ N/mm}^2$$

$$P = 970 \text{ kN}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 970 kN aksenal yükle yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 48 \text{ mm}$$

Etkin donatı sayısı = 6

$$d = h - d' = 252 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.300 \times 0.300 = 0.09 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 112 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.02}{2} \right)^2 \times 6 \cong 18.85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 6.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 2.365 \cdot 10^{-5} m^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 26.379 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 2409.75 kN$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 948.133 kN$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü; $P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) \cong 3357.883 kN$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 3756.760 kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \cong 0.394$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.718$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.282$$

Dengeli göçme noktasındaki yük; $P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cong 1012.095 kN$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 182.554 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 31.411 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \cong 0.887$$

$$\text{Elastik yük azaltma faktörü } u_{er}, 1 \text{ e eşittir. } \Rightarrow u_{er} = 1$$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{4.7}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} \cong 54.27$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.891$$

$$\text{Başlangıçta } R_f = 40dk \text{ kabul edelim. } \Rightarrow t \cong 0.667 \text{ saat}$$

$$\text{Betonun olası parçalanma riski; } \gamma(t) \Rightarrow t > 0.5 \text{ saat olduğu için } \Rightarrow \gamma(t) = 0.85$$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.699$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111} \right) \geq 0 \Rightarrow \beta_{yr} \cong 0.576$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.718 \cdot 0.699 + 0.282 \cdot 0.576}{1 + 0.891^2} \cong 0.371$$

Sonuç:

$$\text{Nihai yük; } P = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.371 \cdot 0.887 \cdot 3357.883 \cong 1104.125 \text{ kN}$$

Bu kolon için uygulanan gerçek yük $P = 970 \text{ kN}$ a ulaşınca kadar işleme devam edilir.

$$R_f = 60 \text{ dk için } \Rightarrow P = 922.464 \text{ kN}$$

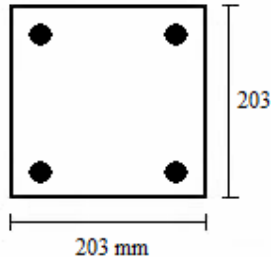
$$R_f = 50 \text{ dk için } \Rightarrow P = 1011.489 \text{ kN}$$

İnterpolasyon ile $R_f = 55 \text{ dk}$ bulundu.

Bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi 55 dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

2) Tablo 2.2 de 4 nolu BA kolon;

**Verilenler:**

$$\begin{aligned} A_c &= 203 \times 203 & 4\phi 20 & & L &= 3.81 \text{ m} \\ c &= 48 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & & 2 \text{ uç ankastre} \\ f'_c &= 42.3 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 442 \text{ N/mm}^2 \\ P &= 169 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 169 kN eksenel yükü yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 58 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 4$$

$$d = h - d' = 145 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.203 \times 0.203 = 0.0412 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 53.5 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.02}{2} \right)^2 \times 4 \cong 12.566 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 1.415 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 3.597 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 30.568 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1481.670 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 555.434 \text{ kN}$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü; $P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) \cong 2037.103 \text{ kN}$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç ankastre olduğu için $L_e = 0.7L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 4358.247 \text{ kN}$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \cong 0.375$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.727$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.273$$

Dengeli göçme noktasındaki yük; $P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cong 529.168 \text{ kN}$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 110.91 \text{ mm}$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 17.174 \text{ mm}$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \cong 1$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.81}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} \cong 65.02$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.684$$

Başlangıçta $R_f = 150dk$ kabul edelim. $\Rightarrow t \cong 2.5saat$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.194$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111} \right) \geq 0 \quad \Rightarrow \beta_{yr} \cong 0.025$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.727 \cdot 0.194 + 0.273 \cdot 0.025}{1 + 0.684^2} \cong 0.101$$

Sonuç:

Nihai yük; $P = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.101 \cdot 1 \cdot 2037.103 \cong 205.522kN$

Bu kolon için uygulanan gerçek yük $P = 169$ kN a ulaşıncaya kadar işleme devam edilir.

$R_f = 160dk$ için $\Rightarrow P = 183.043$ kN

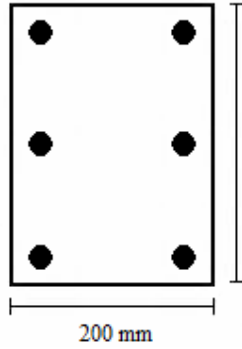
$$R_f = 175dk \text{ için } \Rightarrow P = 166.400 \text{ kN}$$

İnterpolasyon ile $R_f = 170dk$ bulundu.

Bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi 180 dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

3) Tablo 2.3 te 16 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$A_c = 200 \times 300 \quad 6\phi 12 \quad L = 3.9 \text{ m}$$

$$c = 25 \text{ mm} \quad e = 20 \text{ mm} \quad 2 \text{ uç mafsallı}$$

$$f'_c = 39 \text{ N/mm}^2 \quad f_y = 493 \text{ N/mm}^2$$

$$P = 334 \text{ kN}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 334 kN aksenal yükle yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun,

ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 31 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 6$$

$$d = h - d' = 269 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.200 \times 0.300 = 0.06 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 125 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.012}{2} \right)^2 \times 6 \cong 6.786 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 1.06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 29.351 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1989 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 334.542 \text{ kN}$$

Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü; $P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) \cong 2323.542kN$

Kolon burkulma boyu “ L_e ” = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 3124.546kN$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \cong 0.168$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.856$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.144$$

Dengeli göçme noktasındaki yük; $P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cong 891.735kN$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 127.394mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 18.457mm$$

$e < e_b$ olduğu için $\Rightarrow$ Plastik yük azaltma faktörü $u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}}$ den

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \cong 0.799$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.9}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} \cong 45.03$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.771$$

Başlangıçta $R_f = 100dk$ kabul edelim. $\Rightarrow t \cong 1.667 \text{ saat}$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5 \text{ saat olduğu için } \Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.372$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \quad \Rightarrow \beta_{yr} \cong -0.19 \Rightarrow \beta_{yr} = 0$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.856 \cdot 0.372 + 0.144 \cdot 0}{1 + 0.771^2} \cong 0.200$$

Nihai yük; $P = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.200 \cdot 0.799 \cdot 2323.542 \cong 370.495 kN$

Bu kolon için uygulanan gerçek yük $P = 334 \text{ kN}$ a ulaşınca kadar işleme devam edilir.

$R_f = 110dk$ için $\Rightarrow P = 342.267 \text{ kN}$

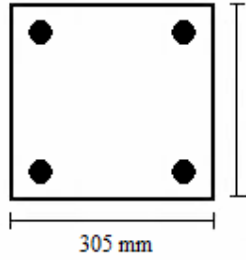
$R_f = 115dk$ için $\Rightarrow P = 329.556 \text{ kN}$

İnterpolasyon ile $R_f = 113dk$ bulundu.

Bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi 120 dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

4) Tablo 2.2 de 3 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 305 \times 305 & 4\phi 25.5 & L = 3.81 \text{ m} \\ c &= 48 \text{ mm} & e &= 0 \text{ mm} & 2 \text{ uç ankastre} \\ f'_c &= 35.1 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 444 \text{ N/mm}^2 \\ P &= 711 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 711 kN eksenel yüküyle yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$d' = c + \frac{\phi}{2} = 60.75 \text{ mm}$$

$$\text{Etkin donatı sayısı} = 4$$

$$d = h - d' = 244.25 \text{ mm}$$

$$A_c = 0.305 \times 0.305 = 0.093 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{h}{2} - c = 104.5 \text{ mm}$$

$$A_{sr} = \pi \times \left(\frac{0.0255}{2} \right)^2 \times 4 \cong 2.043 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 7.211 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{sr} = A_{sr} \cdot n^2 \cong 2.231 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 27.845 \text{ Gpa}$$

$$E_{sr} = 205 \text{ Gpa}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 2775.401 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 907.012 \text{ kN}$$

$$\text{Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü; } P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) \cong 3682.413 \text{ kN}$$

Kolon burkulma boyu " L_e " = 2 uç ankastre olduğu için $L_e = 0.7L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 23359.490 \text{ kN}$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \cong 0.327$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.754$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.246$$

Dengeli göçme noktasındaki yük; $P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cong 1111.298 kN$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 166.321 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 27.012 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \cong 1$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{3.81}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} \cong 43.27$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.397$$

Başlangıçta $R_f = 170 dk$ kabul edelim. $\Rightarrow t \cong 2.833 saat$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{-0.25}}}} \cong 0.313$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \Rightarrow \beta_{yr} \cong -0.1 \Rightarrow \beta_{yr} = 0$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.754 \cdot 0.313 + 0.246 \cdot 0}{1 + 0.397^2} \cong 0.203$$

Sonuç:

$$\text{Nihai yük; } P = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.203 \cdot 1 \cdot 3682.413 \cong 749.273 \text{ kN}$$

Bu kolon için uygulanan gerçek yük $P = 711$ kN a ulaşınca kadar işleme devam edilir.

$$R_f = 180 \text{ dk için } \Rightarrow P = 716.261 \text{ kN}$$

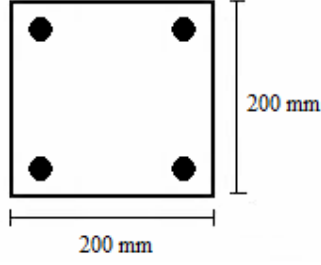
$$R_f = 185 \text{ dk için } \Rightarrow P = 700.810 \text{ kN}$$

İnterpolasyon ile $R_f = 182 \text{ dk}$ bulundu.

Bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi 220 dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

5) Tablo 2.1 de 18 nolu BA kolon;



Verilenler:

$$\begin{aligned} A_c &= 200 \times 200 & 4\phi 20 & L = 4.76 \text{ m} \\ c &= 38 \text{ mm} & e &= 60 \text{ mm} & 2 \text{ uç mafsallı} \\ f'_c &= 30.7 \text{ N/mm}^2 & f_y &= 462 \text{ N/mm}^2 \\ P &= 170 \text{ kN} \end{aligned}$$

İstenen:

Boyutları ve malzeme özellikleri verilen ve 170 kN aksenal yüküyle yüklenmiş olan şekildeki BA kolonun, ISO 834 yangınına dayanma süresi olan, $R_f = ?$

$$\begin{aligned} d' &= c + \frac{\phi}{2} = 48 \text{ mm} & \text{Etkin donatı sayısı} &= 4 \\ d &= h - d' = 152 \text{ mm} & A_c &= 0.200 \times 0.200 = 0.04 \text{ m}^2 \\ n &= \frac{h}{2} - c = 62 \text{ mm} & A_{sr} &= \pi \times \left(\frac{0.02}{2} \right)^2 \times 4 \cong 1.257 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \\ I_c &= \frac{b \cdot h^3}{12} \cong 1.333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\ I_{sr} &= A_{sr} \cdot n^2 \cong 4.832 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \\ E_c &= 4.7 \cdot \sqrt{f'_c(0)} \cong 26.042 \text{ Gpa} \\ E_{sr} &= 205 \text{ Gpa} \end{aligned}$$

Sırasıyla beton ve donatıdan, plastik göçme yükü $P_p(0)$ 'a dağılım değerleri;

$$Q_c(0) = 0.85 \cdot f'_c(0) \cdot A_c = 1043.8 \text{ kN}$$

$$Q_{yr}(0) = f_{yr}(0) \cdot A_{sr} \cong 580.566 \text{ kN}$$

$$\text{Ortam sıcaklığında plastik göçme yükü; } P_p(0) = Q_c(0) + Q_{yr}(0) \cong 1624.366 \text{ kN}$$

Kolon burkulma boyu " L_e " = 2 uç mafsallı olduğu için $L_e = L$ dir.

$$\text{Elastik kritik yük; } P_e(0) = \frac{\pi^2 [0.2 \cdot E_c \cdot I_c + E_{sr} \cdot I_{sr}]}{L_e^2} \cong 733.851 \text{ kN}$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_{yr}}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{Q_{yr}}{Q_c} \cong 0.556$$

$$w_c = \frac{Q_c}{P_p(0)} \cong 0.643$$

$$w_{yr} = \frac{Q_{yr}}{P_p(0)} \cong 0.357$$

Dengeli göçme noktasındaki yük; $P_b(0) = 0.425 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \cong 396.644 kN$

Eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği $a_\rho = 1$ alınıyor.

Dengeli göçme noktasındaki eksantrisite;

$$e_b = h \cdot \left[0.5 - \frac{d}{4h} + 2 \cdot a_\rho \cdot w \cdot \left(1 - \frac{h}{2d} \right) \right] \cong 138.112 mm$$

$$e_p = h \cdot \frac{0.5 \cdot a_\rho \cdot w \left(\frac{d}{h} - 0.25 \cdot a_\rho \cdot w \right)}{1 + w} \cong 22.193 mm$$

$$e < e_b \text{ olduğu için } \Rightarrow \text{Plastik yük azaltma faktörü } u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \text{ den}$$

bulunacaktır.

$$u_{pr} = \frac{1}{1 + \left(\frac{P_p}{P_b} - 1 \right) \frac{e}{e_b}} \cong 0.426$$

Elastik yük azaltma faktörü u_{er} , 1 e eşittir. $\Rightarrow u_{er} = 1$

$$\text{Narinlik oranı } \lambda = \frac{L}{i} = \frac{4.76}{\sqrt{\frac{I_c}{A_c}}} \cong 82.45$$

$$\text{Düzeltilmiş narinlik oranı } \lambda_r(0) = \sqrt{\frac{u_{pr} \cdot P_p(0)}{u_{er} \cdot P_e(0)}} \cong 0.972$$

Başlangıçta $R_f = 50 dk$ kabul edelim. $\Rightarrow t \cong 0.833 saat$

Betonun olası parçalanma riski; $\gamma(t) \Rightarrow t > 0.5$ saat olduğu için $\Rightarrow \gamma(t) = 0.85$

Yüksek ısıda beton dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_c = \frac{\gamma(t)}{\sqrt{1 + (0.3 \cdot A_c^{-0.5} \cdot t)^{A_c^{0.25}}}} \cong 0.522$$

Yüksek ısıda çelik akma dayanımını azaltma katsayısı;

$$\beta_{yr} = \gamma(t) \cdot \left(1 - \frac{0.9t}{0.046c + 0.111}\right) \geq 0 \Rightarrow \beta_{yr} \cong 0.507$$

Düzeltilmiş burkulma katsayısı;

$$N_r(0) = \frac{w_c \cdot \beta_c + w_{yr} \cdot \beta_{yr}}{1 + \lambda_r(0)^2} \cong \frac{0.643 \cdot 0.522 + 0.357 \cdot 0.507}{1 + 0.972^2} \cong 0.266$$

Nihai yük; $P = N_r(0) \cdot u_{pr} \cdot P_p(0) = 0.266 \cdot 0.426 \cdot 1624.366 \cong 184.223 kN$

Bu kolon için uygulanan gerçek yük $P = 170$ kN a ulaşınca kadar işleme devam edilir.

$R_f = 70dk$ için $\Rightarrow P = 138.922$ kN

$R_f = 60dk$ için $\Rightarrow P = 160.251$ kN

İnterpolasyon ile $R_f = 55dk$ bulundu.

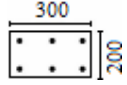
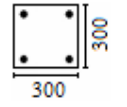
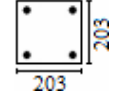
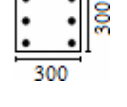
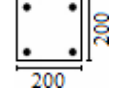
Bu kolonun gerçek yangına dayanma süresi 49 dk dır.

Dolayısıyla hesapla bulunan yangına dayanma süresi, bu kolonun yapılan deneysel çalışma sonucu bulunan yangına dayanma süresine oldukça yakındır.

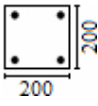
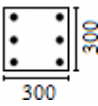
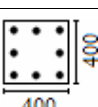
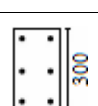
9. SONUÇLAR

- Bu çalışmada yangına maruz betonarme kolonların dayanımı ve kontrolü hususunda son on yılda yapılmış olan deneysel ve teorik çalışmalar incelenerek bu konuda kabul gören hesap yöntemlerinin esasları açıklanmıştır.
- Bu yöntemler akış diyagramları verilerek programlanmıştır (bkz.Ek-A).
- Yazılan bilgisayar programları yardımıyla daha evvel yapılmış olan deneylere ait veriler girilerek bulunan sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı programlar ile kesit tayini problemine ait uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalara ait toplu sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 9.1 – 1. Yöntem Kesit Tayini Hesabı Toplu Sonuçları

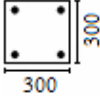
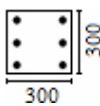
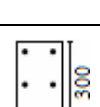
Örnek No	Kesit Boyutları mm	$N_u(t)_{dny}$ kN	$N_p(0)$ kN	$N_p(t)$ kN	$N_u(0)$ kN	$N_u(t)_{hsp}$ kN	$\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(t)_{dny}}$	$\frac{N_u(t)_{hsp}}{N_u(0)}$	Nihai yük Azalma Oranı %
1		178	2476	803	622	173	0.97	0.28	72
2		950	4144	2710	1878	1044	1.09	0.56	44
3		169	2299	328	1175	142	0.84	0.12	88
4		600	3087	1988	924	506	0.84	0.55	45
5		170	1809	1116	296	155	0.91	0.52	48

Tablo 9.2 –2. Yöntem Kesit Tayini Hesabı Toplu Sonuçları

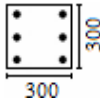
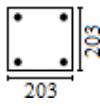
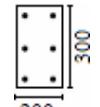
Örnek No	Kesit Boyutları mm	$N_r(0)$	$P(0)$ kN	$N_r(t)$	$P(t)_{hsp}$ kN	$P(t)_{dny}$ kN	$\frac{P(t)_{hsp}}{P(t)_{dny}}$	$\frac{P(t)_{hsp}}{P(0)}$	Nihai yük Azalma Oranı %
1		0.514	356	0.270	187	170	1.1	0.52	48
2		0.734	1479	0.307	618	710	0.87	0.42	58
3		0.864	3181	0.165	609	711	0.87	0.19	81
4		0.745	3652	0.353	1730	1650	1.05	0.47	53
5		0.815	1836	0.280	631	620	1.02	0.34	66

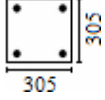
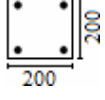
- Bu uygulamalarda elde edilen sonuçlardan yangının betonarme kolonların aksenal taşıma yüklerinde ne denli etkin olduğu görülmektedir. Bu örneklerden yangın dolayısıyla kolon dayanımlarının yarıya kadar azaldığı görülmektedir.
- Belirli bir uygulama yükü için yangın dayanımının (ISO 834 standart yangınına dayanma süresi R_f) bulunması için de ayrı bir bilgisayar programı yazılmıştır(bkz. Ek-A).
- Yazılan bu program yardımıyla uygulamalar yapılarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu uygulamalara ait toplu sonuçlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 9.3 –1. Yöntem Kesit Tahkiki Hesabı Toplu Sonuçları

Örnek No	Kesit Boyutları mm	Uygulama Yüğü N_u kN	$R_{f\ hsp}$ dk	$R_{f\ dny}$ dk	$\frac{R_{f\ hsp}}{R_{f\ dny}}$
1		170	42	49	0.86
2		475	105	120	0.88
3		970	49	55	0.89
4		711	195	220	0.89
5		611	102.5	107	0.96

Tablo 9.4 – 2. Yöntem Kesit Tahkiki Hesabı Toplu Sonuçları

Örnek No	Kesit Boyutları mm	Uygulama Yüğü N_u kN	$R_{f\ hsp}$ dk	$R_{f\ dny}$ dk	$\frac{R_{f\ hsp}}{R_{f\ dny}}$
1		970	55	55	1
2		169	170	180	0.94
3		334	113	120	0.94

4		711	182	220	0.83
5		170	55	49	1.12

- Her iki durumda (kesit tayini ve kesit kontrolü) sayısal ve deneysel sonuçların birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla önerilen yöntemlerin uygun ve uygulanabilir olduğu sayısal olarak da gösterilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar yazılımı bu amaçla kolaylıkla kullanılabilir.

KAYNAKLAR

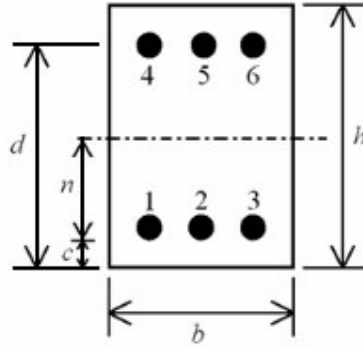
- [1] **Dotreppe, J.C., Franssen, J.M. and Vanderzeypen, Y.**, 1999. Calculation Method for Design of Reinforced Concrete Columns under Fire Conditions , *ACI Structural Journal / January-February* , 9-18
- [2] **Toh, W.S., Tan, K.H., Fung, T.C.**, 2000. Compressive Resistance of Steel Columns in Fire: Rankine Approach, *Journal of Structural Engineering / March*, 398-405
- [3] **Sidibe, K., Duprat, F., Pinglot, M. and Beourret, B.**, 2000. Fire Safety of Reinforced Concrete Columns, *ACI Structural Journal / July-August*, 642-646
- [4] **Tan, K.H. and Tang, C.Y.**, 2004. Interaction Formula for Reinforced Concrete Columns in Fire Conditions, *ACI Structural Journal / January-February*, 19-28

EKLER

EK-A. GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

A.1 Kesit Tayini Problemi

A.1.1 Birinci Yöntem



BELİRLİ BİR YANGIN DAYANIMI "Rf" İÇİN
NİHAİ YÜK "Nu" nun HESAPLANMASI

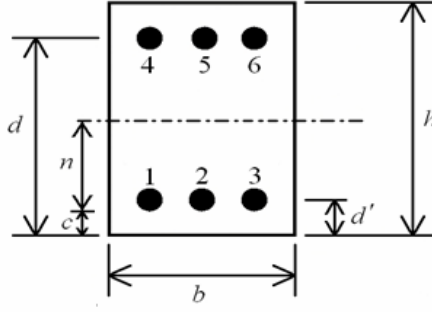
Mesnet Durumu			
iki uç mafsallı	iki uç ankastre	bir uç ankastre bir uç serbest	bir uç ankastre bir uç mafsallı
1	2	3	4

DENEYSEL VERİLER	Kolon bilgileri		Hesaplama	
	kolon boyu "L" (m)	4.76	kolon burkulma boyu "Le" (m)	4.76
	mesnet durumu	1	Ic (mm4)	133333333,3
	kesit yük. "h" (mm)	200	Iy (mm4)	4830512,864
	kesit eni "b" (mm)	200	beton alanı "Ac" (mm2)	40000
	paspayı "c" (mm)	38	donatı alanı "As" (mm2)	1256,637061
	yük eksantrisitisi "e" (mm)	60	atalet yarıçapı "i" (mm)	57,73502692
	n (mm)	62	narınlık oranı	82,44561844
	beton karak. basınç day. "fc" (N/mm2)	30.7	burkulma azaltma çarpanı "X"	0,34728169
	çelik karak. akma day. "fy" (N/mm2)	462	burkulma katsayısı	0,163715689
	donatı çapı (mm)	20	betonun olası parçalanma fak.	0,85
	donatı sayısı	4	kolon kesiti fonk. "a1" ve "a2"	
			a1	1,5
			a2	2,236067977
	Yangına maruz kalma süresi		beton kesitin ezilme yükü azalt. fak "B1"	0,623265715
	"Rf"		donatı akma yükü azalt. fak. "B2"	0,604626143
	(dk)	49		
	(saat)	0.816667	kolonun plastik ezilme yükü "Np(t)" (kN)	1116,395875
	Deneyle bulunan Nihai Yük "Nexp" (kN)	170		

Eksantrik Yüklü Kolonlar için Nihai Yük "Nu(t) = Nu3(t)" (kN) 155,3657921

ORAN "Nu/Ndny" 0,913857601

A.1.2 İkinci Yöntem



Verilen kolon bilgileri ile
kolonun yük kapasitesini belirleme

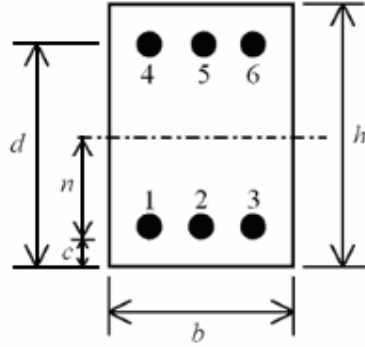
Mesnet durumu			
2 uç mafsallı	2 uç ankastre	1 uç ankastre 1 uç serbest	1 uç ankastre 1 uç mafsallı
1	2	3	4

DENEYSEL VERİLER	Kolon bilgileri		Hesaplama	
	kesit eni "b" (mm)	200	d' (mm)	41
	kesit yük. "h" (mm)	300	d (mm)	259
	donatı sayısı	6	n (mm)	115
	donatı çapı (mm)	12	etkin donatı sayısı	6
	kolon boyu "L" (m)	2,1	Ac (mm ²)	60000
	fc' (N/mm ²)	37,6	As (mm ²)	678,5840132
	fy (N/mm ²)	493	Ic=bxh ³ /12 (mm ⁴)	450000000
	mesnet durumu	1	Is=Asxn ² (mm ⁴)	8974273,574
	paspayı "c" (mm)	35	Beton elastisite modülü "Ec" (N/mm ²)	28819,85427
	eksantrisite "e" (mm)	0	Çelik elastisite modülü "Esr" (N/mm ²)	205000
	uygulanan yük "P" (kN)	620	Qc(0) (kN)	1917,6
	deneysel yangın dayanımı "Rf" (dk)	97	Qyr(0) (kN)	334,5419185
	(saat)		Plastik göçme yükü "Pp(0)" (kN)	2252,141918
	çelik elastisite modülü "Esr"	205000	Kolon burkulma boyu "Le" (m)	2,1
	yangına maruz kalma süresi "t" (dk)	97	Elastik kritik yük "Pe(0)" (kN)	9922,226551
	(saat)	1,616667	pursantaj "w"	0,174458656
			wc	0,851456111
			wyr	0,148543889
			B denge noktasındaki eksenel yük "Pb" (kN)	827,764
			eb (mm)	129,3024946
			ep (mm)	18,26462982
			eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği "ag"	1

Plastik yük azaltma faktörü "upr"	1
Elastik yük azaltma faktörü "uer"	1
atalet yarıçapı "i"	8,660254038
narinlik oranı	0,242487113
düzeltilmiş narinlik oranı	0,476423645
betonun olası parçalanma riski	0,85
yüksek ısıda beton dayanımı azaltma katsayısı Bc(t)	0,381056947
yüksek ısıda çelik a. dayanımı azaltma katsayısı Byr(t)	0,131377106
Düzeltilmiş burkulma katsayısı "Nr"	0,280337639
Nihai yük "P" (kN)	631,3601473
Oran P/Papp	1,018322818

A.2 Kesit Tahkiki Problemi

A.2.1 Birinci Yöntem

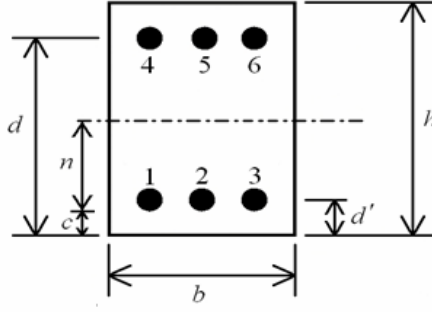


VERİLEN BİR NİHAİ YÜK "Nu" İÇİN
YANGIN DAYANIMI "Rf" nin HESAPLANMASI

Mesnet Durumu			
iki uç mafsallı	iki uç ankastre	bir uç ankastre bir uç serbest	bir uç ankastre bir uç mafsallı
1	2	3	4

DENEYSEL VERİLER	Kolon bilgileri		Hesaplama	
	kolon boyu "L" (m)	4.76	kolon burkulma boyu "Le" (m)	4.76
	mesnet durumu	1	lc (mm4)	133333333.3
	kesit yük. "h" (mm)	200	ly (mm4)	4830512.864
	kesit eni "b" (mm)	200	beton alanı "Ac" (mm2)	40000
	paspayı "c" (mm)	38	donatı alanı "As" (mm2)	1256.637061
	yük eksantrisitesi "e" (mm)	60	atalet yarıçapı "i" (mm)	57.73502692
	n (mm)	62	narınlık oranı	82.44561844
	beton karak. basınç day. "fc" (N/mm2)	30.7	burkulma azaltma çarpanı "X"	0.34728169
	çelik karak. akma day. "fy" (N/mm2)	462	burkulma katsayısı	0.163715689
	donatı çapı (mm)	20	betonun olası parçalanma fak.	0.85
	donatı sayısı	4	kolon kesiti fonk. "a1" ve "a2"	
			a1	1.5
			a2	2.236067977
	Yangına maruz kalma süresi		beton kesitin ezilme yükü azalt. fak "B1"	0.623265715
	"Rf"		donatı akma yükü azalt. fak. "B2"	0.604626143
	(dk)	49	kolonun plastik ezilme yükü "Np(t)" (kN)	1116.395875
	(saat)	0.816667		
	Deneyle bulunan Nihai Yük "Nexp" (kN)	170		
	kabul edilen yangın dayanımı "Rf" (dk)	42	hesapla bulunan Rf (dk)	42
	(saat)	0.7	Deneyisel yangın dayanımı (dk)	49
	ORAN "Rf/Rexp"		0.857142857	

A.2.2 İkinci Yöntem



Verilen kolon bilgileri ile
kolonun yük kapasitesini belirleme

Mesnet durumu			
2 uç mafsallı	2 uç ankastre	1 uç ankastre 1 uç serbest	1 uç ankastre 1 uç mafsallı
1	2	3	4

DENEYSEL VERİLER	Kolon bilgileri		Hesaplama	
				6
	kesit eni "b" (mm)	200	d' (mm)	48
	kesit yük. "h" (mm)	200	d (mm)	152
	donatı sayısı	4	n (mm)	62
	donatı çapı (mm)	20	etkin donatı sayısı	6
	kolon boyu "L" (m)	4.76	Ac (mm ²)	40000
	fc' (N/mm ²)	30,7	As (mm ²)	1256,637061
	fy (N/mm ²)	462	Ic=bxh ³ /12 (mm ⁴)	133333333,3
	mesnet durumu	1	Is=Asxn ² (mm ⁴)	4830512,864
	paspayı "c" (mm)	38	Beton elastisite modülü "Ec" (N/mm ²)	26041,56293
	eksantrisite "e" (mm)	60	Çelik elastisite modülü "Esr" (N/mm ²)	205000
	uygulanan yük "P" (kN)	170	Qc(0) (kN)	1043,8
	deneysel yangın dayanımı "Rf" (dk)	49	Qyr(0) (kN)	580,5663224
	(saat)		Plastik göçme yükü "Pp(0)" (kN)	1624,366322
	çelik elastisite modülü "Esr"	205000	Kolon burkulma boyu "Le" (m)	4,76
	tahmini yangın dayanımı (dk)	60	Elastik kritik yük "Pe(0)" (kN)	733,8505006
	(saat)	1	pursantaj "w"	0,566204563
	oran= Rf/Rexp	1.22449	wc	0,642589043
			wyr	0,357410957
			B denge noktasındaki eksenel yük "Pb" (kN)	396,644
			eb (mm)	138,1122033
			ep (mm)	22,19339263
			eğilme momentine direnç gösteren donatı etkinliği "ag"	1

Plastik yük azaltma faktörü "upr"	0,426497706
Elastik yük azaltma faktörü "uer"	1
atalet yarıçapı "i"	5,773502692
narinlik oranı	0,824456184
düzeltilmiş narinlik oranı	0,971620212
betonun olası parçalanma riski	0,85
yüksek ısıda beton dayanımı azaltma katsayısı Bc(t)	0,455909402
yüksek ısıda çelik a. dayanımı azaltma katsayısı Byr(t)	0,438488435
Düzeltilmiş burkulma katsayısı "Nr"	0,23131294
Nihai yük "P" (kN)	160,2509468
Oran P/Papp	0,942652628

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Afyonkarahisar’da doğan Ali ZEYBEK ilk,orta ve lise öğrenimini Afyonkarahisar’da tamamladı. 1999 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1999-2003 yılları arasında lisans eğitimini tamamladı. 2004 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’na kabul edildi. 2005 yılında başladığı Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programına halen devam etmektedir.