

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Reşat ATAMAN

Mayıs-1991

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

İnş.Müh. Reşat ATAMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"İnşaat Yüksek Mühendisi"

Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.5.1991

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 03.07.1991

Tez Danışmanı : Doç.Dr.İng. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Doç.Dr. İlhan SUNGUR

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Ümit UZMAN

Enstitü Müdürü : Doç.Dr. Temel SAVAŞKAN

Mayıs-1991
Trabzon

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi



Annemin anısına

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Beton yapıların yangın dayanımının incelenmesi konusundaki bu çalışmayı bana önererek, çok önemli görevlerine rağmen çalışmamı başlangıcından sonuna kadar özen ve sabırla sürekli takip edip, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşılama için uğraşan, tezimin her bölümünde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönetici hocam Sayın Doç.Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ'a şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Çalışmalarım boyunca yakın ilgi ve desteklerini gördüğüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, özellikle Arş.Gör. Osman ÜÇÜNCÜ'ye, Arş.Gör. Metin HÜSEM'e ve Mak.Müh. Mustafa ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Çalışmamı, büyük bir fedakarlık göstererek özenle daktilo eden ve çok sayıda bilimsel çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen araştırma teknisyeni Sayın Temel TOSUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney programının aksatılmadan uygulanmasında önemli katkıları olan Yapı Malzeme Laboratuvarı ve Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Laboratuvarı personeline teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Çalışmam süresince beni sabırla destekleyen ailemin tüm fertlerine ve özellikle babama müteşekkir olduğumu belirtir, rahmetli annemi saygıyla anar, bu çalışmamın ülkemize yararlı olmasını gönülden dilerim.

Trabzon, Mayıs 1991

Reşat ATAMAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ii
BİRİMLER LİSTESİ	vii
TANIMLAR LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
SEMBOLLER	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ISI GEÇİŞİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Isı Geçişi ve Temel Kavramlar	3
2.3. Isı Geçişi Kuralları	5
2.3.1. İdeal Kurallar	5
2.3.2. Termodinamiğin Temel Kuralı	7
2.4. Isı Taşınımının Sonlu Farklar Yöntemiyle İncelenmesi	8
BÖLÜM 3. BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMINA AİT GENEL BİLGİLER	20
3.1. Giriş	20
3.2. Sıcaklığın Beton ve Donatı Üzerindeki Etkileri	20
3.2.1. Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri	21
3.2.2. Sıcaklığın Donatı Üzerindeki Etkileri	34
3.3. Betonun Yangın Dayanımına Etkiyen Başlıca Faktörler	37
3.4. Yangın Etkisiyle Oluşan Kırılma Çeşitleri	51
BÖLÜM 4. BETON KESİTLERDE SICAKLIK DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ	52
4.1. Giriş	52
4.2. Plaklarda	52
4.2.1. Bir Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Plaklar	52
4.2.2. İki Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Plaklar	54
4.3. Kirişlerde	54
4.3.1. Tabla Kesitli Kirişlerde	54

4.3.2. Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde	56
4.3.3. Simetrik I Kesitli Betonarme Kirişlerde Sıcaklık Dağılımı	56
4.4. Kolonlarda Sıcaklık Dağılımı	58
4.5. Sayısal Uygulamalar	58
BÖLÜM 5. BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMININ PRATİK HESABI	67
5.1. Giriş	67
5.2. Yapılarda Çeşitli Denetimler	67
5.2.1. Sınıflandırma Ölçütleri	67
5.2.2. Sınıflandırma Yöntemleri	68
5.2.3. Hesap Yoluyla Denetim İlkeleri	69
5.3. Standart Yangın ve Doğal Yangınlar	69
5.3.1. Standart Yangın	69
5.3.2. Doğal Yangınlar	70
5.4. Sıcaklık Dağılımı	70
5.4.1. Temel Faktörler	70
5.4.2. Sayısal Yöntemlerle Hesap	71
5.4.3. Analitik Yöntemle Hesap	72
5.4.4. Deneysel Sonuçlarına Göre Belirleme	72
5.4.5. Beton Özelliklerinin Değişimi	72
5.5. Malzeme Özelliklerinin Değişimi	73
5.5.1. Betonun Basınç Dayanımı	73
5.5.2. Betonun Elastisite Modülü	75
5.5.3. Donatının Çekme Dayanımı	75
5.6. Hesap İlkeleri	76
5.6.1. Dikkate Alınan Kesit Etkileri	76
5.6.2. Patlama	78
5.6.3. Malzemelerin Hesap Dayanımları	78
5.6.3.1. Beton Hesap Dayanımı	78
5.6.3.2. Donatı Hesap Dayanımı	79
5.6.4. İndirgenmiş Sıcak Kesit Kavramı	79
5.6.4.1. Tanım	79
5.6.4.2. Betonarme Bir Kesit Durumu	82
5.6.4.3. Beton Bir Kesit Durumu	82
5.6.5. Direnme Momenti Hesabı	83
5.6.5.1. Yangın Etkisinde Betonarme Dikdörtgen Bir Kesit Durumu	83

5.6.5.2. Yangın Etkisinde Tablalı Bir Kesit Durumu	85
5.6.5.3. Donatı Gerilmeleri	86
5.7. Döşemelerin Denetimi	88
5.7.1. Genel Yöntem	88
5.7.1.1. Hesap Aşamaları	88
5.7.1.2. Açıklık Donatılarındaki Sıcaklık	88
5.7.1.3. Açıklık Direnme Momenti	89
5.7.1.4. Mesnet Hesap Momentleri	89
5.7.1.5. Mesnet Direnme Momenti	95
5.7.1.6. Emniyetle Taşınabilecek Yük	98
5.7.2. Döşeme Kalınlığı Yöntemi	103
5.7.3. Basit Kurallara Göre Hesap	107
5.8. Kirişlerin Denetimi	111
5.8.1. Açıklık Donatısı Sıcaklıkları	111
5.8.2. Açıklık Direnme Momenti	124
5.8.3. Mesnet Direnme Momenti	124
5.8.4. Toplam Direnme Momenti	135
5.8.5. Hesap Momenti	136
5.8.6. Kesme Kuvvetine Göre Denetim	136
5.9. Kolonların Denetimi	143
5.9.1. Merkezi Yüklü Kolonlar	144
5.9.1.1. Betonun Ortalama Sıcaklığı	144
5.9.1.2. Donatı Sıcaklıkları	144
5.9.1.3. Kolonun Merkezi Yük Taşıma Gücü	146
5.9.2. Bileşik Eğilme Etkisindeki Kolonlar	149
5.9.2.1. Sıcaklık Dağılımı	149
5.9.2.2. İndirgenmiş Sıcak Kesit	149
5.9.2.3. Dikkate Alınacak Kesit Etkileri	149
5.9.2.4. Direnme Momenti	150
5.10. Duvarların Denetimi	154
5.10.1. Betonun Ortalama Sıcaklığı	155
5.10.2. Donatı Sıcaklıkları	156
5.10.3. İndirgenmiş Sıcak Kesit	156
5.10.4. Duvarın Merkezi Yük Taşıma Gücü	157

BÖLÜM 6. YÜKSEK SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN BETONUN DAYANIMINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	161
6.1. Giriş	161
6.2. Deney Yöntemi	161
6.3. Deney Numunelerinin Özellikleri	162
6.4. Kullanılan Betonun Özellikleri	162
6.4.1. Çimento	162
6.4.2. Agregası	162
6.4.3. Karma Suyu Miktarı ve Betonun Bileşimi	164
6.5. Deney Numunelerinin Yapımı	164
6.5.1. Karma	164
6.5.2. Yerine Koyma	164
6.5.3. Kalıplar	165
6.5.4. Deney Numunelerinin Saklanması ve Deney Anındaki Yaşları	166
6.6. Deneylerin Yapılışı	166
6.6.1. Deney Elemanlarının Deneye Hazırlanması	166
6.6.2. Deneylerde Kullanılan Aletler	166
6.6.2.1. Deney Fırını	166
6.6.2.2. Eğilme Deney Aleti	167
6.6.2.3. Basınç Deney Aleti	169
6.7. Deney Sonuçları	170
BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	172
KAYNAKLAR	175
EK-A. YANGIN KONUSUNDA BİR STANDART NİTELİĞİNDEKİ PADİŞAH FERMANI	180
A.1. Giriş	180
A.2. Yangın Türleri ve Nedenleri	181
A.3. Türkiye'de Yangın Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar	181
A.4. Yangına Karşı Alınacak Önlemler	182
A.4.1. Tasarım ve İnşaat Aşamalarında Alınması Gereken Bazı Önlemler	183
A.4.2. İşletme Aşamasında Alınabilecek Önlemler	183
ÖZGEÇMİŞ	185

BİRİMLER LİSTESİ

SI-ALIŞILMIŞ SİSTEM BİRİM DÖNÜŞÜMLERİ

(1 kgf=10 N varsayımıyla)

CİNSİ	ULUSLARARASI SİSTEM (SI)	SEMBOLÜ	ALIŞILMIŞ SİSTEM
-	Newton	N	0,10 kgf
-	deka-Newton	daN	1,00 kgf
-	mega-Newton	M.N	10 ⁵ kgf
Tekil yük	kilo-Newton	kN	100,00 kgf
Eşit yayılı yük şiddeti	kilo-Newton/metre	kN/m	100,00 kgf/m
Dayanım ya da gerilme	Newton/mm ²	N/mm ²	10,00 kgf/cm ²
Moment	kilo-Newton·metre	kN·m	100,00 kgf·m

TANIMLAR LİSTESİ

BETON YAPILAR YA DA ELEMANLAR : Betonarme, öngerilmeli ya da kısmen öngerilmeli betondan yapılmış yapı ya da yapı elemanlarıdır.

DİRENME MOMENTİ : Plastik mafsallı halini almış kesitteki momentin değeri (izostatik sistemlerde kırılma momenti).

DONATI : Yapı elemanlarında kullanılan çelik çubuklardır.

PLASTİK MAFSAL : Üzerindeki moment direnme momentine erişmiş bir kesitin mevcut kesit etkisini muhafaza ederek dönmelemlerle şekil değiştirmeye devam etmesi halidir.

STANDART YANGIN : Sıcaklık artışının, zamanla değişiminin T_0 ortam sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), T ise t (dakika) anındaki ortam sıcaklığını göstermek üzere $T=345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t+1)+T_0$ bağıntısıyla ifade edilmesidir.

KISALTMALAR LİSTESİ

- A.C.I. : American Concrete Institute
B.S. : British Standard
C.S.T.B. : Centre Scientifique et Technique du Batiment
C.T.I.C.M. : Centre Technique Industriel de La Construction
Métallique
D.I.N. : Deutsche Industrie Normen
D.T.U. : Documents et Techniques Unifiés
L'I.T.B.T.P. : L'Institut Technique du Batiment et des Travux
Publics

SEMBOLLER

- A_c : Beton alanı
 A_s : Çekme donatısı alanı
 A_{si} : i Donatı çubuğunun kesit alanı
 A_{sT} : T sıcaklığındaki donatı kesit alanı
 a : Isı yayılım katsayısı, uzaklık
 b_w : Tablalı kirişlerde gövde genişliği
 c : Özgül ısı
 d : Faydalı yükseklik
 E : Elastisite modülü
 E_c : 28 günlük betonun elastisite modülü
 E_{cj} : j Günlük " " "
 E_s : Çelik elastisite modülü
 F_c : Betondaki basınç kuvveti bileşkesi
 F_d : Hesap yükü
 F_s : Donatıdaki çekme kuvveti bileşkesi
 f_{cd} : Hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı
 f_{ck} : 28 günlük betonun silindir basınç dayanımı (karakteristik dayanım)
 f_{c90} : 90 günlük betonun silindir basınç dayanımı
 f_{cj} : j günlük " " " "
 f_{yk} : Donatı çeliğinin akma dayanımı
 G : Sabit yük ya da yük etkisi
 G_1 : Döşeme öz ağırlığı
 g : Birime (boy ya da alan) etkiyen öz ağırlık
 H : Kolon yüksekliği
 h : Kiriş yüksekliği, kalınlık
 h_f : Tabla kalınlığı
 I : Eylemsizlik momenti
 i : Çubuk no
 j : Gün sayısı
 L : Açıklık, eleman boyu
 l_g : Sol mesnet açıklığı
 l_d : Sağ " "
 l'_g : İndirgenmiş sol mesnet açıklığı

- l'_d : İndirgenmiş sağ mesnet açıklığı
 l_k : Burkulma boyu
 M : Eğilme momenti, masiflik katsayısı
 M_a : Yük momenti
 M_d : Hesapta kullanılacak eğilme momenti
 M_o : Eşdeğer izostatik kirişin eğilme momenti
 M_r : Kesitin taşıma gücü momenti
 M_{od} : İzostatik açıklık hesap momenti
 M_T : Sıcaklık değişiminden meydana gelen moment
 M_{xr} : x doğrultusundaki direnme momenti
 M_{yr} : y " " "
 M_θ : Dönme momenti
 m : İndirgenmiş moment
 N : Aksenal kuvvet
 N_{cb} : Kesitin taşıyabileceği aksenal yük
 N_d : Hesapta kullanılacak aksenal kuvvet
 N_r : Direnme normal kuvveti
 n : sayı, şerit no
 p : Toplam yük
 p_d : Mesnetin sağındaki plağa etkiyen yük
 p_g : " solundaki " " "
 p : Emniyetle taşınabilecek yük
 Q : Isı miktarı, hareketli yük ya da yük etkisi
 \dot{q} : Katı cisim içerisindeki enerji üretimi
 R_g : Öngerilme donatısının garantili basınç dayanımı
 S_F : Yangın etkisinde kalma süresi
 T : Sıcaklık
 T_g : Öngerilme donatısının garantili çekme dayanımı
 T_m : Ortam sıcaklığı
 T_n : Bir yüzeydeki ortalama sıcaklık
 T_o : Ortam sıcaklığı
 T_w : Yüzey sıcaklığı
 T_1 : Yangın yük ya da yük etkisi
 t : Zaman
 u : Paspayı
 V : Kesme kuvveti

W	: Rüzgar yük ya da yük etkisi
ω	: Mekanik donatı oranı
x	: Tarafsız eksen derinliği
z	: Moment kolu
α	: Isı taşınım katsayısı, genleşme katsayısı
ΔT	: Sıcaklık farkı
Δt	: Zaman farkı
δ	: Büyütme katsayısı
ϵ	: Birim boy değişimi
ϵ_c	: Beton birim boy değişimi
ϵ_{cu}	: Betondaki en büyük birim boy değişimi
ϵ_s	: Donatı çeliğindeki birim boy değişimi
θ	: Plastik mafsalsal dönmesi
λ	: Isı iletim katsayısı, narinlik oranı
η	: Katsayı
ρ	: Birim kütle
σ	: Gerilme
σ_c	: Betondaki gerilme (basınç)
$\bar{\sigma}_c$: Beton emniyet gerilmesi
σ_s	: Çekme donatısındaki gerilme
ϕ_c	: Betonun dayanım katsayısı
ϕ_s	: Donatının dayanım katsayısı

NOT: Bu listede verilmeyen bazı semboller çalışmada ilgili oldukları yerlerde açıklanmaktadır.

ÖZET

Beton yapıların yangın dayanımı konusunda Türkçe olarak yazılmış yeterli kaynak olmadığı gibi bu konuya ilişkin bir Türk standardı da bulunmamaktadır. Bu boşluğu kısmen doldurabilmek amacıyla bu çalışmada, beton yapılarda yangın konusunda bir sentez çalışmasından sonra, yüksek sıcaklıkların ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Birinci bölümde çalışma ana hatlarıyla tanıtılmaktadır. İkinci bölümde ısı geçişi üzerinde durulmaktadır. Üçüncü bölümde beton yapıların yangın dayanımına ait genel bilgiler yer almaktadır. Dördüncü bölüm beton yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımları ve bu dağılımların bilgisayarla hesabına ayrılmıştır. Beşinci bölümde beton yapıların pratik hesap yöntemleri ve bunlara ait çeşitli sayısal uygulamalar verilmektedir. Altıncı bölüm yüksek sıcaklıkların ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesini, elde edilen sonuçlara göre hazırlanan çizelgeler ve gerekli karşılaştırmalarla varılan bazı yargıları kapsamaktadır.

Çalışmanın bütününden çıkarılan sonuçlar ve öneriler ise yedinci bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü yararlanan kaynaklar listesiyle, yangın konusunda standart niteliğindeki bir Padişah fermanına ait Ek A izlemektedir.

SUMMARY

There aren't enough studies in Turkish about fire resistance of concrete structures. In addition, there is no Turkish standart for this subject too. The purpose of filling this deficiency, firstly, a study of synthesis on fire resistance of concrete structures is given. Then effects of high temperature and cool on bending and compression strength of concrete are determined using experiments. Results got out of experiments are given too.

The study has been introduced main lines in chapter one. Heat transfer is discussed in chapter two. General knowledges on fire resistant of concrete structures are in chapter three. Heat distributions on cross-section of concrete structure elements are presented in chapter four. In the same chapter, heat distributions are calculated using a computer program. In chapter five, practical calculation methods and some numerical examples for fire resistance design of concrete structures are given. How high temperature and cool affects bending and compression strength of concrete are examined experimentally and some tables which are determined according to these results are given chapter six.

In the last chapter results and advices are summarized. This chapter is followed by list of references and one appendix which is order of Sultan Murat III.

BÖLÜM 1

G İ R İ Ő

Dünyanın her yerinde beton yapıların da zaman zaman yangın etkisinde kaldığı ve bunun sonucunda birçok yapının kullanım dışı kalarak önemli derecede can ve mal kaybına neden olduğu hemen herkesce bilinmektedir. Örneğin, İstanbul'da 1866, 1871, 1911 ve 1918 tarihlerinde önemli yangınlar meydana gelmiş ve bu yangınlarda sırasıyla 3334, 3024, 4644 ve 8480 yapı kullanım dışı kalmıştır (1).

Gelişmiş ülkelerin yangın konusunda çok sayıda standarda sahip olmaları bu konuya verdikleri önemi göstermektedir. Bu konuda Osmanlı padişahlarından III. Murat'ın 12 Mart 1579 tarihli fermanı bir standart niteliğinde olmasına rağmen (bkz. Ek A) Türkiye'de beton yapıların yangın emniyeti hakkında bazı kanun, tüzük ve yönetmeliklere serpiştirilmiş bir takım basit kural ve öneriler dışında henüz yürürlüğe girmiş ve projelendirmelerde yangın yüklerinin dikkate alınmasını öngören bir standart bulunmamaktadır. Diğer taraftan konunun öğretim programlarında yeterli derecede yer almaması ve bu konuda kapsamlı Türkçe kaynak bulunamaması nedeniyle mesleğini icra eden mühendislerin bu konudaki bilgileri de oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu araştırmanın başlıca amacı beton yapılarda yangın konusunda bir sentez çalışmasından sonra, yüksek sıcaklıkların ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemektir.

Çalışma yedi asıl ve bir ek bölüm olmak üzere toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup ikinci bölümde ısı geçişine ait temel kavramlar, ısı geçişi kuralları, ısı taşınımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesi üzerinde durulmaktadır.

Üçüncü bölümde, yangın etkisiyle oluşan yüksek sıcaklıkların beton ve donatı üzerindeki etkileri, yangın dayanımına etkiyen başlıca faktörler ve sıcaklık etkisiyle oluşan kırılmalar gibi beton yapıların yangın dayanımına ait genel bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde plak, kiriş ve kolon gibi yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımları, yangının elemana etki-me şeklide dikkate alınarak, incelenmektedir. Bu amaçla çeşitli yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımları, enerji dengesinin sonlu farklar şeklinde ifade edilmesiyle geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla, hesaplanmakta ve buna ilişkin sayısal uygulamalar yer almaktadır.

Beşinci bölümde yapı elemanlarının yangın dayanımı denetimi için geçerli olan mevcut yöntemlerin geliştirilmesi, geliştirilen bu yöntemlerden elde edilen çizelgeler ve her bir yöntem göre beton yapıların yangın dayanımının pratik hesabına ait sayısal uygulamalar sunulmaktadır.

Altıncı bölüm yüksek sıcaklıkların ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesini kapsamaktadır. Deneysel çalışmada beton numunelerin yapımları, saklanmaları, deneye hazır hale getirilmeleri, deneylerde kullanılan aletler ve deneylerin yapılışı üzerinde durulmakta, elde edilen sonuçlara göre hazırlanan çizelgeler ve gerekli karşılaştırmalarla bazı yargılara varılmaktadır.

Çalışmanın bütününden çıkarılan sonuç ve öneriler ise yedinci bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü yararlanılan kaynaklar listesiyle, Padişah III. Murat'ın yangın konusunda bir standart niteliğinde, 12 Mart 1579 tarihli fermanının bulunduğu bir ek izlemektedir.

BÖLÜM 2

ISI GEÇİŞİ

2.1 Giriş

Beton yapı elemanlarının yangın dayanımının deneysel olarak belirlenmesinin daima ekonomik olmaması nedeniyle birçok araştırmacı, yapı elemanları üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçları yaklaşık analitik yöntemlerle yapı sistemlerine uygulamayı önermiştir (2,3,4,5). Ancak bu yöntemlerle ısı etkilerinin yeteriyle dikkate alınamaması kullanımlarını sınırlı kılmaktadır. Zira bu tip yöntemlerle kesit içinde dikkate alınan belirli noktalardaki malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değerlendirilmesi genellikle mümkün olmamaktadır. Bu değerlendirme sonlu elemanlar, sonlu farklar ve dinamik relaxasyon yöntemleri gibi sayısal yöntemlerle ise kolaylıkla yapılabilir.

Bu bölümde ısı geçişine ait temel kavramlar, ısı geçişi kuralları ve ısı taşınımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesi üzerinde durulmaktadır.

2.2 Isı Geçişi ve Temel Kavramlar

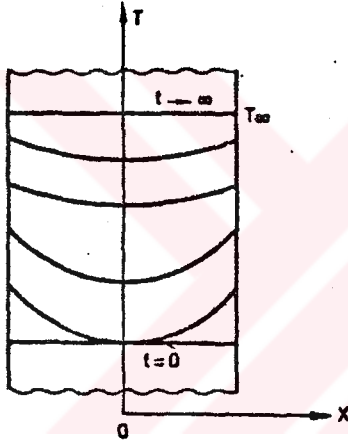
a) Isı geçişi (Transferi): Bir sistem ile çevresi arasında yalnız sıcaklık farkından dolayı meydana gelmektedir. Isı geçişi geçtiği ortamlara göre;

- | | | | | |
|------------------------------|---|----------------|-----|-------------|
| - Isı iletimi (kondüksiyon) | → | Sabit rejim | } → | Geçici |
| - Isı taşınımı (konveksiyon) | | Değişken rejim | | Periodik |
| - Isı ışınımı (radyasyon) | | | | Gelişigüzel |

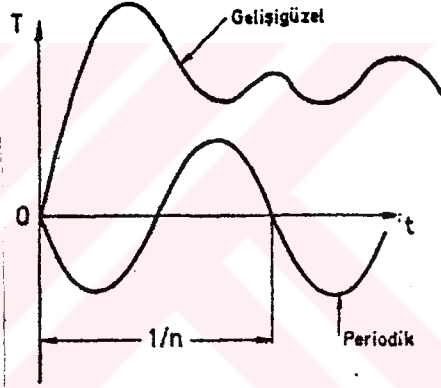
şekillerinden biri, ikisi ya da üçü yoluyla meydana gelmektedir.

Katı maddelerde bir atomdan diğerine aktarılmak suretiyle meydana gelen ısı geçişine ısı iletimi, gaz ya da sıvı akışkanlarda moleküllerin hareketleri sonucunda meydana gelen ısı geçişine ısı taşınımı, katı ile sıvı ya da gaz halindeki akışkanların dalga boyları, ışığın dalga boyundan daha büyük olan elektromanyetik dalgalar şeklinde yayınladıkları ya da yuttukları ısı geçişine ise ısı ışınımı adı verilmektedir.

Zamanla değişmeyen ısı geçişi sabit rejim, değişen ise değişken rejim adını almaktadır. Değişken rejim, geçici, periodik ve gelişigüzel olmak üzere üç farklı şekilde olabilmektedir (Şekil 2.1a ve Şekil 2.1b).



a) Geçici



b) Gelişigüzel ve periyodik

Şekil 2.1. Değişken Rejim Isı Geçiş Türleri (.6)

b) Temel kavramlar;

- Sistem: Sınırlı bir madde topluluğudur. Bir katı maddenin tamamı ya da bir kısmı sistem olarak dikkate alınabilir.
- Enerji: Sisteme eklendiğinde ya da sistemden alındığında, sistemin özelliklerinde değişiklik meydana getirebilen etmendir.
- Isı iletim katsayısı (λ): Sürekli rejim halinde homojen bir sistemin, birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları

arası fark 1°C olduğunda, birim zamanda birim alan ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarıdır. Birimi $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ dir.

- Isı taşınım katsayısı (α): Aralarındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim alanda bir yapı elemanı yüzeyinden geçtiği havaya ya da havadan yapı elemanı yüzeyine birim zamanda geçen ısı miktarıdır. Birimi $\text{kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ dir.
- Özgül ısı (c): Birim ağırlıktaki bir maddenin sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. Birimi $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$ dir.

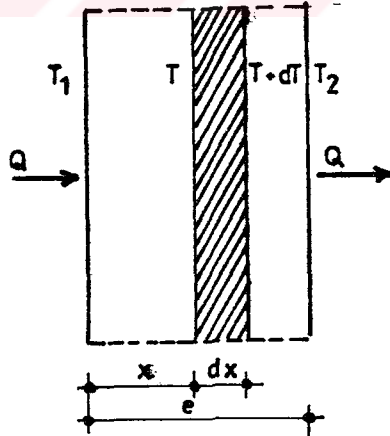
2.3 Isı Geçişi Kuralları

2.3.1 İdeal Kurallar

Isı geçişi problemlerinin çözümünde Fourier ısı geçişi kuralı ile Newton'un soğuma kuralından yararlanılmaktadır.

a) Fourier Kuralı:

Sonlu kalınlıkta homojen ve izotrop, çok uzun bir sistem dikkate alınsın (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sonlu Kalınlıkta Çok Uzun Bir Sistem

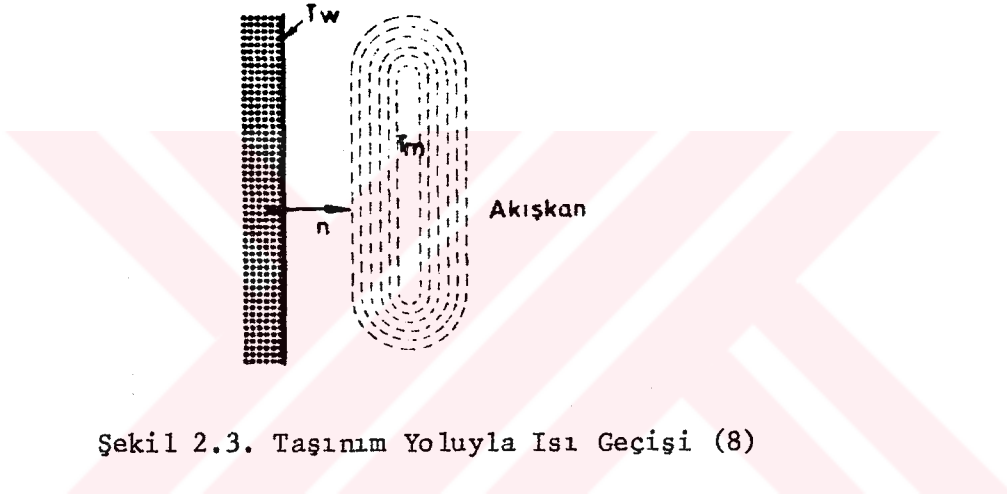
Fourier kuralına göre, e sistemin kalınlığını, A sistemin yüzey alanını, T_1 ve T_2 sırasıyla sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıklarını, λ ise ısı iletkenlik katsayısını göstermek üzere sistemde geçen ısı miktarı,

$$Q = \frac{\lambda A (T_1 - T_2)}{e} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır (8). Burada λ nın sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu hatırlatmak uygun olmaktadır.

b) Newton Soğuma Kuralı:

Yüzey sıcaklığı T_w , yüzey ile temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m olan bir sistem dikkate alınsın (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Taşınım Yoluyla Isı Geçişi (8)

Newton soğuma kuralına göre α ısı taşınım katsayısını, A ise ısı geçişine dik yüzey alanını göstermek üzere sistemin ısı geçiş miktarı,

$$Q_n = \alpha A (T_w - T_m) \quad (2.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır (7). Burada α nın deneysel ya da analitik yöntemlerle belirlenmesinin son derece güç bir problem olduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Çeşitli akışkanlar için ısı taşınım katsayısı Çizelge 2.1 de verilmektedir (7). Yangın sırasında ise bu katsayının $15-40 \text{ kcal/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$ arasında değer aldığı bilinmektedir (9,10).

Çizelge 2.1. Çeşitli Akışkanlar İçin Isı Taşınım Katsayıları (7)

Akışkan Cinsi	α (kcal/m ² h °C)
Hareketsiz hava $u < 2$ m/s	4-20
Rüzgar $u \sim 5$ m/s	20-40
Rüzgar $u \sim 25$ m/s	80-100
Su	500
Su-Sıcaklık farkı büyük	3000
Akan su	500-5000
Kaynar su	500-6000
Buhar-yoğunlaşan	5000-15000
Hava-Duvarın içe bakan yüzü	7
Hava-Duvarın dışa bakan yüzü	20
Hava-Isı geçişi yukarıdan aşağıya	5
Hava-Isı geçişi aşağıdan yukarıya	7

2.3.2 Termodinamiğin Temel Kuralı

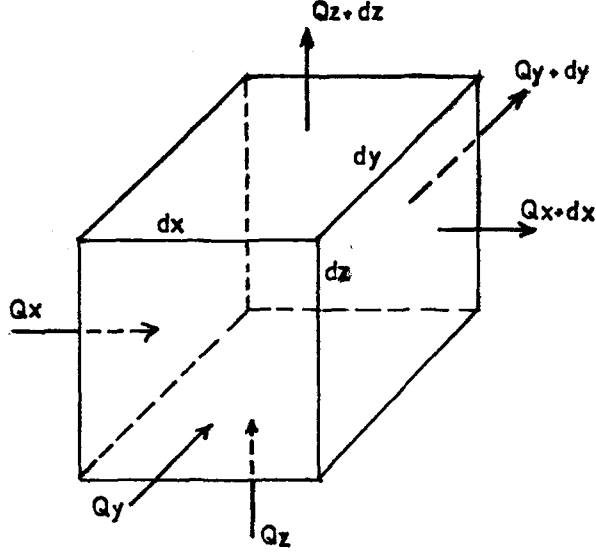
Bu kural herhangi bir sistem için;

$$\{\text{Giren ısı}\} + \{\text{Üretilen ısı}\} = \{\text{Çıkan ısı}\} + \{\text{Depo edilen ısı}\}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bunun matematik ifadesi ise; $\dot{q} dx, dy$ ve dz boyutlarındaki bir hacim elemanının (Şekil 2.4) içerisindeki enerji üretimini, ρ sistemin birim kütesini, c özgül ısısını göstermek üzere,

$$\begin{aligned} (Q_x + Q_y + Q_z) + \dot{q} dx dy dz &= (Q_{x+dx} + Q_{y+dy} + Q_{z+dz}) \\ &+ \rho c dx dy dz \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.3)$$

şeklindedir (6).



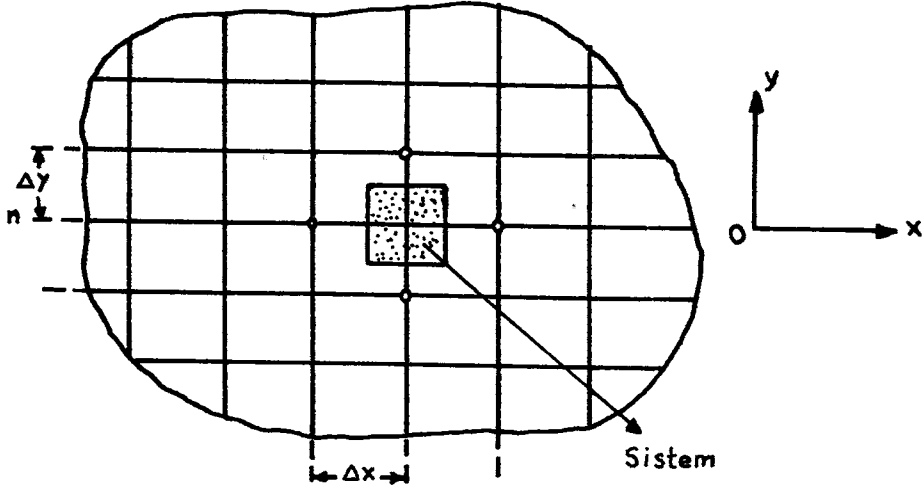
Şekil 2.4. Hacimsel Bir Sistem

2.4 Isı Taşınımının Sonlu Farklar Yöntemiyle İncelenmesi

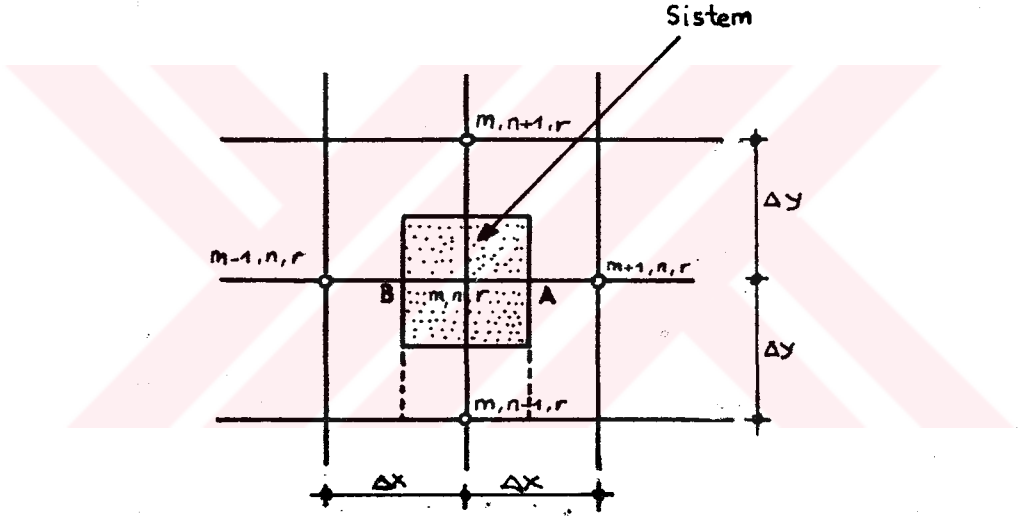
Katı cisimlerin şekillerinin ve sınır koşullarının karmaşık olduğu durumlarda, sıcaklık dağılımının incelenmesinde yaklaşık yöntemler kullanılmaktadır. Karmaşık şekilli katı cisimlerde sıcaklık dağılımının incelenebilmesi için en uygun yöntemlerden biri sonlu farklar yöntemidir. Beton yapı elemanlar çeşitli geometrik şekillere sahiptir. Bu elemanların yangın dayanımlarının belirlenmesi için öncelikle sıcaklık dağılımının belirlenmesi gerekli olmaktadır. Bu başlık altında sıcaklık dağılımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesi üzerinde durulmaktadır.

- Diferansiyel Denklem

Sıcaklık dağılımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesinde temel ilke, sürekli sıcaklık dağılımını gösteren bir diferansiyel denklemi, katı cisim içerisinde belirli noktalarda sıcaklık dağılımını sağlayan sonlu farklar denklemi cinsinden yazmaktır. Örneğin, iki boyutlu kartezyen bir sistemde heterojen bir katı cismin sonlu farklar ağı dikkate alınsın (Şekil 2.5).



a) Sonlu farklar ağı



b) Sistem koordinatları

Şekil 2.5. Heterojen Katı Bir Cismin Sonlu Farklar Ağı ve Sistem Koordinatları

Bu sistemin değişken rejimde iki boyutlu ısı geçişi

$$\text{div}(\lambda \text{ grad } T) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.4a)$$

bağıntısı ya da

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

kartezyen koordinatlardaki Laplace operatörünü göstermek üzere

$$\nabla \lambda \nabla T + \lambda \nabla^2 T + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.4b)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir (6). Yukarıdaki (2.4a) ve (2.4b) bağıntılarında \dot{q} enerji üretimi yüksek sıcaklıklarda betondaki dehidratasyon ve kapiler suyun buharlaşmasıyla meydana gelen enerji değişimini göstermektedir. Ancak bu enerjiyi malzeme özellikleri ve ısı iletim katsayısının içinde dikkate almak suretiyle söz konusu denklemlerde $\dot{q}=0$ konmaktadır. Bu durumda λ homojen izotrop sürekli ortamlarda sabit olan ısı iletkenlik katsayısını ve $a=\lambda/\rho c$ ısı yayılım katsayısını göstermek üzere (2.4a) ve (2.4b) bağıntıları

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilmektedir (6). Bu bağıntı Fourier ısı geçiş bağıntısı adını taşımaktadır. Burada a büyüdükçe sıcaklığında zamanla o oranda artacağı görülmektedir. İki boyutlu ısı geçişinin değişken rejimdeki ifadesi olan (2.5) bağıntısı genellikle

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.6)$$

şeklinde kullanılmaktadır (6). Problemin çözümü için genellikle türevin (sıcaklık basamaklarının) her birinin sonlu farklar cinsinden ifade etmek esasına dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Koordinatları (m, n) olan noktalarda (Şekil 2.5b) $\partial T/\partial x$ türevi ileri sonlu farklar cinsinden

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T(x+\Delta x, y, r) - T(x, y, r)}{\Delta x} \quad (2.7a)$$

şeklinde yazılabilir. m, x doğrultusundaki Δx artımlarının sayısını, n, y doğrultusundaki Δy artımlarının sayısını, $r-1, r, r+1, r+2$ ise Δt zaman aralıklarını göstermek üzere (2.7a) bağıntısı

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{\frac{m+1}{2}, n, r} \approx \frac{T(x+\Delta x, y, r) - T(x, y, r)}{\Delta x} = \frac{T_{m+1, n, r} - T_{m, n, r}}{\Delta x} \quad (2.7b)$$

şeklinde, geri sonlu farklar cinsinden ise

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{\frac{m-1}{2}, n, r} \approx \frac{T_{m, n, r} - T_{m-1, n, r}}{\Delta x} \quad (2.7c)$$

şeklinde yazılabilir.

Merkezi farklar cinsinden

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{1}{\Delta x} \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{\frac{m+1}{2}, n, r} - \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{\frac{m-1}{2}, n, r} \right\} \quad (2.8a)$$

olarak yazılabilir. (2.7b) ve (2.7c) (2.8a) bağıntısında yerine konursa

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{m+1, n, r} - 2T_{m, n, r} + T_{m-1, n, r}}{(\Delta x)^2} \quad (2.8b)$$

olarak elde edilir. y doğrultusunda benzer işlemler yapılırsa

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \approx \frac{T_{m, n+1, r} - 2T_{m, n, r} + T_{m, n-1, r}}{(\Delta y)^2} \quad (2.8c)$$

olarak bulunur. Diğer taraftan sıcaklığın zamana göre değişimi ise ileri sonlu farklara göre

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{m, n, r+1} - T_{m, n, r}}{\Delta t} \quad (2.9)$$

bağıntısıyla belirlenir.

$\Delta x = \Delta y$ seçilir ve (2.8b), (2.8c), (2.9) ifadeleri (2.6) bağıntısında yerine konursa,

$$T_{m, n, r+1} = T_{m, n, r} \left(1 - \frac{4a \Delta t}{(\Delta x)^2}\right) + \frac{a \Delta t}{(\Delta x)^2} (T_{m+1, n, r} + T_{m-1, n, r} + T_{m, n+1, r} + T_{m, n-1, r}) \quad (2.10)$$

olarak elde edilir (6). Bu bağıntı sonlu farklar ağının iç düğüm noktalarında herhangi bir t anında sıcaklığın bilinmesi halinde $t+\Delta t$ ($=r+1$) anındaki sıcaklığın rahatlıkla hesaplanabileceğini göstermektedir.

Bu işlemler n kere tekrarlanmak suretiyle $n \cdot \Delta t$ zaman sonra incelenen katı cismin arzulan noktalarındaki sıcaklıklar hesaplanır. Burada ısı geçişi problemlerinin çözümünde çözümün kararlı olması gerektiğini belirtmek uygun olmaktadır. Buna göre (2.10) bağıntısıyla yapılan çözümün kararlı olabilmesi için $T_{m,n,r}$ nin katsayılarının pozitif dolayısıyla da

$$a \Delta t / (\Delta x)^2 \leq 1/4 \quad (2.11)$$

olması gerekmektedir. Bu denklem iki boyutlu sistemlerin kararlılık koşulu olarak adlandırılmaktadır. Bu da Δt ve Δx artımlarının birbirinden bağımsız olmadığını göstermektedir.

Matematiksel düşüncelerle elde edilen (2.10) bağıntısını sisteme termodinamiğin (2.3) nolu temel kuralıyla ve (2.1) nolu Fourier ısı geçişi kuralının uygulanmasıyla da elde etmek mümkün olmaktadır. Bu işlem yapılırsa

$$\begin{aligned} & \lambda \cdot \Delta y \cdot b \left(\frac{T_{m-1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \Delta y \cdot b \left(\frac{T_{m+1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) \\ & + \lambda \cdot \Delta x \cdot b \left(\frac{T_{m,n+1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) + \lambda \Delta x \cdot b \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) \\ & = \rho c \Delta x \Delta y b \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

olarak elde edilir.

Burada $\Delta x = \Delta y, b=1$ alınır ve $T_{m,n,r+1}$ için çözüm yapılırsa (2.10) bağıntısı aynen elde edilmiş olur. (2.11) bağıntısından $(\Delta x)^2 / (a \cdot \Delta t) = 4$ olarak seçilirse (2.10) bağıntısı

$$T_{m,n,r+1} = \frac{1}{4} (T_{m+1,n,r} + T_{m-1,n,r} + T_{m,n+1,r} + T_{m,n-1,r}) \quad (2.13)$$

şeklini alır (8). Bu son bağıntı herhangi bir $(r+1)$ anında (m,n) noktasındaki sıcaklığın, bir önceki zamanda dört çevre

noktasındaki sıcaklıkların ortalaması olarak hesaplanabileceğini göstermektedir. Burada (2.10) ya da (2.13) bağıntılarının sonlu farklar ağı iç düğüm noktalarında geçerli olduğunu belirtmek uygun olmaktadır.

Sınır ya da sınıra yakın düğüm noktalarındaki sıcaklıkların hesaplanabilmesi için sınır koşullarında sonlu farklar cinsinden ifadesi gerekli olmaktadır.

- Sınır Koşulları:

A) Yalıtılmamış sınırlar

1) Yalıtılmamış doğrusal sınırlar

a) Kenar sistemde

b) Köşe sistemde

2) Yalıtılmamış eğrisel sınırlar

B) Yalıtılmış sınırlar

1) Yalıtılmış doğrusal sınırlar

2) Yalıtılmış eğrisel sınırlar.

A) Yalıtılmamış Sınırlar

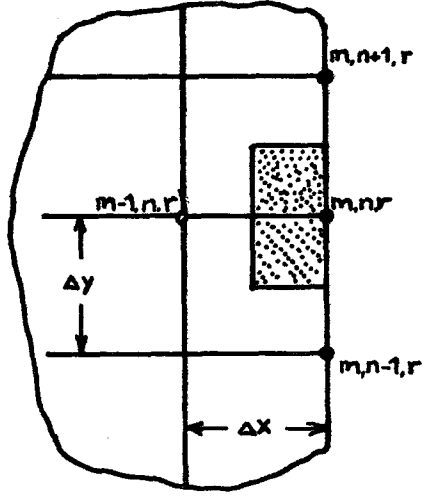
1) Yalıtılmamış doğrusal sınırlar

a) kenar sistemde

Isı geçişi kuralları (madde 2.3) kenar sisteme uygulanırsa (Şekil 2.6),

$$\begin{aligned}
 & \lambda \Delta y \cdot b \left(\frac{T_{m+1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \frac{\Delta x}{2} b \left(\frac{T_{m,n+1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) \\
 & + \lambda \frac{\Delta x}{2} b \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) + \alpha \Delta y b (T_{\infty} - T_{m,n,r}) \\
 & = \rho c \frac{\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \Delta y b \quad (2.14a)
 \end{aligned}$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda $\Delta x = \Delta y$, $b=1$ alınır ve $T_{m,n,r+1}$ yalnız bırakılırsa,



Şekil 2.6. Kenar Sistem Koordinatları

$$T_{m,n,r+1} = \frac{a\Delta t}{(\Delta x)^2} \left\{ 2 \alpha \frac{\Delta x}{\lambda} T_{\infty} + 2 T_{m+1,n,r} + T_{m,n+1,r} \right. \\ \left. + T_{m,n-1,r} + \left[\frac{(\Delta x)^2}{a\Delta t} - 2 \frac{\alpha \Delta x}{\lambda} - 4 \right] T_{m,n,r} \right\} \quad (2.14b)$$

olarak bulunur. Bu da $M = (\Delta x)^2 / a \Delta t$ ve $N = \alpha \Delta x / \lambda$ alınarak

$$T_{m,n,r+1} = \frac{2NT_{\infty} + [M - (2N+2)] T_{m,n,r} + 2T_{m+1,n,r}}{M} \quad (2.14c)$$

şeklinde yazılabilir (6).

Daha önce de belirtildiği gibi çözümün kararlı olabilmesi için $T_{m,n,r}$ katsayısı pozitif dolayısıyla da

$$M > 2 + 2N \text{ ya da } \frac{(\Delta x)^2}{a \Delta t} > 2 \left(\frac{\alpha \Delta x}{\lambda} + 1 \right) \quad (2.15)$$

olması gerekmektedir.

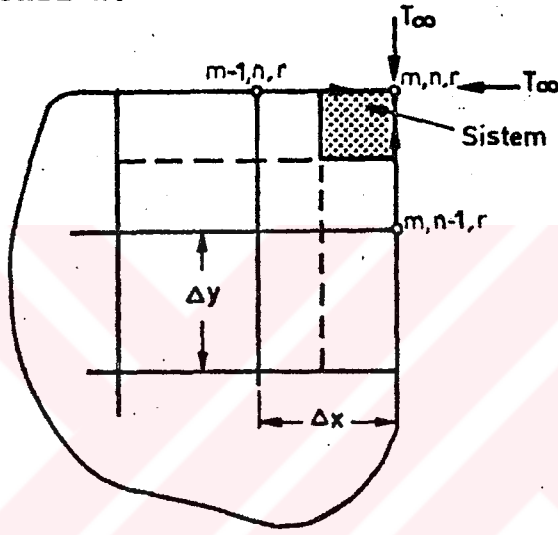
Burada ısı geçişi problemlerinde başlangıç koşulunun diğer bir deyişle $t=0$ anında sıcaklık dağılımının bilindiğinin kabul edildiğini belirtmek uygun olmaktadır.

b) Köşe sistemde:

Isı geçişi kuralları (madde 2.3) köşe sistemlere uygulanırsa (Şekil 2.7)

$$\lambda \frac{\Delta y}{2} b \left(\frac{T_{m-1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \frac{\Delta x}{2} b \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) + \alpha \Delta x \Delta y b (T_{\infty} - T_{m,n,r}) = \rho c \Delta x \Delta y b \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \quad (2.16a)$$

bağıntısı elde edilir.



Şekil 2.7. Köşe Sistem Koordinatları

Bu bağıntıda $\Delta x = \Delta y$, $b=1$ için

$$\frac{1}{2} (T_{m-1,n,r} + T_{m,n-1,r}) - T_{m,n,r} + \frac{\alpha \Delta y}{\lambda} T_{\infty} - \frac{\alpha \Delta x}{\lambda} T_{m,n,r} = \frac{(\Delta x)^2}{a \Delta t} T_{m,n,r+1} - \frac{(\Delta x)^2}{a \Delta t} T_{m,n,r} \quad (2.16b)$$

şeklini alır. Buradan $T_{m,n,r+1}$ yalnız bırakılırsa,

$$T_{m,n,r+1} = \frac{a\Delta t}{(\Delta x)^2} \left\{ \frac{1}{2} (T_{m-1,n,r} + T_{m,n-1,r}) + \frac{\alpha\Delta x}{\lambda} T_{\infty} \right. \\ \left. + \left[\frac{(\Delta x)^2}{a\Delta t} - \frac{\alpha\Delta x}{\lambda} - 1 \right] T_{m,n,r} \right\} \quad (2.16c)$$

olarak bulunur. Bu bağıntıda

$$M = \frac{(\Delta x)^2}{a\Delta t}, \quad N = \frac{\alpha\Delta x}{\lambda}$$

alınarak,

$$T_{m,n,r+1} = \frac{1}{M} \{ N T_{\infty} + [M - N] T_{m,n,r} \} \quad (2.16d)$$

şeklinde yazılabilir (6).

Bu çözümün kararlı olabilmesi için $T_{m,n,r}$ katsayısının pozitif dolayısıyla da

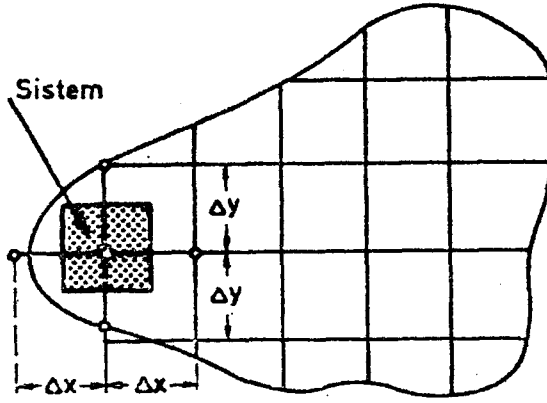
$$M > N \quad \text{ya da} \quad \frac{(\Delta x)^2}{a\Delta t} > \frac{\alpha\Delta x}{\lambda} \quad (2.17)$$

olması gerekmektedir. Doğal olarak (2.14c) ve (2.16d) bağıntılarıyla hesaplanan sıcaklıklar daha önceden biliniyorsa sonraki işlemde bunlar olduğu gibi kullanılırlar.

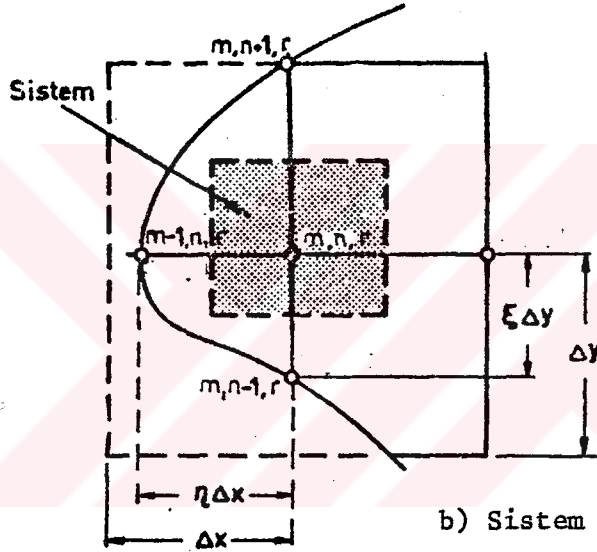
2) Yalıtılmamış Eğrisel Sınır Durumlar:

Eğrisel sınır durumlarda (Şekil 2.8) doğrusal sınırlarda olduğu gibi katı cismin sınır yüzeyleri koordinat eksenlerine paralel olmadığından bunlarda sıcaklık dağılımını analitik yöntemlerle hesaplamak mümkün değildir.

Oysa sonlu farklar yöntemiyle bu sınırlar doğrusal sınırlara dönüştürülerek sıcaklık dağılımı kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Katı cismin sınır yüzeylerinin eğrisel olması halinde de (2.13) bağıntısının iç noktalar için geçerli olduğu açıktır. Ancak, sınıra yakın noktalarda sıcaklıkların belirlenebilmesi için yeni bağıntıların belirlenmesi gerekmektedir. Sınıra yakın (m,n) noktası etrafında bir bölge dikkate alınsın (2.8b).



a) Sonlu farklar ağı



b) Sistem koordinatları

Şekil 2.8. Eğrisel Kenarlı Heterojen Katı Bir Cismin Sonlu Farklar Ağı ve Sistem Koordinatları (6)

Sınırın her noktasında sıcaklığın bilindiği kabulüyle boyutları $(\Delta x/2 + \frac{\eta\Delta x}{2})$, $(\Delta y/2 + \frac{\xi\Delta y}{2})$ olan elemana madde 2.2'deki ısı geçişi kuralları uygulanırsa

$$\begin{aligned}
 & \frac{\lambda(1+\eta)\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n+1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) + \frac{\lambda(1+\eta)\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\xi\Delta y} \right) \\
 & + \frac{\lambda(1+\xi)\Delta y}{2} \left(\frac{T_{m-1,n,r} - T_{m,n,r}}{\eta\Delta x} \right) + \frac{\lambda(1+\xi)\Delta y}{2} \left(\frac{T_{m+1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) \\
 & = \rho c \left(\frac{1+\eta}{2} \right) \Delta x \left(\frac{1+\xi}{2} \right) \Delta y \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \quad (2.18a)
 \end{aligned}$$

olarak bulunur. Bu bağıntıda $\Delta x = \Delta y$, $b=1$ alınır ve $(\Delta x)^2/a$ $t=4$ olarak yerine konur, $T_{m,n,r+1}$ yalnız bırakılırsa

$$T_{m,n,r+1} = \frac{1}{2(1+\xi)} T_{m,n+1,r} + \frac{1}{2(1+\xi)} T_{m,n-1,r} + \frac{1}{2(1+\eta)} T_{m-1,n,r} + \frac{1}{2(1+\eta)} T_{m+1,n,r} - \left[\frac{1}{(1+\xi)} + \frac{1}{(1+\eta)} \right] T_{m,n,r} \quad (2.18b)$$

olarak elde edilir (6).

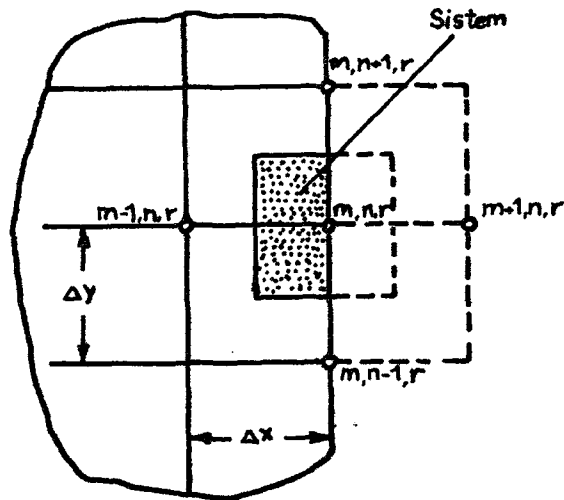
Burada (2.18b) bağıntısının, (m,n) noktasını çevreleyen dört koldan ikisinin eğri tarafından kesilmesi halinde uygulanabileceği gibi, sadece bir kolunun kısa kesilmesi halinde de, uzun kol katsayısının 1 alınması suretiyle de kullanılabileceğini belirtmek uygun olmaktadır. Bu bağıntıda $\eta = \xi = 1$ konursa (2.13) bağıntısını elde etmek gerekir.

B) Yalıtılmış Sınırlar

1) Yalıtılmış Doğrusal Sınırlar

a) Kenar sistemde

Bir yüzeyi yalıtılmış olan kenar sistemde (m,n) noktası etrafında bir bölge dikkate alınsın (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yalıtılmış Kenar Sistem Koordinatları

Bu sistemde de termodinamiğin temel kuralı ve Fourier ısı geçişi kuralının birlikte uygulanmasıyla

$$\begin{aligned}
 & \lambda \frac{\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n+1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) + \lambda \frac{\Delta x}{2} \left(\frac{T_{m,n-1,r} - T_{m,n,r}}{\Delta y} \right) \\
 & + \lambda \Delta y \left(\frac{T_{m+1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) + \lambda \Delta y \left(\frac{T_{m-1,n,r} - T_{m,n,r}}{\Delta x} \right) \\
 & = \rho c \frac{\Delta x}{2} \Delta y \left(\frac{T_{m,n,r+1} - T_{m,n,r}}{\Delta t} \right) \quad (2.19a)
 \end{aligned}$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda yalıtılmış yüzeyde $(m+1,n,r)$ noktasındaki $T_{m+1,n,r} = 0$, $T_{m,n,r} = 0$ alınır ve $T_{m,n,r+1}$ yalnız bırakılırsa

$$\begin{aligned}
 T_{m,n,r+1} & = \frac{a \Delta t}{(\Delta x)^2} \{ T_{m,n+1,r} + T_{m,n-1,r} + 2T_{m,n,r} \\
 & + \left[\frac{(\Delta x)^2}{a \Delta t} - 4 \right] T_{m,n,r} \} \quad (2.19b)
 \end{aligned}$$

olarak bulunur (8). Burada da çözümün kararlı olabilmesi için $T_{m,n,r}$ katsayısının pozitif dolayısıyla da $\frac{(\Delta x)^2}{a \Delta t} \geq 4$ olması gerekmektedir.

b) Köşe sistemde

Bunun için yalıtılmamış köşe sistem için elde edilen bağıntıyı, yalıtılmış doğrusal sınırlardan kenar sisteme uyarlanışına benzer işlemleri yapmak yeterli olmaktadır.

2) Yalıtılmış Eğrisel Sınırlarda:

Yalıtılmamış eğrisel sınırlar için elde edilen bağıntıyı, yalıtılmış doğrusal sınırlardan kenar sisteme uyarlanışına benzer işlemler yapmak gerekli ve yeterli olmaktadır.

BÖLÜM 3

BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMINA AİT GENEL BİLGİLER

3.1 Giriş

Yangın etkisiyle oluşan yüksek sıcaklıklar beton yapıların yangın dayanımı ve dayanıklılığı sorununu ortaya çıkarmakta ve bu sorun inşaat mühendisliğinin önemli problemlerinden biri olmaktadır.

Bu nedenle yapıların yangına karşı emniyetinin sağlanması için:

- Yapıların stabilitesinin sağlanması,
 - Ateş alma (tutuşma) ve zararlı gaz çıkışının sınırlandırılması,
 - Ateşin ve zararlı gazların yayılmasının sınırlandırılması,
 - Çabuk boşaltma ve çabuk söndürme imkanlarının sağlanması,
- gibi önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu önlemlerin hepsinin alınması gerekli olmakla beraber bu bölümde yapıların stabilitesi için gerekli olan sıcaklığın, beton ve donatı üzerindeki etkileri, yangın dayanımına etkileyen faktörler ve sıcaklık etkisiyle oluşan kırılmalar üzerinde durulmaktadır.

3.2 Sıcaklığın Beton ve Donatı Üzerindeki Etkileri

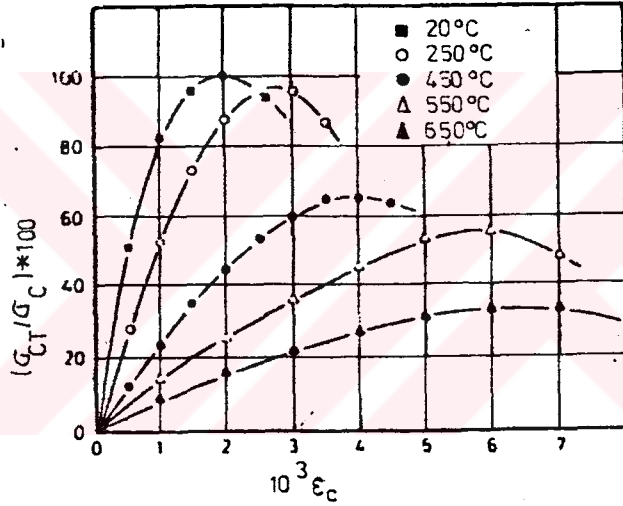
Beton yapı elemanlarının yangın dayanımlarının belirlenebilmesi için, yüksek sıcaklıkların etkisinde kalan beton ve çeliğin davranışının ve sıcaklığın bu elemanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu başlık altında yüksek sıcaklığın beton ve donatı üzerindeki temel etkileri üzerinde durulmaktadır.

3.2.1 Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri

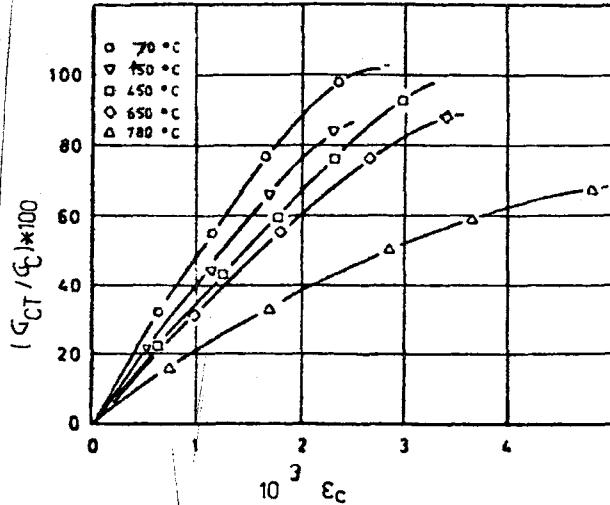
a) Mekanik Özelliklere Etkisi:

Son yıllarda yangın etkisindeki beton elemanların, yüksek sıcaklıklardaki dayanım ve elastisite modülü gibi özelliklerindeki değişimlerini inceleyen birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda değişen sıcaklık etkisindeki numuneler kullanım dışı kalıncaya kadar çekme ve basınç deneylerine tabi tutularak, dayanım, elastisite modülü ve şekildeğiştirme özellikleri incelenmiştir (11,12,13,14).

Yüksüz durumdaki geleneksel ve hafif betonların farklı sıcaklıklardaki σ/ϵ ilişkileri sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de verilmektedir.

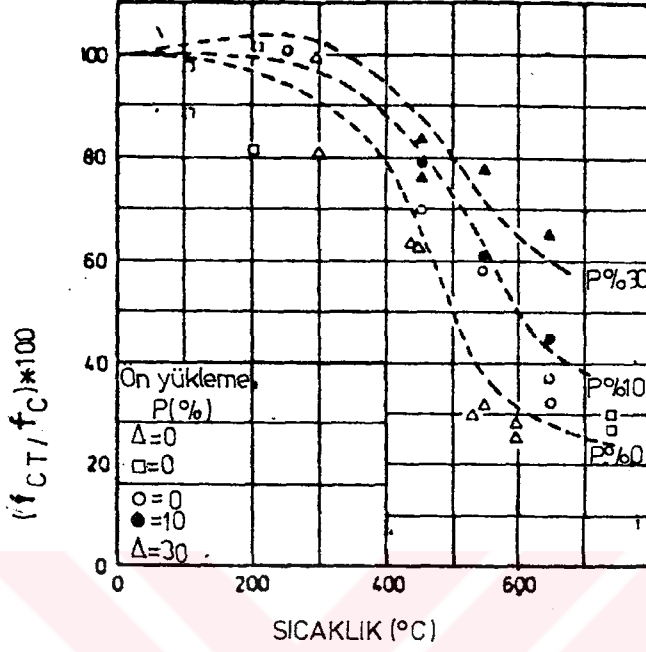


Şekil 3.1. Yüksüz İken Çeşitli Sıcaklıkların Etkisinde Kalmış Geleneksel Betonun Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramı (15).

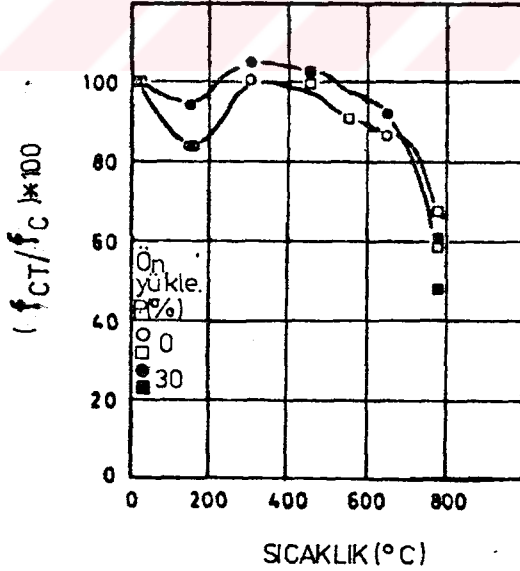


Şekil 3.2. Yüksüz İken Çeşitli Sıcaklıkların Etkisinde Kalmış Geleneksel Betonun Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramı (15)

Yüklü durumdaki söz konusu betonların dayanımlarının sıcaklıkla değişimleri sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 de verilmektedir.



Şekil 3.3. Yüklü Durumda Geleneksel Betonun Basınç Dayanımının Sıcaklıkla Değişimi (15)



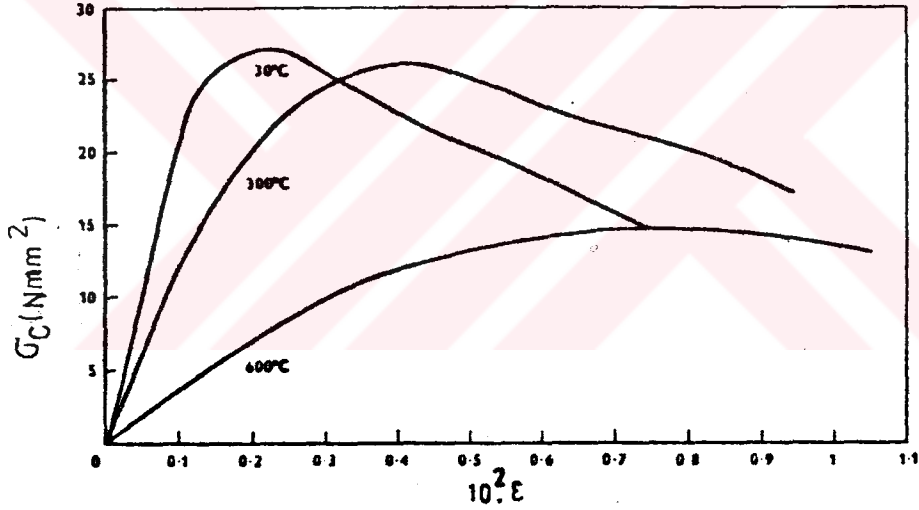
Şekil 3.4. Yüklü Durumda Hafif Betonun Basınç Dayanımının Sıcaklıkla Değişimi (15)

Burada araştırmalardan elde edilen değerlerin kullanılan numunelere ve uygulanan yöntemlere bağlı olduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (700 °C) basıncı altında ki betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin; σ_{\max} ve ϵ_{\max} bir noktada sıcaklıkla değişen maksimum gerilme-şekildeğiştirme değerlerini göstermek üzere;

$$\sigma/\sigma_{\max} = f(\epsilon/\epsilon_{\max}) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebileceği belirtilmektedir (16). Elastisite modülünün sıcaklıkla değişiminin belirlenmesinde yukarıdaki bağıntıya göre çizilen eğriyi kullanmak mümkündür.

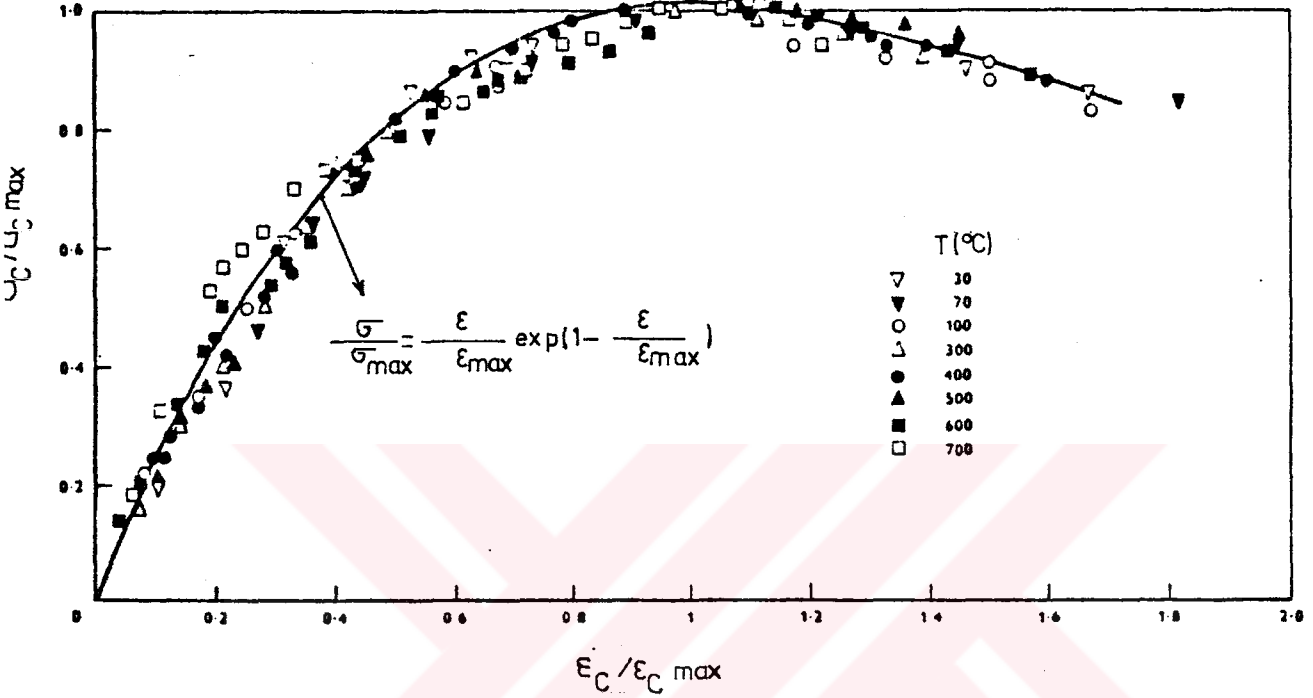
Yüksek sıcaklık etkisindeki silindir numunelerin basıncı altında boy değişimlerinin ölçülmesiyle elde edilen σ - ϵ eğrisi aşağıda verilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Farklı Sıcaklıklarda Betonun Bir Eksenli Basıncı Altında σ_c - ϵ_c Diyagramı (16)

Burada numunelere periyodik olarak uygulanan yük esnasında şekildeğiştirmelerin numunenin yüksüz iken sıfıra dönmediği, tekrar yüklendiğinde ise σ - ϵ eğrisinin kaldığı yerden devam ettiğini belirtmek uygun olmaktadır. Bu nedenle σ - ϵ eğrisi tersinir olmamaktadır. Şekil 3.5 deki σ - ϵ eğrilerinin sıcaklıkla değişimi geniş bir alanda doğrusal değildir. Bu eğriler üzerinden her sıcaklık için σ_{\max} ve bu maksimum gerilmeye karşılık gelen

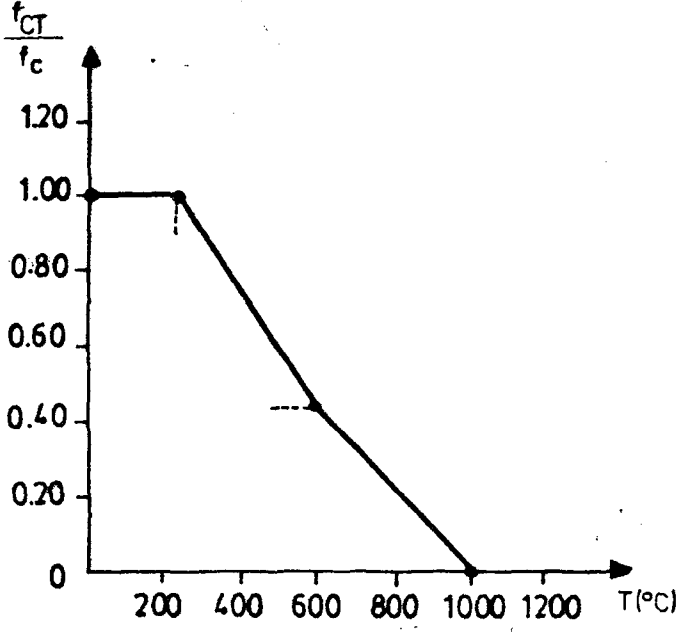
ϵ_{\max} şekildeğiştirme değeri kullanılarak Şekil 3.6 daki diyagram elde edilir. Bu şekilde oluşturulan eğride farklı sıcaklıklar için eğri aynı yönde uzamaktadır. Bu durumda farklı yüksek sıcaklıklar için çizilmiş diyagramlar yerine hesaplarda dikkate alınabilecek bir σ - ϵ diyagramı konmuştur (Şekil 3.6).



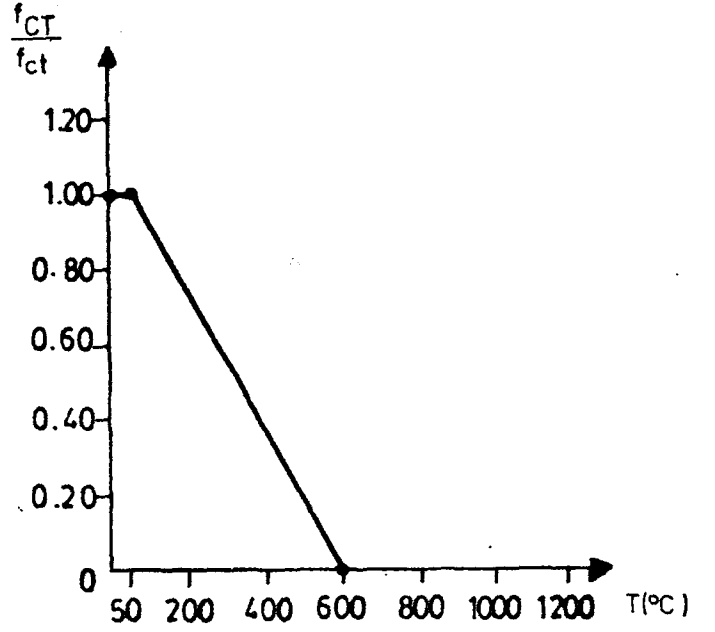
Şekil 3.6. Farklı Sıcaklıklardaki σ_{\max} - ϵ_{\max} Değerleri için Normalleştirilmiş σ_C - ϵ_C Diyagramı (16)

Beton dayanımlarının sıcaklıkla değişimi ise Şekil 3.7 de verilmektedir. Farklı sıcaklıkların etkisindeki numunelerin basınç dayanımları her sıcaklık için σ - ϵ eğrisinin tepe noktası olarak elde edilir (Şekil 3.8). Bu eğriye göre 300°C-400°C'a kadar basınç dayanımı yaklaşık olarak sabit kalmakta daha sonra süratle azalmaktadır. Burada Şekil 3.8 deki eğrinin eğiminin ağrega cinsi, yaş, su, çimento oranı ve karışım koşullarından önemli derecede etkileneceğini belirtmek uygun olmaktadır. Farklı sıcaklıklara ait σ - ϵ eğrisinin σ_{\max} 'a karşı gelen ϵ_{\max} değerleri Şekil 3.9 da verilmektedir.

Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi ise Şekil 3.10 da verilmektedir.

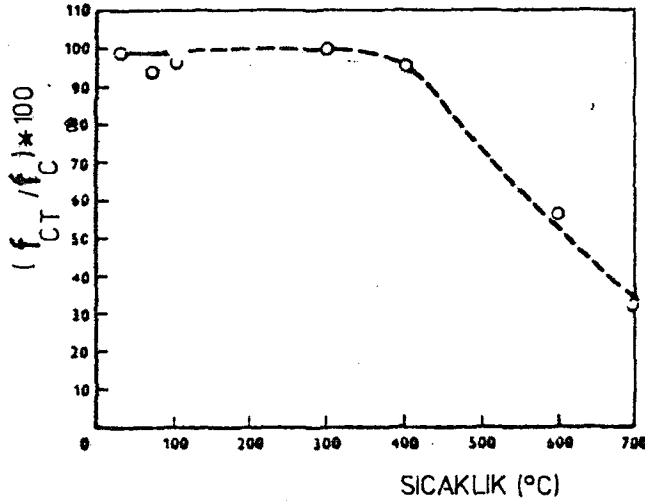


a) Basınç dayanımının değişimi

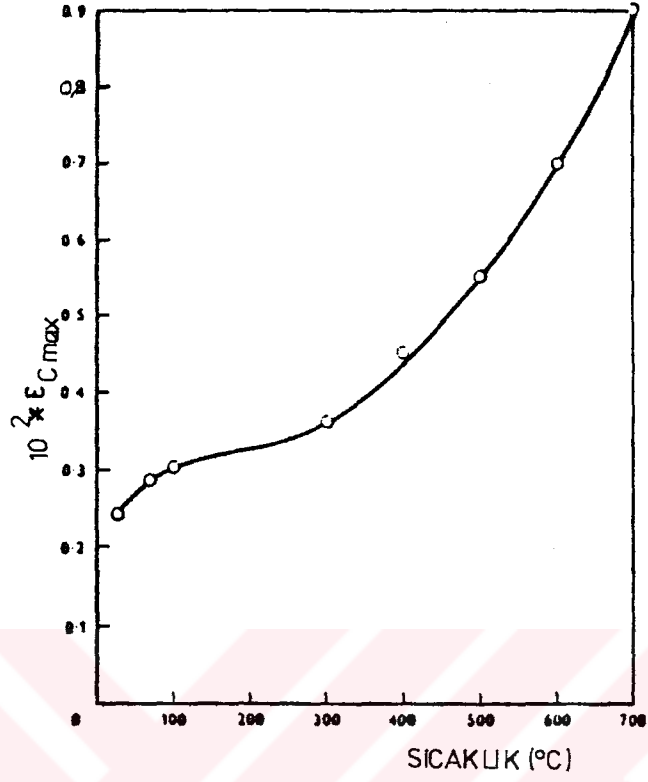


b) Çekme dayanımının değişimi

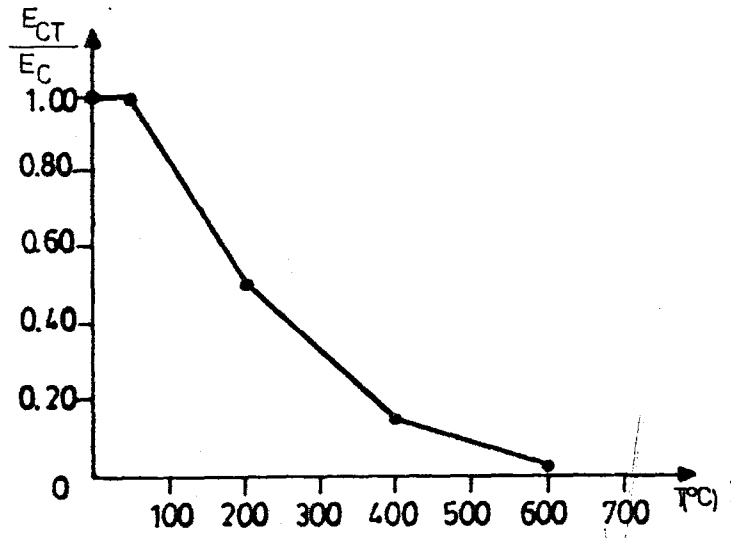
Şekil 3.7. Beton Basınç ve Çekme Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi (17)



Şekil 3.8. Şekil 3.6'ya Göre Beton Basınç Dayanımının Sıcaklıkla Değişimi (16)

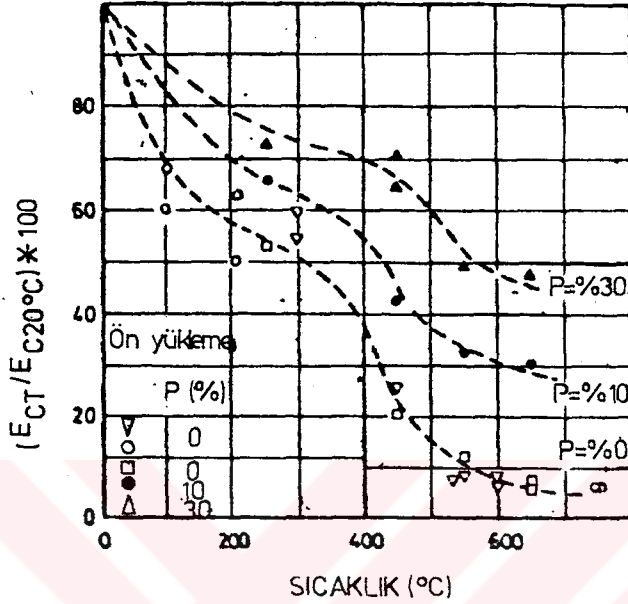


Şekil 3.9. ϵ_c nin Sıcaklıkla Değişimi (16)

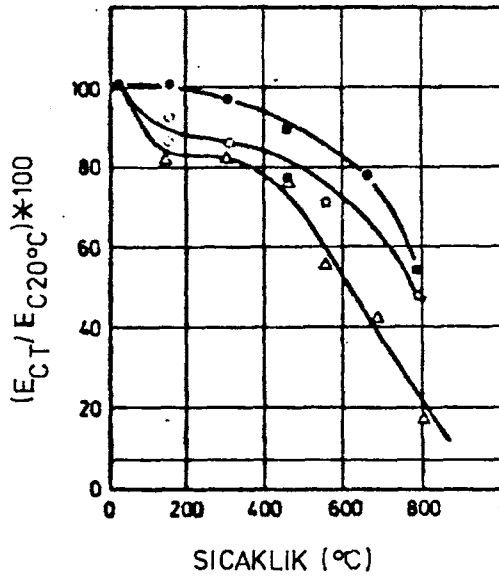


Şekil 3.10. Beton Elastisite Modülünün Sıcaklıkla Değişimi (17)

Betonun elastisite modülü σ/ϵ ilişkisine bağlıdır. Bu durumda daha önce verilen Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 deki eğrilerin değişimlerinden okunan $E_{CT}/E_{C20^{\circ}C}$ değerleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 de verilmektedir.



Şekil 3.11. Yüklü İken Çeşitli Sıcaklıkların Etkisinde Kalmış Geleneksel Betonun E_c Diyagramı (15)



Şekil 3.12. Yüklü İken Çeşitli Sıcaklıkların Etkisinde Kalmış Hafif Betonun E_c Diyagramı (15)

Şekil 3.6 da σ/σ_{\max} 'ın sadece ϵ/ϵ_{\max} 'ın bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bu eğri $\epsilon/\epsilon_{\max} > 0$ olmak üzere

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \exp\left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}}\right) \quad (3.2a)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (16). Eğrinin ilk kısmı ϵ/ϵ_{\max} 'ın küçük değerleri için yaklaşık olarak doğrusaldır. Bu durumda K sabit bir katsayıyı göstermek üzere (3.2a) bağıntısı

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = K \cdot \frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} \quad (3.2b)$$

şeklinde yazılabilir. Elastisite modülü

$$E = K \cdot \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon_{\max}} \quad (3.2c)$$

bağıntısıyla, gerilme ise

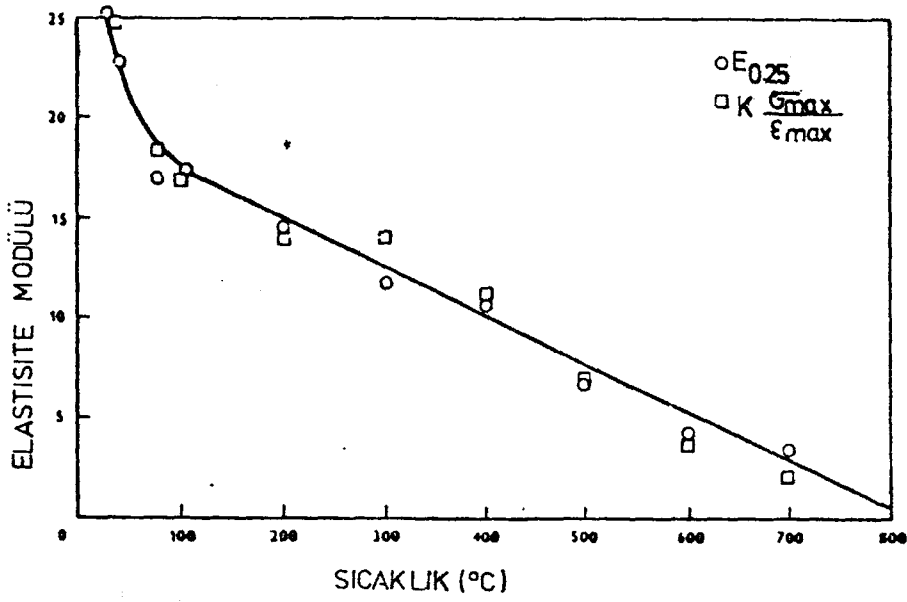
$$\sigma = \left(K \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon_{\max}}\right) \epsilon \quad (3.2d)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntılardaki K sabiti oda sıcaklığında (σ/σ_{\max}) ve E nin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir (16). E değerleri ise eğrinin ϵ değerlerinin küçük olduğu bölgede, $K=2,18$ olarak alınır

$$E = 2,18 \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon_{\max}} \quad (3.2e)$$

den hesaplanabilir. Bu bağıntı yardımıyla Şekil 3.6 daki eğriden σ_{\max} ve ϵ_{\max} değerleri alınarak E nin sıcaklıkla değişimi belirlenebilir (Şekil 3.13).

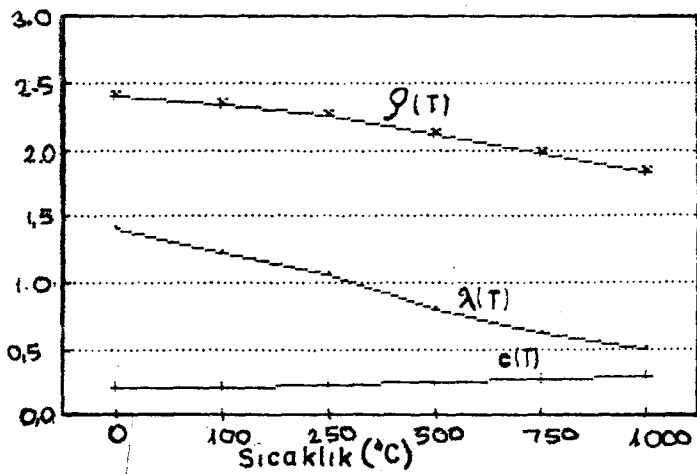
Bu şekilden görüldüğü gibi $T > 100$ °C için elastisite modülü hemen hemen doğrusal olarak azalmaktadır.



Şekil 3.13. Şekil 3.6'ya Göre E_c nin Sıcaklıkla Değişimi (16)

b) Isıl Özelliklerine Etkisi:

Malzemelerin ısıl özelliklerinden ısı iletim katsayısı (λ), özgül ısı (c) ve birim kütlelerinin (ρ) sıcaklıkla değişimi Şekil 3.14 de verilmektedir.

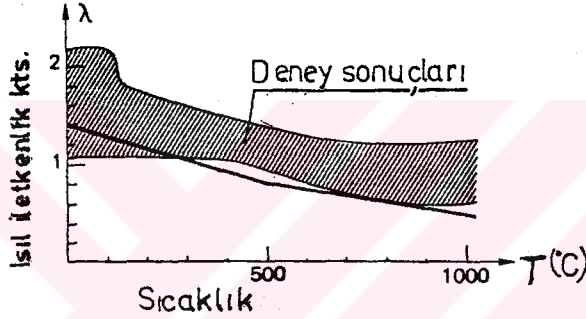


Şekil 3.14. Betonun Isıl Özelliklerinin Sıcaklıkla Değişimi

- Yapılan araştırmalar betonun ısı iletkenliğine etkiyen temel faktörün betonun bileşimine giren agregata türünün olduğunu ortaya koymuştur. Potasyum içermeyen feldspat agregalar gibi doğal agregalardan yapılan betonun ısı iletim katsayısının en küçük değeri 0,0029 kcal/cm sn °C, en yüksek değeri ise 0,0062 kcal/cm sn °C ile kuartz agregalardan yapılan betonun ısı iletim katsayısıdır (18). Isı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 3.15 de verilmektedir. Bu sonuçlar

$$\lambda(T) = 1,4 - 1,5 \cdot 10^{-3} T + 6 \cdot 10^{-7} T^2 \quad \text{kcal/mh}^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir.



Şekil 3.15. Betonun Isıl İletkenlik Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi (19)

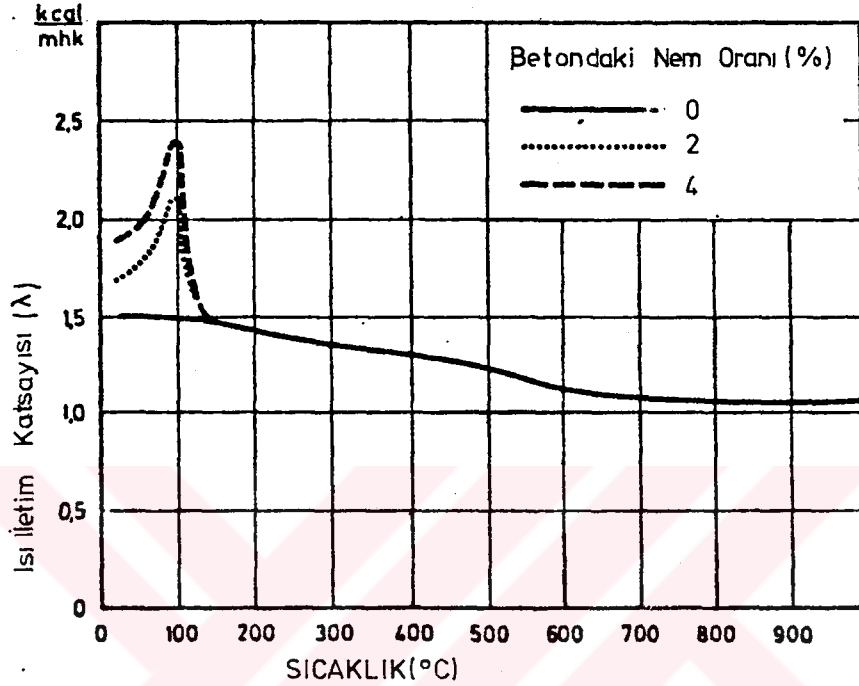
Geleneksel betonların 760 °C da ısı iletim katsayısı 0,0025-0,0035 kcal/cm sn °C arasında değer almaktadır. Oysa normal ortam koşullarında ısı iletim katsayısı 0,0008 kcal/cm sn °C olan hafif betonun ısı iletim katsayısı 0,0015 kcal/cm sn °C değerini almaktadır. Kuvarslı kayaç agregalarından üretilen betonların ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 3.16 da verilmektedir.

- Deneysel çalışmalar, kimyasal yönden oldukça kararlı olan, malzemelerin özgül ısılarının sıcaklıkla çok az arttığını göstermektedir (19). Örneğin 0 °C da özgül ısı 0,2 kcal/kg °C olan bir malzemenin 1000 °C daki özgül ısı 0,3 kcal/kg °C olmaktadır. Bazı düzensizlikler göstermekle beraber betonun özgül ısı da yukarıdaki sınırlar arasında değişmektedir. Bununla

beraber betonun özgül ısısı için

$$C(T) = 0,22 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

sabit değerinin alınması önerilmektedir (20).



Şekil 3.16. Kuvars Agregayla Üretilen Betonun Isı İletim Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi (15)

- Betonun birim kütlesi (ρ) sıcaklıkla çok az değişmektedir. Bu değişim genellikle

$$\rho(T) = 2400 - 0,56 T \text{ kg/m}^3 \quad (3.5)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir (19).

- Isı yayılım katsayısı: Malzemelerin ısı yayılım katsayısı (diffusion)

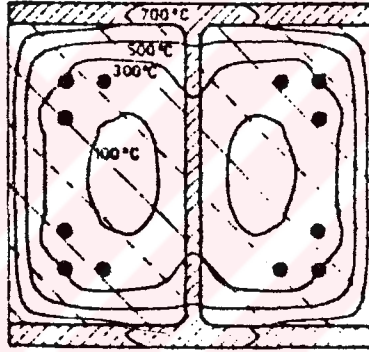
$$a = \lambda / c \rho$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu katsayının sıcaklıkla değişimi Çizelge 3.1 de verilmektedir, çizelgeden a 'nın sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.1. Betonun Isıl Özelliklerinin Sıcaklıkla Değişimi (19)

T (°C)	λ	c	ρ	$a \cdot 10^{-3}$
0	1.40	0.22	2400	2.7
100	1.23	0.22	2344	2.4
250	1.06	0.22	2260	2.1
500	0.80	0.22	2130	1.7
750	0.61	0.22	1980	1.3
1000	0.50	0.22	1840	1.2

Bu değer (a) oda sıcaklığında donatı çeliği için $56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ geleneksel beton için $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ değerini almaktadır (15) Bu durumu Şekil 3.17 de doğrulamaktadır.

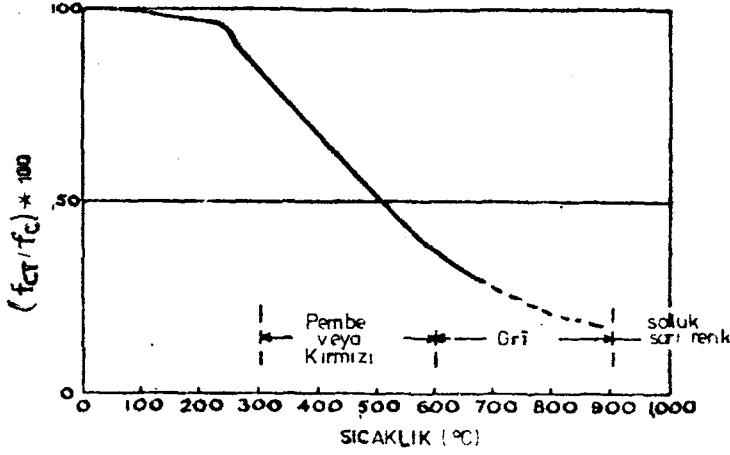


Şekil 3.17. Beton ve Çelikte Isı Yayınlım Katsayısının Sıcaklık Dağılımına Etkisi

c) Renk üzerindeki etkisi:

Yüksek sıcaklıkların etkisinde kalan betonların renklerinde bazen önemli değişiklikler meydana gelir. Bu değişim $300-600 \text{ }^\circ\text{C}$ da kumtaşları, silisli nehir agregaları vb. agregaların kullanılmasıyla üretilen betonlarda belirgin olarak görülmektedir. Granit, bazalt vb. agregaların kullanıldığı betonlarda ise yukarıda sözü edilen sıcaklıklar için renk değişimi oluşmamaktadır. (21). Yüksek sıcaklıkların etkisinde kalan betonların renklerinin

değişmemesi ya dayanımlarında önemli bir değişimin olmadığını ya da renk değişimi yapan iyon tuzlarını içermediğini gösterir (21). Betondaki sıcaklığa bağlı renk değişiminin dayanımla ilişkisi Şekil 3.18 de verilmektedir.



Şekil 3.18. Yüksek Sıcaklıkların Beton Basınç Dayanımı ve Beton Renk Değişimine Etkileri (21)

Bu şekil silis ya da kırma taş agregaların kullanılmasıyla üretilen betonlara aittir. Ancak agregalar serbest silis içermiyorsa (örneğin kireç taşı, kırık tuğla vb. volkanik agregalar) betondaki dayanım kaybı Şekil 3.18 dekine benzer kalmaktadır. Şekilden $T \geq 250$ °C için dayanımın azalmaya başladığını, 600 °C da ise dayanımının %60'ını kaybettiği görülmektedir. $T \geq 250$ °C için dayanım düşerken beton renk değişimine uğrar, üzerinde pembe ya da kırmızı renkler meydana gelir. Bu renkler $T \geq 600$ °C için önce gri ve sonra soluk sarı renge dönüşmektedirler (21).

Bir yangında betonda oluşan hasarların kabul edilebilir sınırlar içinde kalıp kalmadığına ancak yangının elemanda etkili olduğu derinliğin belirlenmesinden sonra karar verilebilir. Bu derinlik ise pembe rengin ulaştığı derinlik olarak belirlenir. Bunun için pembe rengin ulaştığı derinliğin belirlenmesinde karot numunelerden yararlanılabilir. Ancak bu işlemde sonra karot boşluklarını doldurmak gerekmektedir.

3.2.2 Sıcaklığın Donatı Üzerindeki Etkileri

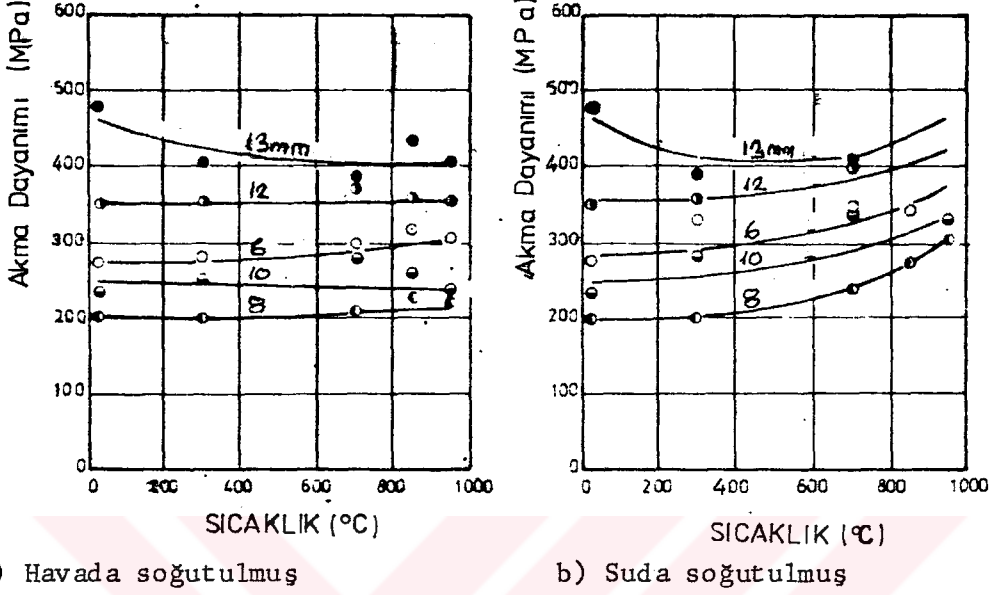
a) Mekanik Özelliklere Etkisi:

Beton yapılarda yangın peksik olmamakla beraber önemli hasar ve kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle beton yapılar da donatı, tesisat ve yapı elemanlarında yangın problemi birçok araştırmaya konu olduğu gibi bu konuda birçok standart'da hazırlanmıştır (22,23,24).

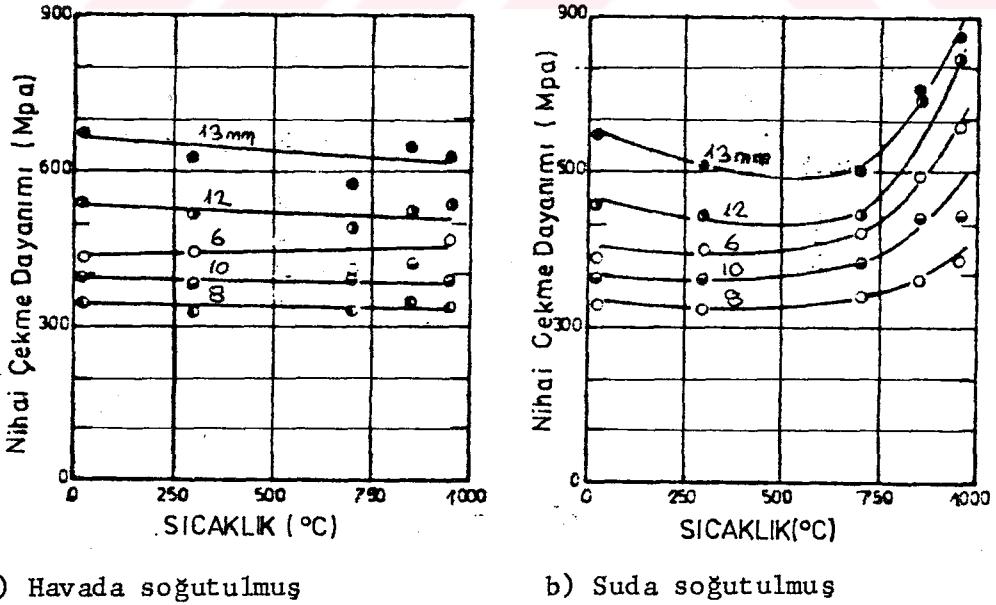
Donatı çubukları yangın sırasında doğrudan ya da dolaylı olarak yüksek sıcaklıkların etkisinde kalabilirler. Uzun bir süre 1500 °C etkisinde kalırlarsa tamamen eriyerek sıvı haline dönüşürler. Belirli sıcaklıklarda donatı çubuklarının metalurjik yapıları bilinen belirli aşamalardan geçerler. Bu dönüşümler esnasında uğradıkları şekildeğişiklikler ve bundan doğan iç gerilmeler ilk metalurjik yapının değişimine neden olmaktadır. Erime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda dahi iç yapıda meydana gelen bir takım değişikliklerden dolayı mekanik özellikler önemli derecede etkilenmektedir. Örneğin 720 °C da çeliklerin birçoğu faz dönüşümüne uğrar. Bu konuda ayrıntılı bilgi için kaynak (25,26)'a başvurulabilir. Kaynak (27,28) de çeşitli donatı çubuklarının belirli yangın süre ve sıcaklıkları ile yangın söndürme yönteminin diğer bir deyişle donatı çubuklarının soğutma şeklinin metalurjik yapılarında meydana gelen değişiklikler üzerinde durulmaktadır.

Yangın sırasında genellikle sıcaklığın tahmin ve kontrolü imkansız denecek kadar zor olmaktadır. Buna karşılık istenirse yangın söndürmede soğutma hızı belirli bir düzeyde tutulabilir. Dolayısıyla da yapı şok etkisinden kurtulabilir. Diğer taraftan suyla yapılan soğutma ile normal koşullarda, susuz, kendiliğinden soğuma arasında önemli farklar bulunduğu da bir gerçektir (29). Örneğin donatı çubuklarının soğukta ya da sıcakta işlem görmeleriyle kazandıkları mekanik özellikler arasında çok önemli farklar bulunmaktadır. Soğukta işlem görmüşlerin çekme dayanımları daha yüksek, kopma uzamaları ise sıcakta işlem görmüş olanlara göre daha küçük olmaktadır.

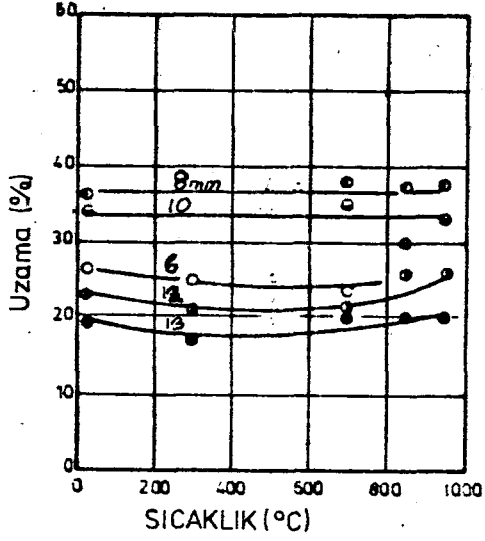
Donatı çubuklarının özelliklerinin sıcaklıkla değişimlerinin incelenmesinden elde edilen diyagramlar Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 de verilmektedir.



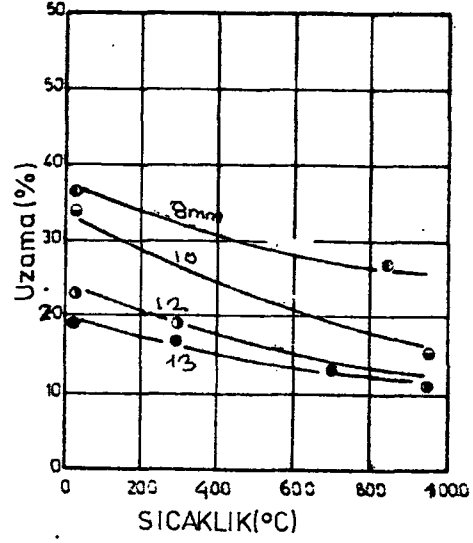
Şekil 3.19. Donatı Çubuğu Akma Dayanımının Sıcaklıkla Değişimi (29)



Şekil 3.20. Donatı Çubuğu Nihai Çekme Dayanımının Sıcaklıkla Değişimi (29)

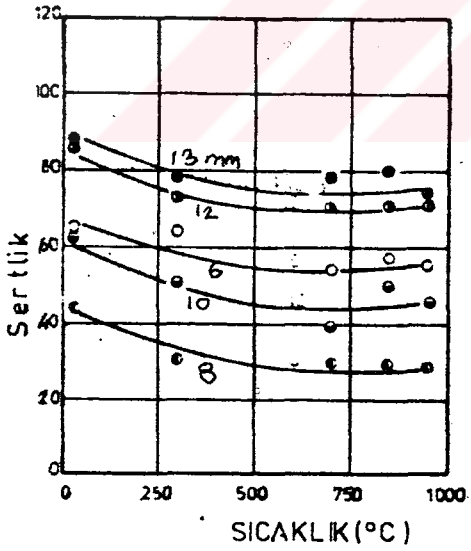


a) Havada soğutulmuş

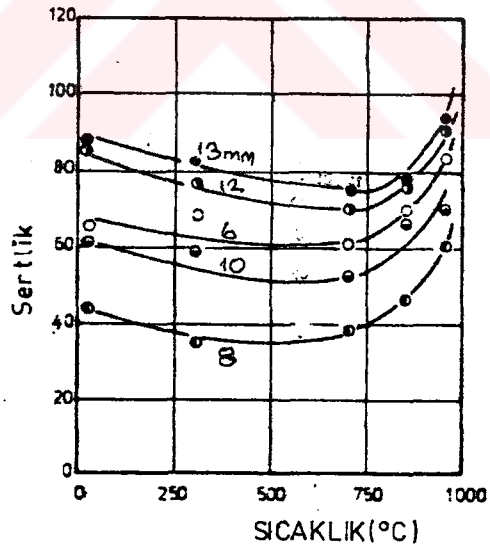


b) Suda soğutulmuş

Şekil 3.21. Donatı Çubuğunda Uzamaların Sıcaklığın Etkisi (29)



a) Havada soğutulmuş

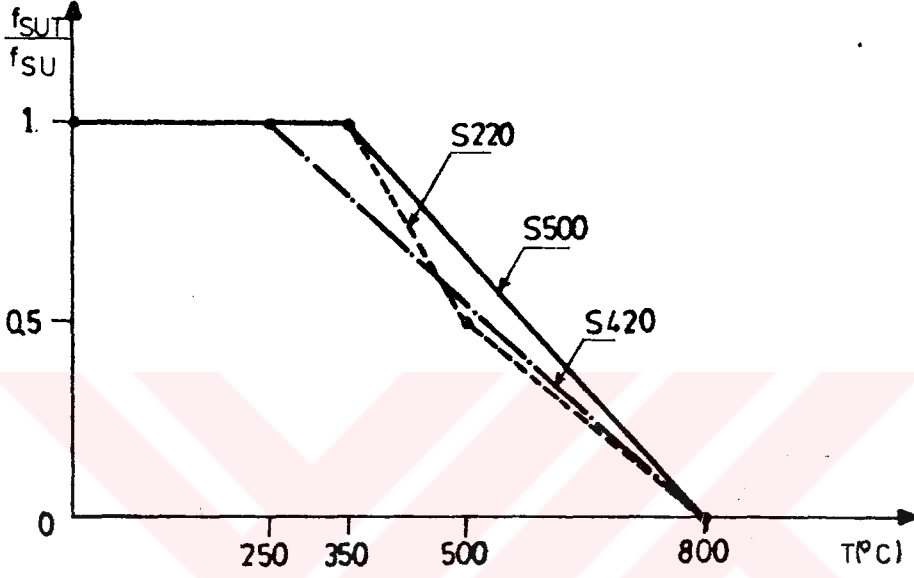


b) Suda soğutulmuş

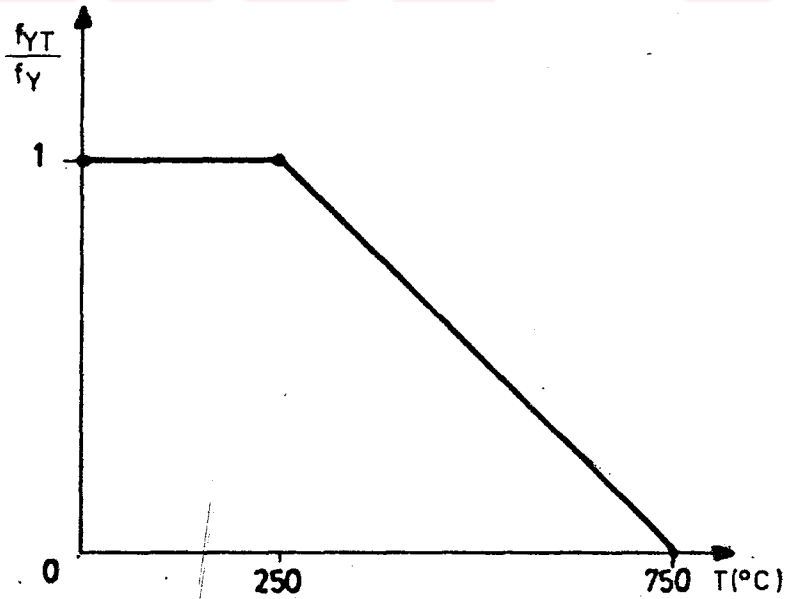
Şekil 3.22. Donatı Çubuğu Sertliğinin Sıcaklıkla Değişimi (29)

b) Betonarme Donatısı Üzerinde Etkileri:

Yumuşak donatı, soğukta işlem görmüş donatı ve kaynaklı hasır donatı özelliklerinin sıcaklıkla değişimi aşağıda verilmektedir.



a) Kopma dayanımının sıcaklıkla değişimi

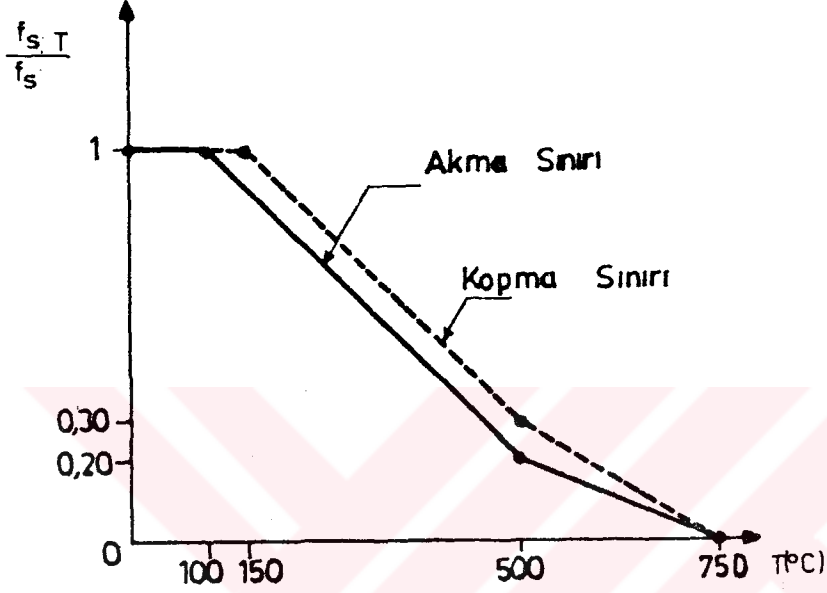


b) Akma sınırının sıcaklıkla değişimi

Şekil 3.23. Betonarme Donatısı Mekanik Özelliklerinin Sıcaklıkla Değişimi (17)

c) Öngerilme Donatısı Üzerinde Etkileri

Öngerilme donatısının kopma ve itibari akma (%02 kalıcı şekildeğiştirme oluşturan gerilme) gerilmesinin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.24 de verilmektedir.



Şekil 3.24. Öngerilme Donatısının Kopma ve İtibari Akma Sınırlarının Sıcaklıkla Değişimi (17)

Öngerilme donatısının kopma uzaması ve genleşme katsayısı ($\alpha=1,5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) sıcaklıkla değişmemektedir (17).

3.3. Betonun Yangın Dayanımına Etkiyen Başlıca Faktörler

a) Beton Bileşiminde Kullanılan Agregaya ve Çimento Türü

- Agregaya

Betonun yangın dayanımı geniş ölçüde bileşiminde kullanılan agregaya türüne bağlıdır. Agregalar oluşumlarına göre iki sınıfa ayrılabilirler (21).

1) Köpüklü curuf, sünger taşı, yüksek fırın curufu, uçucu kül, kırılmış tuğla ve pişirilmiş kil ürünleri, iyi pişirilmiş klinker ve kırmataş, kireçtaşı.

2) Çakmaktaşı, granit ve kireçtaşı hariç kırılmış tüm doğal taşlar.

Genleştirilmiş kil agregalar ve diğer hafif agregalarıda 1. sınıfa sokmak mümkündür.

Agregaların genellikle yangın dayanımlarının yüksek olduğu söylenebilir. Ancak yangın sırasında agreganın üniform olmayan biçimde ısınması veya ısınmış agregaya sıkılan su etkisiyle soğuması sonucu iç gerilmeler doğar ve agregalar bu gerilmeler altında parçalanabilir. Bu açıdan incelendiğinde doğal agregalar yangına dayanım etkilerine göre 4 gruba ayrılabilirler (30).

- 1) Kireçtaşı,
- 2) Feldspat
- 3) Granit ve kumtaşı,
- 4) Silisli agregalar, kuartz ve çakmaktaşı.

Tortulu şist gibi birtakım yapay agregaların yangın dayanımı, yukarıda sınıflandırılmış olan doğal agregaların hepsinden yüksektir.

Kalker ve granitin yangın dayanımı küçüktür, $T < 600^{\circ}\text{C}$ için kalker kimyasal bakımdan ayrışmamakta dolayısıyla da ufalanmamaktadır. Diğer bir deyişle 600°C den daha küçük sıcaklıklar bu tür agregalara zarar vermemekte. Diğer taraftan kalkerin ani soğumadan etkilenmediği bilinmektedir (21). Üretimlerinde granit, çakmaktaşı, silisli çakıl agregalar da kullanılan betonların yangın dayanımları düşüktür.

Kuartz kum ve çakılların çoğunu oluşturan, 573°C lik bir sıcaklığa gelinceye kadar gittikçe genleşen asitli volkanik kayaların çok önemli bileşenidir. Bu sıcaklıkta düşük kuartzın yüksek kuartzla dönüşmesi nedeniyle aniden %85'e varan bir genleşmeye maruz kalırlar. Bu da betonların genellikle ufalanıp parçalanmasına neden olmaktadır.

Kumtaşlarıda kuartz içerdiğinden bu agregalarla üretilen beton sıcaklık etkisiyle ufalanmaktadır. Çimentonun bileşenlerinden olan kumtaşı sıcakla büzülerek kuartz tanelerinin genişleme etkisini yok etmeye yönelir. Yangın etkisindeki betonda kumtaşının dayanımı kaybolduğundan yangın dayanımı iyi olmayan agregalar sınıfına girmektedir.

Yangın dayanımları en iyi agregalar içerisinde çok ince mineraller, dolarit ve bazalt gibi volkanik temel kayalarda vardır.

Kireçtaşı 900 °C sıcaklıkta gittikçe genişler ve karbondioksitin ayrışmasıyla bozularak büzülmeye başlar, bu büzülme dikkate alınarak, yangına dayanıklı beton yapmak için kireçtaşı agrega miktarı artırılır (30). Tüm bunların yangına iyi dayanım gösteren agregaların belirlenmesi için yapılan küçük ölçekli laboratuvar deneyleri ile yapılar üzerindeki büyük ölçekli deneyler yüksek fırın curufu ile kuartz içermeyen kırık tuğla agregaların yangına karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir (31). Betonun, yangının neden olduğu sıcaklığın iletilmesine ve sıcaklığın artması nedeniyle farklı genişlemeler sonucu betonda dökülme ve parçalanma sonucu, dayanımının azalmasında agregaların ısıl iletkenliği ve ısıl genişleme katsayıları da son derece etkili olmaktadır. Çeşitli agregaların ısıl genişleme ve ısıl iletkenlik katsayıları çizelge 3.2 de verilmektedir. Klinker, süngertaşı, genişmiş kil gibi hafif-agregaların ısıl iletkenlik değerlerinin düşük olması nedeniyle yangın dayanımları yüksektir.

Çizelge 3.2. Çeşitli Agregaların Isıl Özellikleri (32)

Agrega türü	Isıl Genl. kats. (1/°C)	Isıl Iletk. kats. (kcal/mh°C)
Bazalt	11×10^{-6}	2,5
Granit		2,5
Kristalize kalker	4×10^{-6}	2,0
Kumtaşı, Breş Konglomera	12×10^{-6}	2,0

Isıl genleşme katsayısının yüksek olması, agregaların yangın etkisiyle parçalanma ihtimalini artırmaktadır. Agregaların bir özelliği de ısınma sonucu genleştikten sonra soğuduklarında eski boyutlarına dönememeleridir. Agregaların tipinin yangın dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla kullanılan 3 adet beton karışımı Çizelge 3.3 de verilmektedir

Çizelge 3.3. Beton Karışımı (33)

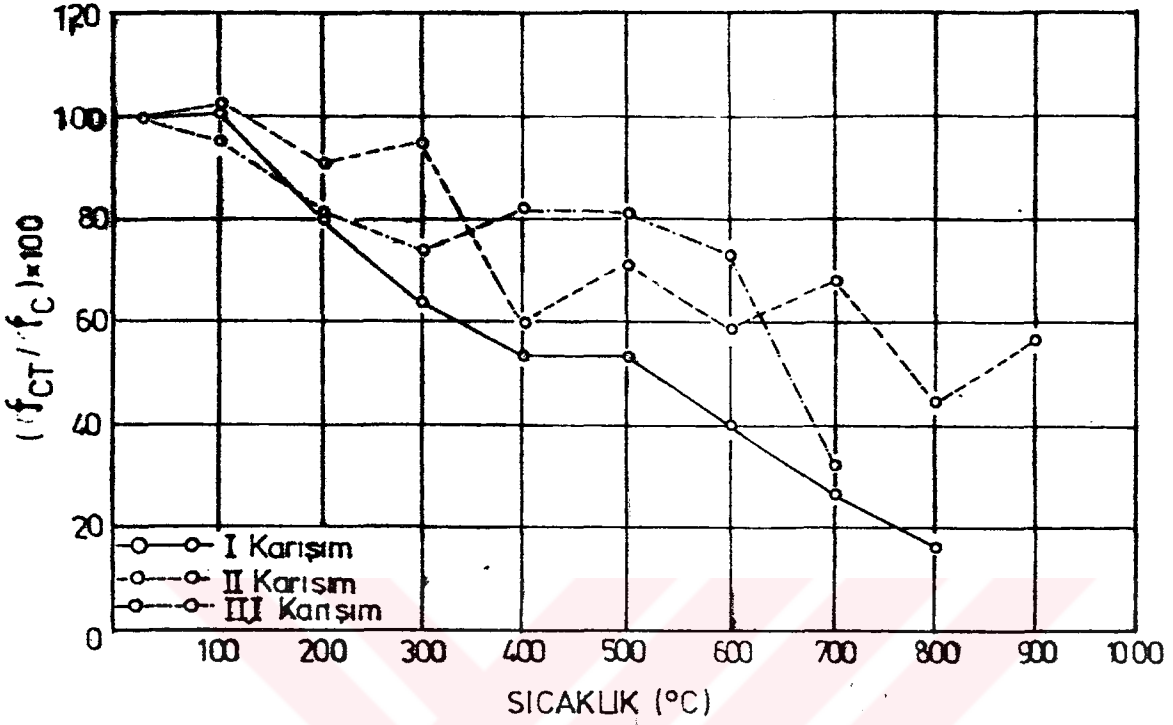
Karışım	Kum Türü	Su/çimento oranı
I	Mercan	0,88
II	Bazalt	0,90
III	%50 Mercan +%50 Bazalt	0,90

Bu araştırmada kullanılan küp numunelerin (10x10x10 cm) ortalama dayanımları Çizelge 3.4 de verilmektedir.

Çizelge 3.4.

Karışım	Kum Türü	Deney yaşı (gün)	Küp dayanımı (N/mm ²)
I	Mercan	35	26,6
II	Bazalt	35	21,6
III	%50 Mercan + %50 Bazalt	35	20,5

Her bir karışımdan elde edilen betonlar 1000 °C sıcaklığa sahip elektrikli fırında ısıtıldıktan sonra, bir hafta normal koşullarda bekletilerek kırılmışlardır. Kum türünün dayanıma etkisinin incelenmesi amacıyla bu değerler Şekil 3.25 de verilmektedir.

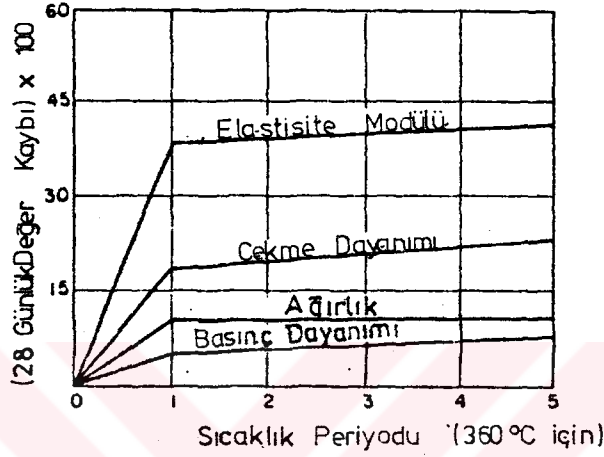


Şekil 3.25. Yüksek Sıcaklıklarda Kum Türünün Beton Dayanımına Etkisi (33)

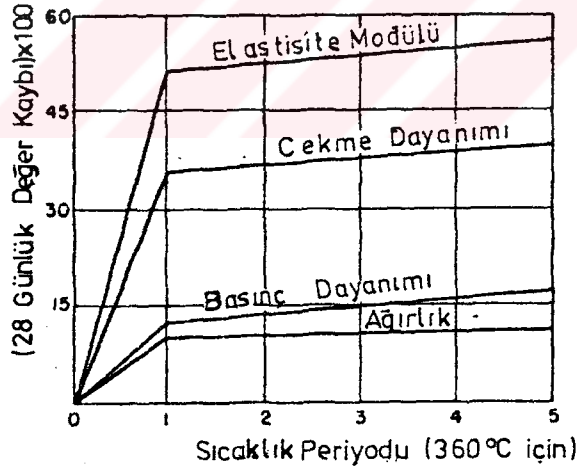
Bu şekilden yüksek sıcaklık etkisinde kalan mercan kumlarıyla yapılan betonun yangın dayanımının bazalt kumlarıyla yapılanlarinkinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Campball-Allen ve Desai 300 °C dan sonra ince agregaya türünün betonun yangın dayanımı üzerindeki etkisini incelediler (35). Bu incelemede biri kireçtaşının iri ve ince agregaya olarak kullanıldığı bir karışım, diğeri ise iri agregaya olarak kireçtaşı, ince agregaya olarak kuartz kumunun kullanıldığı bir karışım olmak üzere toplam iki tür karışım kullanıldı. Adı geçen araştırmacılar bu iki betonun yangın dayanımlarının birbirinden çok farklı olmadığı sonucuna varmışlardır.

David ise kırık tuğla, genişmiş şist agregaları da içeren aşağıdaki oranlardan oluşan iki beton karışımı hazırlamıştır. Bu karışımlar; 79 mm lik kırık tuğla (1068 kg), doğal kum (766 kg), çimento (271 kg), su (152 kg) ve 10 mm lik genişmiş şist (572 kg), doğal kum (705 kg), çimento (308 kg), su (215 kg) dan ibarettir. Kırık tuğla ve genişmiş şist'in betonun yangın dayanımını artırdığı görülmektedir (Şekil 3.26a,b).



a) Tuğla kırığı içeren beton



b) Genleşmiş şist içeren beton

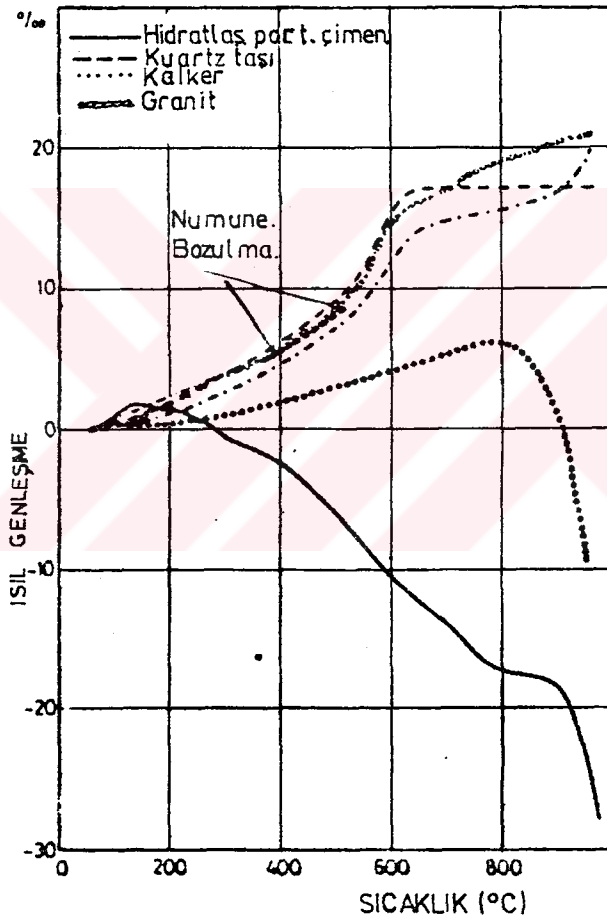
Şekil 3.26. Yüksek Sıcaklıklarda Agregaların Beton Özelliklerine Etkileri (31)

- Çimento

Betondaki şekildeğişmelerin bir kısmı çimentonun genişmesinden meydana gelmektedir. Hidrate olmuş portlant çimentosu önemli miktarda serbest kalsiyum hidroksit içermektedir.

400 - 450°C da su kaybı nedeniyle kalsiyumoksite ayrılır. Eğer bu kalsiyumoksit soğuduktan sonra ıslatılırsa ya da nemli ortamda tekrar kalsiyum hidroksite dönüşür. Bu hacim değişimleri esnasında beton ufalanabilmektedir.

Curuflu portlant çimentosu bu tür reaksiyonlara daha fazla dayanım göstermektedir. Bu çimentolara düşük miktarda serbest kalsiyum hidroksit konduktan sonra, maruz kalınan yüksek sıcaklık süresince granüle edilmiş kum ve kireç bileşimiyle bu özellik verilmiş olmaktadır. Portlant çimentosu bileşimlerin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.27 de verilmektedir.



Şekil 3.27. Çimento Bileşenlerinin Sıcaklıkla Değişimi (15)

Sertleşmiş betonda $T < 900$ °C için kireçtaşı hariç diğer bileşenler birlikte genişleme gösterirler. Çimento en az 300 °C da büzölmeye başlar. Öyleki çimento yüksek sıcaklıklarda büzölerek değişim gösterir. 550-650 °C arasında kuvarsın α - β değişimleriyle

genleşme artar. 650 °C dan yüksek sıcaklıklarda eğriler alçalmaya başlar. Hatta kumtaşlarında sabit genleşme 950 °C 'a kadar devam eder. Daha önce de belirtildiği gibi agregalardan en az genleşme gösteren kireçtaşıdır. Kireçtaşı 900 °C da CaO ve CO₂'e ayrışır. Opal kumtaşı 400 °C da, çakmaktaşı ise 525 °C da uflanır (35).

Bu hacim ve kimyasal değişimler sonucunda beton yapı ya da yapı elemanları yangının süre, şiddet ve söndürme usulüne göre az ya da çok önemli derecede hasar görmekte ya da tamamen kullanım dışı kalmaktadır.

b) Yangında Meydana Gelen Sıcaklık ve Süresi:

Yangın esnasında meydana gelen sıcaklık; yangın mahallinin büyüklüğüne, yapıyı oluşturan malzemelerin ısıl özelliklerine ve atmosfer koşullarına (özellikle rüzgar) göre değişmektedir. Bu sıcaklıklar en az 300-400 °C 'a, genellikle 600-800 °C'a bazen de 1000-1200 °C'a ulaşmaktadır (35).

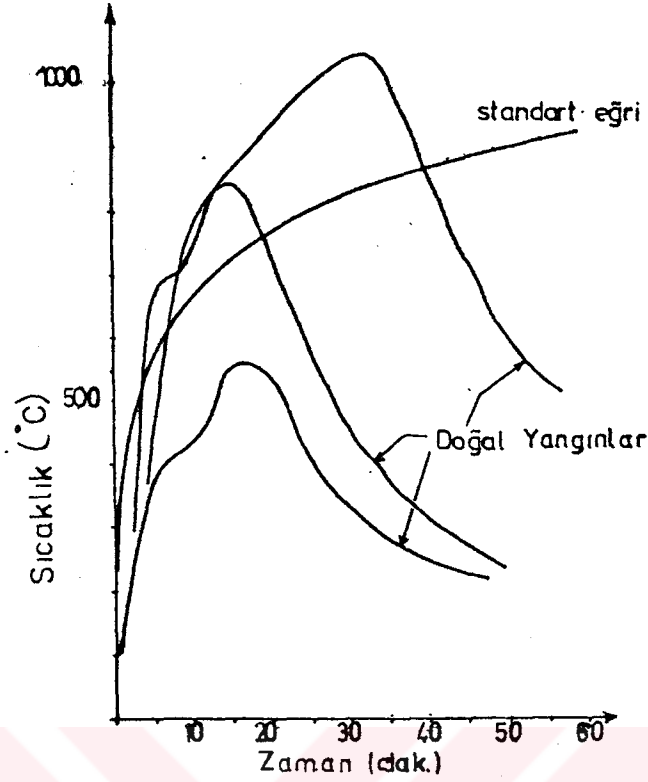
Bazı sıcaklıkların etkisiyle beton dayanımındaki azalma Çizelge 3.5 de verilmektedir.

Çizelge 3.5. Beton Dayanımlarının Sıcaklıkla Değişimi (35)

Sıcaklık (°C)	Çekme (%)	Basınç (%)
0	100	100
200	70	85
300	40	75
500	20	50
800	5	50

Beton yapıların yangın dayanımının hesabında dikkate alınması gereken standart sıcaklık-zaman ilişkisi Şekil 3.28 de verilmektedir.

T_0 (°C) ortam sıcaklığını, T (°C) t (dakika) anındaki ortam sıcaklığını göstermek üzere bu standart eğri;



Şekil 3.28. Standart Sıcaklık-Zaman Diyagramı (36)

$$T = 345 \log_{10} (8t+1) + T_0 \quad (3.6)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir (37). Çeşitli zamanlara göre bu bağıntıdan elde edilen sıcaklıklar Çizelge 3.6 da verilmektedir.

t (dak.)	T (°C)
0	20
5	536
10	704
30	843
60	927
120	1010
240	1093
480	1260

Çizelge 3.6. Standart Sıcaklık-Zaman ilişkisi (37)

Burada yangın şiddeti ve süresinin beton kesit içerisindeki sıcaklık dağılımı üzerinde etkili olduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Bu durum sıcaklık etkisinin yüksek olduğu kısa süreli yangın hali (Çizelge 3.7) ve standart yangın (Çizelge 3.6) için incelenen bir döşeme plağındaki sıcaklık dağılımını veren Çizelge 3.8 da görülmektedir. Çizelge 3.6 uzun, Çizelge 3.7 ise kısa süreli yangını temsil etmektedir.

Çizelge 3.7. Kısa Süreli Yangın için Sıcaklık Değerleri (38)

t (dakika)	T (°C)
0	20
12	982
18	593
24	482
36	191
60	149
90	121
180	60

Çizelge 3.8. Bir Döşeme Plağında Uzun ve Kısa Süreli Yangın Durumu (38)

Uzun Süreli				Kısa Süreli			
t	Yangın yüzünden itibaren			t	Yangın yüzünden itibaren		
	25 mm	50 mm	100 mm		25 mm	50 mm	100 mm
60	472	256	116	21	289	105	31
90	554	335	178	30	337	152	43
120	618	397	218	34	339	171	53
180	708	486	283	51	362	200	94

c) Koruyucu Örtü

Betonarme ve öngerilmeli beton yapıların yangın dayanımı her şeyden önce donatıyı örten koruyucu betona (paspayı) bağlıdır.

Aşağıda verilen deneysel sonuçlar betonun yangın dayanımının koruyucu örtü kullanımıyla sağlanmasının diğer önlemlerden daha pratik ve daha etkili olduğunu göstermektedir (30,39).

- 10 mm lik betona eşdeğer 15 mm kireçtaşı sıva,
- 10 mm lik betona eşdeğer 5 mm lik vermikülit sıva,
- 1-2 saatlik yangın için 2 cm lik alçı sıva (3 cm lik beton örtü kalınlığına eşdeğer)
- 3-4 saatlik yangın için 3 cm lik alçı sıva (5 cm lik beton örtü kalınlığına eşdeğer)

Alçının betonarme yapıları yangına karşı en iyi koruyucu malzeme olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan 1400 °C lik endüstri fırınlarının betonarme cidarlarının 4-6 cm kalınlığında ateşe dayanıklı tuğlalar ile kaplanarak korunduğu da bilinmektedir.

Normal büyüklükteki betonarme kirişler için Çizelge 3.9 , betonarme kolonlar için Çizelge 3.10, önerilmeli beton elemanlar için Çizelge 3.11 de yangına maruz kalma süresine bağlı olarak gerekli örtü kalınlıkları verilmektedir.

Çizelge 3.9 . Betonarme Kirişlerde Yangın Sürelerine Göre Beton Örtü Kalınlıkları (39)

Agrega türü*	Yangının süresi (saat)	Beton örtü kalınlıkları (mm)
1	1	19
	2	25
	3	33
	4	38
2	1/2-1	19
	1-2	25
	2-3	38
	2-4	50

*) 1.Tip Agregas: Kireçtaşı, kalkerli çakıl, yüksek fırın curufu, fırınlanmış kil ya da tortulu şist, %30 dan fazla kuartz içermeyen agregalar, granit ve benzeri agregalar

2.Tip Agregalar: Granit, kuartz, silisli çakıl veya %30 dan fazla kuartz içeren agregalar, çakmaktaşı ve benzeri agregalar.

Çizelge 3.10. Betonarme Kolonlarda Yangın Sürelerine Göre Beton Örtü Kalınlıkları (39)

Daire ya da Kare Kesit (mm)	Agrega Türü*	Yangın Süresi (saat)	Beton Örtü Kalınlığı (mm)
300 ya da 350	1	3	38
		4	50
	2	1-3	38
		2-4	50
450 yada daha büyük	1	4	38
		5	50
		8	63
	2	2-4	38
		3-5	50
		5-8	63

* Agregatürleri için gerekli açıklama Çizelge 3.9 da yapılmıştır.

Çizelge 3.11. Öngerilmeli Beton Yapı Elemanlarında Yangın Süreleri İçin Beton Örtü Kalınlıkları (39)

Eleman Tipi	Mesnet Türü	Donatı kesit alanı (cm ²)	Yangın süresi (saat)			
			1	2	3	4
Kemer Kiriş, Kiriş	Basit Mesnet	2,58-9,7	50	63		
		9,7-19,4	38	63	87,5	
		>19,4	38	56	75	100
	Ankastre Mesnet	2,58-9,7	38	50		
		9,7-19,4	25	38	50	
		>19,4	25	38	38	50
Döşemeler	4 Kenar basit mesnet		25	38	50	62,5
	4 kenar ankastre mesnet		19	33	38	50

d) Betondaki Nem Miktarı:

Araştırmalar betondaki nem oranının artmasının 100 °C 'a kadar ısıl iletkenlik katsayısını artırdığını, daha yüksek sıcaklıklarda ise giderek azaldığını göstermektedir (Bkz. Şekil 3.16).

Diğer taraftan beton numuneler üzerinde çeşitli sıcaklıklarda bir takım deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere göre numunelerin soğutulmasının normal atmosfer koşullarında yapılması halinde numune dayanımlarındaki azalma sürekli olmamakla beraber, yüksek sıcaklıkların etkisinde kalmış numunelerdeki dayanım kaybının daha büyük olduğunu göstermiştir. Aynı deneyler numunelerin su içinde soğutulması halinde yüksek sıcaklıklarda kaybettikleri dayanımın bir kısmını geri aldıklarında göstermiştir (21). Bu olay ancak yüksek sıcaklıklarda betonun hidratasyon suyunun bir kısmını kaybettiği, su içinde soğutulanların ise kaybettikleri hidratasyon suyunun bir kısmını geri almalarıyla açıklanabilir. Nitekim 6. Bölümde verilen deney sonuçlarında bu sonucu desteklemektedir.

e) Diğer Faktörler:

Betonun yangın dayanımına etkileyen diğer faktörler aşağıda verilmektedir:

- 1) Yapı elemanının boyutları,
- 2) Betonun bileşiminde kullanılan agrega incelik modülü,
- 3) Çimento türü ve miktarı,
- 4) Betonun kür koşulları.

Yapı elemanının boyutlarının büyümesi yangın dayanımını artırmaktadır. Diğer bir deyişle kütlesi büyük elemanlar yangından daha az zarar görmektedir. Betonda kullanılan agrega incelik modülü büyüdükçe betonun yangın dayanımı genellikle artmaktadır. Çimento miktarı arttıkça beton dayanımı, dolayısıyla da yangın dayanımı artmaktadır. Yangın dayanımı beton bileşiminde kullanılan çimento türüne de bağlıdır. Örneğin yangın dayanımı en yüksek çimentolar alüminli çimentolardır. Bunlarla fırın kaplamaları gibi ateşe dayanıklı beton yapılabilir. Beton kürünün

yangın dayanım süresi üzerinde önemli etkisi bulunmamakta ancak dayanımını önemli derecede etkilemektedir. Betondaki boşluk oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmakta dolayısıyla da yangın dayanıklılığı artmaktadır.

3.4 Yangın Etkisiyle Oluşan Kırılma Çeşitleri

Beton yapılarda yangın etkisiyle oluşabilecek kırılmalar:

- 1) Aderans sökülmesi,
- 2) Donatının akması,
- 3) Patlamalarla kesit alanının küçülmesi,
- 4) Beton basınç dayanımının aşılması'nın bir ya da birkaçının birlikte oluşmasıyla meydana gelmektedir.

BÖLÜM 4

BETON KESİTLERDE SICAKLIK DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

Beton yapı ya da yapı elemanlarının yangın etkisi altındaki davranışları, kesitlerinde meydana gelen sıcaklık dağılımlarından etkilenmektedir. Zira yüksek sıcaklıklar malzeme özelliklerine tesir etmekte dolayısıyla da dayanımlarını önemli derecede değiştirmektedir. Bu nedenle beton yapı elemanlarının yangın dayanımlarının hesabı için kesitlerindeki sıcaklık dağılımını belirlemek gerekli olmaktadır. Bu problemin çözümü, bugün bilgisayar yardımıyla sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemlerin uygulanmasıyla kolaylıkla yapılabilmektedir.

Bu bölümde yangının elemana etkime şekli de dikkate alınarak sırasıyla plak, kiriş ve kolon gibi yapı elemanlarının kesitlerindeki sıcaklık dağılımları üzerinde durulmakta ve Bölüm 2 de verilen enerji dengesi sonlu farklar şeklinde ifade edilerek geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla çeşitli yapı elemanlarının kesitlerinde hesaplanan sıcaklık dağılımları verilmektedir.

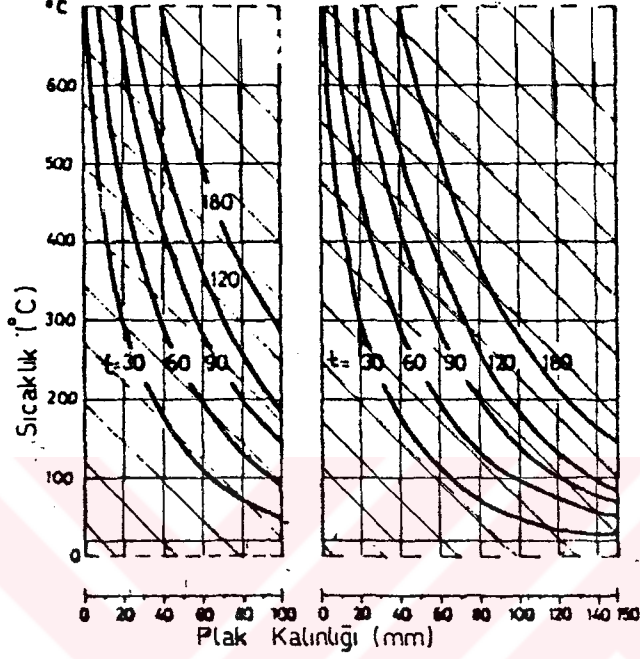
4.2 Plaklarda

Betonarme plaklar bir ya da iki yüzeylerinden yangın etkisinde kalabilmektedir. Bu nedenle bu iki durumu birbirinden ayırmak gerekmektedir.

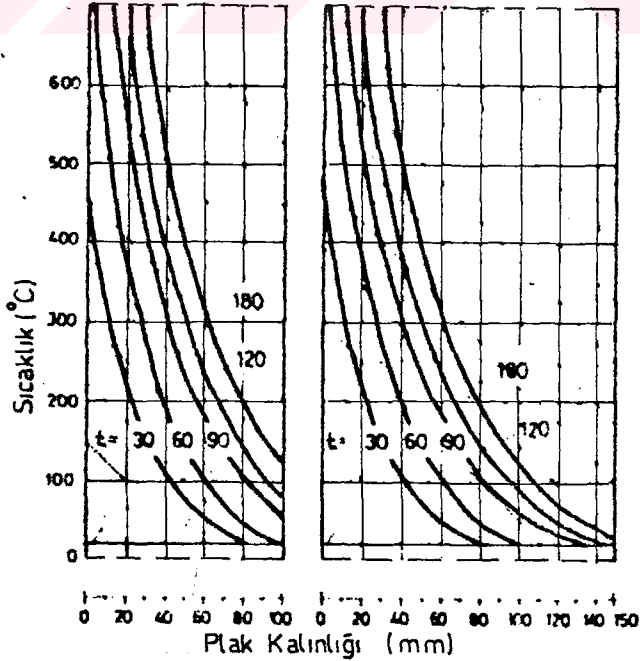
4.2.1 Bir Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Plaklar

Bir yapıda duvarlar ve döşeme plaklar bir yüzlerinden yangın etkisinde kalabilmektedir.

Kuartz agregalardan yapılmış normal beton ve çesitli katkı maddeleri kullanılarak yapılmış hafif betondan oluşan plaklara ait sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de verilmektedir. Burada Şekil 4.2 'nin gazbetondan yapılmış plaklarında kapsadığını belirtmek uygun olmaktadır (15).



Şekil 4.1. Geleneksel Betondan Yapılan Bir Plak Kesitinde Sıcaklık Dağılımı (15)



Şekil 4.2. Hafif Betondan Yapılan Bir Plak Kesitinde Sıcaklık Dağılımı (15)

Kalınlıkları 10-15 cm arasında değişen ve donatının yakın olduğu yüzeylerinden yangın etkisinde kalan plakların diğer yüzlerindeki sıcaklıkların ortalama 60 °C ile 82 °C arasında olması gerekmektedir (40). Bu durum plakların asal çekme donatılarının yüksek sıcaklık etkisinde kalabileceğini göstermektedir.

4.2.2 İki Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Plaklar

Gerçekte betonarme plaklar bir yüzeylerinden yangın etkisinde kalabildikleri gibi, iki yüzeylerinden de yangın etkisinde kalabilmektedirler. İki yüzünden yangın etkisinde kalan 8 cm-30 cm kalınlıklı plak kesitlerindeki sıcaklık dağılımları bir fikir için Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b de verilmektedir.

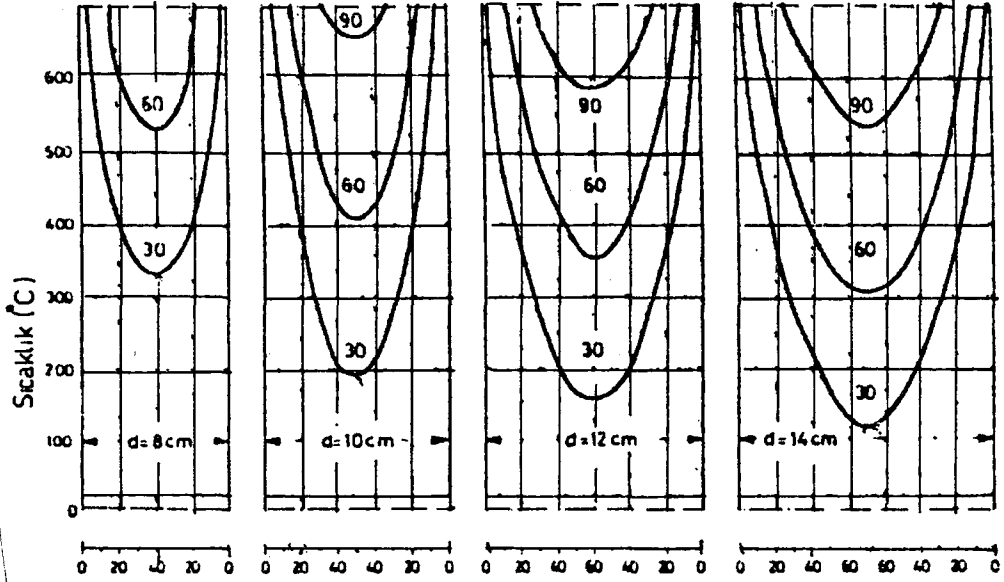
Bir yüzünden yangın etkisinde kalan plaklarla (Bkz.Şekil 4.1) iki yüzünden yangın etkisinde kalan plaklar (Bkz.Şekil 4.3) yangın etkisinde kaldıkları yüzeyden itibaren içlerindeki sıcaklık dağılımları karşılaştırıldığında, iki yüzeyinden yangın etkisinde kalanlarda sıcaklıkların zamana ve derinliğe bağlı olarak çok yüksek değerler aldığı görülmektedir.

4.3 Kirişlerde

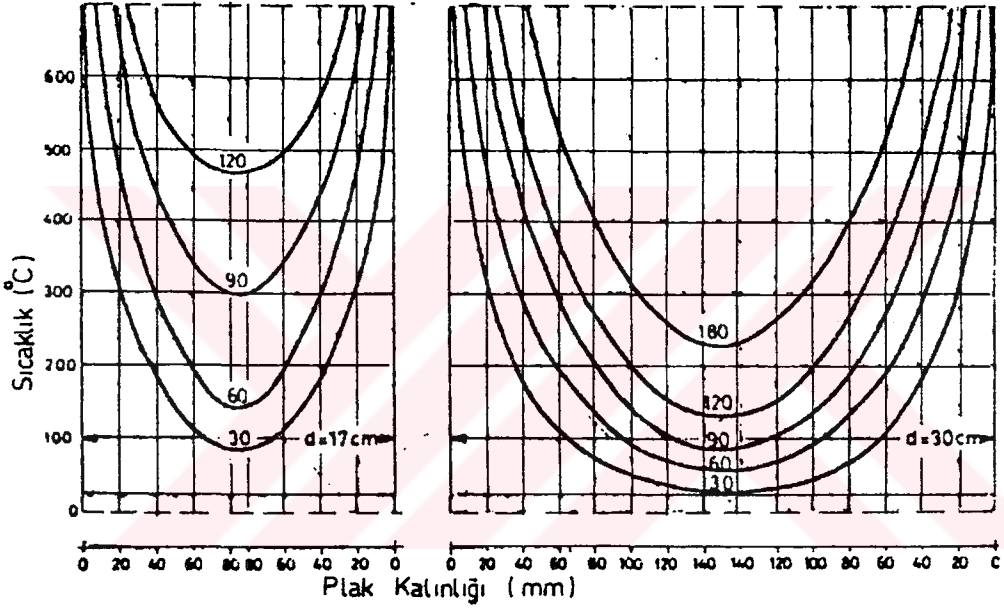
Bu başlık altında tablalı, dikdörtgen ve simetrik I kesitli betonarme kirişlerde sıcaklık dağılımları üzerinde durulmaktadır.

4.3.1 Tabla Kesitli Kirişlerde

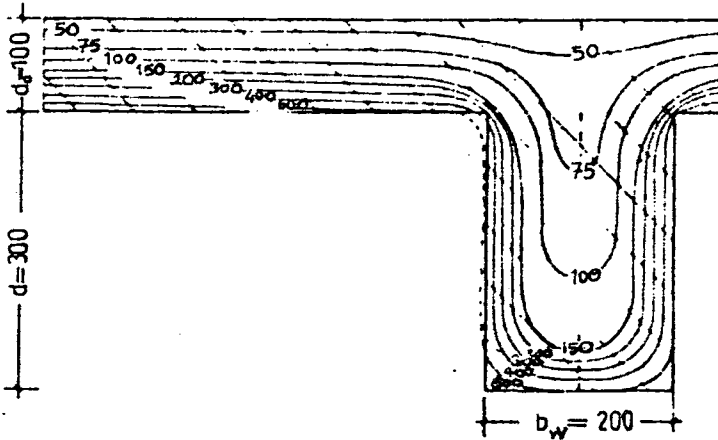
Kirişler yapıdaki durumlarına göre üç veya dört yüzeyleri yangın etkisine maruz kalmaktadır. Üç yüzeylerinden yangın etkisinde kalmaları halinde sıcaklık değerleri en fazla köşelerde oluşmaktadır. Dört yüzeyi yangın etkisinde olan bir kirişin sıcaklık dağılımları Şekil 4.4 de eşsıcaklık eğrileri olarak gösterilmektedir.



a) Kalınlığı $d \leq 14$ cm olan plaklarda sıcaklık dağılımı



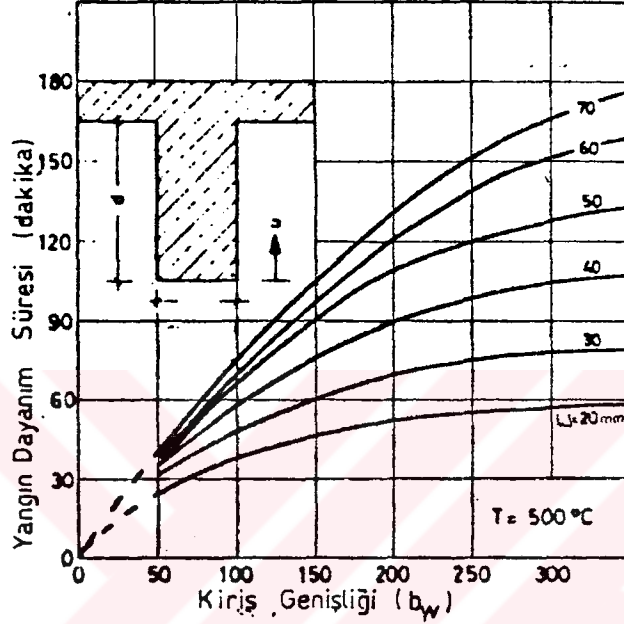
Şekil 4.3. İki Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Plaklarda Sıcaklık Dağılımları (3)



Şekil 4.4. Dört Yüzü Yangın Etkisindeki Bir Kiriş Kesitinde Sıcaklık Dağılımları (3)

4.3.2 Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde

Kirişin b_w genişliği yangın dayanıklılığını artırmaktadır. Boyutları $d \geq 2b_w$ olan kirişler için $T=500$ °C ortam sıcaklığı için kirişin simetri eksenindeki u mesafeleri için b_w kiriş gövde genişliğine bağlı olarak yangın dayanım süreleri Şekil 4.5 de verilmektedir.

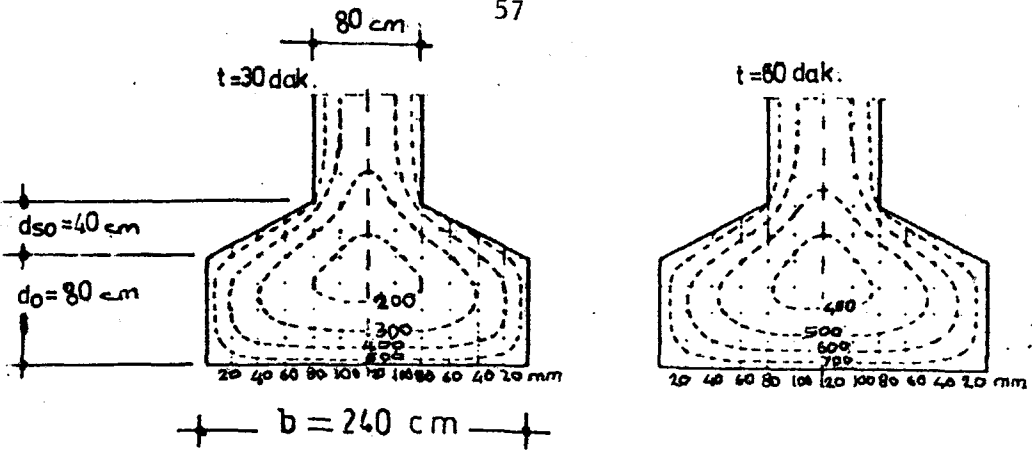


Şekil 4.5. Kiriş Gövde Genişliği ve Paspayına Göre Yangın Dayanım Süresinin Değişimi (15)

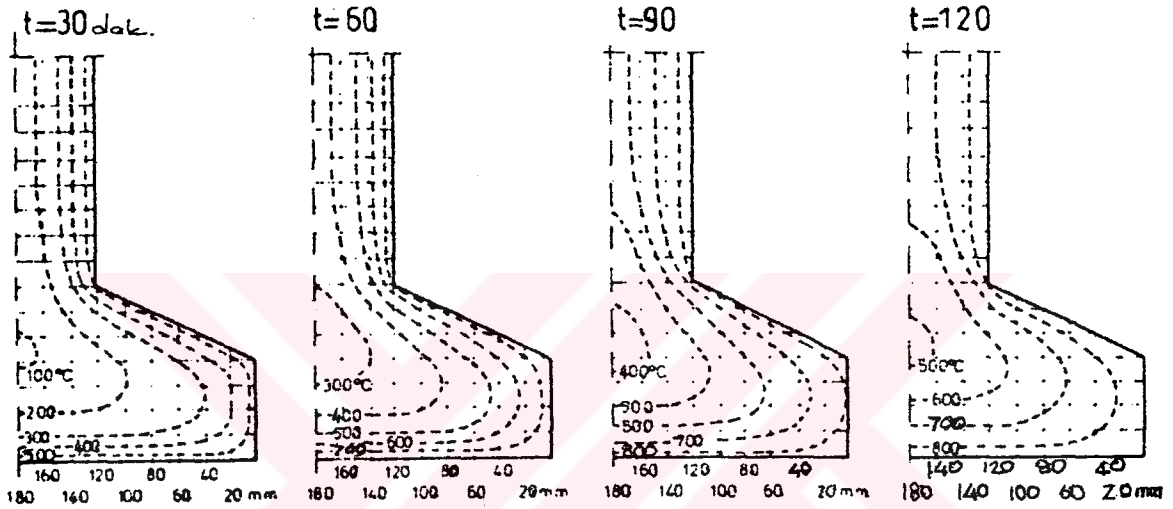
Hem basınç hem de çekme bölgesinde hesap donatısı bulunan çift donatılı betonarme kirişlerde sıcaklık dağılımlarının belirlenmesinde eşsıcaklık eğrilerinin kullanılabileceği belirtilmektedir (15).

4.3.3 Simetrik I Kesitli Betonarme Kirişlerde Sıcaklık Dağılımı

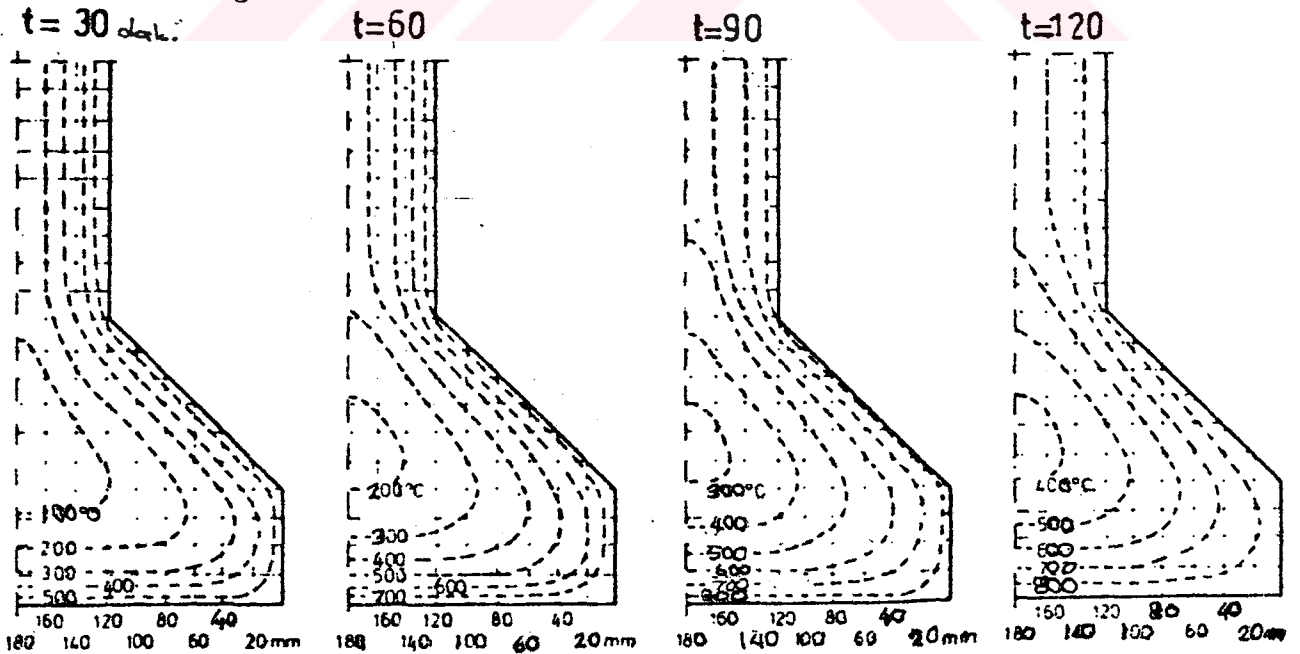
Simetrik I kesitli kirişlerin başlıklarının üç ya da dört yüzeyi, gövdelerinin ise iki yüzeyi yangın etkisinde kalmaktadır. Sıcaklık artışı b başlık genişliği ve t gövde kalınlığıyla birlikte d_o (ya da d_u) başlık kalınlığı ile d_{so} (ya da d_{su}) eğim yüksekliğine de bağlıdır. (41). Bu ifadelerden sıcaklık artışının boyutlar büyüdükçe yavaş olacağı anlaşılmaktadır. Kum agregalı beton kirişlere ait sıcaklık dağılımları Şekil 4.6a Şekil 4.6b ve Şekil 4.6c de verilmektedir.



a) Eğim yüksekliği $d_{so}=40$ cm olan kirişlerde sıcaklık dağılımı



b) Eğim yüksekliği $d_{so}=60$ cm olan kirişlerde sıcaklık dağılımı

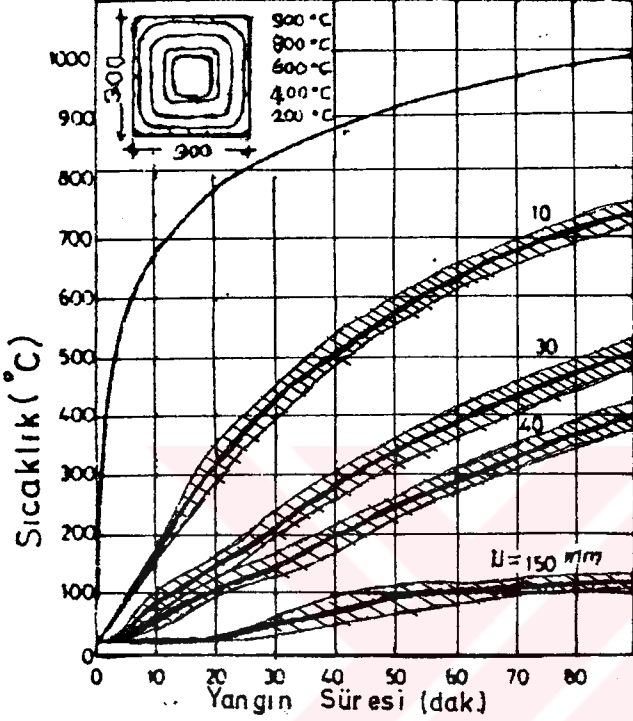


c) Eğim yüksekliği $d_{so}=120$ cm olan kirişlerde sıcaklık dağılımı

Şekil 4.6. Çeşitli Boyutlardaki Simetrik I Kesitli Kirişlerde Sıcaklık Dağılımları (15)

4.4 Kolonlarda Sıcaklık Dağılımı

Boyutları 300x300 mm olan bir kolonun dört yüzünün yangın etkisinde kalması halinde kesitte oluşan sıcaklık dağılımı Şekil 4.7 de verilmektedir.

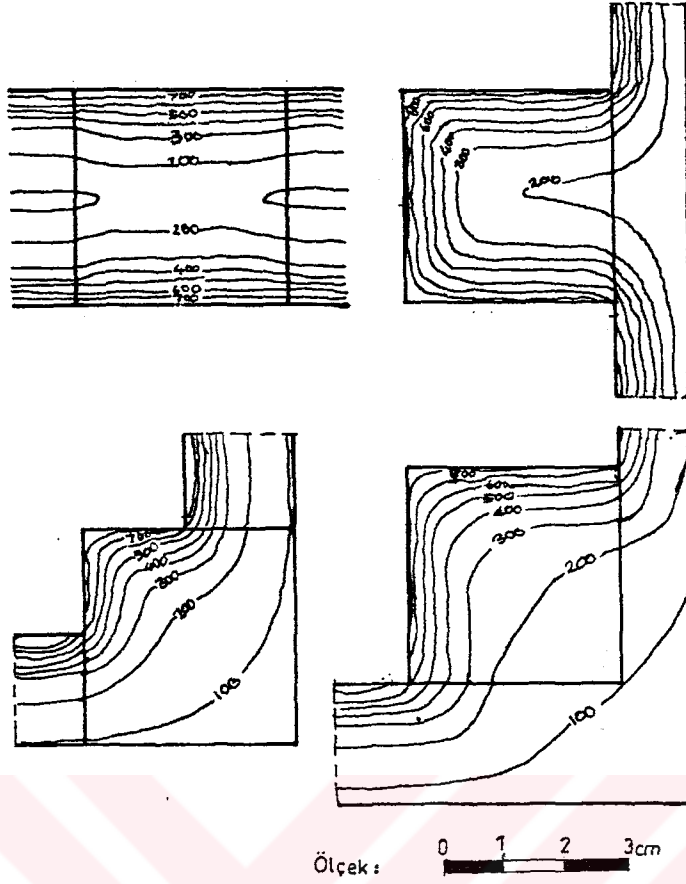


Şekil 4.7. Dört Yüzünden Yangın Etkisindeki Kolon Kesitinde Sıcaklık Dağılımı (15)

Kolonlar betonarme duvarlar arasına yerleştirilmiş ve bu duvarlarla birleştirilmişse bu kolonlardaki sıcaklık dağılımı bir blok kirişteki sıcaklık dağılımına eş değerdir. Duvarlara göre değişik konumdaki kolonlarda sıcaklık dağılımı örnek olarak Şekil 4.10 da verilmektedir. Bu örneklerde duvarların gazbetondan yapılmış olduğunu belirtmek uygun olmaktadır (15).

4.5 Sayısal Uygulamalar

Burada Bölüm 2 de verilen enerji dengesi temel kuralını kullanan sonlu farklar yöntemine göre hazırlanmış, TEACH-C, bilgisayar programı (42) yardımıyla kolon ve kiriş kesitlerinde sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi için bazı sayısal uygulamalar ve bunlardan elde edilen sonuçlar verilmektedir.



Şekil 4.8. Betonarme Duvarlarla Birleştirilmiş Kolon Kesitinde Sıcaklık Dağılımları (15)

Program (3.6) bağıntısına göre sıcaklık değişimini ve madde 3.2.1 deki malzeme özelliklerini dikkate almaktadır. Bu programda;

NI : x doğrultusundaki düğüm noktası sayısını (Şekil 4.9, 4.10),

NJ : y doğrultusundaki düğüm noktası sayısını,

IXL : Kiriş gövdesinde (b_w) oluşturulan sol başlangıç düğüm numarasını (Şekil 4.10),

IXR : Kiriş gövdesinde (b_w) oluşturulan sağ başlangıç düğüm numarasını (Şekil 4.10),

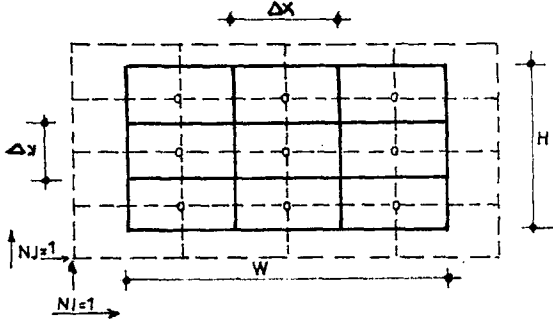
JRTOP: Kiriş tablasının alt yüzeyinde oluşturulan ilk düğüm numarasını (Şekil 4.10),

W, H sırasıyla sistemin x ve y doğrultularındaki boyutlarını (cm) göstermektedir.

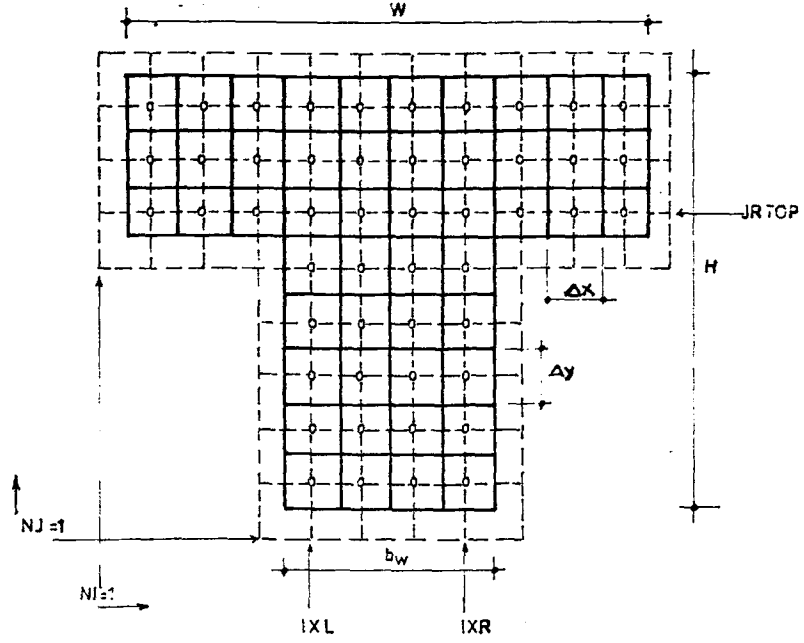
Sistemde oluşturulan sonlu farklar ağının Δx , Δy eleman boyutları (cm) seçilerek NI, NJ düğüm noktası sayıları,

$$NI = \frac{W}{\Delta x} + 2, \quad NJ = \frac{H}{\Delta y} + 2$$

şeklinde belirlenmektedir.



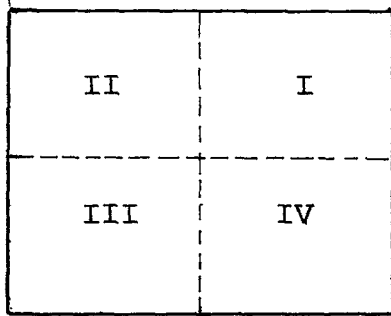
Şekil 4.9. Kolon Kesitinde Sonlu Farklar Ağı (15)



Şekil 4.10. Tablalı Kiriş Kesitinde Sonlu Farklar Ağı (15)

a) Kolonlarda Sayısal Uygulama:

Burada dört yüzeyi yangın etkisinde kalan enkesitleri farklı kolonların, standart yangın süreleri (30, 60, 90 ve 120 dakika) için, kesitlerinde oluşturulan Δx , Δy boyutlarında elemanların ağırlık merkezlerindeki sıcaklıklar verilmektedir. Kesitte oluşan sıcaklık dağılımı simetrik olduğundan, kesitin tümü yerine 1/4'i incelenmiştir. Böylece yukarıda sözü edilen dört ayrı yangın süresi için kesitteki sıcaklık dağılımlarını bir tek çizelgede göstermek mümkün olmuştur. Bu çizelge aşağıdaki gibi sematize edilir ve numaralandırılırsa;



I, II, III ve IV kadrantlarındaki sıcaklık dağılımları; sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika süren standart yangınlara karşılık gelmektedir.

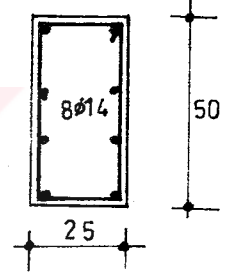
SAYISAL UYGULAMA: 4.1. Betonarme Kolonlarda Sıcaklık Dağılımı

Üç farklı kolon kesitindeki sıcaklık dağılımının, boyutları $\Delta x=2,5$ cm, $\Delta y=2$ cm ve $\Delta x=\Delta y=5$ cm olan elemanlar kullanılarak, standart yangın sürelerindeki (30, 60, 90 ve 120 dakika) ortam sıcaklıkları sırasıyla 842 °C, 945 °C, 1006 °C ve 1049 °C alınarak belirlenmesi.

a) Şekil 4.9 de kesiti verilen kolonun sıcaklık dağılımları Çizelge 4.1 de verilmektedir.

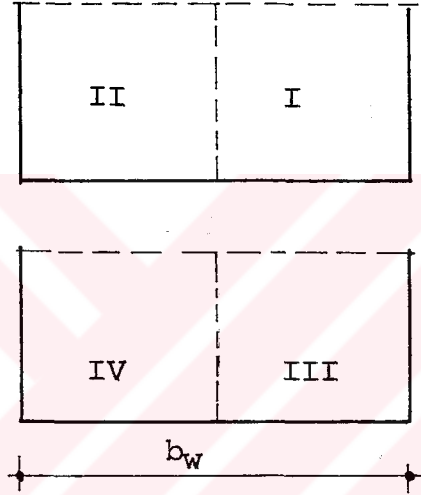
Çizelge 4.1. Boyutları $\Delta x=2,5$ cm, $\Delta y=2$ cm olan Elemanlardan Oluşan Kesitte Sıcaklık Dağılımları

t=60 dak. T=945 °C					t=30 dak. T=842 °C				
698	571	514	486	475	299	304	320	365	488
571	393	312	273	257	125	131	152	212	365
513	312	216	169	149	54	61	86	152	320
485	271	167	115	94	27	35	61	131	304
472	252	143	89	66	18	26	53	124	299
466	243	133	77	53	15	24	51	122	298
464	246	128	71	48	15	23	50	121	297
463	238	127	69	46	15	23	50	121	297
463	238	126	69	45	15	23	50	121	297
463	238	126	69	45	15	23	50	121	297
566	322	196	125	94	149	183	257	387	639
567	323	196	126	95	151	185	259	388	639
568	324	198	129	97	156	189	262	391	641
570	328	203	134	103	164	197	269	396	644
574	335	212	145	114	180	212	282	406	650
583	349	230	165	136	207	237	304	424	661
601	375	263	202	175	250	279	341	453	680
632	423	321	266	242	322	346	401	501	710
687	508	424	379	360	440	459	503	584	760
804	687	633	604	591	672	684	711	760	864
t=90 dak. T=1006 °C					t=120 dak. T=1049 °C				



b) Kirişlerde Sayısal Uygulama:

Burada üç yüzünden yangın etkisinde kalan farklı gövde genişliğine (b_w) sahip tablalı kesitlerin, standart yangın ve yangın süreleri (30, 60, 90 ve 120 dakika) için sıcaklık dağılımı Δx , Δy kiriş gövdesini oluşturan elemanların ağırlık merkezlerindeki sıcaklıklar olarak kiriş tabanından itibaren 25 cm yükseklik için verilmektedir. Kesitte oluşan sıcaklık dağılımı y doğrultusunda simetrik olduğundan, yukarıda sözü edilen dört yangın süresi için kesitteki sıcaklık dağılımlarını iki ayrı çizelgede göstermek mümkün olmuştur. Bu çizelgeler aşağıdaki gibi şematize edilir ve numaralandırılırsa;

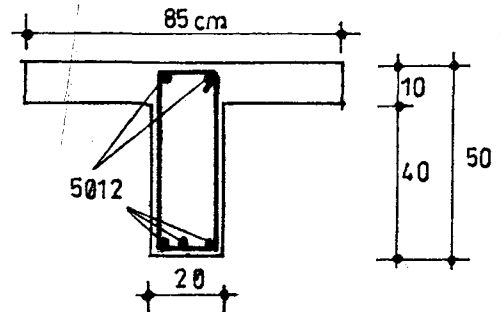


I, II, III ve IV kadrantlarındaki sıcaklık dağılımları; sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika süren standart yangınlara karşılık gelmektedir.

SAYISAL UYGULAMA: 4.2. Tablalı Kirişlerde Sıcaklık Dağılımı

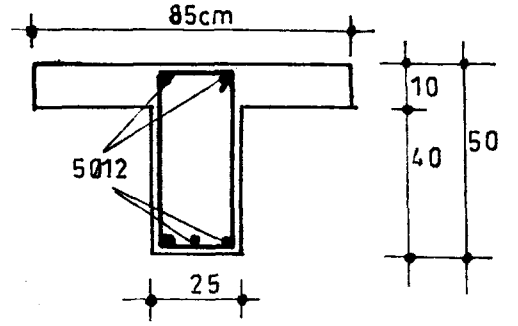
Boyutları $W=85$ cm, $H=50$ cm olan tablalı kesitlerde boyutları $\Delta x=2,5$ cm, $\Delta y=2$ cm olan elemanlar kullanılarak ve farklı gövde genişlikleri (b_w) için sıcaklık dağılımının, standart yangın sürelerindeki (30, 60, 90 ve 120 dakika) ortam sıcaklıkları sırasıyla 842 °C, 945 °C, 1006 °C ve 1049 °C alınarak belirlenmesi

a) Gövde genişliği 20 cm olan kesitteki sıcaklık dağılımları Çizelge 4.4'de verilmektedir.



Çizelge 4.4 . Kiriş Gövdesinde $b_w=20$ cm için Sıcaklık Dağılımları

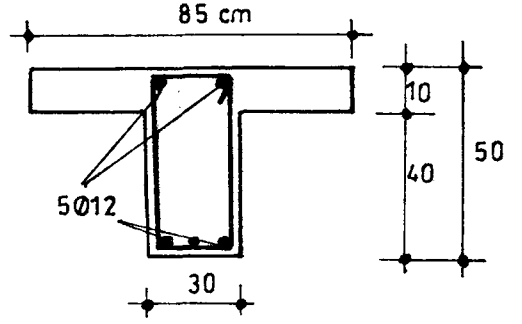
t=60 dak T=945 °C				t=30 dak T=842 °C			
464	241	134	89	26	51	121	297
464	241	134	89	26	51	121	297
464	241	135	89	26	51	121	297
464	242	135	90	26	51	121	297
465	243	136	91	26	51	121	297
466	244	138	94	27	51	122	297
469	248	143	99	28	51	122	298
474	256	153	109	30	54	124	299
484	271	171	129	36	60	129	303
503	298	204	164	53	75	143	312
537	347	261	226	90	116	174	336
598	432	360	330	170	188	243	390
718	599	547	527	335	349	392	510
667	405	289	238	165	216	332	570
648	407	292	241	166	217	333	571
649	409	294	243	168	218	334	572
651	411	297	246	169	220	335	573
653	414	301	251	172	229	337	574
656	420	308	259	178	228	341	576
662	429	319	271	188	237	348	581
671	443	337	290	204	251	360	589
684	464	363	318	230	276	390	602
705	497	403	362	272	315	413	623
735	546	463	428	339	377	464	657
782	626	559	531	447	477	549	712
878	788	747	729	647	668	716	822
t=120 dak. T=1049 °C				t=90 dak. T=1006 °C			



b) Gövde genişliği 25 cm olan kesitteki sıcaklık dağılımları Çizelge 4.5 de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Kiriş Gövdesinde $b_w=25$ cm için Sıcaklık Dağılımları

t=60 dak T=945 °C					t=30 dak T=842 °C				
463	237	125	68	44	15	23	50	121	297
463	238	126	68	44	15	23	50	121	297
463	238	126	69	45	15	23	50	121	297
463	238	126	69	45	15	23	50	121	297
464	239	127	70	47	15	23	50	121	297
465	241	130	73	49	15	23	50	122	297
467	244	135	79	56	16	24	50	122	298
473	253	145	90	67	18	26	53	123	299
483	268	163	111	89	25	33	59	129	303
502	296	197	148	128	42	50	75	143	312
537	345	255	212	194	81	88	111	174	336
597	431	356	319	305	162	168	188	243	390
718	598	544	518	508	329	334	349	392	510
636	384	253	179	145	92	123	194	320	565
638	386	255	181	147	93	125	195	322	566
639	387	258	184	150	94	126	196	322	566
640	390	261	188	154	97	128	198	324	567
643	394	266	194	161	100	132	201	326	569
646	400	274	203	171	107	138	206	330	571
653	410	287	218	186	119	149	216	338	576
662	426	306	240	209	138	167	232	351	584
667	449	336	273	244	169	196	258	372	598
699	483	379	321	295	217	242	299	405	620
731	536	444	394	371	292	314	363	458	654
779	618	544	505	487	209	427	467	544	710
877	783	738	713	701	622	634	662	713	821
t=120 dak T=1049 °C					t=90 dak T=1006 °C				



c) c) Gövde genişliği 30 cm olan kesitteki sıcaklık dağılımları Çizelge 4.6 da verilmektedir.

Çizelge 4.6 . Kiriş Gövdesinde $b_w=30$ cm için Sıcaklık Dağılımları

t=60 dak T=945 °C						t=30 dak T=842 °C					
462	236	123	64	35	23	11	13	22	49	121	297
462	237	124	64	35	23	11	13	22	49	121	297
462	237	124	65	35	24	11	13	22	49	121	297
463	237	125	65	36	24	11	13	22	49	121	297
463	238	126	67	37	26	11	13	22	50	121	297
464	240	128	69	42	29	11	14	23	50	121	297
467	244	133	75	47	35	12	14	23	50	122	297
472	252	143	86	59	48	14	17	26	53	123	298
482	267	162	103	81	71	21	24	32	59	129	302
502	295	196	143	121	111	38	41	49	74	142	312
536	344	254	209	188	180	77	79	87	110	174	336
597	430	355	317	300	293	159	161	167	187	243	389
718	598	543	517	504	502	327	328	333	348	392	509

633	377	241	158	109	87	51	70	112	188	318
634	379	243	160	112	89	52	71	113	189	319
635	381	246	163	115	92	53	72	114	190	320
637	384	249	167	119	97	56	74	117	192	321
640	388	255	174	126	104	60	79	120	195	323
644	394	263	184	137	116	68	86	127	201	328
650	405	276	199	154	134	81	98	138	210	335
660	420	297	223	180	160	102	118	157	227	348
675	444	327	257	217	199	135	151	187	253	369
697	479	371	308	272	255	187	202	234	295	403
729	532	437	382	351	337	266	279	307	360	456
778	616	540	496	472	460	389	399	422	465	543
876	782	736	707	691	684	608	615	631	660	712

t=120 dak
T=1049 °C

t=90 dak
T=1006 °C

BÖLÜM 5

BETON YAPILARIN YANGIN DAYANIMININ PRATİK HESABI

5.1 Giriş

Bir yapı elemanının yangın dayanımı denetimi için geçerli mevcut yöntemlerden birine başvurulabilir (20). Bu kaynakta beton yapıların yangın davranışları hesabına ait bazı varsayımlara dayalı öneriler getirilmiştir. Ancak, kaynak (20) varsayımları belirtmekle beraber aranan sonuçlara ulaşmak için gerekli yöntemler geliştirilmemiştir. Bu bölümde hesap yöntemlerinin geliştirilmesi üzerinde durulmakta ve geliştirilen yöntemlerden elde edilen, proje mühendislerinin çalışmalarını önemli derecede kolaylaştıran çizelgelerle her bir yönteme ait sayısal uygulamalar verilmektedir.

5.2 Yapılarda Çeşitli Denetimler

Türkiye'de yapıların yangın dayanımlarını belirlemek için henüz bir standart bulunmamaktadır. Oysa gelişmiş kabul edilen birçok ülkede yangın konusunda çok sayıda kanun ve standartlar mevcuttur (20, 37, 40). Bu standartlarda bazı sınıflandırma ölçüt ve yöntemleri tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda verilmektedir.

5.2.1 Sınıflandırma Ölçütleri

Sınıflandırmalar, standart bir ısı program etkisi altında aşağıda belirtilen koşulların sağlandığı zaman süreci dikkate alınarak yapılmıştır:

A) Mekanik Dayanım:

Mekanik dayanım elemanın görevini yapmaya devam etmesi için gerekli olan dayanımdır.

B) Yangın gazları ve alevlerine karşı geçirimsizlik.

C) Isıl Yalıtkanlık:

Isıl yalıtkanlık soğuk yüzey ortalama ve maksimum sıcaklıklarının sırasıyla 140 °C 180 °C 'ı geçmemesi durumudur. Bu durumda aşağıdaki sınıflandırma ölçütleri kullanılabilir.

Çizelge 5.1. Sınıflandırma Ölçütleri (20)

Sembol	Açıklama	Kullanılan Ölçütler
Y.S	Yangın stabilitesi	A
A.K	Alev kesme	A+B
Y.K	Yangın kesme	A+B+C

Sınıflandırma (Y.S, A.K, Y.K) elemanın deneyleri sağladığı zaman süresinin fonksiyonu olarak saat cinsinden

1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 3, 4, 6

gibi bir takım derecelerle ifade edilmektedir.

5.2.2 Sınıflandırma Yöntemleri

Kaynak (20) da önerilen yöntemler aşağıda verilmektedir.

a) Yangın etkisi için gerekli donanımı bulunan bir laboratuvar fırınında standart bir deney gerçekleştirmek,

b) Laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen ya da benzer durumlar dikkate alınarak yapılan yorumlarla sınıflandırma,

c) Yapıların yangın dayanımına ilişkin kaynak (20) da verilen kurallara göre bir denetim hesabı yapmak,

d) Kaynak (20) da verilen kurallara göre yapının gerçek deneyini yapmak.

5.2.3 Hesap Yoluyla Denetim İlkeleri

Bir yapının yangın stabilitesinin hesapla denetimi ardışık olarak; yangının tanımını (Bkz. madde 5.5), beton içinde sıcaklık dağılımının belirlenmesini (Bkz. madde 5.4), malzeme karakteristiklerinin sıcaklıkla değişiminin bilinmesini (Bkz. madde 5.5) ve betonarme ya da öngerilmeli betona ait hesaplar için yangın afeti özelliklerine dair bir takım kabullerin (Bkz. madde 5.6) kullanılmasını gerektirmektedir.

5.3 Standart Yangın ve Doğal Yangınlar

Yangın dayanımını temel alan standartlaştırılmış ısı program itibari bir yangının gelişimini temsil etmektedir. Madde 5.3.1 de bu yangın üzerinde durulmaktadır. Gerçek yangını temsil edecek eğrileri elde edebilmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait bazı kaynaklar madde 5.3.2 de verilmektedir.

5.3.1 Standart Yangın

Yangın etkisindeki yüzeyde sıcaklık; T ($^{\circ}\text{C}$) numune yakınındaki sıcaklığı, T_0 ($^{\circ}\text{C}$) başlangıç sıcaklığını, t saat cinsinden zamanı göstermek üzere

$$T - T_0 = 345 \log(480 t + 1) \quad (5.1)$$

bağıntısıyla ifade edilen "Standart Sıcaklık-Zaman Eğrisi"ne göre değişmektedir.

Çizelge 5.2. Standart Sıcaklık Dağılımı

t (saat)	$T - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)	t (saat)	$T - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)
0,25	719	2	1029
0,5	822	3	1090
1,0	925	4	1133
1,5	986	6	1194

Çizelge 5.2 de verilen değerlere yakın değerler kullanan bir eğri, duvar ve döşeme deneyleri için 1918 den beri kaynak (43) de standart eğri olarak kullanılmaktadır. Birçok teknik literatür bu standart eğrinin gerçek yangınlardan elde edilen bilgiler yardımıyla oluşturulduğunu doğrulamaktadır. (5.1) bağıntısı 1959 dan sonra birçok ülkede, bunu takiben de 1968 de Uluslararası Standartlaştırma Organizasyonu tarafından kullanılmıştır (44).

5.3.2 Doğal Yangınlar

Doğal yangınlar hakkındaki bilgileri artırmak için dünyada çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir (45,46). Bu deneylerden sonra ısı alışverişi hakkında bir sentez oluşturmak için teorik incelemeler de yapılmıştır (47,48,49). Bugün sıcaklık-zaman eğrilerini çizen ve her an ısıl sonuçları veren bilgisayar programları mevcuttur (50). Ancak bugünde dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde sadece standart yangının dikkate alınması zorunluluğu vardır (51).

5.4 Sıcaklık Dağılımı

Bu maddede yapı elemanlarının enkesitlerinde sıcaklık dağılımının hesap ya da deneysel yollarla belirlenmesi üzerinde durulmaktadır.

5.4.1 Temel Faktörler

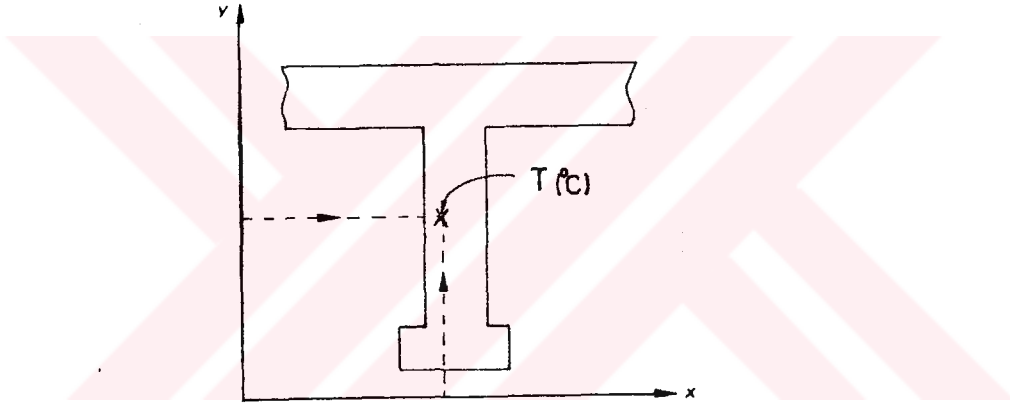
Bir yapı elemanındaki sıcaklık dağılımına etki eden en önemli faktörler aşağıda verilmektedir (20):

- Yapı elemanının yangına maruz kalma durumu, Döşemelerin alt yüzeyleri, Tekil kolonların tüm yüzeylerinin, duvarların bir ya da iki yüzeyinin, duvar içinde kalan kolonlarda bir ya da iki yüzeyinin yangın etkisinde kalacağı kabul edilmektedir.

- Malzemelerin fiziksel özellikleri (birim kütlesi, ısı iletkenlik, özgül ısı vb.),
- Yapı elemanının boyutları, özellikle enkesit boyutları,
- Malzemenin serbest su içeriği,
- Yapı elemanını yangına karşı koruyan malzemelerin bulunup bulunmaması.

5.4.2 Sayısal Yöntemlerle Hesap

Bir kesitte (Şekil 5.1) koordinatları (x, y) olan bir noktadaki sıcaklık; λ ısı iletkenlik katsayısını, c özgül ısıyı, ρ birim kütleyi, t zamanı göstermek üzere aşağıdaki Fourier bağıntısıyla hesaplanmaktadır.



Şekil 5.1. Kartezyen Koordinatlarda Bir Kesit

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right) \quad (5.2)$$

Bu bağıntının uygulanmasında kullanılan en yaygın yöntem, kesiti birbirine bitişik elemanlar dikdörtgen elemanlar şeklinde dikkate alan sonlu farklar yöntemidir. Bu hesapta zaman, ardışık elemanlar dilimlerinde düşünülmemektedir. Sonuç itibarıyla, bu yöntem, sıcaklık dağılımı problemini, komşu dikdörtgenler arasında ardışık yaklaşımla incelemeye indirgemektedir.

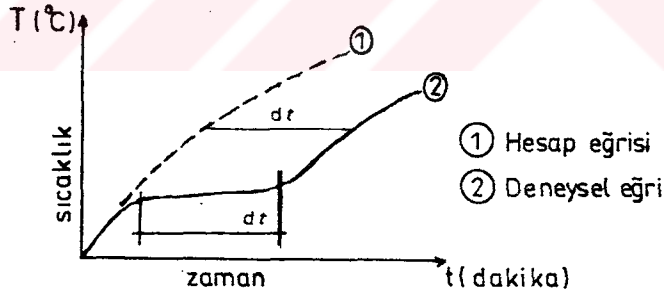
Bu ardışık yaklaşım yönteminin bilgisayarlarla uygulanması son derece kolay olmaktadır (52,53,54,55).

5.4.3 Analitik Yöntemle Hesap

Bazı özel durumlarda (örneğin döşemeler vb.) noktanın koordinatları ve zamanın fonksiyonu olarak doğrudan sıcaklığı veren bağıntılar önermek mümkündür (51). Çeşitli yapı elemanlarına ait sonuçlar bu elemanlara ilişkin maddede (5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9) da verilmektedir.

5.4.4 Deney Sonuçlarına Göre Belirleme

Betondaki sıcaklık dağılımı doğrudan ya da laboratuvarlarda deneysel olarak elde edilen sonuçlar arasında doğrusal oranlama ile belirlenebilir. Burada kaynak (20) daki hesaplarda dikkate alınacak sıcaklığın, eğrinin suyun buharlaşmasına karşılık gelen yatay kısmını ihmal ederek, deneylerde ölçülmüş sıcaklıklar olduğunu belirtmek uygun olmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Deneysel ve Hesap Sıcaklık-Zaman Diyagramı (20)

5.4.5. Beton Özelliklerinin Değişimi

Bu konudaki gerekli bilgiler madde 3.2.1 de verilmiştir.

5.5 Malzeme Özelliklerinin Değişimi

Yangın esnasında malzemelerin mekanik özellikleri maruz kaldıkları sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu maddede betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü ile, çeliğin çekme dayanımının değişimi üzerinde durulmaktadır.

5.5.1 Betonun Basınç Dayanımı

Beton dayanımı, alışkanlık olarak 28 günlük betonlar üzerinde belirlenmektedir. Ancak, yangın denetimi için kaynak (20) da 90 günlük dayanımlar dikkate alınmaktadır. Bunun için de kaynak (56) da 90 günlük betonun karakteristik basınç dayanımının; f_{c28} betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımını göstermek üzere

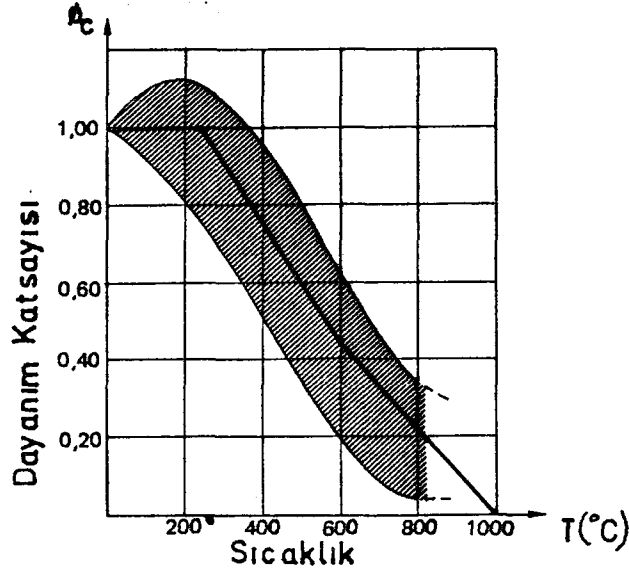
$$f_{c90} = 1,1 \times f_{c28} \quad (5.3)$$

bağıntısıyla hesaplanması önerilmektedir.

Beton dayanımı sıcaklık yükselmesiyle azalmaktadır. Bu değişime etki eden başlıca faktörler şöyle sıralanabilir: Isıtma hızı, numunenin maruz kaldığı yük, çimento dozajı, agrega mineral yapısı (57). f_{cj} , j günlük betonun karakteristik basınç dayanımını, f_{cjT} , T °C sıcaklığın etkisindeki betonun karakteristik basınç dayanımını göstermek üzere betonun dayanım katsayısı,

$$\phi_c = \frac{f_{cjT}}{f_{cj}} \quad (5.4)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Günümüzde yayınlanmış sonuçlar Şekil 5.3 de, taralı bölge olarak gösterilmektedir. Bu bölge içinde koyu olarak çizilen eğri ise kaynak (20) da önerilen değişimi göstermektedir. Bu katsayının (ϕ_c) sıcaklıkla (T °C) değişimi Çizelge 5.3 de verilmektedir.



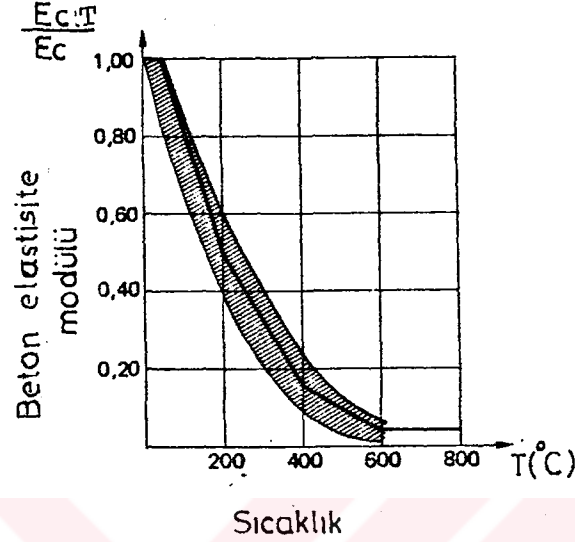
Şekil 5.3. Beton Dayanım Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi (20)

T(°C)	ϕ_c	T(°C)	ϕ_c
250:1.000		630:0.416	
260:0.994		640:0.405	
270:0.969		650:0.394	
280:0.953		660:0.383	
290:0.937		670:0.371	
300:0.922		680:0.360	
310:0.906		690:0.349	
320:0.890		700:0.338	
330:0.874		710:0.326	
340:0.859		720:0.315	
350:0.843		730:0.304	
360:0.827		740:0.293	
370:0.812		750:0.281	
380:0.796		760:0.270	
390:0.780		770:0.259	
400:0.764		780:0.248	
410:0.749		790:0.236	
420:0.733		800:0.225	
430:0.717		810:0.214	
440:0.702		820:0.203	
450:0.686		830:0.191	
460:0.670		840:0.180	
470:0.654		850:0.169	
480:0.639		860:0.158	
490:0.623		870:0.146	
500:0.607		880:0.135	
510:0.592		890:0.124	
520:0.576		900:0.113	
530:0.560		910:0.101	
540:0.545		920:0.090	
550:0.529		930:0.079	
560:0.513		940:0.068	
570:0.497		950:0.056	
580:0.482		960:0.045	
590:0.466		970:0.034	
600:0.450		980:0.023	
610:0.439		990:0.011	
620:0.428			

Çizelge 5.3. Beton Dayanım Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi (20)

5.5.2 Betonun Elastisite Modülü

Betonların elastisite modüllerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 5.4 de verilmektedir.



Şekil 5.4. Beton Elastisite Modülünün Sıcaklıkla Değişimi (20)

Taralı bölge deneylerden elde edilen sonuçları, koyu olarak çizilen eğri ise kaynak (20) da önerilen değişimi göstermektedir. Burada kaynak (56) nın soğukta ani (başlangıç) elastisite modülünü

$$E_c = 12000 \sqrt[3]{f_{c90}} \text{ MPa} \quad (5.5)$$

bağıntısıyla hesaplamayı önerdiğini belirtmek uygun olmaktadır.

5.5.3 Donatının Çekme Dayanımı

f_{yk} donatının belirli bir ϵ_s birim uzamasına karşılık gelen karakteristik dayanımını, f_{ykT} aynı birim uzama için T °C deki donatının dayanımını göstermek üzere; tanım olarak, ϕ_s donatı dayanım katsayısı;

$$\phi_s = \frac{f_{ykT}}{f_{yk}} \quad (5.6)$$

bağıntısıyla hesaplanır (19). İtibari olarak ϕ_s katsayısının değişimi soğuktaki elastik sınır değerleriyle T ($^{\circ}C$) dekilerin karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. Aynı deney yöntemi birçok donatı türüne uygulanmış, elde edilen sonuçlar kaynak (20) da kabul edilmiştir. Bu sonuçlar öngerilme donatısı için Çizelge 5.4 de, hasır donatı için Çizelge 5.5 de, yumuşak betonarme donatısı (S220_(a)), nervürlü sert donatı (S420_(b)) ve pekleştirilmiş donatılar (S220_(b) ve S420_(b)) için Çizelge 5.6 da verilmektedir.

5.6 Hesap İlkeleri

Prizmatik bir yapı elemanına ait kesitin taşıyabileceği en büyük kesit etkisi TS500 de yapılan kabullere göre hesaplanabilir. Bu kabullere ek olarak yangının kısa süreli bir etki olduğu kabul edilmektedir. Diğer taraftan yangına karşı denetimin esas amacı can kaybını önlemektir. Bu nedenle yangında yapı kullanılmayacak şekilde hasar görebilir. Durum böyle olunca hesaplarda yeniden dağılım (adaptasyon) olayını dikkate almak gerekir.

5.6.1 Dikkate Alınan Kesit Etkileri

Patlama tehlikesini dikkate almaksızın gerçekleştirilen denetimlerde kullanılan yük ya da yük etkisi kombinezonu; G sabit yük ya da yük etkisini, Q hareketli yük ya da yük etkisini, W rüzgar yükü ya da yük etkisini, T_1 yangın yükü ya da yük etkisini göstermek üzere

$$F_d = G + Q + 0,8 W + T_1 \quad (5.7)$$

şeklindedir (19).

Derzler arasındaki mesafe afet yönetmeliğindeki (57) önerilere uygun olduğu taktirde genleşme etkisi ihmal edilebileceği gibi, döşeme plakları hariç, üniform olmayan sıcaklık değişimi etkisi de ihmal edilebilir. Patlamanın dikkate alınması

Çizelge.5.4.Öngerilme Donatısı İçin ϕ_s Değerleri (20)Çizelge 5.5.Hasır Donatı İçin ϕ_s Değerleri (20)Çizelge 5.6.Diğer Donatılar İçin ϕ_s Değerleri (20)

T(°C)	ϕ_s	T(°C)	ϕ_s
180	0,989	470	0,365
190	0,968	480	0,343
200	0,946	490	0,322
210	0,925	500	0,300
220	0,903	510	0,288
230	0,882	520	0,276
240	0,860	530	0,264
250	0,838	540	0,252
260	0,817	550	0,240
270	0,795	560	0,228
280	0,774	570	0,216
290	0,752	580	0,204
300	0,731	590	0,192
310	0,709	600	0,180
320	0,688	610	0,168
330	0,666	620	0,156
340	0,645	630	0,144
350	0,623	640	0,132
360	0,602	650	0,120
370	0,580	660	0,108
380	0,558	670	0,096
390	0,537	680	0,084
400	0,515	690	0,072
410	0,494	700	0,060
420	0,472	710	0,048
430	0,451	720	0,036
440	0,429	730	0,024
450	0,408	740	0,012
460	0,386	750	0,000

T(°C)	ϕ_s
400	1,000
410	0,953
420	0,906
430	0,858
440	0,811
450	0,764
460	0,717
470	0,669
480	0,622
490	0,575
500	0,528
510	0,481
520	0,433
530	0,386
540	0,339
550	0,292
560	0,244
570	0,197
580	0,150
590	0,141
600	0,132
610	0,124
620	0,115
630	0,106
640	0,097
650	0,088
660	0,079
670	0,071
680	0,062
690	0,053
700	0,044
710	0,035
720	0,026
730	0,018
740	0,009
750	0,000

T(°C)	ϕ_s	T(°C)	ϕ_s
200	1,000	480	0,573
210	0,985	490	0,557
220	0,969	500	0,542
230	0,954	510	0,527
240	0,939	520	0,512
250	0,924	530	0,496
260	0,908	540	0,481
270	0,893	550	0,466
280	0,878	560	0,451
290	0,863	570	0,435
300	0,847	580	0,420
310	0,832	590	0,395
320	0,817	600	0,371
330	0,802	610	0,346
340	0,786	620	0,321
350	0,771	630	0,296
360	0,756	640	0,272
370	0,741	650	0,247
380	0,725	660	0,222
390	0,710	670	0,198
400	0,695	680	0,173
410	0,679	690	0,148
420	0,664	700	0,124
430	0,649	710	0,099
440	0,634	720	0,074
450	0,618	730	0,049
460	0,603	740	0,025
470	0,588	750	0,000

halinde; G_1 döşeme özağırlığını göstermek üzere, hesaplarda

$$F_d = G - 0,05G_1 + 0,8Q + 0,8W + T_1 \quad (5.8)$$

kombinezonunu kullanmak gerekmektedir (56).

5.6.2 Patlama

Patlama olayının başlıca nedenleri aşağıda verilmektedir:

- Beton bir elemanın bünyesindeki sıcaklık eşit bir dağılım göstermemektedir. Bu nedenle beton bünyesinde iç gerilmeler meydana gelmekte ve beton yüzeyinde yerel kırılmalar oluşmaktadır.

- Sıcaklık kimyasal olarak betona bağlı olmayan suyun buharlaşmasına neden olmakta, kapalı boşluklardaki buhar basıncı yüksek değerler alarak betonun yerel kırılmalarına neden olmaktadır.

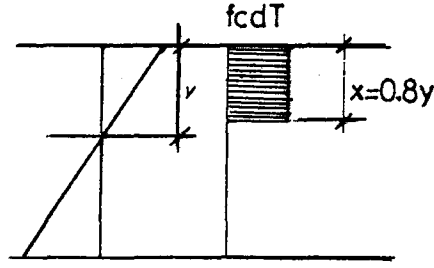
Bu olayın, deneyler tarafından da (58) desteklenen teorik bir açıklaması kaynak (58) da yapılmaktadır. Betonun yüzeysel patlamasından dolayı bir kısım donatı açığa çıkarak yangın sıcaklığını daha çabuk iletirken tüm taşıma kapasitesini yitirebilir. Patlama tehlikesi hesaplarda, yangın yükü altında kesit çevresinde, en büyük etkiyi taşıyabilen donatı çubuğunun ihmal edilmesi suretiyle dikkate alınmaktadır. Aşağıdaki durumlarda ise patlama tehlikesi dikkate alınmayabilir (52):

- Açıklığında 8 den fazla donatı çubuğu bulunan kirişlerde,
- Döşemelerde,
- Eleman üzerinde alçı gibi ek bir koruyucu tabaka bulunması halinde.

5.6.3 Malzemelerin Hesap Dayanımları

5.6.3.1 Beton Hesap Dayanımı

Basınç bölgesindeki beton gerilme diyagramı eşdeğer dikdörtgen gerilme diyagramı olarak dikkate alınabilir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Beton Bir Kesitte Eşdeğer Dikdörtgen Gerilme Diyagramı

T sıcaklığı için hesap dayanımı

$$f_{cdT} = \frac{\phi_c f_{cd90}}{1,3} \quad (5.9)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir (19).

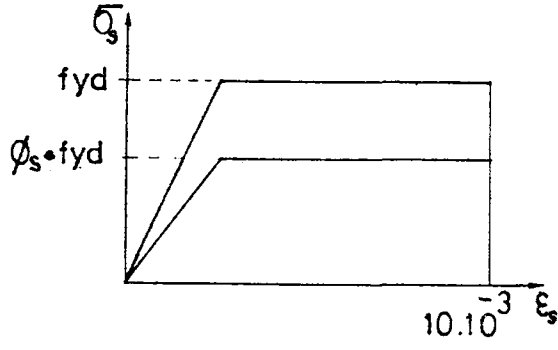
5.6.3.2 Donatı Hesap Dayanımı

Donatı hesap diyagramı normal sıcaklık için çizilen karakteristik gerilme-şekildeğiştirme diyagramı ordinatlarının ϕ_s katsayısına çarpılarak elde edilen değerlerin hooke doğrultusuna paralel doğrular üzerinde gösterilerek birleştirilmesinden elde edilen diyagramlardır. Bu diyagramlar, düz yüzeyli ve tor çelikler için Şekil 5.6 da, akma sınırı göstermeyen çelikler için Şekil 5.7 de ve öngerilme donatısı için ise Şekil 5.8 de verilmektedir. S420 donatısı için $10^3 \epsilon_s$ nin fonksiyonu olarak normal sıcaklıktaki σ_s değerleri Çizelge 5.7 de verilmektedir (19).

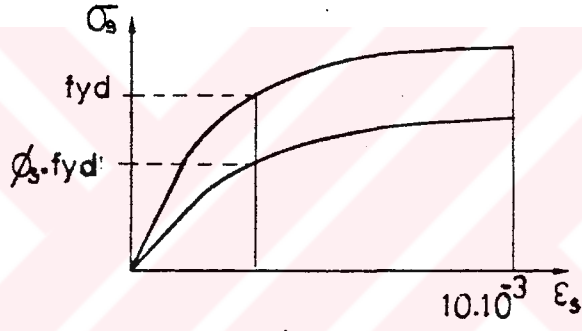
5.6.4 İndirgenmiş Sıcak Kesit Kavramı

5.6.4.1 Tanım

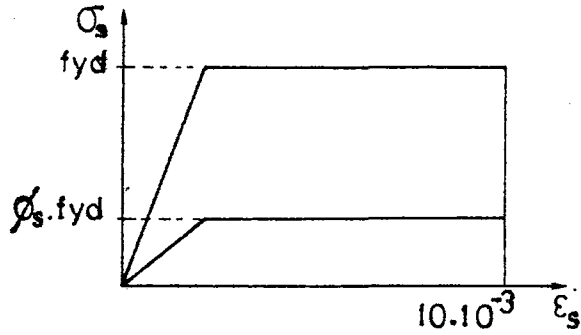
Normal sıcaklıktaki malzeme dayanımlarıyla, gerçek sıcak kesitin taşıyabileceği kesit etkilerini taşıyabilen kesite indirgenmiş sıcak kesit adı verilmektedir. Bu durum ϕ_c ya da ϕ_s



Şekil 5.6. Düz Yüzeyle ve Tor Çelikler İçin Donatı Hesap Diyagramı (19)



Şekil 5.7. Akma Sınırı Göstermeyen Çelikler İçin Donatı Hesap Diyagramı (19)



Şekil 5.8. Öngerilme Donatısı İçin Donatı Hesap Diyagramı (19)

Çizelge 5.7.S.420(a) Donatısı İçin Normal Sıcaklıkta σ_s Değerleri (19)

$10^3 \epsilon_s$	σ_s	$10^3 \epsilon_s$	σ_s	$10^3 \epsilon_s$	σ_s
0,5	100	3,7	396	6,9	423
0,6	120	3,8	398	7,0	423
0,7	140	3,9	399	7,1	424
0,8	160	4,0	400	7,2	425
0,9	180	4,1	401	7,3	425
1,0	200	4,2	402	7,4	426
1,1	220	4,3	403	7,5	426
1,2	240	4,4	404	7,6	427
1,3	260	4,5	405	7,7	427
1,4	280	4,6	406	7,8	428
1,5	300	4,7	407	7,9	428
1,6	319	4,8	408	8,0	429
1,7	333	4,9	409	8,1	429
1,8	343	5,0	410	8,2	430
1,9	351	5,1	411	8,3	430
2,0	357	5,2	411	8,4	431
2,1	362	5,3	412	8,5	431
2,2	366	5,4	413	8,6	432
2,3	369	5,5	414	8,7	432
2,4	372	5,6	414	8,8	433
2,5	375	5,7	415	8,9	433
2,6	376	5,8	416	9,0	433
2,7	380	5,9	417	9,1	434
2,8	382	6,0	417	9,2	434
2,9	384	6,1	418	9,3	435
3,0	386	6,2	419	9,4	435
3,1	388	6,3	419	9,5	436
3,2	389	6,4	420	9,6	436
3,3	391	6,5	420	9,7	436
3,4	392	6,6	421	9,8	437
3,5	394	6,7	422	9,9	437
3,6	395	6,8	422	10,0	438

dayanım katsayılarını malzeme özelliklerine uygulamak yerine bizzat kesit alanına uygulamak anlamına gelmektedir. Bu kavramın yararı normal sıcaklıktaki malzeme dayanımlarını kullanmak suretiyle kesitin, kesit etkisi taşıma kapasitelerini hesaplamaya imkan vermesidir.

5.6.4.2 Betonarme Bir Kesit Durumu

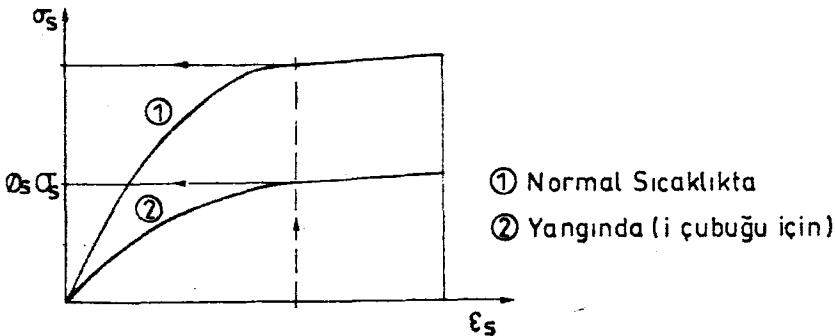
n adet asal çekme donatı çubuğuna sahip, betonarme bir kesit dikkate alınsın. A_{si} her bir donatı çubuğunun kesit alanını, T_i her bir donatı çubuğunun sıcaklığını, ϕ_{si} her bir donatı çubuğunun dayanım katsayısını göstermek üzere, tüm donatılardaki birim boy değişimlerinin eşit olduğu kabulüyle (Şekil 5.9), n adet donatı çubuğunun taşıyabileceği toplam aksenal yük

$$N_s = \sum_{i=1}^n \phi_{si} \sigma_s A_{si} = \sigma_s \sum_{i=1}^n \phi_{si} A_{si} = \sigma_s A_{ST} \quad (5.10)$$

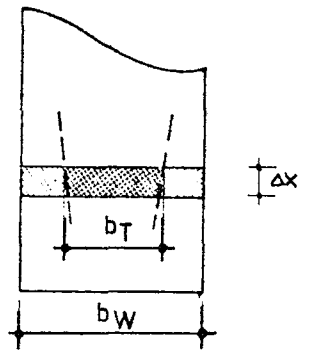
bağıntısıyla hesaplanır. Buna göre indirgenmiş sıcak kesit

$$A_{ST} = \sum_{i=1}^n \phi_{si} A_{si} \quad (5.11)$$

den ibarettir (19).



Şekil 5.9. Normal Sıcaklık ve Yangında Donatı σ_s - ϵ_s Diyagramı



Şekil 5.10. İndirgenmiş Beton Kesit (20)

5.6.4.3 Beton Bir Kesit Durumu

Genişliği b_w , yüksekliği Δ_x olan beton bir kesit dikkate alınsın (Şekil 5.10).

T_n bu yüzeydeki ortalama sıcaklığı ve ϕ_c bu sıcaklığa karşılık gelen beton dayanım katsayısını göstermek üzere kesitin taşıyabileceği aksenal yük

$$N_{cb} = \frac{\phi_c f_{c90}}{1,3} b_w \Delta x = \frac{f_{c90}}{1,3} \Delta x (\phi_c b_w) \quad (5.12)$$

buna göre indirgenmiş kesitin genişliği

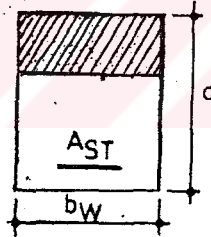
$$b_{wT} = \phi_c b_w \quad (5.13)$$

den ibarettir (19).

5.6.5 Direnme Momenti Hesabı

5.6.5.1 Yangın Etkisinde Betonarme Dikdörtgen Bir Kesit Durumu

Bu hesapta basınç gören betonun genişliğinin sabit olduğu kabul edilmektedir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Yangın Etkisinde Betonarme Dikdörtgen Kesit

A_{sT} indirgenmiş sıcak kesit donatı alanını göstermek üzere mekanik donatı oranı (ω),

$$\omega = \frac{1,3 A_{sT} f_{yd}}{b_w d f_{c90}} \quad (5.14)$$

bağıntısıyla hesaplanır. $\omega < 0,36$ için hesapta izlenecek yol aşağıda verilmektedir. $k = \sigma_s / f_{yd}$ olarak tanımlanırsa bu katsayı

1) S420 (a) için

$$k = 1$$

2) S420 (b) ve S500 için

$$\omega \leq 0,19 \rightarrow k = 1,10$$

$$\omega > 0,19 \rightarrow k = 1,2-0,55$$

olarak alınır. İndirgenmiş moment

$$m = \frac{k \omega}{1+0,6 \omega} \quad (5.16)$$

bağıntısıyla, direnme momenti ise

$$M_r = m b_w d^2 \frac{f_{c90}}{1,3} \quad (5.17)$$

bağıntısıyla hesaplanır (19). Öngerilme donatısı halinde ilgili bağıntıda öngerilme donatısının hesap dayanımı kullanılır.

SAYISAL UYGULAMA: 5.1. Dikdörtgen Bir Kesitte Direnme Momenti Hesabı

Bilinenler: $b_w = 240$ mm, $d=450$ mm, $A_{sT} = 170$ mm, $f_{yd} = 400$ N/mm²,
 $f_{c28} = 23$ N/mm² dir.

Aranan : M_r

Çözüm :

$$f_{c90} = 1,1 f_{c28} \rightarrow f_{c90} = 1,1 \cdot 23 = 25,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega = \frac{1,3 A_{sT} f_{yd}}{b_w d f_{c90}} \rightarrow \omega = \frac{1,3 \cdot 170 \cdot 400}{240 \cdot 450 \cdot 25,3} = 0,0324$$

$$\omega = 0,0324 < 0,19 \rightarrow k = 1,10$$

$$m = \frac{k \omega}{1+0,6 k \omega} \rightarrow m = \frac{1,1 \cdot 0,0324}{1+0,6 \cdot 1,1 \cdot 0,0324} = 0,0349$$

$$M_r = m b_w d^2 \frac{f_{c90}}{1,3} \rightarrow M_r = 0,0349 \cdot 240 \cdot 450^2 \cdot \frac{25,3}{1,3} \cdot 10^{-6}$$

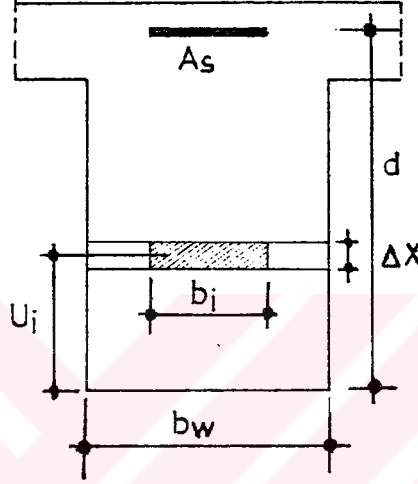
$$M_r = 33 \text{ kNm} \quad \text{olarak bulunur.}$$

5.6.5.2 Yangın Etkisinde Tablalı Bir Kesit Durumu

Yüksekliği Δx ve kiriş alt yüzünden uzaklığı u_i olan bir beton şerit içinde (Şekil 5.12), ϕ_{ci} beton dayanım katsayısını göstermek üzere, indirgenmiş genişlik

$$b_i = \phi_{ci} b_w \quad (5.18)$$

bağıntısıyla hesaplanır.



Şekil 5.12. Yangın Etkisinde Tablalı Kesit

Bu şeritin karşılayacağı normal kuvvet

$$N_{ci} = \frac{f_{c90}}{1,3} b_i \Delta x \quad (5.19)$$

çekme donatısı ağırlık merkezine göre moment

$$M_{ci} = N_{ci} (d - u_i) \quad (5.20)$$

x , alt yüzden itibaren tarafsız eksen derinliği olmak üzere, yüksekliğinde basınç etkisindeki bir beton dikkate alınırsa beton

$$N_{cc} = \sum_o^x N_{ci} \quad (5.21)$$

$$M_c = \sum_o^x M_{ci}$$

kesit etkilerini karşılar (19).

Tarafsız eksenin konumu $y=x/0,8$ den ve bunun rölatif değeri ise $\alpha=y/d$ den hesaplanır. Böylece donatı tarafından karşılanan etkiler;

$$\alpha < 0,259 \quad \text{ise} \quad \epsilon_s = 10 \cdot 10^{-3} \quad \text{için}$$

$$\alpha > 0,259 \quad \text{ise} \quad \epsilon_s = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$

ilgili diyagramlardan σ_s alınır (madde 5.6.5.3 de bu konu üzerinde durulmaktadır) ve

$$N_s = A_s \sigma_s \quad (5.22)$$

bağıntısıyla normal kuvvet hesaplanır. Basit eğilme direnme momenti (M_R), $N_{CC}=N_s$ için M_C değerini alır.

5.6.5.3 Donatı Gerilmeleri

Donatı gerilmeleri birim uzamalara (ϵ_s), bağlı olarak değerlendirilir

- Düz yüzeyli ve Tor çeliklerinde

$$\epsilon_s < \frac{f_{yd}}{E_s} \quad \text{ise} \quad \sigma_s = E_s \epsilon_s$$

$$\epsilon_s > \frac{f_{yd}}{E_s} \quad \text{ise} \quad \sigma_s = f_{yd}$$

olarak alınır (19).

- Akma sınırları belirgin olmayan tor çeliklerinde (S420_p) σ_s Çizelge 5.7 de verilmektedir.

- Öngerilme donatısı için $f_{yd} = \sigma_o$ olarak alınır. Burada σ_o ; 1,1 T_g ve 0,95 R_g değerlerinin küçüğü olarak alınır. T_g ve R_g sırasıyla öngerilme donatısının garantili çekme ve basınç dayanımlarını göstermektedir.

SAYISAL UYGULAMA: 5.2. Tablalı Bir Kesitte Direnme Momenti Hesabı

Bilinenler : $b_w = 240 \text{ mm}$, $d=450 \text{ mm}$, $A_s = 770 \text{ mm}^2$, farklı u_i düzeylerindeki b_i değerleri Çizelge 5.8 de ikinci sütunda verilmiştir.

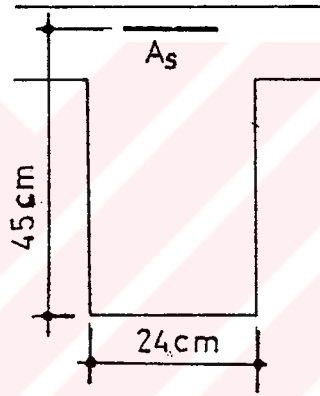
$$f_{yd} = 400 \text{ N/mm}^2, f_{c28} = 23 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

Aranan : M_R

Çözüm:

$$f_{c90} = 1,1 f_{c28} = 1,1 \cdot 23 = 25,3 \text{ N/mm}^2$$

olduğuna göre hesap çizelge 5.8 de verilmektedir.



Şekil 5.13. Sayısal Uygulama

Çizelge 5.8. Sayısal Uygulama

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
u_i	b_i	Δx	x	y	α	$10^3 \xi_s$	σ_s	N_s	N_{ci}	N_{cc}	$d-u_i$	M_{ci}	M_c
m	m	m	m	m			MPa	MN	MN	MN	m	mMN	mMN
0,01	0,041	0,02	0,02	0,025	0,0556	10	438	0,337	0,016	0,016	0,44	0,00702	0,00702
0,03	0,067	0,02	0,04	0,05	0,111	10	438	0,337	0,0261	0,0421	0,42	0,011	0,018
0,05	0,092	0,02	0,06	0,075	0,167	10	438	0,337	0,0358	0,0779	0,40	0,0143	0,0323
0,07	0,114	0,02	0,08	0,10	0,222	10	438	0,337	0,0444	0,122	0,38	0,0169	0,0492
0,09	0,134	0,02	0,10	0,125	0,278	9,1	434	0,334	0,0522	0,174	0,36	0,0188	0,0680
0,11	0,146	0,02	0,12	0,150	0,333	7	423	0,326	0,0568	0,231	0,34	0,0193	0,0873
0,13	0,157	0,02	0,14	0,175	0,389	5,5	414	0,319	0,0611	0,292	0,32	0,0196	0,107
0,15	0,165	0,02	0,16	0,2	0,444	4,38	404	0,311	0,0642	0,356	0,30	0,0193	0,126
													14 < x < 16 cm
0,145	0,168	0,01	0,15	0,188	0,417	4,9	402	0,315	0,0313	0,325	0,305	0,00955	0,117
													14 < x < 15 cm
0,143	0,170	0,05	0,145	0,181	0,402	5,2	411	0,317	0,0155	0,307	0,307	0,00476	0,112
													14,5 < x < 15 cm

$$\frac{0,117}{0,112} = 1,04$$

$$M_R = \frac{0,117 + 0,112}{2} = 0,115 \text{ mMN}$$

5.7 Döşemelerin Denetimi

Beton yapı elemanlarının yangına karşı stabilite denetimi, elemanı kararsız bir mekanizma durumuna dönüştüren, plastik mafsalların meydana gelmesini kabul etmektir. Deneyler plak mesnetlerinde plastik mafsallık şekildeğiştirme sınırlarını ortaya koymuştur (19).

Bu nedenle kaynak (20) özellikle sıcaklık değişiminden doğan moment etkisi altında, plak mesnetlerindeki plastik mafsallık şekildeğiştirmelerini dikkate almayı önermektedir. Bunun için önerilen yöntemler aşağıda verilmektedir.

- Genel yöntem (madde 5.7.1)
- Döşeme kalınlığı yöntemi (madde 5.7.2)
- Basit kuralların uygulanması (madde 5.7.3).

5.7.1 Genel Yöntem

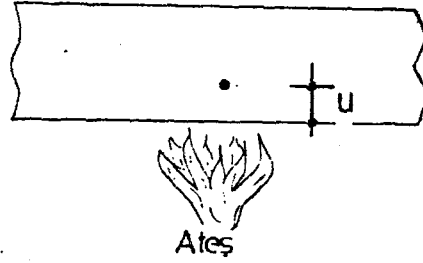
5.7.1.1 Hesap Aşamaları

Denetim hesabı aşamaları aşağıda verilmektedir.

- Açıklık donatısı sıcaklığını belirledikten sonra buna bağlı olarak açıklık direnme momenti hesaplanır.
- Mesnetler üzerindeki hesap momentleri ve plastik mafsallık dönmelerinin değerlendirilmesi, buna bağlı olarak mesnet üzerindeki direnme momenti ve emniyetle taşınabilecek yükün hesabı.

5.7.1.2 Açıklık Donatılarındaki Sıcaklık

Açıklık donatılarındaki sıcaklık madde 5.4 de belirtilen esaslara göre hesaplanabilir. Araştırma sonuçları bir plağın sıcak yüzünden u kadar uzaktaki bir noktada (Şekil 5.14) sıcaklığın pratik olarak plak kalınlığından bağımsız olduğunu göstermektedir. u ve standart yangın süresine bağlı olarak T nin alacağı değerler Çizelge 5.9 da verilmektedir.



Şekil 5.14. Yangın Etkisindeki Bir Plak Kesiti

Çizelge 5.9. Standart Yangın Süreleri İçin Plak Kesitinde Farklı u Noktalarındaki Sıcaklıklar

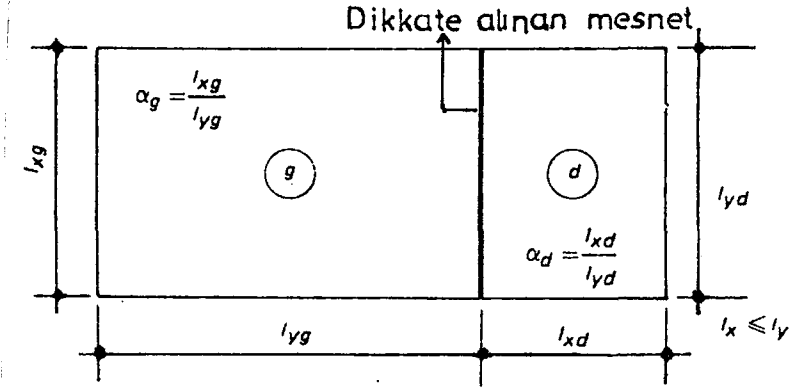
u (cm)	0,5	1	1,5	2	3	4	6
0	460	670	760	815	890	935	1000
0,5	420	625	720	775	850	905	970
1	380	580	680	740	820	875	940
1,5	340	540	640	700	785	840	910
2	300	495	600	660	750	810	880
2,5	270	450	555	625	710	775	855
3	215	400	520	590	680	740	825
3,5	180	360	475	550	640	710	800
4		315	435	510	605	675	770
4,5		270	400	475	570	645	740
5		235	360	440	535	615	720
5,5		200	325	405	500	585	690
6		175	295	375	475	555	660
6,5			265	340	440	530	635
7			235	320	420	500	615
7,5			200	290	400	480	585
8			185	265	375	455	560

5.7.1.3 Açıklık Direnme Momenti

Önce madde 5.6.4.2 deki esaslara göre heriki doğrultuda indirgenmiş donatı alanları, daha sonra bu donatılara karşı gelen direnme momentleri (M_{xr} , M_{yr}) madde 5.6.5.1 deki esaslara göre hesaplanır.

5.7.1.4. Mesnet Hesap Momentleri

Aşağıda verilen yöntem kaynak (60) da iki doğrultuda çalışan döşemeler için önerilen yöntemin genelleştirilmiş halidir. Herhangi bir ara mesnetteki hesap momenti (M),



Şekil 5.15. İki Doğrultuda Çalışan Döşeme Plağı

P_g ve P_d dikkate alınan mesnetin solundaki ve sağındaki gözlerle (g, d) etkiyen yükleri, k_1 ve k_2 α kenar oranlarına bağlı olarak Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11 den alınan katsayıları, x Çizelge 5.12 den alınan bir katsayıyı, l_x dikkate alınan plağın kısa kenarını, l'_g ve l'_d $l' = x l_x$ olarak hesaplanan sol ve sağ indirgenmiş açıklıklar ve

$$M_a = \frac{k_{1g} P_g l'_g{}^3 + k_{1d} P_d l'_d{}^3}{k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d} \quad (5.23)$$

düsey yük momentini (bu momentin hesabında sünme etkisini dikkate almak için, $P = \frac{2}{3} g + q$ kullanılır), $\alpha (=10^{-5})$ beton genleşme katsayısını, h döşeme kalınlığını, $E = 12000 \sqrt[3]{f_{c90}}$ soğuk betonun başlangıç elastisite modülünü, h' Çizelge 5.13 den alınan ve her bir donatı lifinin farklı sıcaklıkta bulunduğunu, dolayısıyla farklı modüle sahip olduğunu ve bunun soğuk plağın rijitliğini, $i = (h')^{3/12}$ olarak değiştirdiğini, ΔT farklı sıcaklık etkisindeki farklı şekildeştirmelerin meydana getirdiği dönme açılarını elde edecek şekilde hesaplanan ve hesaplarda dikkate alınacak değerleri Çizelge 5.14 de verilen sıcaklık değişimini,

$$M_T = \frac{\alpha \Delta T (l'_g + l'_d) i E}{2h (k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d)} \quad (5.24)$$

Plak kalınlığı üzerinde sıcaklık değişiminden meydana gelen momenti, θ plastik mafsal dönmesini,

$$k = \frac{i \cdot E}{k_2 l'_g + k_2 d l'_d}$$

ve $M_\theta = k \theta$ dönme momentini göstermek üzere

$$M = M_a + M_T - M_\theta \quad (5.25)$$

bağıntısıyla hesaplanır (19).

Çizelge 5.10. Kısa Kenar Doğrultusunda
 α Katsayıları

α	k1	k2	α	k1	k2
1.00	0.0135	0.235	0.69	0.0179	0.322
0.99	0.0136	0.238	0.68	0.0180	0.324
0.98	0.0138	0.241	0.67	0.0182	0.326
0.97	0.0139	0.244	0.66	0.0183	0.329
0.96	0.0141	0.247	0.65	0.0184	0.331
0.95	0.0142	0.249	0.64	0.0185	0.333
0.94	0.0144	0.252	0.63	0.0186	0.335
0.93	0.0145	0.255	0.62	0.0187	0.337
0.92	0.0147	0.258	0.61	0.0188	0.339
0.91	0.0148	0.261	0.60	0.0189	0.341
0.90	0.0150	0.264	0.59	0.0190	0.343
0.89	0.0151	0.267	0.58	0.0191	0.344
0.88	0.0153	0.270	0.57	0.0192	0.346
0.87	0.0154	0.273	0.56	0.0193	0.348
0.86	0.0156	0.276	0.55	0.0193	0.349
0.85	0.0157	0.279	0.54	0.0194	0.351
0.84	0.0159	0.281	0.53	0.0195	0.352
0.83	0.0160	0.284	0.52	0.0196	0.353
0.82	0.0162	0.287	0.51	0.0196	0.355
0.81	0.0163	0.290	0.50	0.0197	0.356
0.80	0.0165	0.293	0.49	0.0198	0.357
0.79	0.0166	0.296	0.48	0.0198	0.358
0.78	0.0167	0.298	0.47	0.0199	0.359
0.77	0.0169	0.301	0.46	0.0199	0.360
0.76	0.0170	0.304	0.45	0.0200	0.361
0.75	0.0172	0.307	0.44	0.0200	0.362
0.74	0.0173	0.309	0.43	0.0201	0.363
0.73	0.0174	0.312	0.42	0.0201	0.364
0.72	0.0175	0.314	0.41	0.0202	0.365
0.71	0.0177	0.317	0.40	0.0202	0.366
0.70	0.0178	0.319	↓	0.0203	0.367

Çizelge 5.11. Uzun Kenar Doğrultusunda α Katsayıları (19)

α	k1	k2	α	k1	k2
1,00	0,0135	0,235	0,64	0,0263	0,254
0,99	0,0138	0,234	0,63	0,0267	0,255
0,98	0,0141	0,233	0,62	0,0272	0,256
0,97	0,0143	0,233	0,61	0,0276	0,256
0,96	0,0146	0,233	0,60	0,0281	0,257
0,95	0,0149	0,233	0,59	0,0285	0,258
0,94	0,0152	0,234	0,58	0,0290	0,259
0,93	0,0155	0,234	0,57	0,0294	0,260
0,92	0,0158	0,235	0,56	0,0299	0,261
0,91	0,0161	0,236	0,55	0,0303	0,263
0,90	0,0164	0,237	0,54	0,0308	0,264
0,89	0,0167	0,238	0,53	0,0312	0,266
0,88	0,0170	0,239	0,52	0,0317	0,267
0,87	0,0173	0,240	0,51	0,0321	0,269
0,86	0,0176	0,241	0,50	0,0326	0,271
0,85	0,0179	0,242	0,49	0,0330	0,273
0,84	0,0183	0,243	0,48	0,0335	0,275
0,83	0,0186	0,243	0,47	0,0339	0,277
0,82	0,0190	0,244	0,46	0,0344	0,279
0,81	0,0193	0,245	0,45	0,0348	0,281
0,80	0,0197	0,246	0,44	0,0352	0,284
0,79	0,0200	0,247	0,43	0,0356	0,286
0,78	0,0204	0,247	0,42	0,0361	0,289
0,77	0,0208	0,248	0,41	0,0365	0,292
0,76	0,0212	0,248	0,40	0,0369	0,294
0,75	0,0216	0,249	0,39	0,0373	0,297
0,74	0,0220	0,249	0,38	0,0377	0,300
0,73	0,0224	0,250	0,37	0,0381	0,303
0,72	0,0228	0,250	0,36	0,0385	0,306
0,71	0,0232	0,251	0,35	0,0389	0,309
0,70	0,0236	0,251	0,34	0,0393	0,312
0,69	0,0241	0,252	0,33	0,0397	0,315
0,68	0,0245	0,252	0,32	0,0401	0,317
0,67	0,0249	0,253	0,31	0,0405	0,320
0,66	0,0254	0,253	0,30	0,0409	0,323
0,65	0,0258	0,254	↓	0,0417	0,333

Çizelge 5.12. x Katsayıları

α	X	α	X
1,00	0,926	0,69	0,876
0,99	0,918	0,68	0,874
0,98	0,917	0,67	0,873
0,97	0,915	0,66	0,871
0,96	0,914	0,65	0,869
0,95	0,913	0,64	0,868
0,94	0,912	0,63	0,866
0,93	0,911	0,62	0,864
0,92	0,909	0,61	0,863
0,91	0,908	0,60	0,861
0,90	0,907	0,59	0,859
0,89	0,906	0,58	0,857
0,88	0,905	0,57	0,856
0,87	0,904	0,56	0,854
0,86	0,902	0,55	0,852
0,85	0,901	0,54	0,850
0,84	0,900	0,53	0,848
0,83	0,899	0,52	0,845
0,82	0,897	0,51	0,843
0,81	0,896	0,50	0,841
0,80	0,894	0,49	0,838
0,79	0,893	0,48	0,835
0,78	0,891	0,47	0,832
0,77	0,889	0,46	0,828
0,76	0,888	0,45	0,825
0,75	0,886	0,44	0,820
0,74	0,885	0,43	0,816
0,73	0,883	0,42	0,811
0,72	0,881	0,41	0,806
0,71	0,879	0,40	0,800
0,70	0,878	↓	0,800

Çizelge 5.13. Standart Yangın Sürelerinde İndirgenmiş Döşeme Kalınlığı (19)

h cm	Yangın Süresi(saatt)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	3	4
7	4,86	3,96	3,34	2,85	1,98	—
8	5,73	4,76	4,09	3,54	2,53	0,03
9	6,60	5,56	4,84	4,23	3,08	0,92
10	7,46	6,36	5,58	4,92	3,63	1,80
11	8,35	7,21	6,39	5,68	4,26	2,55
12	9,24	8,05	7,19	6,44	4,89	3,30
13	10,2	8,92	8,04	7,25	5,59	3,93
14	11,1	9,79	8,88	8,05	6,28	4,55
15	12,0	10,7	9,74	8,90	7,03	5,20
16	12,9	11,6	10,6	9,74	7,78	5,85
17	13,8	12,5	11,5	10,6	8,58	6,53
18	14,7	13,4	12,4	11,5	9,38	7,2
19	15,7	14,3	13,3	12,4	10,2	7,60
20	16,6	15,2	14,2	13,3	11	8,00
21	17,6	16,2	15,1	14,2	11,9	9,10
22	18,5	17,1	16,0	15,0	12,8	10,2
23	19,5	18,0	16,9	16,0	13,7	10,8
24	20,4	18,9	17,8	16,9	14,5	11,4
25	21,3	19,8	18,7	17,8	15,3	12,0

Çizelge 5.14. Döşemelerde Standart Yangın Süreleri İçin Sıcaklık Değişimi (19)

h cm	Yangın Süresi(saatt)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	3	4
7	365	448	480	480	410	280
8	372	467	503	509	456	330
9	381	482	524	537	496	380
10	389	492	539	559	530	438
11	390	498	550	576	564	476
12	389	496	552	586	590	514
13	385	494	552	594	613	565
14	379	485	548	594	634	620
15	372	476	541	592	650	660
16	362	465	532	587	665	700
17	353	452	520	579	675	724
18	342	439	507	569	681	745
19	331	422	492	557	683	756
20	320	410	477	543	683	758
21	310	390	462	527	681	755
22	299	381	445	511	673	748
23	289	366	429	493	664	740
24	278	353	412	477	650	730
25	260	344	394	440	632	720

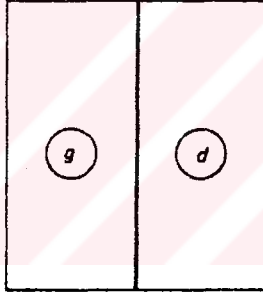
Bir doğrultuda çalışan ($\alpha_d = \alpha_g = \alpha < 0,4$) ve uzun kenarları boyunca ortak mesnetli plaklarda (Şekil 5.16), mesnet momenti $\alpha < 0,4$ için Çizelge 5.12 ve 5.14 den $k_1 = 0,0417$, $k_2 = 0,333$ ve $x = 0,8$ olarak alınır. Buradan

$$M_a = \frac{0,0417 (P_g l'_g{}^3 + P_d l'_d{}^3)}{0,333 (l'_g + l'_d)} = \frac{P_g l'_g{}^3 + P_d l'_d{}^3}{8 (l'_g + l'_d)} \quad (5.26)$$

$$M_T = \frac{\alpha \Delta T (l'_g + l'_d) i E}{2 h 0,333 (l'_g + l'_d)} = \frac{3 \alpha \Delta T i E}{2 h} \quad (5.27)$$

$$k = \frac{3 i E}{l'_d + l'_g} \quad (5.28)$$

olarak elde edilir.



Şekil 5.16. Bir Doğrultuda Çalışan Döşeme Plakı

5.7.1.5 Mesnet Direnme Momenti

Bir mesnetin direnme momenti madde 5.6.5.2 de önerilen şekilde hesaplanabilir. Ancak, aşağıdaki bağıntılar yardımıyla direnme momentini daha çabuk bir şekilde hesaplamak mümkün olmaktadır. Donatı çekme kuvveti

$$N_s = A_s \sigma_s \quad (\text{genellikle } \sigma_s = f_{yd} \text{ olur})$$

bağıntısıyla, k katsayısı ise $N_s \rightarrow \text{MN}$, $f_{c90} \rightarrow \text{MPa}$ olmak üzere

$$k = \frac{1,3 N_s 10^4}{f_{c90}} \quad (\text{cm}^2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Beton örtü kalınlığı (c),

$$a = 0,027 t \quad (\text{t saat cinsinden})$$

$$b = 0,85 e^{-0,073 t} \quad (\text{t saat cinsinden})$$

olmak üzere

$$c = a k^b$$

bağıntısıyla, moment kolu

$$z = d - c$$

bağıntısıyla, tarafsız eksen derinliği (x)

$$a' = 1,9 t^{-0,035} \quad (\text{t saat cinsinden})$$

$$b' = 0,95 t^{-0,03}$$

olmak üzere

$$x = a' c^{b'}$$

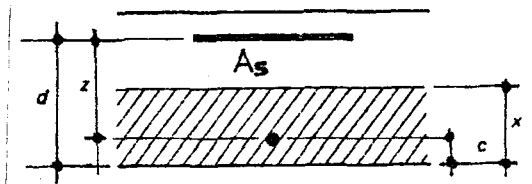
bağıntısıyla hesaplanır (Şekil 5.17). Buradan

$$\alpha = \frac{x}{0,8 d} \quad (5.29)$$

olarak belirlenir.

$$\alpha \leq 0,259 \quad \text{için} \quad \epsilon_s = 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha > 0,259 \quad \text{için} \quad \epsilon_s = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$



Şekil 5.17. Betonarme Bir Döşeme Kesiti

olarak alınır ve ilgili $\sigma_s - \epsilon_s$ diyagramından bu ϵ_s ye karşılık σ_s alınarak daha önce seçilen değeri ile denetlenir, eşitse direnme momenti

$$M_r = N_s z$$

bağıntısıyla, eşit değilse bu σ_s değeriyle hesap tekrarlanır. θ plastik mafsal dönmesi, direnme momentinin hesap momentine eşit olduğu ($M_r=M$) varsayımına göre

$$M_r = M_a + M_T - k\theta \quad (5.30a)$$

$$\theta = \frac{M_a + M_T - M_r}{k} \quad (5.30b)$$

bağıntısından hesaplanır. Diğer taraftan deneyler betonarme plastik mafsalların dönme sınırlarını ortaya koymuştur. Öyleki θ_r gibi belirli bir dönme açısından sonra donatı kopmaktadır. Çizelge 5.15 da verilen değerler kaynak (20) da önerilen değerlerdir.

Çizelge 5.15. Çeşitli Donatılar İçin θ_r Değerleri (20)

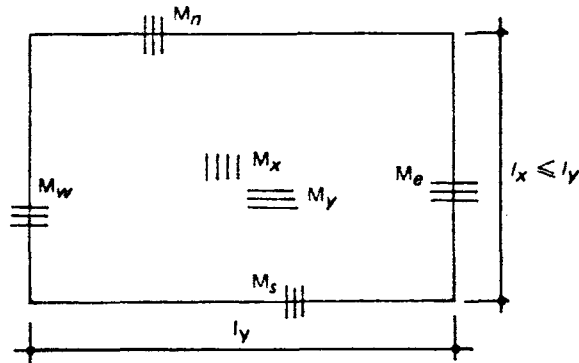
	Yumusak Çelik	Tor Çelik	Hasır Çelik
θ_r	0.25	0.10	0.08

θ için iki durum söz konusu olabilir:

- $\theta < \theta_r$ ise ($M_d < M_r$) donatı kopmaz, dolayısıyla da mesnet momentini (M) emniyetle taşır.

- $\theta \geq \theta_r$ ise donatı kopar, dolayısıyla da mesnet hesap momentini (M) taşıyamaz.

Çeşitli mesnetler için hesaplanacak direnme momentleri M_w , M_e , M_n ve M_s sembolleriyle gösterilmektedir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Döşeme Mesnetlerinde Hesap Direnme Momentleri

5.7.1.6 Emniyetle Taşınabilecek Yük

Emniyetle taşınabilecek yük (\bar{P}), çeşitli direnme momentlerini kullanarak (Şekil 5.17), plastik mafsalları teorisi-ne göre elde edilen, aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenebilir (61).

$$m_x = M_x + \frac{M_n + M_s}{2} \quad (5.31)$$

$$m_y = M_y + \frac{M_w + M_e}{2}$$

Bu bağıntılardan elde edilen m_x ve m_y bazen mesnetlerdeki ek donatı boylarına göre sınırlandırılmak zorundadır. Bunun için Sayısal Uygulama 5.4'e bakılabilir.

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y}, \quad \psi = \frac{m_x}{m_y}$$

$$\lambda = \alpha \psi + \sqrt{\alpha^2 \psi^2 + 3 \psi}$$

$$\bar{P} = \frac{24 m_x}{l_x^2} \frac{1 + \frac{\alpha \psi}{\lambda}}{3 - \alpha \lambda} \quad (5.32)$$

Bu son bağıntıdan elde edilen \bar{P} yükü için iki ihtimal söz konusudur:

- $\bar{P} \geq g + q$ ise plak, üzerindeki yükü emniyetle taşır.
- $\bar{P} < g + q$ ise plak, üzerindeki yükü emniyetle taşıyamaz.

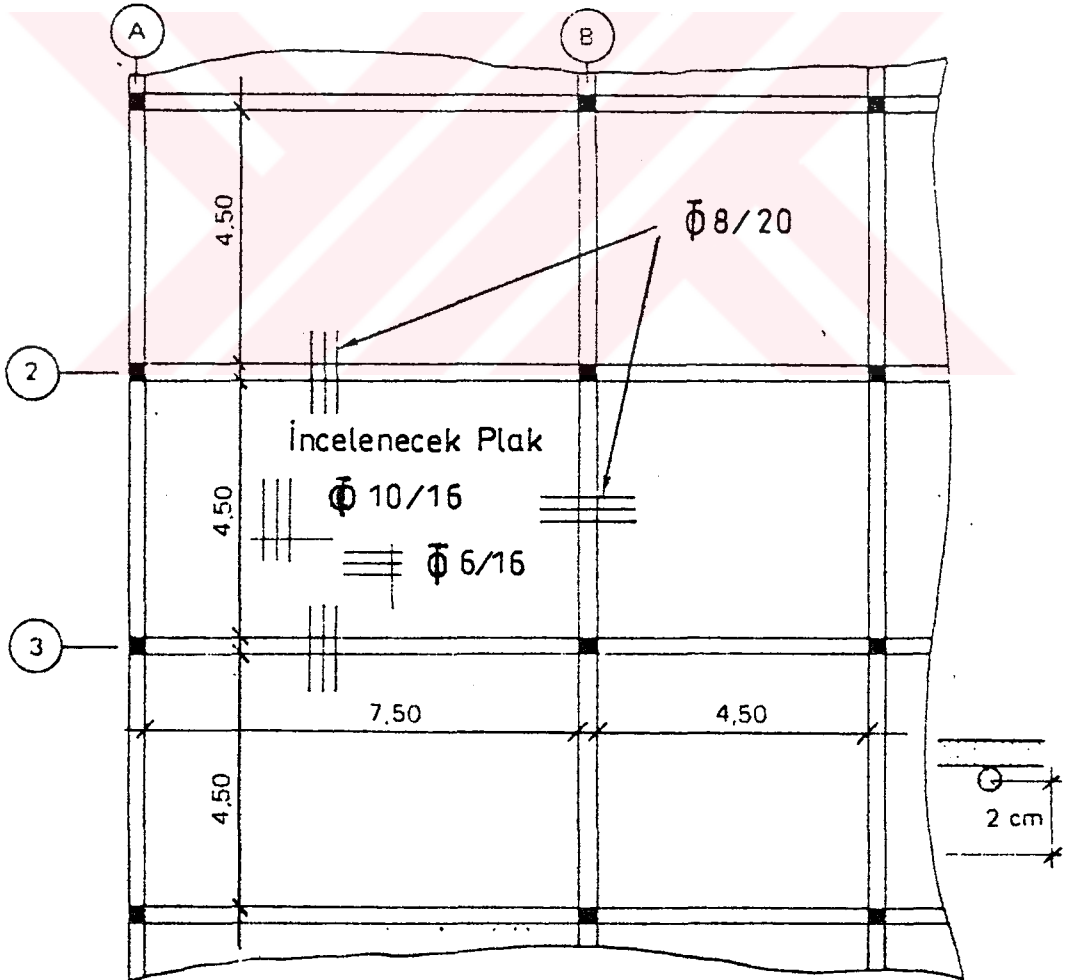
Bir doğrultuda çalışan döşemeler için ($\alpha=0$) plağın emniyetle taşıyabileceği yük

$$\bar{P} = \frac{8 m_x}{l_x^2} \quad (5.33)$$

SAYISAL UYGULAMA: 5.3. Bir Döşeme Plağının Yangın Dayanımı Hesabı

Bilinenler : Şekil 5.19, plak kalınlığı $h_f=15$ cm, $f_{cd}=23$ MPa, $f_{yd} = 400$ MPa, sabit yük $g=5,15$ kN/m², hareketli yük $q=2,5$ kN/m²

Aranan : Döşeme plağının 1,5 saatlik yangına dayanıklı olup olmadığı



Şekil 5.19. Sayısal Uygulama

Çözüm:

90 günlük beton dayanımı;

$$f_{c90} = 1,1 \cdot 23 = 25,3 \text{ MPa}$$

a) Açıklık Direnme Momenti:

	Kısa kenar (l_x) doğrultusu	Uzun kenar (l_y) doğrultu- su
Paspayı (u)	$u = 2 \text{ cm}$	$u = 2 + \frac{1+0,6}{2} \approx 3 \text{ cm}$
Faydalı yükseklik ($d=h-u$)	$d=15-2=13 \text{ cm}$	$d=15-3 = 12 \text{ cm}$
Donatı sıcaklığı (Bkz. Çizelge 5.9)	$T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$	$T = 520 \text{ }^\circ\text{C}$
Dayanım katsayısı (Bkz.Çizelge 5.6)	$\phi_s = 0,371$	$\phi_s = 0,512$
Madde 5.6.4.2 den	$A_s = \emptyset 10/16=3,93 \text{ cm}^2$	$A_s = \emptyset 6/16=1,41 \text{ cm}^2$
$A_{sT}=\phi_s A_s$	$A_{sT}=0,371 \cdot 3,93=1,46 \text{ cm}^2$	$A_{sT}=0,512 \cdot 1,41=0,724 \text{ cm}^2$
Madde 5.6.5.1 den;		
$\omega = \frac{1,3 A_{sT} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{c90}}$	$\omega = \frac{1,3 \cdot 1,46 \cdot 400}{100 \cdot 13 \cdot 25,3} = 0,0231$	$\omega = \frac{1,3 \cdot 0,724 \cdot 400}{100 \cdot 12 \cdot 25,3} = 0,0124$
$m = \frac{k \cdot \omega}{1+0,6 k \cdot \omega}$	$m = \frac{1 \cdot 0,0231}{1+0,6 \cdot 0,0231} = 0,0228$	$m = \frac{1 \cdot 0,0124}{1+0,6 \cdot 0,0124} = 0,0123$
$M_r = m \cdot b_w \cdot d^2 \cdot \frac{f_{c90}}{1,3}$	$M_x = 0,0228 \cdot 1 \cdot 0,13^2 \cdot \frac{25,3}{1,3}$ $= 7,50 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$ (=7.50 kN.m)	$M_y = 0,0123 \cdot 1 \cdot 0,12^2 \cdot \frac{25,3}{1,3}$ $= 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$ (=3,45 kN.m)

b) Mesnet Direnme Momentleri

Madde 5.7.1.4 den	$P_g = P_d = \frac{2}{3} \cdot 5,15 + 2,5 = 5,93$	$P_g = P_d = 5,93 \text{ kN/m}^2$
$P = \frac{2}{3} g + q$	kN/m^2	

Çizelge 5.12 den

$$\alpha_g = \alpha_d = \frac{4,50}{7,50} = 0,6$$

$$\alpha_g = 0,6; \alpha_d = \frac{4,5}{4,5} = 1$$

$$x = 0,861$$

$$x_g = 0,861; x_d = 0,920$$

$$l'_g = l'_d = 0,861 \cdot 4,50 = 3,87 \text{ m}$$

$$l'_g = 0,861 \cdot 4,50 = 3,86 \text{ m}$$

$$l'_d = 0,920 \cdot 4,50 = 4,14 \text{ m}$$

Çizelge 5.11

$$k_{1g} = k_{1d} = 0,0281$$

$$k_{2g} = k_{2d} = 0,257$$

Çizelge 5.10

$$k_{1g} = 0,0189; k_{2g} = 0,341$$

$$k_{1d} = 0,0135; k_{2d} = 0,235$$

$$M_a = \frac{k_{1g} P_g l'_g{}^3 + k_{1d} P_d l'_d{}^3}{k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d}$$

$$M_a = \frac{0,0189 \cdot 3,87^3 \cdot 5,93}{0,341 \cdot 3,87 + 0,235 \cdot 4,14} + \frac{0,0135 \cdot 4,14^3 \cdot 5,93}{0,341 \cdot 3,87 + 0,235 \cdot 4,14}$$

$$M_a = \frac{0,0281 \cdot 5,93 \cdot 3,87^2}{0,257}$$

$$M_a = 9,71 \text{ kN.m}$$

$$M_a = 5,31 \text{ kN.m}$$

Bağıntı (5.5) den

$$E = 12000 \sqrt[3]{f_{c90}}$$

$$E = 12000 \sqrt[3]{25,3}$$

$$= 35200 \text{ MPa}$$

$$E = 35200 \text{ MPa}$$

Çizelge 5.13 den

$$h' = 9,74 \text{ cm}$$

$$h' = 9,74 \text{ cm}$$

$$i = \frac{h'^3}{12}$$

$$i = \frac{0,0974^3}{12} = 77,10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i = 77,10^{-6} \text{ m}^4$$

Çizelge 5.14 den

$$T = 541 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 541 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$M_T = \frac{\alpha T (l'_g + l'_d) i E}{2h (k_{2g} l'_g + k_{2d} l'_d)}$$

$$M_T = \frac{10^{-5} \cdot 541 \cdot 35200 \cdot 77 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,15 \cdot 0,257}$$

$$M_T = \frac{10^{-5} \cdot 541 (3,87 + 4,14)}{2 \cdot 0,15}$$

$$M_T = 0,190 \text{ MN.m}$$

$$\frac{35200 \cdot 77 \cdot 10^{-6}}{(0,341 \cdot 3,87 + 0,235 \cdot 4,14)}$$

$$M_T = 0,171 \text{ MN.m}$$

$$M_T = 171 \text{ kN.m}$$

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon

$$k = \frac{i E}{k_2 g^1 + k_2 d^1}$$

$$k = \frac{35200.77.10^{-6}}{2.0,257.3,87} = 1,36$$

$$k = 1,36 \text{ MN.m/rad}$$

$$k = 1360 \text{ kN.m/rad}$$

$$k = \frac{35200.77.10^{-6}}{(0,341.3,87+0,235.4,14)}$$

$$k = 1,18 \text{ MN.m/rad}$$

$$k = 1180 \text{ kN.m/rad}$$

Madde 5.7.1.5 den

$$A_s = 4\bar{8}8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$N_s = A_s f_{yd}$$

$$N_s = 2,01.10^{-4}.400 = 0,0804 \text{ MN} \quad N_s = 0,0804 \text{ MN}$$

$$k = \frac{1,3.N_s.10^4}{f_{c90}}$$

$$k = \frac{1,3.0,0804.10^4}{25,3} = 41,3 \text{ cm}^2 \quad k = 41,3 \text{ cm}^2$$

$$a = 0,027 t$$

$$a = 0,027.1,5 = 0,0405$$

$$a = 0,0405$$

$$b = 0,85.e^{-0,073t}$$

$$b = 0,762$$

$$b = 0,762$$

$$c = a.k^b$$

$$c = 0,0405.41,3^{0,762} = 0,60 \text{ cm}$$

$$c = 0,69 \text{ cm}$$

$$z = d - c$$

$$z = 13 - 0,69 = 12,3 \text{ cm}$$

$$z = 12,3 \text{ cm}$$

$$M_r = N_s . z$$

$$M_r = 80,4.0,123 = 9,89 \text{ MN.m}$$

$$M_r = 9,89 \text{ kN.m}$$

$$\theta = \frac{M_a + M_T - M_r}{k}$$

$$\theta = \frac{9,71 + 190 - 9,89}{1360}$$

$$\theta = \frac{5,31 + 171 - 9,89}{1180}$$

$$\theta = 0,14$$

$$\theta = 0,141$$

Çizelge 5.15 den

$$\theta_r = 0,10$$

$$\theta = 0,10$$

$$\theta > \theta_r$$

$$\theta > \theta_r$$

Ek donatı kopmaktadır.

Ek donatı kopmaktadır.

$$M_{n,r} = M_{s,r} = 0$$

$$M_{e,r} = 0$$

A-A aksındaki mesnet kenar mesnet olduğundan $M_w = 0$ dir. Buna göre madde 5.7.1.6 daki bağıntılar kullanılırsa;

$$m_x = M_x + \frac{M_n + M_s}{2} = 7,50 \text{ kN.m}$$

$$\varphi = \frac{3,45}{7,50} = 0,46$$

$$m_y = M_y + \frac{M_n + M_e}{2} = 3,45 \text{ kN.m}$$

$$\lambda = -\alpha\varphi + \sqrt{\alpha^2 \varphi^2 + 3\varphi}$$

$$= -0,6.0,46 + \sqrt{(0,6.0,46)^2 + 3.0,46} = 0,931$$

$$\bar{P} = \frac{24.m_x}{l_x^2} \times \frac{1 + \frac{\alpha\varphi}{\lambda}}{3 - \alpha \cdot \lambda} \rightarrow \frac{24.7,50}{4,5^2} \times \frac{1 + \frac{0,6.0,46}{0,931}}{3 - 0,6.0,931}$$

$$\bar{P} = 4,72 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{P} (=4,72 \text{ kN/m}^2) < g+q (=5,15 + 2,5)$$

olduğundan döşeme plağı 1,5 saatlik yangına dayanıklı değildir.

5.7.2 Döşeme Kalınlığı Yöntemi

Bu yöntemde, birçok parametreye bağlı döşeme kalınlığının, belirli bir değerden büyük olduğu gösterilmekte, plastik mafsal dönmelerine dolayısıyla da mesnet momentlerinin dikkate alınmasına dair hiç bir sınırlama getirilmemektedir. Gerçekten bundan önceki paragrafta $\theta < \theta_r$ dolayısıyla da

$$\frac{M_a + M_T - M_r}{k} < \theta_r \quad (5.34a)$$

ya da

$$M_r - M_a > M_T - k\theta_r \quad (5.34b)$$

olması halinde mesnet donatıları kopmamaktadır. Eğer donatı soğukta doğru olarak boyutlandırılmışsa, eşitsizliğin 1. terimi pozitif olur. Bu durumda

$$M_T - k\theta_r \leq 0 \quad (5.34c)$$

ise yukarıdaki eşitsizlik (5.34b) daima sağlanır. Bu bağıntıda (5.34c) M_T ve k değerleri konularak h yalnız bırakılırsa

$$h_f \geq \frac{\alpha \Delta T (l'_g + l'_d)}{2 \theta_r} \quad (5.34d)$$

olur. Bu durumda herhangi bir mesnet üzerinde bu eşitsizliğin sağlanması halinde mesnet momentinin taşındığı kabul edilebilir. (Bu çözüm daha önceki çözüme hassasiyet yönünden özdeş değildir.) Durum böyle olunca, emniyetle taşınabilecek yükün (\bar{P}) hesabını madde 5.7.1.6 daki bağıntılarla yapmak daha uygun olmaktadır.

SAYISAL UYGULAMA: 5.4. Bir Döşeme Plağının Yangın Dayanımı Hesabı

Bilinenler: Her bir gözünün boyutları 5,25x13,1 m kalınlığı $h_f=24$ cm olan bir döşeme dikkate alınmaktadır. Ara yüzün donatısı açıklıkta kısa kenara paralel olarak 4,9 cm² ($u=2,5$ cm), uzun kenara paralel olarak ise 1,5 cm² ($u=3,5$ cm) her bir mesnette ek donatı boyutları 1,35 m dir. $f_{yd}=400$ MPa, $f_{c28}=25$ MPa, sabit yük $g=7$ kN/m², hareketli yük $q=8$ kN/m² dir.

Aranan: Böyle bir döşeme plağının 2 saat lik yangına dayanıklı olup olmadığı

Çözüm: Doksan günlük beton dayanımı

$$f_{c90} = 1,1 \cdot f_{c28} = 1,1 \cdot 25 \text{ MPa} = 27,5 \text{ MPa}$$

a) Açıklık Direnme Momenti

	Kısa kenar doğrultusu (l_x)	Uzun kenar doğrultusu (l_y)
	$l_x = 5,25$ m	$l_y = 13,1$ m
Paspayı (u)	$u = 2,5$ cm	$u = 3,5$ cm
Faydalı yükseklik $d = h - u$	$d = 24 - 2,5 = 21,5$ cm	$d = 24 - 3,5 = 20,5$ cm
Çizelge 5.9 dan	$T = 625$ °C	$T = 550$ °C
Çizelge 5.6 dan	$\phi_s = 0,309$	$\phi_s = 0,466$

Madde 5.6.4.2 den

$$A_{sT} = \phi_s \cdot A_s \quad A_{sT} = 0,309 \cdot 4,9 = 1,51 \text{ cm}^2 \quad A_{sT} = 0,466 \cdot 1,5 = 0,699 \text{ cm}^2$$

Madde 5.6.5.1 den

$$\omega = \frac{1,3 A_{sT} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{c90}} \quad \omega = \frac{1,3 \cdot 1,51 \cdot 400}{100 \cdot 21,5 \cdot 27,5} = 0,0133 \quad \omega = \frac{1,3 \cdot 0,699 \cdot 400}{100 \cdot 20,5 \cdot 27,5} = 0,00645$$

$$m = \frac{\omega}{1 + 0,6 P}$$

$$m = 0,0132$$

$$m = 0,00643$$

$$M_r = m \cdot b_w \cdot d^2 \cdot \frac{f_{c90}}{1,3}$$

$$M_r = 0,0132 \cdot 1 \cdot 0,215^2 \cdot \frac{27,5}{1,3} = 12,9 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$M_r = 0,00643 \cdot 1 \cdot 0,205^2 \cdot \frac{27,5}{1,3} = 5,72 \cdot 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$M_{xr} = 12,9 \text{ kN.m}$$

$$M_{yr} = 5,72 \text{ kN.m}$$

b) Döşeme Kalınlığı Yöntemi Koşulunun Denetimi

- Uzun kenar üzerinde

$$\alpha = \frac{5,25}{13,1} = 0,40$$

Çizelge 5.12 den : $x = 0,8$, $l'_g = l'_d = 0,8 \cdot 5,25 = 4,20 \text{ cm}$

Çizelge 5.14 den : $\Delta T = 477 \text{ }^\circ\text{C}$

Çizelge 5.15 den : $\theta_r = 0,10$ için

$$h_f \geq \frac{\alpha \Delta T (l'_g + l'_d)}{2 \theta_r} \rightarrow h_f \geq \frac{10^{-5} \cdot 477 \cdot 2 \cdot 4,20}{2 \cdot 0,10} = 0,200 \text{ m}$$

$$h_f (=24 \text{ cm}) > 20 \text{ cm}$$

olduğundan uzun kenar ek donatıları kopmamaktadır.

- Kısa kenar üzerine

Tüm döşeme gözleri özdeş olduğundan burada da durum aynıdır.

c) Mesnet Direnme Momenti (Madde 5.7.1.5)

$$N_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,164 \text{ MN}$$

$$k = \frac{1,3 \cdot N_{sx} \cdot 10^4}{f_{c90}} = \frac{1,3 \cdot 0,164 \cdot 10^4}{27,5} = 77,5 \text{ cm}^2$$

$$a = 0,027 \cdot t \rightarrow a = 0,027 \cdot 2 = 0,054$$

$$b = 0,85 \cdot e^{-0,073 \cdot t} \rightarrow b = 0,735$$

$$c = a \cdot k^b \rightarrow c = 0,054 \cdot 77,5^{0,735} = 1,32 \text{ cm}$$

$$z = d - c \rightarrow z = 22 - 1,32 = 20,7 \text{ cm}$$

$$M_{nr} = M_{sr} = M_{wr} = M_{er} = 164 \cdot 0,207 = 33,9 \text{ kN.m}$$

d) Emniyetle Taşınabilecek Yük (Madde 5.7.1.6)

$$m_x = M_{xr} + \frac{M_{nr} + M_{sr}}{2} \rightarrow m_x = 12,9 + 33,9 = 46,8 \text{ kN.m}$$

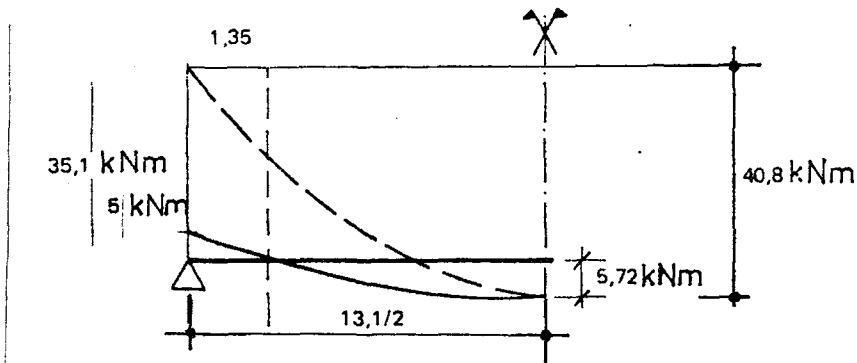
$$m_y = M_{yr} + \frac{M_{nr} + M_{er}}{2} \rightarrow m_y = 5,72 + 33,9 = 39,6 \text{ kN.m}$$

- m_x , m_y momentlerini dengelemeye imkan veren ek donatı boylarının denetimi:

Şekil 5.20 de verilen moment diyagramına göre ek donatı boyu $m_x = 46,8 \text{ kN.m}$ lik momenti karşılamaktadır. Şekil 5.20 de öngörülen ek donatı boyuna göre m_y momentini;

$$m_y = 5,72 + 5 = 10,72 \text{ kN.m}$$

olarak sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.20. m_y Moment Diyagramı

$$\varphi = \frac{m_y}{m_x} \rightarrow \varphi = \frac{10,7}{46,8} = 0,229$$

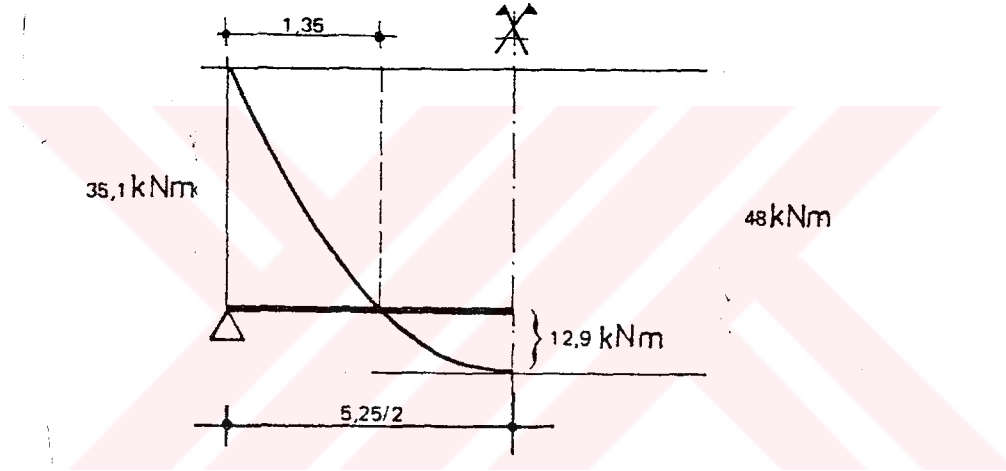
$$\lambda = -\alpha\varphi + \sqrt{\alpha^2 \cdot \varphi^2 + 3\varphi}$$

$$\lambda = -0,4 \cdot 0,229 + \sqrt{(0,4 \cdot 0,229)^2 + 3 \cdot 0,229} = 0,742$$

$$\bar{P} = \frac{24 \cdot m_x}{l_x^2} \cdot \frac{1 + \frac{\alpha\varphi}{\lambda}}{3 - \alpha \cdot \lambda} \quad \bar{P} = \frac{24 \cdot 46,8}{5,25^2} \cdot \frac{1 + \frac{0,4 \cdot 0,229}{0,742}}{3 - 0,4 \cdot 0,742}$$

$$\bar{P} = 16,9 \text{ kN/m}^2 > g+q = 15 \text{ kN/m}^2$$

olduğundan döşeme plağı 2 saatlik yangına dayanmaktadır.



Şekil 5.21. m_x Moment Diyagramı

5.7.3 Basit Kurallara Göre Hesap

Kaynak (20)da verilen kurallar sadece yangın dayanıklılığına etkiyen en önemli parametrelerle ilgilenilmesi halinde, u faydalı mesafesinin (paspayı) belirlenmesi şeklinde özetlenebilmektedir

Bu çizelge donatının S220 ve S420 olması halinde 0,5-4 saatlik yangınlar için donatının S500 olması halinde ise 0,5-1 saatlik yangınlar için geçerlidir.

Burada Çizelge 5.16 de önerilen değerlerin ancak donatıların soğukta doğru olarak boyutlandırılmış olması halinde kullanılabileceğini belirtmek uygun olmaktadır. Bu çizelgenin kullanım koşulları aşağıda verilmektedir:

- Genel yöntemin uygulanması, mesnetlerde S220 düz yüzeyli dairesel kesitli donatının bulunması halinde, plastik mafsal dönmelerinin hiç bir zaman θ_r sınırına ulaşmadığını göstermektedir. Dolayısıyla da mesnet donatıları kopmamakta, diğer bir deyişle mesnet, hesap momentini rahatlıkla karşılamaktadırlar. Bu durumda Çizelge 5.16 nin 2. satırı kullanılabilir.

- Mesnetlerde yüksek aderanslı ya da kaynaklı hasır donatının kullanılması halinde, plastik mafsal dönmelerinin θ_r ye ulaşma ihtimali çok yüksektir. Bu durumda donatı kopmakta, dolayısıyla plak mesnetlerinde donatı yokmuş gibi davranmaktadır. Bu durumda ise Çizelge 5.16 nin 1. satırı kullanılır.

Ancak, yukarıda yapılan uyarı dikkate alındığında çizelge 5.16 de önerilen paspaylarının sadece basınç bölgesi donatılarının soğukta izostatik M_0 momentini karşılayacak şekilde hesaplanmış olması halinde yeterli olacağını belirtmek uygun olmaktadır.

SAYISAL UYGULAMA 5.5. Sayısal Uygulama 5.3'ün Basit Kurallara Ait Yöntemle Çözümü

Sayısal uygulama 5.3 yeniden ele alınsın, üst donatı yüksek aderanslı çeliktir. Bu durumda mesnette donatı olmadığı kabul edilir. Döşeme plağının 1,5 saatlik yangına dayanıklı olabilmesi için Çizelge 5.16 den $u=3$ cm alınması gerekmektedir. Bu kalınlık ise sayısal uygulama 5.3 de öngörülen 2 cm den büyüktür. Buda döşeme plağının emniyetinin sağlanmadığını göstermektedir. Zaten sayısal uygulama 5.3 de yapılan hesap döşeme plağının göçtüğünü göstermiştir.

Çizelge 5.16. Yangın Süresi ve Mesnet Donatı Durumuna Göre Beton Örtü Kalınlıkları (20)

u (cm)	h (saat)	Yangın etkisinde kalma süresi					
		0.5	1	1.5	2	3	4
Donatısız Mesnet		1	2	3	4	6	8
Donatılı Mesnet		1	1.5	2	2.5	3.5	4.5

SAYISAL UYGULAMA 5.6. Sayısal Uygulama 5.4'ün Basit Kurallar ve Döşeme Kalınlığı Yöntemiyle Çözümü

a) Basit Kurallara Göre Çözüm:

Mesnet donatısı yüksek aderanslı çelik olduğundan mesnetlerde donatı olmadığı kabul edilmektedir. Bu durumda Çizelge 5.16 ye göre döşeme plağının 2 saatlik yangına dayanıklı olabilmesi için $u=4$ cm olması gerekmektedir. Bu kalınlık ise sayısal uygulama 5.4 de öngörülen 2,5 cm den büyüktür. Buda döşeme plağının yangına karşı emniyetinin sağlanmamış olduğunu göstermektedir.

b) Döşeme Kalınlığı Yöntemiyle Çözüm (madde 5.7.2):

Sayısal uygulama 5.4 de yapılan hesap

$$h_f = 0,24 \text{ m} > 0,20 \text{ m}$$

olduğunu göstermiştir. Buda mesnet donatısının kopmadığını göstermektedir. Çizelge 5.16 ye göre de $u=2,5$ cm olması gerekmektedir. Bu da verilen değeri doğrulamaktadır, dolayısıyla da döşeme plağının 2 saatlik yangın dayanıklılığının sağlanmış olduğunu göstermektedir. Bu sonuç sayısal uygulama 5.4 de gerçekleştirilen tüm hesap sonuçlarıyla da desteklenmektedir.

SAYISAL UYGULAMA 5.7. Basit Kurallara Göre Bir Döşeme Plağının Yangın Dayanımı Hesabı

Kalınlığı 15 cm olan bir döşeme plağı dikkate alınsın. Alt donatının paspayının 2,5 cm olduğu kabul edilsin. Mesnetlerdeki ek donatı, düz yüzeyli yumuşak dairesel kesitli S220 donatı çubuklarından. Bu döşeme plağı 2 saatlik yangına dayanıklı mıdır?

Mesnetlerdeki ek donatılar S220 olduğundan bunların kopmadığı kabul edilmektedir. Çizelge 5.16 ye göre $u=2,5$ cm olmalıdır. Bu da alt donatı için öngörülen değer olduğundan döşeme plağı 2 saatlik yangına dayanıklıdır.

SAYISAL UYGULAMA 5.8. Basit Kurallara Göre Bir Döşeme Plağının Yangın Dayanımı Hesabı

Bilinenler: Kalınlığı 19 cm ve boyutları 5,25x15 m olan bir döşeme plağı dikkate alınsın, döşeme donatısı kaynaklı hasır çelik olup akma dayanımı $f_{yd}=520$ MPa, altdonatı kesit alanı $A_s = 5,10 \text{ cm}^2/\text{m}$ olup kısa kenara paralel olarak $u=2$ cm paspayıyla yerleştirilmiştir. Uzun kenar doğrultusundaki donatı $1,30 \text{ cm}^2/\text{m}$ olup mesnetlerdeki donatı $1,96 \text{ cm}^2/\text{m}$ dir. Beton dayanımı $f_{c28}=23$ MPa, sabit yük $g=6,2 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük $q=1,5 \text{ kN/m}^2$ dir.

Aranan : Döşeme plağının 1 saatlik yangına dayanıklı olup olmadığı.

Çözüm:

Üst donatı kaynaklı hasır çelik olduğundan Çizelge 5.16 nın kullanımında bunların koptuğu kabul edilmektedir. O halde çizelge 5.16 ye göre paspayı 2 cm olmak zorundadır. Bu da soğukta M_d momentine göre boyutlandırılmış olmak kaydıyla kullanılan paspayının yeterli olduğunu göstermektedir. M_d momentine göre soğukta yapılan boyutlandırmanın doğruluğunun kaynak (62)'a göre denetimi,

$$P_d = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q \quad P = 1,35 \cdot 6,25 + 1,5 \cdot 1,5 = 10,7 \text{ kN/m}^2$$

$$M_d = 10,7 \cdot \frac{5,25^2}{8} = 36,9 \text{ kN.m}$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{c28}}{\gamma_c} \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{23}{1,5} = 13 \text{ MPa}$$

$$m_d = \frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \rightarrow m_d = \frac{36,9 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 17^2 \cdot 13} = 0,098$$

$$z = (1 - 0,6 \cdot m_d) \cdot d \rightarrow z = (1 - 0,6 \cdot 0,098) \cdot 0,17 = 0,16 \text{ m}$$

$$\sigma_s = 0,87 \cdot f_{yd} \rightarrow \sigma_s = 0,87 \cdot 520 = 452 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{M_d}{z \sigma_s} \rightarrow A_s = \frac{36,9 \cdot 10^{-3}}{0,16 \cdot 452} = 5,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 (=5,10 \text{ cm}^2)$$

bulunur. Bu da kullanılan donatı alanına eşit olduğundan soğukta yapılan boyutlandırma doğru olarak yapılmıştır. Dolayısıyla da $u=2$ cm lik paspayı döşeme plağının 1 saatlik yangına dayanıklılığı için yeterlidir.

5.8 Kirişlerin Denetimi

Bir kirişin yangına karşı dayanıklılığının denetimi aşağıdaki aşamalarda gerçekleştirilir.

- Eğilme Denetimi:

Bu denetim, açıklık donatıları düzeyinde sıcaklık belirlenmesine, açıklık direnme momentinin hesabına, mesnet direnme momentinin hesabına, dolayısıyla da toplam direnme momentinin değişimini ve bunların hesap momentleriyle karşılaştırılmasını gerektirmektedir.

- Kesme Kuvveti Denetimi:

Aşağıda bu konular üzerinde durulmaktadır.

5.8.1 Açıklık Donatısı Sıcaklıkları

Açıklık donatısı sıcaklıkları madde 5.4 deki ilkelere göre hesaplanabilmektedir. Dikdörtgen kesitli kirişler için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.17 de verilmektedir. Dikdörtgen kesitli bir kirişin tabanındaki sıcaklığa etkiyen temel parametreye b_w kiriş genişliğidir. Çizelge 5.17 deki sonuçlar genişliği 12-52 cm arasında olan kirişlerde 4 cm lik adımlarla elde edilen değerlerdir. Yangın etkisinde kalma süresi (SF) saat olarak ölçülmüştür. Kenarları 2 cm olan kare elemanların merkezlerinde hesaplanan sıcaklıklar kirişin ilk 20 cm si ve genişliğin yarısı üzerinde verilmiştir (Şekil 5.22). Simetri ekseninin solda olduğu kabul edilmiştir. Kiriş genişliğinin 52 cm den büyük olması halinde, 52 cm lik kiriş için elde edilen eksene yakın sütun, incelenmek istenen genişliğe ulaşmak için gerektiği kadar tekrarlanabilir. Bu şekil bir işlem yeterli yaklaşıklık sağlamaktadır (19).

Çizelge 5.17. Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Standart Yangın Süreleri İçin Sıcaklık Dağılımları (19)

Yükseklik (cm)	b=12 SF=1.0			b=12 SF=1.5			b=12 SF=2.0		
	18	360	450	615	520	590	715	615	670
17	360	450	620	525	590	720	620	675	775
15	360	450	620	525	595	720	625	680	780
13	365	455	620	535	600	725	635	690	785
11	375	465	625	550	615	735	650	700	795
9	395	480	640	575	635	745	670	720	805
7	435	510	655	610	665	765	705	745	825
5	495	560	690	660	705	795	745	785	850
3	585	640	740	730	765	835	805	830	885
1	715	745	805	820	840	885	875	890	920

Şekil 5.22. Kiriş Kesitinde Oluşturulan Kare Elemanlar

Bu çizelgelerde $b=b_w$ dir

b=16 SF=1.0

b=16 SF=1.5

b=16 SF=2.0

205	275	405	600	355	415	530	695	470	525	620	760
205	275	405	600	360	420	540	700	475	530	625	760
210	280	410	600	365	425	540	700	485	535	630	765
220	285	415	605	380	435	545	705	505	550	645	770
235	295	425	610	400	455	565	715	525	570	660	785
260	325	445	625	435	485	585	730	560	605	685	800
310	365	480	645	485	535	625	755	610	645	720	820
390	440	535	680	560	600	675	785	670	705	760	850
505	545	620	730	655	685	745	830	750	775	825	885
665	685	735	805	775	795	830	885	850	865	890	920

Çizelge 5.17 nin devamı

b=20 SF=1.0					b=20 SF=1.5					b=20 SF=2.0				
115	160	255	405	600	225	275	370	505	685	335	380	465	590	745
115	165	260	405	600	230	280	370	510	685	345	390	475	595	750
120	165	260	405	600	240	285	380	515	690	360	400	485	605	755
130	175	270	410	605	255	300	390	525	695	380	420	500	615	760
150	195	285	425	615	285	330	415	540	705	410	450	525	635	775
185	225	310	445	625	330	370	450	570	720	455	490	560	665	790
240	280	360	480	650	390	430	500	605	745	520	550	610	700	815
330	365	435	540	685	480	510	570	660	730	600	625	675	750	850
465	490	540	620	735	595	620	665	735	825	700	720	755	815	885
640	655	685	735	805	740	755	785	825	885	815	830	855	890	920

b=20 SF=3.0					b=24 SF=1.0					b=24 SF=1.5								
500	535	605	705	825			145	250	390	595	140	175	250	355	500	680		
510	545	615	710	830			150	250	400	595	150	180	255	360	505	685		
530	565	630	720	840			150	255	400	595	160	195	265	370	510	690		
555	585	645	735	850			100	160	260	405	600	180	210	280	385	580	695	
585	615	675	755	865			120	175	275	420	605	210	245	310	405	540	705	
625	655	705	785	880			125	155	210	305	440	620	260	290	350	445	565	720
680	705	750	820	905			190	205	265	350	475	645	335	360	415	495	605	745
745	765	800	860	930			285	305	350	425	535	680	430	455	500	570	665	780
820	835	865	910	960			425	445	475	535	615	730	560	580	610	665	735	825
905	915	935	965	990			615	625	645	680	730	800	720	730	750	780	825	885

Çizelge 5.17 nin devamı

b= 24 SF= 2.0

240	275	345	450	565	745
250	285	355	455	590	750
265	300	370	470	600	755
295	325	390	485	610	765
330	360	425	515	635	775
385	415	470	555	660	795
455	480	530	605	700	820
550	570	610	670	755	850
660	680	710	755	815	890
795	805	825	855	890	920

b= 24 SF= 3.0

390	425	465	575	685	820
410	440	500	585	695	825
430	460	515	600	710	835
460	485	540	620	725	845
500	525	575	650	745	860
550	575	620	690	775	880
615	635	675	735	810	905
690	710	740	790	855	930
785	795	820	860	905	965
885	895	910	935	965	990

b=24 SF=4.0

520	545	595	670	770	865
535	560	610	685	780	870
560	585	630	700	790	880
590	610	655	725	810	890
625	645	690	750	830	910
670	690	730	785	855	930
725	745	775	825	890	950
790	805	835	875	925	980
865	880	900	930	970	*
935	945	960	985	*	*

b=28 SF=1.0

			145	250	395	595
			150	250	400	595
			150	255	400	595
		100	160	260	400	600
		120	175	275	420	605
110	125	155	210	305	440	620
175	190	215	265	350	475	645
275	285	305	350	425	535	660
420	435	445	475	535	615	730
610	615	625	645	680	730	800

Çizelge 5.17 nin devamı

b=28 SF=1.5

	115	165	245	355	500	680
	120	170	250	365	505	685
110	130	180	260	370	515	690
130	155	200	280	385	520	695
165	195	235	310	405	540	705
220	240	285	350	445	565	720
295	315	355	415	495	605	745
405	420	450	500	570	665	780
540	550	575	610	665	735	825
705	715	725	750	780	825	885

b=28 SF=2.0

165	190	215	330	440	590	745
175	205	255	340	450	595	745
195	220	275	355	460	595	745
225	250	300	380	480	610	760
270	290	340	410	510	630	775
330	350	395	460	550	660	795
405	425	465	525	600	700	820
510	525	555	605	670	750	850
630	645	665	705	755	815	890
775	785	800	820	850	890	920

b=28 SF=3.0

300	330	380	460	560	680	820
320	345	395	470	570	690	825
345	370	420	495	585	700	835
380	405	490	520	610	720	845
430	450	495	555	640	745	860
490	510	545	605	640	770	880
560	580	610	660	730	810	905
650	665	690	730	785	855	930
750	760	780	815	855	905	965
865	875	885	910	935	965	*

b=28 SF=4.0

425	450	495	560	650	755	865
445	470	515	580	665	765	870
475	495	540	600	685	780	885
510	530	570	630	705	800	890
555	575	610	665	735	820	910
610	625	660	710	775	850	930
675	690	720	760	815	885	950
750	760	785	820	865	925	980
835	845	865	890	925	970	*
930	935	945	960	985	*	*

Çizelge 5.17 nin devamı

b=32 SF=1.0

				145	250	395	535
				150	250	400	595
				150	255	400	595
			100	160	260	405	600
			120	175	275	420	605
	100	120	155	210	305	440	620
160	170	185	215	265	350	475	645
265	270	285	305	350	495	535	680
410	415	425	445	475	535	615	730
605	605	615	625	645	680	730	800

b=32 SF=1.5

					105	165	245	355	500	680
					115	170	250	365	505	685
					130	180	260	370	515	690
100	115	150	200	280	385	520	695			
140	155	185	235	310	485	540	705			
195	210	240	285	350	445	565	720			
280	290	315	355	415	495	605	745			
390	400	420	450	500	570	665	780			
530	535	550	575	610	665	735	825			
700	705	715	725	750	780	825	885			

b=32 SF=2.0

115	135	175	240	330	440	580	745
125	145	185	250	340	450	585	745
150	165	205	270	355	460	585	745
180	200	235	295	380	480	610	760
225	245	280	335	410	510	630	775
290	305	340	390	460	550	660	795
375	390	420	465	525	600	700	820
485	495	520	555	605	670	750	850
615	620	640	685	705	755	815	890
765	770	780	800	820	850	890	920

b=32 SF=3.0

235	255	300	365	450	555	680	820
255	280	320	380	465	570	630	825
285	305	345	405	485	585	700	835
325	345	385	440	515	610	720	845
380	395	430	465	555	640	745	860
445	460	490	540	600	680	770	880
525	535	565	605	660	730	810	985
620	630	650	685	730	785	855	930
730	735	755	780	815	865	905	965
850	855	870	885	905	935	965	*

Çizelge 5.17 nin devamı

b=32 SF=4.0

350	370	410	470	550	645	755	865	
375	395	435	490	565	660	765	870	
410	430	465	520	590	680	780	885	
450	470	500	555	620	705	800	890	
500	515	550	595	668	735	820	910	
560	575	605	645	705	770	850	930	
635	645	670	710	755	815	885	850	
720	730	750	780	820	865	925	980	
810	820	835	860	890	925	970	*	
915	920	930	945	960	985	*	*	

b= 36 SF= 1.0

						145	250	395	595
						150	250	400	595
						150	355	400	595
					100	160	260	405	600
					120	175	275	420	605
		100	120	155	210	305	440	620	
155	155	165	185	215	265	350	475	645	
200	260	270	285	305	350	425	535	680	
405	410	415	425	445	475	535	615	730	
600	600	605	610	625	645	680	730	800	

b=36 SF=1.5

			105	165	245	335	500	685	
			110	170	250	365	505	685	
			125	180	260	370	515	690	
		110	145	200	280	385	520	695	
120	125	145	185	235	310	405	540	705	
175	185	205	235	285	350	445	565	720	
260	270	285	315	355	415	495	605	745	
375	380	395	420	450	500	570	665	785	
520	525	535	550	575	610	665	735	825	
690	695	700	710	725	750	780	825	885	

b=36 SF= 2.0

			125	175	240	330	440	580	745
		110	140	185	250	340	450	585	745
115	130	160	205	270	355	460	585	745	
150	165	195	235	295	380	480	610	760	
200	215	240	280	335	410	510	630	775	
270	280	305	340	390	460	550	660	795	
365	365	390	420	465	525	600	700	820	
470	475	495	520	555	605	670	750	850	
605	610	620	640	665	705	755	815	890	
760	760	770	780	800	820	850	890	920	

Çizelge 5.17 nin devamı

b=36 SF= 3.0									b=36 SF=4.0								
185	205	240	290	365	450	555	680	820	295	315	345	400	465	550	645	755	865
210	230	260	315	380	465	570	690	825	325	340	375	425	490	565	660	765	870
245	260	290	340	405	495	585	700	835	360	375	410	455	515	590	680	780	885
285	300	335	380	440	515	610	720	845	405	420	450	495	550	620	705	800	890
345	355	385	430	485	555	640	745	860	460	475	500	540	595	660	735	820	910
415	425	450	490	540	600	680	770	890	530	540	565	600	645	705	770	850	930
500	510	530	565	605	660	730	810	905	605	615	640	670	710	755	815	885	950
600	610	625	650	685	730	785	855	930	695	705	720	750	780	820	865	925	980
715	720	735	755	780	815	855	905	965	800	805	815	835	860	890	925	970	*
845	850	855	870	880	905	935	965	*	910	915	920	930	945	960	985	*	*

=40 SF=1.0

							250	395	595
						150	250	400	595
						150	255	400	595
					100	160	260	405	600
					150	175	275	420	605
				120	155	210	305	440	650
150	150	155	165	185	215	265	350	475	645
255	255	260	270	290	305	350	425	535	680
405	405	405	415	425	445	475	535	615	730
575	595	600	600	610	625	645	680	730	900

b=40 SF=1.5

							105	165	245	355	500	680
							110	170	250	365	505	685
							125	180	260	370	515	690
						110	145	200	280	385	530	695
115	120	125	145	185	235	310	405	540	705			
175	175	185	205	235	285	350	445	565	720			
260	260	270	285	315	355	415	495	605	745			
375	380	380	395	420	450	500	570	665	780			
520	520	525	535	550	575	610	665	735	825			
690	690	695	700	710	725	750	780	725	885			

Çizelge 5.17 nin devamı

b=40 SF=2.0

		120	170	210	330	440	580	745	
	100	135	185	250	340	450	585	745	
	105	125	155	205	270	355	460	585	745
50	140	155	190	235	295	380	480	610	760
30	190	205	235		335	440	510	630	775
50	255	270	300	340	390	460	550	660	795
40	345	360	385	420	465	525	600	700	820
35	460	470	490	520	555	605	670	750	850
20	595	605	620	640	665	705	755	815	890
50	750	760	765	780	800	820	850	890	920

b=40 SF=4.0

	250	265	290	335	390	465	550	645	755	865
	280	295	320	360	415	485	565	660	765	870
	320	330	355	395	450	515	590	680	780	880
	365	380	405	440	490	550	620	705	800	890
	425	440	460	475	540	595	660	735	820	910
	500	510	530	560	600	645	705	770	850	930
	580	590	605	630	665	710	755	820	885	950
	675	685	695	720	745	780	820	865	925	980
	780	785	800	815	835	860	890	925	970	*
	900	900	910	920	930	945	960	985	*	*

b=40 SF=3.0

5	165	195	235	290	365	450	555	680	820
10	190	220	260	315	380	465	570	690	825
5	225	250	290	340	405	485	585	700	835
0	270	295	335	380	440	515	610	720	845
0	330	350	385	430	485	555	640	745	860
0	400	420	450	490	540	600	680	770	880
0	490	505	530	565	605	660	730	810	905
5	595	605	625	650	685	730	785	855	930
5	710	720	735	755	780	815	855	905	965
0	840	850	855	870	885	905	930	965	*

b=44 SF=1.0

								145	250	395	595	
								150	250	400	595	
								150	255	400	595	
								100	160	260	405	600
								120	175	275	420	605
						100	120	155	210	385	440	620
	150	150	150	155	165	185	215	265	350	475	645	
	255	255	255	260	270	285	305	350	425	535	680	
	405	405	405	405	415	425	445	475	535	615	730	
	595	595	595	600	600	610	625	645	680	730	800	

Çizelge 5.17 nin devamı

b=44 SF=1.5

					105	165	245	355	500	680
					110	170	250	365	505	685
					125	180	260	370	515	690
				110	145	200	280	385	520	695
105	110	115	130	155	190	235	310	405	540	705
165	170	175	185	205	235	285	350	445	565	720
255	255	260	270	285	315	355	415	495	605	745
370	370	375	380	395	420	450	500	570	665	780
515	515	520	525	535	550	575	610	665	735	825
670	690	690	695	700	710	725	750	780	825	885

b=44 SF=2.0

					120	170	240	330	440	550	745
				100	135	185	250	340	460	585	745
		105	125	155	205	270	355	460	585	745	
120	125	140	155	190	235	295	380	490	610	760	
170	170	190	205	235	280	335	410	510	630	775	
245	250	255	270	300	340	390	460	550	660	795	
335	340	345	360	385	420	465	525	600	700	825	
450	455	460	470	490	520	555	600	670	750	850	
590	590	595	605	620	640	665	705	755	815	890	
750	750	755	760	765	780	800	820	850	890	920	

b= 44 SF= 3.0

125	135	155	190	235	290	365	450	555	680	820
150	160	180	215	260	315	390	465	570	690	825
190	200	215	250	290	340	405	485	605	700	835
235	245	265	290	335	380	440	515	610	720	845
300	305	325	350	385	430	485	555	640	745	860
375	380	395	420	450	490	540	600	680	770	880
465	470	485	505	530	565	605	660	710	810	905
575	580	595	605	625	650	685	730	785	855	930
695	700	710	720	735	755	780	815	855	905	965
830	835	840	850	855	870	885	905	935	905	*

b= 44 SF= 4.0

215	225	250	285	330	390	465	550	645	755	885
245	255	280	315	360	415	485	565	660	765	870
290	300	320	350	395	450	515	590	680	780	885
340	350	370	400	440	490	550	620	705	800	890
400	410	430	455	415	540	595	660	735	820	910
475	485	500	525	560	600	645	705	770	850	930
565	570	585	605	630	665	710	755	820	895	950
660	665	680	695	720	745	780	820	865	925	980
770	775	785	800	815	835	860	890	925	970	*
890	895	900	905	920	930	945	960	985	*	*

Çizelge 5.17 nin devamı

b= 48 SF= 1,0

									160	265	410	605
									160		415	605
									165	270	415	605
								110	175	280	425	610
								130	195	295	435	620
					110	130	170		325	460	630	
160	160	160	160	165	175	195	230	290	375	495	655	
265	265	265	265	270	280	295	325	375	450	555	690	
410	410	410	415	415	425	435	460	495	555	635	740	
605	605	605	605	610	620	630	655	690	740	810		

b= 48 SF= 2,0

									120	175	245	285	450	590	745		
									100	135	190	255	345	460	595	750	
									100	125	160	210	275	365	475	605	760
110	115	125	135	160	195	240	305	390	495	620	770						
165	165	175	190	210	240	285	345	425	525	645	780						
235	240	245	255	275	305	345	400	470	565	675	800						
330	330	335	345	365	390	425	475	535	615	710	825						
445	445	450	460	475	495	525	565	615	680	760	855						
585	585	590	595	605	620	645	675	710	760	825	895						
745	745	750	750	750	770	780	800	825	855	895	940						

b= 48 SF= 1,5

									110	170	255	370	515	690		
									115	175	260	375	520	690		
									130	190	275	385	525	695		
								115	155	210	290	400	535	700		
105	105	110	115	130	155	190	245	320	425	555	715					
165	165	170	175	190	210	245	295	365	465	585	730					
250	250	255	260	275	290	320	365	430	515	625	755					
365	365	370	375	385	400	425	465	515	585	680	790					
510	510	515	520	525	535	555	585	625	680	750	885					
685	685	690	690	695	700	715	730	755	790	835	890					

b= 48 SF= 3,0

100	110	125	150	185	230	295	370	460	570	690	830					
130	135	150	175	210	255	315	390	480	585	700	835					
165	175	190	210	245	290	345	415	500	600	715	845					
215	220	235	260	290	330	385	450	530	625	735	855					
280	285	295	315	345	385	435	495	570	660	760	870					
355	360	375	390	415	450	495	550	620	700	790	890					
450	455	465	480	500	530	570	620	675	745	825	915					
560	565	570	585	600	630	660	700	745	800	870	940					
685	690	695	705	715	735	760	790	825	870	920	975					
825	825	830	835	845	855	870	890	915	940	975	*					

Çizelge 5.17 nin devamı

b= 48 SF= 4,0

185	190	210	240	280	330	390	465	555	655	765	885
215	225	245	270	310	360	420	490	575	670	775	895
260	270	285	310	350	395	450	520	600	690	795	905
315	320	340	365	395	440	490	555	630	715	810	915
380	385	400	425	455	495	540	600	670	750	835	935
455	465	475	495	525	560	600	655	715	785	865	950
545	550	560	580	605	635	670	715	770	830	900	975
645	650	660	675	695	720	750	785	830	880	935	*
760	765	770	780	795	815	835	865	900	935	980	*
880	885	890	895	905	920	935	950	975	*	*	*

b= 52 SF= 1,5

									110	170	255	370	515	690	
									115	175	260	375	520	690	
									180	190	275	325	525	695	
									115	155	210	290	400	535	700
105	105	105	110	115	130	155	190	245	320	425	555	715			
165	165	165	170	175	190	210	245	295	365	465	585	730			
250	250	250	255	260	275	290	320	365	430	515	625	755			
365	365	365	370	375	385	400	425	465	515	585	680	790			
510	510	510	515	520	525	535	555	585	625	680	750	835			
685	685	685	690	690	695	700	715	730	755	790	835	890			

b= 52 SF= 1,0

									160	265	410	605		
									160	265	410	605		
									165	270	415	605		
									110	175	280	425	610	
									130	195	295	435	620	
						110	130	170	230		460	630		
160	160	160	160	160	165	175	195	230	290	375	495	655		
265	265	265	265	265	270	280	295	325		450	555	690		
410	410	410	410	415	415	425	435	460	495	555	635	740		
605	605	605	605	605	610	620	630	655	690	740	810			

b= 52 SF= 2,0

									120	175	245	335	450	590	745		
									100	135	190	255	345	460	595	750	
									100	125	160	210	275	365	475	605	760
110	110	115	125	135	160	195	240	305	390	495	620	770					
165	165	165	175	190	210	240	285	345	425	525	645	780					
235	235	240	245	255	275	305	345	400	470	565	675	800					
330	330	330	335	345	365	390	425	475	535	615	710	825					
445	445	445	450	460	475	495	525	565	615	680	760	855					
585	585	585	590	595	605	620	645	675	710	760	825	895					
745	745	745	750	750	760	770	780	800	825	855	895	940					

Çizelge 5.17 nin devamı

b=52 SF=3.0

110	110	110	125	150	185	230	295	370	460	570	690	830
130	130	135	150	175	210	255	315	390	480	585	700	835
165	165	175	190	210	295	295	345	415	500	600	715	845
215	215	220	235	260	290	330	385	450	530	625	735	855
280	280	285	295	315	345	385	435	495	570	660	760	870
355	355	360	375	390	415	450	495	550	620	700	790	890
450	450	455	465	480	500	530	570	620	675	745	825	915
560	560	565	570	585	600	630	660	700	745	820	870	940
685	685	690	695	705	715	735	760	790	825	870	920	975
825	825	825	830	835	845	855	870	890	915	940	975	*

b=52 SF=4.0

170	180	190	210	270	280	330	395	470	560	655	765	885
190	205	220	245	270	310	360	425	495	580	670	775	895
250	265	270	285	310	350	400	450	520	600	690	795	905
300	310	320	340	365	400	445	495	560	635	720	810	915
365	375	385	400	425	455	495	545	605	675	750	835	930
440	450	465	475	495	525	560	605	655	720	785	865	950
535	540	550	560	580	605	635	675	720	770	830	900	975
640	645	650	660	675	695	720	750	785	830	880	935	*
755	760	765	770	780	795	815	835	865	900	935	980	*
875	880	885	890	895	905	920	935	950	975	*	*	*

5.8.2 Açıklık Direnme Momenti

Ardışık olarak madde 5.6.4.2 ye göre açıklıkta indirgenmiş sıcak kesit donatı alanı ve madde 5.6.5.1 'e göre bir defa patlama dikkate alınmadan, bir defa da madde 5.6.2 deki koşullara göre patlama dikkate alınarak hesaplanır.

5.8.3 Mesnet Direnme Momenti

Mesnet direnme momenti madde 5.6.5.2 de önerilen yolla belirlenebilir. Bu hesapta Çizelge 5.18 in kullanılması kolaylık sağlamaktadır. Çizelge 5.18 de genişliği 8 cm ile 52 cm arasında olan dikdörtgen kesitlerde 4 cm lik adımlarla saat cinsinden bir yangın etkisinde kalma süresine (SF) ve X (cm) basınç gören beton yüksekliğine göre (Şekil 5.23) betonun sıcaklığı dikkate alınarak A_c (cm²) basınç bölgesi indirgenmiş beton alanı ve bu alanın c (cm) ağırlık merkezinin tabandan itibaren uzaklığı verilmektedir.

Bu durumda direnme momenti

$$A_c = \frac{1,3 \cdot N_{cc}}{f_{c90}} \quad \text{için}$$

Çizelge 5.18 den x ve c alınır. Buradan moment kolu $z=d-c$ ve $M_r = N_{cc} \cdot z$ olarak hesaplanır.

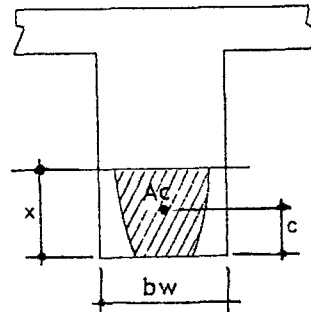
$x > 20$ cm için

$$b_c \cdot \Delta x = A_c - A_{c20} \quad \text{için}$$

Çizelge 5.18 dan Δx alınır, $x=20$ cm+ Δx bağıntısıyla, daha sonra c ise

$$c \cdot A_c = A_{c20} \cdot c_{20} + (A_c - A_{c20}) \left(x + \frac{\Delta x}{2} \right) \quad (5.35)$$

bağıntısıyla belirlenir.



Şekil 5.23.İndirgenmiş Beton Alanı (20)

Çizelge 5.18. Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde İndirgenmiş Beton Alanı (19)

SF=1.0 b=8.0			SF=1.0 b=12			SF=1.0 b=16		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	2	0.5	1	3	0.5	1	5	0.5
2	4	1.0	2	7	1.0	2	11	1.1
3	6	1.6	3	12	1.6	3	19	1.6
4	9	2.2	4	17	2.2	4	27	2.2
5	12	2.7	5	23	2.8	5	37	2.8
6	15	3.3	6	30	3.4	6	47	3.4
7	18	3.9	7	36	3.9	7	58	4.0
8	21	4.4	8	43	4.5	8	70	4.6
9	25	4.9	9	51	5.1	9	82	5.1
10	28	5.5	10	58	5.7	10	94	5.7
11	32	6.0	11	66	6.2	11	106	6.3
12	35	6.6	12	73	6.8	12	119	6.8
13	39	7.1	13	81	7.3	13	131	7.4
14	42	7.7	14	89	7.9	14	144	7.9
15	46	8.2	15	96	8.4	15	156	8.4
16	49	8.7	16	104	8.9	16	169	9.0
17	53	9.2	17	112	9.5	17	182	9.5
18	56	9.8	18	120	10.0	18	195	10.0
19	60	10.3	19	128	10.5	19	207	10.5
20	63	10.8	20	136	11.0	20	220	11.1
bc=3.6			bc=7.9			bc=12.7		

Gizelge 5.18 in devamı

SF=1.0 b=20			SF=1.0 b=24			SF=1.0 b=28			SF=1.0 b=32			SF=1.0 b=36		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	7	0.5	1	9	0.5	1	10	0.5	1	12	0.5	1	14	0.5
2	15	1.1	2	20	1.1	2	23	1.1	2	28	1.1	2	32	1.1
3	25	1.6	3	33	1.6	3	40	1.7	3	48	1.7	3	55	1.7
4	37	2.2	4	48	2.2	4	59	2.8	4	70	2.8	4	80	2.2
5	50	2.8	5	66	2.8	5	80	3.4	5	95	2.8	5	109	2.8
6	65	3.4	6	84	3.4	6	102	4.0	6	121	3.4	6	139	3.4
7	80	4.0	7	104	4.0	7	126	4.6	7	149	4.0	7	171	4.0
8	96	4.6	8	123	4.6	8	150	5.1	8	177	4.5	8	203	4.5
9	112	5.1	9	144	5.1	9	174	5.7	9	205	5.1	9	235	5.1
10	128	5.7	10	164	5.7	10	199	6.2	10	233	5.6	10	268	5.6
11	144	6.2	11	185	6.2	11	223	6.7	11	262	6.2	11	300	6.2
12	161	6.8	12	205	6.7	12	247	7.2	12	290	6.7	12	333	6.7
13	178	7.3	13	226	7.3	13	272	7.8	13	319	7.2	13	365	7.2
14	194	7.9	14	247	7.8	14	297	8.3	14	348	7.7	14	398	7.7
15	211	8.4	15	268	8.3	15	322	8.8	15	377	8.2	15	431	8.2
16	228	8.9	16	289	8.8	16	347	9.3	16	406	8.8	16	463	8.7
17	245	9.4	17	310	9.3	17	372	9.8	17	435	9.3	17	496	9.3
18	262	10.0	18	331	9.9	18	397	10.3	18	464	9.8	18	529	9.8
19	279	10.5	19	352	10.4	19	421	10.9	19	493	10.3	19	562	10.3
20	296	11.0	20	373	10.9	20	446	11.0	20	522	10.8	20	595	10.8
bc=16.9			bc=21.0			bc=24.9			bc=29.0			bc=32.9		

Gizelge 5.18 in devamı

SF=1,0 b=40			SF=1,0 b=44			SF=1,0 b=48			SF=1,0 b=52			SF=1,5 b=8		
x	B	C	x	B	C	x	B	C	x	B	C	x	B	C
1	15	0,5	1	17	0,5	1	19	0,5	1	21	0,5	1	1	0,5
2	36	1,1	2	40	1,1	2	44	1,1	2	48	1,1	2	3	1,0
3	61	1,7	3	69	1,7	3	75	1,7	3	82	1,7	3	4	1,6
4	90	2,3	4	101	2,3	4	111	2,3	4	121	2,3	4	6	2,1
5	123	2,9	5	137	2,8	5	152	2,9	5	166	2,9	5	8	2,7
6	157	3,4	6	177	3,4	6	194	3,4	6	211	3,4	6	9	3,3
7	192	4,0	7	216	4,0	7	237	4,0	7	258	4,0	7	12	3,9
8	228	4,5	8	257	4,5	8	280	4,5	8	306	4,5	8	14	4,4
9	264	5,1	9	297	5,1	9	324	5,1	9	355	5,1	9	16	5,0
10	301	5,6	10	337	5,6	10	367	5,6	10	403	5,6	10	18	5,5
11	337	6,1	11	377	6,1	11	411	6,1	11	451	6,1	11	20	6,1
12	374	6,7	12	417	6,6	12	454	6,6	12	500	6,7	12	23	6,6
13	410	7,2	13	458	7,2	13	498	7,1	13	548	7,2	13	25	7,2
14	447	7,7	14	498	7,7	14	541	7,7	14	596	7,7	14	27	7,7
15	484	8,2	15	538	8,2	15	584	8,2	15	645	8,2	15	30	8,3
16	520	8,7	16	579	8,7	16	629	8,7	16	693	8,7	16	32	8,6
17	557	9,2	17	619	9,2	17	673	9,2	17	742	9,2	17	34	9,3
18	594	9,8	18	660	9,7	18	710	9,7	18	790	9,7	18	37	9,9
19	631	10,3	19	701	10,2	19	762	10,2	19	839	10,2	19	39	10,4
20	668	10,8	20	741	10,7	20	807	10,7	20	889	10,7	20	41	10,9
		bc=36,9			bc=40,6			bc=44,6			bc=48,7			bc=2,4

Çizelge 5.18 in devami

SF=1.5 b=12			SF=1.5 b=16			SF=1.5 b=20			SF=1.5 b=24			SF=1.5 b=28		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	2	0.5	1	3	0.5	1	5	0.5	1	6	0.5	1	7	0.5
2	5	1.1	2	7	1.1	2	10	1.1	2	13	1.1	2	17	1.1
3	7	1.6	3	12	1.6	3	17	1.6	3	23	1.6	3	28	1.6
4	11	2.2	4	18	2.2	4	25	2.2	4	34	2.2	4	41	2.2
5	15	2.8	5	24	2.8	5	35	2.8	5	46	2.8	5	57	2.8
6	19	3.4	6	31	3.4	6	45	3.5	6	60	3.5	6	74	3.5
7	23	4.0	7	38	4.0	7	56	4.1	7	75	4.1	7	93	4.1
8	28	4.6	8	46	4.6	8	68	4.7	8	91	4.7	8	113	4.7
9	32	5.1	9	55	5.2	9	81	5.3	9	109	5.3	9	134	5.3
10	37	5.7	10	64	5.8	10	94	5.9	10	126	5.9	10	155	5.9
11	42	6.3	11	73	6.4	11	108	6.5	11	144	6.5	11	177	6.4
12	47	6.8	12	82	7.0	12	122	7.0	12	162	7.0	12	200	7.0
13	53	7.4	13	91	7.5	13	137	7.6	13	181	7.6	13	222	7.6
14	58	8.0	14	101	8.1	14	151	8.2	14	200	8.2	14	245	8.1
15	63	8.5	15	111	8.7	15	166	8.7	15	219	8.7	15	268	8.7
16	69	9.1	16	120	9.2	16	180	9.3	16	239	9.2	16	291	9.2
17	74	9.6	17	130	9.8	17	195	9.8	17	257	9.8	17	314	9.7
18	80	10.2	18	140	10.3	18	210	10.4	18	276	10.3	18	337	10.3
19	85	10.7	19	150	10.9	19	225	10.9	19	295	10.8	19	360	10.8
20	91	11.2	20	160	11.4	20	240	11.5	20	314	11.4	20	383	11.3
bc=5.5			bc=10.0			bc=15.0			bc=19.1			bc=23.2		

Çizelge 5.18 in devamı

SF=1.5 b=32			SF=1.5 b=36			SF=1.5 b=40			SF=1.5 b=44			SF=1.5 b=48		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	9	0.5	1	10	0.5	1	11	0.5	1	13	0.5	1	14	0.5
2	30	1.2	2	23	1.1	2	26	1.1	2	30	1.1	2	33	1.1
3	44	1.6	3	39	1.6	3	44	1.6	3	50	1.7	3	56	1.7
4	60	2.1	4	58	2.3	4	66	2.3	4	74	2.3	4	83	2.3
5	79	2.7	5	80	2.9	5	91	2.9	5	102	2.9	5	114	2.9
6	100	3.3	6	104	3.5	6	118	3.5	6	134	3.5	6	149	3.5
7	123	3.9	7	131	4.1	7	148	4.1	7	168	4.1	7	186	4.1
8	147	4.5	8	159	4.7	8	186	4.7	8	203	4.7	8	225	4.7
9	172	5.1	9	188	5.3	9	213	5.3	9	240	5.3	9	266	5.3
10	198	5.6	10	217	5.9	10	247	5.9	10	278	5.8	10	307	5.8
11	224	6.2	11	247	6.4	11	281	6.4	11	315	6.4	11	349	6.4
12	250	6.8	12	278	7.0	12	315	7.0	12	354	7.0	12	391	6.9
13	277	7.3	13	308	7.5	13	350	7.5	13	392	7.5	13	433	7.5
14	304	7.9	14	339	8.1	14	385	8.1	14	431	8.0	14	475	8.0
15	331	8.4	15	370	8.6	15	420	8.6	15	469	8.6	15	518	8.6
16	358	8.9	16	401	9.1	16	455	9.1	16	508	9.1	16	560	9.1
17	385	9.5	17	432	9.7	17	490	9.7	17	547	9.6	17	602	9.6
18	412	10.0	18	463	10.2	18	525	10.2	18	586	10.1	18	642	10.1
19	439	10.5	19	494	10.7	19	559	10.7	19	625	10.7	19	684	10.6
20	466	11.0	20	525	11.2	20	594	11.2	20	663	11.2	20	727	11.1
bc=27.2			bc=30.9			bc=35.0			bc=38.8			bc=42.3		

Gizelge 5.18 in devami

SF=1.5 b=52			SF=2.0 b=12			SF=2.0 b=16			SF=2.0 b=20			SF=2.0 b=24		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	16	0.5	1	1	0.5	1	2	0.5	1	3	0.5	1	4	0.5
2	36	1.1	2	3	1.1	2	5	1.1	2	7	1.1	2	9	1.1
3	61	1.7	3	5	1.7	3	8	1.7	3	12	1.7	3	16	1.7
4	91	2.3	4	8	2.2	4	12	2.3	4	18	2.3	4	24	2.3
5	125	2.9	5	10	2.8	5	17	2.9	5	25	2.9	5	33	2.9
6	163	3.5	6	13	3.4	6	22	3.5	6	32	3.5	6	44	3.5
7	204	4.1	7	17	4.0	7	27	4.1	7	41	4.1	7	55	4.1
8	247	4.7	8	20	4.6	8	33	4.7	8	56	4.7	8	67	4.7
9	292	5.3	9	24	5.2	9	39	5.3	9	59	5.3	9	81	5.3
10	337	5.8	10	28	5.8	10	45	5.9	10	69	5.9	10	95	5.9
11	382	6.4	11	31	6.4	11	52	6.5	11	80	6.5	11	109	6.5
12	428	6.9	12	35	6.9	12	59	7.1	12	91	7.1	12	125	7.1
13	475	7.5	13	39	7.5	13	66	7.7	13	102	7.7	13	140	7.7
14	521	8.0	14	43	8.1	14	74	8.2	14	114	8.3	14	156	8.3
15	568	8.6	15	48	8.6	15	81	8.8	15	126	8.9	15	173	8.9
16	615	9.1	16	52	9.2	16	89	9.4	16	138	9.5	16	190	9.5
17	661	9.6	17	56	9.7	17	96	9.9	17	150	10.1	17	206	10.1
18	708	10.1	18	60	10.3	18	104	10.5	18	162	10.6	18	225	10.6
19	755	10.6	19	64	10.8	19	111	11.1	19	174	11.2	19	240	11.2
20	802	11.2	20	69	11.4	20	119	11.6	20	187	11.7	20	257	11.7
bc=46.7			bc=4.2			bc=7.7			bc=12.3			bc=17.0		

Çizelge 5.18 in devamı

SF=2.0 b=48			SF=2.0 b=52			SF=3.0 b=20			SF=3.0 b=24			SF=3.0 b=28		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	11	0.5	1	12	0.5	1	1	1	1	2	0.5	1	3	0.5
2	25	1.1	2	28	1.1	2	3	1.1	2	5	1.1	2	6	1.1
3	43	1.7	3	47	1.7	3	6	1.8	3	9	1.7	3	12	1.7
4	65	2.3	4	71	2.3	4	9	2.4	4	13	2.4	4	18	2.4
5	90	2.9	5	100	2.9	5	13	3.0	5	19	3.0	5	26	3.0
6	119	3.5	6	131	3.5	6	18	3.7	6	26	3.6	6	34	3.6
7	151	4.2	7	167	4.2	7	23	4.3	7	33	4.3	7	44	4.3
8	185	4.8	8	205	4.8	8	29	4.9	8	41	4.9	8	55	4.9
9	222	5.4	9	245	5.4	9	35	5.6	9	49	5.5	9	67	5.5
10	260	6.0	10	287	6.0	10	41	6.2	10	59	6.2	10	79	6.2
11	299	6.6	11	338	6.6	11	48	6.8	11	69	6.8	11	93	6.8
12	338	7.2	12	373	7.2	12	55	7.4	12	79	7.4	12	107	7.4
13	379	7.7	13	417	7.7	13	63	8.0	13	90	8.0	13	122	8.0
14	419	8.3	14	461	8.3	14	70	8.6	14	102	8.6	14	138	8.7
15	460	8.8	15	506	8.8	15	78	9.2	15	113	9.3	15	154	9.3
16	501	9.4	16	551	9.4	16	86	9.8	16	125	9.9	16	170	9.9
17	542	9.9	17	596	9.9	17	95	10.4	17	138	10.4	17	187	10.5
18	583	10.5	18	641	10.4	18	103	11.0	18	150	11.0	18	204	11.1
19	625	11.0	19	686	11.0	19	112	11.5	19	163	11.6	19	222	11.6
20	666	11.5	20	731	11.5	20	120	12.1	20	176	12.2	20	239	12.2
bc=41.2			bc=45.1			bc=8.5			bc=12.7			bc=17.4		

Gizelge 5.18 in devami

SF=3.0 b=32			SF=3.0 b=36			SF=3.0 b=40			SF=3.0 b=44			SF=3.0 b=48		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	3	0.5	1	4	0.5	1	5	0.5	1	6	0.5	1	6	0.5
2	8	1.1	2	10	1.1	2	12	1.1	2	14	1.1	2	16	1.1
3	15	1.7	3	18	1.7	3	21	1.7	3	24	1.7	3	28	1.7
4	23	2.4	4	28	2.3	4	33	2.3	4	37	2.3	4	42	2.3
5	32	3.0	5	39	3.0	5	46	3.0	5	53	3.0	5	59	3.0
6	43	3.6	6	52	3.6	6	61	3.6	6	70	3.6	6	79	3.6
7	55	4.3	7	67	4.2	7	79	4.2	7	90	4.2	7	102	4.2
8	69	4.9	8	84	4.9	8	98	4.9	8	112	4.9	8	127	4.9
9	84	5.5	9	102	5.5	9	120	5.5	9	137	5.5	9	155	5.5
10	100	6.2	10	121	6.2	10	143	6.2	10	164	6.2	10	185	6.2
11	117	6.8	11	142	6.8	11	168	6.8	11	192	6.8	11	217	6.8
12	135	7.4	12	164	7.4	12	194	7.4	12	222	7.4	12	251	7.4
13	154	8.1	13	187	8.1	13	221	8.1	13	253	8.1	13	285	8.1
14	174	8.7	14	211	8.7	14	249	8.7	14	285	8.7	14	321	8.7
15	194	9.3	15	236	9.3	15	277	9.3	15	317	9.3	15	357	9.3
16	215	9.9	16	260	9.9	16	306	9.9	16	350	9.9	16	394	9.8
17	236	10.5	17	286	10.5	17	335	10.4	17	383	10.4	17	432	10.4
18	258	11.1	18	311	11.0	18	365	11.0	18	417	11.0	18	469	11.0
19	280	11.7	19	337	11.6	19	395	11.6	19	451	11.6	19	508	11.6
20	302	12.2	20	364	12.2	20	425	12.1	20	485	12.1	20	546	12.1
bc=22.0			bc=26.1			bc=30.0			bc=34.0			bc=38.2		

Sizelge 5.18 in devamı

SF=3.0 b=52			SF=4.0 b=24			SF=4.0 b=28			SF=4.0 b=32			SF=4.0 b=36		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	7	0.5	1	1	0.5	1	1	0.5	1	1	0.5	1	2	0.5
2	18	1.1	2	2	1.2	2	3	1.2	2	4	1.2	2	6	1.1
3	31	1.7	3	5	1.8	3	6	1.8	3	8	1.8	3	11	1.8
4	47	2.3	4	8	2.5	4	10	2.5	4	13	2.5	4	17	2.4
5	67	3.0	5	11	3.1	5	15	3.2	5	20	3.1	5	25	3.1
6	89	3.6	6	15	3.8	6	20	3.8	6	27	3.8	6	34	3.7
7	115	4.2	7	20	4.4	7	26	4.4	7	36	4.4	7	45	4.4
8	143	4.5	8	26	5.1	8	32	5.0	8	46	5.1	8	56	5.0
9	174	5.5	9	32	5.7	9	40	5.6	9	56	5.7	9	69	5.7
10	208	6.2	10	38	6.4	10	48	6.3	10	68	6.4	10	84	6.3
11	244	6.8	11	45	7.0	11	58	7.0	11	80	7.0	11	99	7.0
12	281	7.4	12	53	7.6	12	68	7.7	12	94	7.7	12	116	7.6
13	320	8.1	13	60	8.3	13	79	8.4	13	108	8.3	13	134	8.3
14	360	8.7	14	69	8.9	14	91	8.9	14	123	8.9	14	154	8.9
15	400	9.2	15	77	9.5	15	103	9.6	15	139	9.6	15	173	9.6
16	441	9.8	16	86	10.1	16	115	10.3	16	155	10.2	16	194	10.2
17	482	10.4	17	94	10.7	17	128	10.9	17	172	10.8	17	215	10.8
18	524	11.0	18	104	11.3	18	141	11.5	18	189	11.4	18	236	11.4
19	566	11.5	19	113	11.9	19	154	12.1	19	207	12.0	19	258	12.0
20	607	12.1	20	122	12.5	20	160	12.7	20	224	12.6	20	280	12.6
bc=41.8			bc=9.4			bc=13.5			bc=17.7			bc=21.9		

Gizelge 5.18 in devamı

SF=4.0 b=40			SF=4.0 b=44			SF=4.0 b=48			SF=4.0 b=52		
x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c	x	Ac	c
1	3	0.5	1	3	0.5	1	4	0.5	1	4	0.5
2	7	1.1	2	8	1.1	2	10	1.1	2	11	1.1
3	13	1.8	3	15	1.8	3	18	1.7	3	21	1.7
4	21	2.4	4	25	2.4	4	28	2.4	4	32	2.4
5	30	3.1	5	36	3.1	5	41	3.0	5	47	3.0
6	41	3.7	6	49	3.7	6	56	3.7	6	63	3.7
7	54	4.4	7	63	4.4	7	73	4.4	7	82	4.4
8	69	5.0	8	80	5.0	8	91	5.0	8	104	5.0
9	87	5.7	9	98	5.7	9	110	5.7	9	127	5.7
10	100	6.3	10	118	6.3	10	135	6.3	10	153	6.3
11	119	7.0	11	148	7.0	11	160	7.0	11	181	7.0
12	139	7.6	12	164	7.6	12	187	7.6	12	212	7.6
13	161	8.3	13	190	8.3	13	216	8.3	13	245	8.3
14	184	8.9	14	217	8.9	14	247	8.9	14	279	8.9
15	209	9.6	15	244	9.6	15	279	9.6	15	314	9.6
16	233	10.2	16	273	10.2	16	311	10.2	16	350	10.2
17	259	10.8	17	302	10.8	17	345	10.8	17	390	10.8
18	283	11.4	18	332	11.4	18	379	11.4	18	425	11.4
19	300	12.0	19	362	12.0	19	413	12.0	19	463	12.0
20	335	12.6	20	392	12.6	20	447	12.6	20	501	12.6
bc=25.9			bc=30.2			bc=34.4			bc=39.1		

SAYISAL UYGULAMA 5.9. $x > 20$ cm için Mesnet Direnme Momenti Hesabı

Bilinenler : $b_w = 16$ cm, $SF=1,5$ (saat), $f_{c90}=25$ MPa, $d=60$ cm,
 $N_{cc}=404$ kN, $x > 20$ cm

Aranan : M_r

Çözüm :

$b_w = 16$ cm, $SF=1,5$ saat, $x > 20$ için

$A_{c20} = 160$ cm², $c_{20} = 11,4$ ve $b_c = 10$ cm alınır.

$$A_c = \frac{1,3 \cdot N_{cc}}{f_{c90}} \rightarrow A_c = \frac{1,3 \cdot 404}{25} = 21,10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow A_c = 210 \text{ cm}^2$$

$$b_c \cdot x = A_c - A_{c20} \rightarrow 10 \cdot \Delta x = 210 - 160 \quad \Delta x = 5 \text{ cm}$$

$$x = 20 + \Delta x \rightarrow x = 25 \text{ cm}$$

$$210 \cdot c = 160 \cdot 11,4 + (210 - 160) \left(20 + \frac{5}{2} \right) \rightarrow c = 14 \text{ cm}$$

$$z = d - u \rightarrow z = 60 - 14 = 46 \text{ cm}$$

$$M_r = N_{cc} \cdot z \rightarrow M_r = 404 \cdot 0,46 = 186 \text{ kN.m}$$

olarak hesaplanır.

Kolon ve duvar gibi düşey elemanlara oturan kenar mesnetlerde soğukta hesaplarda $0,15 M_d$ (M_{od} izostatik açıklık hesap momentidir) momentine karşılık gelen donatı alanı, bu mesnetin direnme momentini hesabında kullanılabilir. Bu moment için mesnet elemanlarının dayanımlarının belirlenmesi zorunlu değildir.

5.8.4 Toplam Direnme Momenti

M_{rt} , M_{rw} ve M_{re} sırasıyla açıklık, sol mesnet ve sağ mesnet direnme momentlerini göstermek üzere toplam direnme momentini

$$M_r = M_{rt} + \frac{M_{rw} + M_{re}}{2} \quad (5.36)$$

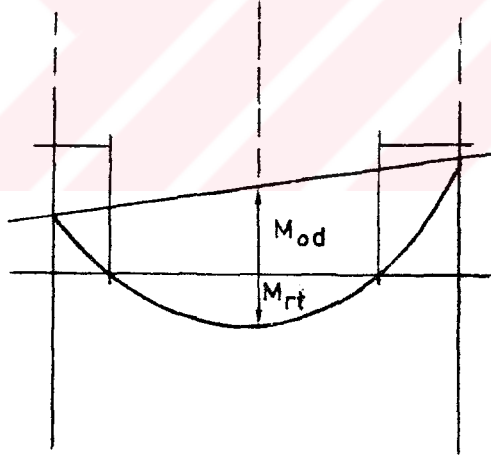
bağıntısıyla belirlenir.

5.8.5 Hesap Momenti

Madde 5.6.1 deki kombinezonlara göre referans izostatik açıklığında hesaplanan maksimum hesap momenti M_{od} ile gösterilsin,

- $M_r \geq M_{od}$ ise açıklık yangına dayanıklıdır.
- $M_r < M_{od}$ ise dikkate alınan yangın için açıklık kullanım dışı kalmaktadır.

Mesnetteki yeni mesnet eğrisini içine almak zorunda olan ilave donatı boylarının tahkikiyle yukarıdaki denetimin tamamlanması gerekmektedir (Şekil 5.24).



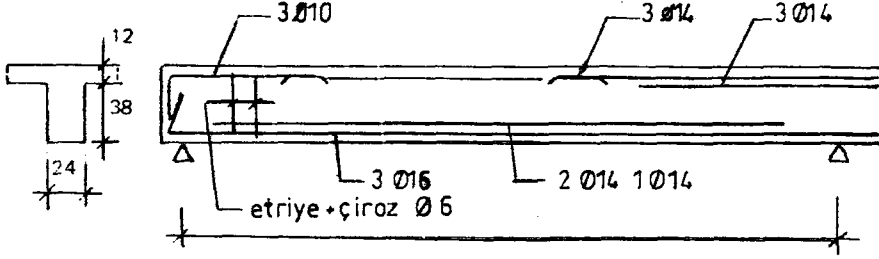
Şekil 5.24. İzostatik Açıklık Hesap Momenti

5.8.6 Kesme Kuvvetine Göre Denetim

Kaynak (20) da tanımlanan hesap yöntemi aşağıdaki sayısal uygulama ile verilmektedir.

SAYISAL UYGULAMA 5.10. Kesme Kuvvetine Göre Denetim

Bilinenler : Özellikleri Şekil 5.25 de verilen bir sürekli kirişin kenar açıklığı dikkate alınsın.



Şekil 5.25. Sayısal Uygulama

$g_1 = 6$ kN/m kaplama + sıva özağırlığını, $g_2 = 18$ kN/m döşeme öz-ağırlığını göstermek üzere, sabit yük $g = 24$ kN/m, hareketli yük $q = 9$ kN/m,

Betonun karakteristik dayanımı : $f_{c28} = 23$ MPa,
 donatının karakteristik dayanımı : $f_{yd} = 400$ MPa,
 alttaki donatı çubuğu paspayı : 3,5 cm.

Aranan : Bu açıklığın 1,5 saat süreli yangına dayanıklı olup olmadığı.

Çözüm:

1. Alt donatı sıcaklıkları

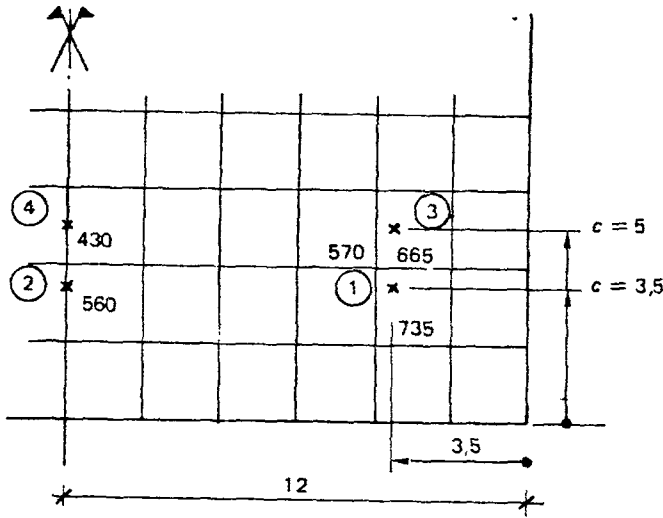
$b_w = 24$ cm, SF = 1,5 saat için Çizelge 5.18 den sıcaklıklar belirlenebilir (Şekil 5.26).

$$1. \text{ Donatı : } T = \frac{3.735 + 570}{4} = 694 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$2. \text{ Donatı : } T = \frac{3.560 + 430}{4} = 528 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$3. \text{ Donatı : } T = \frac{3.665 + 570}{4} = 641 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$4. \text{ Donatı : } T = 430 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Şekil 5.26. Sayısal Uygulama

2. Patlama olmaması halinde açıklık direnme momenti
İndirgenmiş sıcak donatı kesiti

n	Donatı	A_s (cm ²)	T (°C)	ϕ_s	$A_s \cdot \phi_s$ (cm ²)	c (cm)	$A_s \phi_s c$
1	2Ø16	4,02	694	0,135	0,543	3,5	1,90
2	1Ø16	2,01	528	0,496	0,997	3,5	3,49
3	2Ø14	3,08	641	0,272	0,838	5,0	4,19
4	1Ø16	2,01	430	0,649	1,30	5,0	6,50
$A_{sT} = 3,68$ cm ²						$A_s \phi_c = 16,1$ cm ³	

Bu çizelgedeki ϕ_s değerleri madde 5.5 deki Çizelge 5.6 dan alınmıştır. Bu durumda sıcak donatı ağırlık merkezinin konumu,

$$c = \frac{16,1}{3,68} = 4,38 \text{ cm}$$

faydalı yükseklik:

$$d = 50 - 4,38 = 45,6 \text{ cm}$$

$$f_{c90} = 1,1 \cdot f_{c28} \quad f_{c90} = 1,1 \cdot 23 = 25,3 \text{ MPa}$$

madde 5.6.5.1 deki bağıntılar kullanılarak

$$\omega = \frac{1,3 \cdot A_{sT} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot d \cdot f_{c90}} \rightarrow \omega = \frac{1,3 \cdot 3,68 \cdot 400}{24 \cdot 45,6 \cdot 25,3} = 0,0691$$

olarak elde edilir. S420_a için k=1 olduğundan

$$m = \frac{k \cdot \omega}{1 + 0,6 \cdot \omega \cdot k} \rightarrow m = \frac{0,0691}{1 + 0,6 \cdot 0,0691} = 0,0663$$

bulunur. Buradan açıklık direnme momenti

$$M_r = m \cdot b \cdot d^2 \frac{f_{c90}}{1,3} \rightarrow M_r = 0,0663 \cdot 0,24 \cdot 0,456^2 \frac{25,3}{1,3} = 64,4 \cdot 10^3 \text{ MN.m}$$

(=64,4 kN.m)

olarak elde edilir.

3. Patlama olması halinde açıklık direnme momenti

Patlama olması halinde madde 5.6.2 ye göre en büyük etkiyi karşılayan donatıyı ihmal etmek gerekmektedir. Bu uygulamada ihmal edilmesi gereken donatı, 2 nolu donatıdır. Bu durumda

$$A_{ST} = 0,543 + 0,838 + 1,30 = 2,68 \text{ cm}^2$$

olmak üzere açıklıktaki yeni direnme momenti

$$M_r = 64,4 \frac{2,68}{3,68} = 46,9 \text{ kN.m}$$

olarak bulunur.

4. Sağ mesnet direnme momenti

$$\epsilon_s \geq \frac{f_{yd}}{\epsilon_s} \rightarrow \epsilon_s \geq \frac{40}{200000} = 2 \cdot 10^{-3}$$

dolayısıyla

$$\sigma_s = f_{yd} = 400 \text{ MPa}$$

ve

$$N_{cc} = N_s = A_s \cdot \sigma_s = 9,24 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,370 \text{ MN}$$

olduğu kabul edilmektedir. Madde 5.8.3 deki yöntem tatbik edilirse,

$$A_c = \frac{1,3 \cdot N_{cc}}{f_{c90}} \rightarrow A_c = \frac{1,3 \cdot 0,370}{25,3} = 19 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 190 \text{ cm}^2$$

SF = 1,5 ve b = 24 cm için Çizelge 5.18 den

$x \cong 13,5$ cm ve $c = 7,9$ cm

olarak alınır. Yukarıdaki kabullerin denetimi:

$$y = \frac{x}{0,8} \rightarrow y = \frac{13,5}{0,8} = 16,9 \text{ cm}, \quad \alpha = \frac{y}{d} \rightarrow \alpha = \frac{16,9}{45} = 0,375$$

$$\alpha < 0,259 \text{ için } \epsilon_s = 10 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha > 0,259 \text{ için } \epsilon_s = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$

dir. Burada

$$\epsilon_s = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{0,375} - 1 \right) = 5,83 \cdot 10^{-3} > 2 \cdot 10^{-3}$$

olduğundan yukarıda yapılan kabul doğrudur. Bu durumda moment kolu

$$z = d - c \rightarrow z = 45 - 7,9 = 37,1 \text{ cm}$$

mesnet direnme momenti ise

$$M_r = N_{cc} \cdot z \rightarrow M_r = 370 \cdot 0,371 = 137 \text{ kN.m}$$

olarak bulunur.

5. Sol mesnet direnme momenti

Bu mesnet bir kenar mesnet olduğundan soğukta $0,15 M_{od}$ momentine karşılık gelen donatı alanı

$$P_d = 1,3 g + 1,5 q \quad P_d = 1,3 \cdot 5,24 + 1,5 \cdot 9 = 45,9 \text{ kN/m}$$

$$M_{od} = 45,9 \frac{6^2}{8} = 207 \text{ kN.m}, \quad 0,15 M_{od} = 31,1 \text{ kN.m}$$

$$f_{cu} = 0,85 \frac{23}{1,5} = 13 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPa}$$

buradan $A_s = 2,05 \text{ cm}^2$ olarak bulunur. Bu donatı mesnette mevcut $3\emptyset 10 (2,36 \text{ cm}^2)$ den daha küçüktür. Bu durumda aşağıdaki hesaplar da $A_s = 2,05$ olarak almak gerekmektedir.

$$N_{cc} = N_s = 2,05 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,082 \text{ MN}$$

$$A_c = \frac{1,3 \cdot 0,082}{25,3} = 4,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (=42 \text{ cm}^2)$$

Cizelge 5.18 'e göre $c=2,6 \text{ cm}$

$$z = 45 - 2,6 = 42,4 \text{ cm}$$

olur. Sol mesnet direnme momenti ise

$$M_r = 82 \cdot 0,424 = 34,8 \text{ kN.m}$$

olarak bulunur.

- Patlama olmaması halinde direnme momenti denetimi:

Hesap momenti:

$$P_d = g + q \rightarrow P_d = 24 + 9 = 33 \text{ kN/m}$$

$$M_{od} = P_d \frac{l^2}{8} \rightarrow M_{od} = 33 \frac{6^2}{8} = 149 \text{ kN.m}$$

Direnme momenti:

$$M_r = M_{rt} + \frac{M_{rw} + M_{re}}{2} \rightarrow M_r = 64,4 + \frac{34,8 + 137}{2} = 150 \text{ kN.m}$$

$M_r > M_{od}$ olduğundan kenar açıklık yangına dayanıklıdır.

- Patlama olması halinde direnme momenti denetimi

Hesap momenti:

$$P_d = g - 0,05 g_2 + 0,8 \cdot q \rightarrow P_d = 24 - 0,05 \cdot 18 + 0,8 \cdot 9 = 30,3 \text{ kN/m}$$

$$M_{od} = 30,3 \frac{6^2}{8} = 136 \text{ kN.m}$$

Direnme momenti:

$$M_r = 46,9 + \frac{34,8 + 137}{2} = 133 \text{ kN.m}$$

$M_r \approx M_{od}$ olduğundan kiriş limitte yangına dayanıklıdır.

Kaynak (20) da bu durumda (en az %5 yaklaşıklıkla) yangın dayanıklılığının sağlandığını kabul etmektedir.

- Kesme kuvvetine göre denetim

Maksimum kesme kuvveti:

$$V_T = V_{od} + \frac{\Delta M}{l} \rightarrow V_T = 33 \frac{6}{2} + \frac{137-34,8}{6} = 116 \text{ kN}$$

$$\tau_T = \frac{V_T}{b_w \cdot d} \rightarrow \tau_T = \frac{0,016}{0,24 \cdot 0,45} = 1,07 \text{ MPa}$$

Çizelge 5.17'e göre Şekil 5.27 nin A noktasındaki sıcaklık

$$T = \frac{250+355}{2} \cong 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

dolayısıyla da $\phi_c = 0,922$ dir.

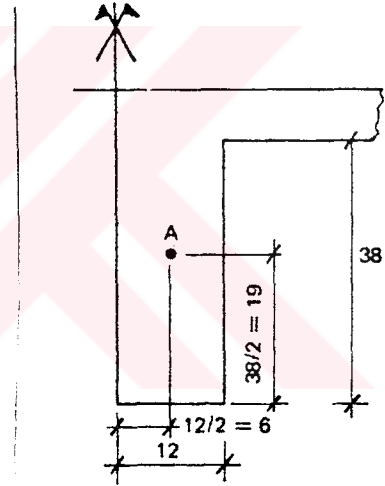
$$\tau_T = 1,07 < 0,2 f_{cjT}$$

olmalıdır.

$$\begin{aligned} 0,2 f_{cjT} &= 0,2 \cdot \phi_c \cdot 1,1 f_{c28} \\ &= 0,2 \cdot 0,922 \cdot 1,1 \cdot 23 = 4,67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

olduğundan

$$\tau_T < 0,2 f_{cjT}$$



Şekil 5.27.Sayısal Uygulama

dır. Yine aynı çizelgeye göre gövde yüksekliğinin yarısındaki sıcaklık belirlenebilir.

- Çiroz etriye sıcaklığı:

$$T = \frac{140+175}{2} \cong 160 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Çizelge den $\phi_s = 1,00$ alınır.

- Etriye sıcaklığı

$$T = \frac{500+680}{2} \approx 590 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{ için aynı çizelgeden } \phi_s = 0,395 \text{ alınır.}$$

İndirgenmiş donatı alanı

$$A_{sT} = \left(\frac{1+0,395}{2} \right) 4,0,28 = 0,79 \text{ cm}^2$$

Taşınması gereken kuvvet,

$$F_{sT} = A_{sT} \cdot f_{yd} \rightarrow F_{sT} = 0,70 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,0316 \text{ MN}$$

aynı donatının soğukta taşıdığı kuvvet

$$F_s = A_s f_{yd} / \gamma_s \rightarrow F_s = 4,0,28 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{400}{1,15} = 0,039 \text{ MN}$$

soğukta kesme kuvveti

$$V_d = 1,1 \cdot P_d \cdot \frac{1}{2} \rightarrow V_d = 1,1 \cdot 45,9 \cdot \frac{6}{2} = 151 \text{ kN}$$

kaynak (20)

$$F_{sT} \geq F_s \cdot \frac{V_{dT}}{1,5V_d}$$

bağıntısının sağlanmasını istemektedir.

Bu örnekte de

$$0,0316 > \frac{0,039 \cdot 116}{1,5 \cdot 151} = 0,0198$$

olarak bu denklem sağlanmaktadır.

5.9 Kolonların Denetimi

Kolonların yangın dayanıklılığının denetimi, gerçek kesiti madde 5.6.4'e uygun olarak indirgenmiş sıcak kesite çevirdikten sonra kesit taşıma kapasitesinin hesabı için soğukta hesap için

önerilen yöntemlerin kullanılmasını gerektirmektedir (56). Ortam sıcaklığında burkulmayı dikkate almak için gerekli olan bağıntıların yangın anında da geçerli olduğu kabul edilmektedir (20).

Bu başlık altında sırasıyla merkezi yüklü (madde 5.9.1) ve bileşik eğilme etkisindeki kolonlar incelenmektedir (madde 5.9.2).

5.9.1 Merkezi Yüklü Kolonlar

5.9.1.1 Betonun Ortalama Sıcaklığı

Dört yüzünden yangın etkisinde kalmış dikdörtgen kesitli kolonlarda, kolon kesitlerindeki bazı ortalama sıcaklıklar tanımlanmaktadır (20). Bu sonuçların incelenmesinden çevre uzunluklarının enkesit alanlarına oranları eşit olan kesitlerde, belli yangına maruz kalma süreleri için hemen hemen aynı ortalama sıcaklıklar gösterilmiştir. Bu sonuçları tüm enkesit şekillerine genelleştirmek mümkündür (20). χ çevre uzunluğunu, A enkesit alanı olmak üzere masiflik katsayısı

$$M = \chi/A \quad (5.37).$$

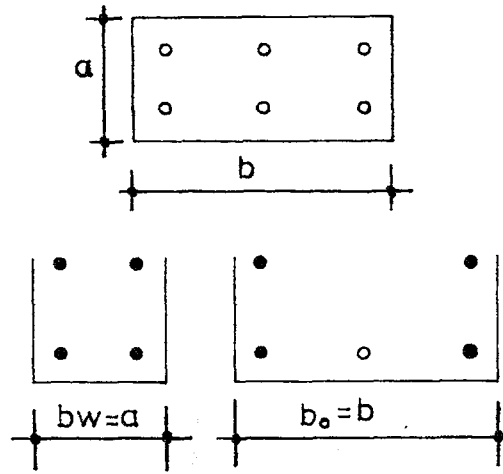
bağıntısıyla hesaplanır. Çizelge 5.19, 0,5-4 saat arasında değişen standartlaştırılmış yangın süresine ve 0,05-0,25 (1/cm) arasında değişen M masiflik katsayısı yardımıyla bir kolondaki ortalama sıcaklıkların belirlenmesine imkan vermektedir (19).

5.9.1.2 Donatı Sıcaklıkları

Donatı sıcaklıkları madde 5.4 de verilen ilkelere göre hesaplanabilir. Bununla beraber donatı sıcaklıkları için madde 5.8 de kirişlere ait çizelge 5.17 de verilmiş olan değerleri kullanmakta mümkündür (19,20). Büyük kenarlara (b) yerleştirilmiş donatılar için genişliği $b_w=a$ olan bir kiriş, küçük kenarlara (a) yerleştirilmiş donatılar için ise genişliği $b_w=b$ olan bir kiriş dikkate alınır (Şekil 5.28).

Çizelge 5.19. Kolon Kesitinde T_m Ortalama Sıcaklıkları (20)

M l/cm	Yangın Etkisinde Kalma Süresi (saat)					
	0,5	1	1,5	2	3	4
0,05	—	125	180	230	330	425
0,06	100	155	225	290	400	480
0,07	120	185	270	330	450	540
0,08	130	215	305	380	505	590
0,09	150	245	345	430	555	640
0,10	160	270	380	470	600	680
0,11	175	290	415	510	640	715
0,12	190	320	450	540	675	760
0,13	205	345	475	570	700	790
0,14	215	370	505	595	725	820
0,15	230	390	525	615	745	845
0,16	245	415	550	630	760	860
0,17	255	440	565	650	775	875
0,18	270	460	580	660	785	885
0,19	280	480	600	680	800	895
0,20	295	500	610	690	805	900
0,21	310	510	620	700	815	910
0,22	315	525	630	710	825	915
0,23	325	530	640	715	830	920
0,24	335	540	650	720	835	925
0,25	345	545	655	725	840	930



Şekil 5. Çizelge 5.17 ye Göre Dikkate Alınacak Kolon Boyutları

5.9.1.3 Kolonun Merkezi Yük Taşıma Gücü

a) İndirgenmiş sıcak beton kesit:

Kesit çevresi üzerinde 1 cm kalınlığındaki beton tabakası ihmal edilmek suretiyle, soğukta merkezi yüklü kolonların denetimi için kaynak (56) da dikkate alınan kesit A_{cr} ile gösterilmektedir. Çizelge 5.19 den alınan T_m ortalama sıcaklığına madde 5.5 deki Çizelge 5.3 'e uygun olarak bir ϕ_c dayanım katsayısı karşılık gelmektedir. Bu durumda indirgenmiş sıcak beton kesit

$$A_{cT} = \phi_c \cdot A_{cr} \quad (5.38)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

b) İndirgenmiş sıcak donatı kesiti:

Madde 5.5 deki Çizelge 5.5 veya 5.6 ya uygun olarak her donatı çubuğu bir T_i sıcaklığına sahip olmakta ve bu sıcaklığa bir ϕ_{si} dayanım katsayısı karşılık gelmektedir. Bu durumda indirgenmiş sıcak donatı alanı

$$A_{sT} = \sum \phi_{si} \cdot A_{si}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

c) Merkezi yük taşıma gücü:

Kaynak (56) nın B.8.4.1. maddesinde verilen formül yangın yükleri için; l_k burkulma boyunu, a enkesitin küçük kenarını $\lambda = \frac{l_k \sqrt{12}}{a}$ narinlik oranını göstermek ve

$$\lambda \leq 50 \text{ için } \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$$

$$\lambda > 50 \text{ için ise } \alpha = 0,6 \left(\frac{\lambda}{50}\right)^2$$

olmak üzere; kolonun merkezi yük taşıma gücü

$$N_r = \frac{\alpha}{0,85} \left(\frac{A_{cT} \cdot f_{c28}}{1,17} + A_{sT} \cdot f_{yd} \right) \quad (5.39)$$

bağıntısıyla hesaplanabileceği belirtilmektedir. Bu bağıntı kolonun merkezi yük taşıma gücünü 90 günlük beton basınç dayanımına göre vermektedir. $N_r \geq N_d$ olması halinde kolonun dayanım yönünden emniyeti sağlanmış olmaktadır. N_d merkezi hesap yükünün, madde 5.6.1 de tanımlanan yük kombinasyonuna göre hesaplanması gerekmektedir (19).

SAYISAL UYGULAMA 5.11. Merkezi Yüklü Kolonun Yangın Yüküne Göre Hesabı

Kesiti 24x24 cm, burkulma boyu 3 m, donatısı 4Ø16 ($f_{yd}=400$ MPa), paspayı 3 cm olan bir kolonda (Şekil 5.29) kullanılan betonun karakteristik dayanımı $f_{c28}=23$ MPa'dır. Taşıyacağı sabit yük $G=300$ kN, hareketli yük ise $Q=50$ kN olduğuna göre bu kolon 1,5 saatlik yangına dayanıklı mıdır?

Betonun ortalama sıcaklığı:

SF = 1,5 saat

$$M = \frac{4.24}{24.24} = 0,167 \text{ cm için Çizelge}$$

5.19 den

$$T_m = 560 \text{ }^\circ\text{C}$$

alınır.

Beton dayanım katsayısı:

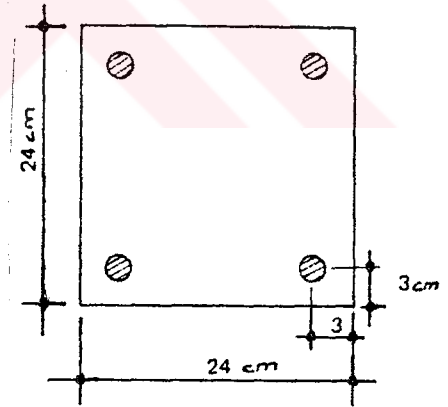
$$T_m = 560 \text{ }^\circ\text{C için Çizelge 5.3 den}$$

$$\phi_c = 0,513 \text{ olarak alınır.}$$

İndirgenmiş sıcak kesit;

$$A_{cr} = 0,22 \cdot 0,22 = 0,0484 \text{ m}^2$$

$$A_{cT} = \phi_c \cdot A_{cr} \rightarrow A_{cT} = 0,513 \cdot 0,0484 = 0,0248 \text{ m}^2$$



Şekil 5.29 Sayısal Uygulama

Donatı sıcaklığı:

$$SF = 1,5 \text{ saat}$$

$$b_w = 24 \text{ cm}$$

için Çizelge 5.17 den $T=735 \text{ }^\circ\text{C}$

olarak alınır.

Donatı dayanım katsayısı:

$$T = 735 \text{ }^\circ\text{C} \text{ için Çizelge 5.6 dan } \phi_s = 0,037 \text{ olarak alınır.}$$

Mevcut donatının (4Ø16) indirgenmiş sıcak kesiti:

$$A_{sT} = \phi_s \cdot A_s \rightarrow A_{sT} = 0,037 \cdot 8,04 = 0,30 \text{ cm}^2$$

Merkezi yük taşıma gücü:

$$\lambda = \frac{l_f \cdot 12}{a} \rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 12}{0,24} = 43,3 < 50 \text{ olduğundan}$$

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{43,3}{35}\right)^2} = 0,651$$

buradan kolonun merkezi yük taşıma gücü (5.39) bağıntısından

$$N_r = \frac{0,651}{0,85} \left[\frac{0,0248 \cdot 23}{1,17} + 0,30 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \right] = 0,383 \text{ MN (=383 kN)}$$

olarak hesaplanır.

Hesap normal kuvveti:

$$N_d = G + Q \rightarrow N_d = 300 + 50 = 350 \text{ kN} < N_r$$

olduğundan kolon 1,5 saatlik yangına dayanıklıdır. Madde 5.6.1'e uygun olarak patlamanın dikkate alınması halinde,

$$A_{sT} = 0,30 \cdot \frac{3}{4} = 0,23 \text{ cm}^2$$

$$N_r = \frac{0,651}{0,85} \left[\frac{0,0248 \cdot 23}{1,17} + 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \right] = 0,38 \text{ MN (=380 kN)}$$

$$N_d = 300 + 0,8 \cdot 50 = 340 \text{ kN} < N_r$$

olduğundan patlama olması halinde dahi kolon 1,5 saatlik yangına dayanıklıdır.

5.9.2 Bileşik Eğilme Etkisindeki Kolonlar

5.9.2.1 Sıcaklık Dağılımı

Bu durumda sıcaklık hesabının madde 5.6.4 deki esaslara göre yapılması gerekmektedir.

5.9.2.2 İndirgenmiş Sıcak Kesit

Gerçek donatı ve beton kesit alanları madde 5.6.4.2 ve 5.6.4.3 de gösterildiği gibi indirgenmiş kesite dönüştürülmektedir.

5.9.2.3 Dikkate Alınacak Kesit Etkileri

Eğilme momenti M ve normal kuvvet N madde 5.6.1 deki kombinasyonlara göre belirlenir. Daha sonra kaynak (56)nın A.4.3.5 maddesine göre burkulmayı dikkate almak için bu kesit etkileri 1 den büyük katsayıyla çarpılarak büyütülür. Hesaplarda kullanılacak M_d ve normal kuvvet N_d :

$$e = M/N \quad \text{dış merkezliğini} \quad e_{\min} \geq \frac{1/250}{2} \text{ cm}$$

l kolon boyunu, h burkulma düzlemine paralel kolon enkesit boyutunu, λ narinlik oranını, δ ise

$$e/h \leq 0,75 \quad \text{için} \quad \delta = 1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2$$

$$e/h > 0,75 \quad \text{için} \quad \delta = 1 + 0,15 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2 \cdot \frac{h}{e} \quad (\delta \leq 1,4 \text{ olmalıdır})$$

bağıntısıyla belirlenen büyütme katsayısını göstermek üzere;

$$N_d = \delta \cdot N \quad (5.40)$$

$$M_d = \delta \cdot N (e + e_{\min}) \quad (5.41)$$

olarak hesaplanır (19).

5.9.2.4 Direnme Momenti

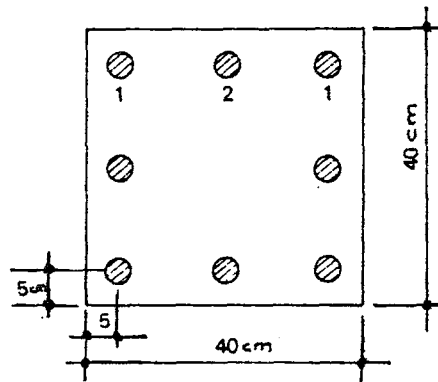
Bunun için hesap normal kuvvetinin (N_d) bilindiği kabul edilmekte ve madde 5.6.5.2 de verilen hesap yöntemine benzer bir hesap direnme momenti (M_r) hesaplanmaktadır. Burada narinlik oranının

$$\lambda \geq \frac{50}{67 e/h} \quad \text{ve} \quad \lambda \leq 100$$

olması halinde, bu yöntemin kullanılmasına izin verilmediğini belirtmek uygun olmaktadır (56).

SAYISAL UYGULAMA 5.12. Birleşik Eğilme Etkisindeki Kolonun Yangına Göre Hesabı

Kesiti 40x40 cm, yüksekliği 4,5 m, burkulma boyu 4 m, donatısı 8Ø16 ($f_{yd}=348$ MPa) paspayı 5 cm olan bir kolonda (Şekil 5.30) kullanılan betonun karakteristik dayanımı $f_{c28}=23$ MPa dır. Bu kolonun taşıyacağı sabit yük $G=300$ kN, hareketli yük $Q=50$ kN, karakteristik rüzgar etkisinden doğan moment $M_w=55$ kNm olduğuna göre bu kolon 1,5 saatlik yangına dayanıklı mıdır?



Şekil 5.30. Sayısal Uygulama

- Sıcaklık dağılımı bir bilgisayar programı kullanılarak belirlendi (20). Elde edilen sonuçlar Şekil 5.31 de verilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi kesit içerisindeki sıcaklıklar kenarları 2 cm olan kare elemanların merkezlerindeki sıcaklıkları göstermektedir.

874	816	769	734	709	691	680	673	670	668
816	726	653	598	557	530	512	501	495	493
769	653	559	486	433	396	373	359	351	348
734	598	486	399	336	293	265	248	239	235
709	557	433	336	266	217	186	167	156	152
691	530	396	293	217	165	131	111	99	95
680	512	373	265	186	131	96	74	63	58
673	501	359	248	167	111	74	53	41	35
670	495	351	239	156	99	63	41	29	23
668	493	348	235	152	95	58	35	23	18

Şekil 5.31. Kolon Kesitinde Sıcaklık Dağılımı

2 cm genişlikteki şerit üzerinde genişliğin indirgenmesi aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Örnek olarak ilk şerit alınır

T	874	816	769	734	709	691	680	673	670	668
ϕ_c	0,142	0,207	0,260	0,300	0,315	0,348	0,360	0,368	0,371	0,373

bu durumda ortalama dayanım katsayısı

$$\phi_c = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_{ci}}{n} \rightarrow \phi_c = 0,304$$

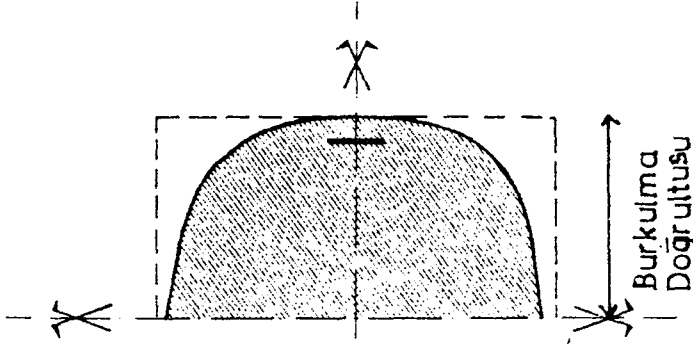
ve birinci şeridin indirgenmiş genişliği

$$b = 0,304 \cdot 40 = 12,2 \text{ cm}$$

olarak elde edilir. Aynı yöntemin tüm şeritlere uygulanmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Şerit No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ϕ_c	0,304	0,487	0,660	0,793	0,840	0,861	0,873	0,880	0,883	0,884
b (cm)	12,2	19,5	26,4	31,7	33,6	34,4	34,9	35,2	35,3	35,3

indirgenmiş kesit ise Şekil 5.32 de verilmektedir



Şekil 5.32. İndirgenmiş Beton Kesit

- İndirgenmiş sıcak donatı kesiti

No	Donatı çubuğu	A_s (cm ²)	T (°C)	ϕ_s	$A_s \cdot \phi_s$
1	2Ø16	4,02	559	0,459	1,82
2	1Ø16	2,01	348	0,774	1,56

$$A_{sT} = 3,38 \text{ cm}^2$$

- Dikkate alınacak yük kombinasyonu

Bu kombinasyon $G+Q+0,8 W$ şeklindedir. Buradan,

$$N = 300+50 = 350 \text{ kN}$$

$$M = 0,8.55 = 44 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M}{N} \rightarrow e = \frac{44}{350} = 0,126 \text{ m} \quad e_{\min} \geq \frac{1}{250} = 450/250$$

$$e_{\min} \geq 2 \text{ cm} = 1,8$$

$$e_{\min} = 2 \text{ cm}$$

$$\lambda = l_f \sqrt{12/h} \rightarrow \lambda = \frac{4\sqrt{12}}{0,4} = 34,6$$

$$e/h = \frac{0,126}{0,40} = 0,315 < 0,75 \text{ için } \delta = 1 + 0,2 \left(\frac{34,6}{35} \right)^2 = 1,20$$

olduğundan hesap kesit etkileri

$$N_d = \delta \cdot N \rightarrow N_d = 1,20 \cdot 350 = 418 \text{ kN}$$

$$M_d = \delta \cdot N (e + e_{\min}) \rightarrow M_d = 418 (0,126 + 0,02) = 61 \text{ kN.m}$$

olarak hesaplanır.

Direnme momentlerinin hesabında izlenen yol aşağıda verilmektedir:

$$x = \Sigma \Delta x \quad Y = \frac{x}{0,8}, \quad \alpha = \frac{Y}{d} \quad (\text{bu örnekte } d=35 \text{ cm})$$

$$\alpha < 0,259 \quad \text{için} \quad 10^3 \epsilon_s = 10$$

$$\alpha > 0,259 \quad \text{için ise} \quad 10^3 \epsilon_s = 8,5 \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)$$

olarak alınır. Buradan $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s$ ve $N_s = A_{sT} \cdot \sigma_s$ bağıntılarıyla belirlenir.

$$f_{c90} = 1,1 \cdot 23 = 25,3 \text{ MPa}$$

$$N_{ci} = b_i \cdot \frac{\Delta x \cdot f_{c90}}{1,3}$$

$$N_{cc} = \Sigma N_{ci}$$

Basınç donatısı

$$10^3 \epsilon_{sc} = 3,5 \frac{\alpha - c/d}{\alpha} \quad \text{bu örnekte, } 10^3 \epsilon_{sc} = 3,5 \frac{\alpha - \frac{0,05}{0,35}}{\alpha}$$

ya da

$$10^3 \epsilon_{sc} = 3,5 \frac{\alpha - 0,143}{\alpha}$$

dır. Buna bağlı olarak σ_{sc} ilgili diyagramdan ya da çizelgeden alınır ve $N_{sc} = A_{sT} \cdot \sigma_{sc}$ hesaplanır. Bu durum da iç kuvvet;

$$N_i = N_{cq} + N_{sc} - N_s \rightarrow N_i = N_{cc} + N_{sc} - N_s$$

bağıntısıyla hesaplanarak $N_d = 418 \text{ kN}$ ile karşılaştırılır.

Moment kolu $z_i = d - u_i$ ve moment $\Delta M_{ci} = N_{ci} \cdot z_i$ bağıntılarıyla belirlenir. Madde 5.9.2 ye uygun olarak çekme donatısına göre direnme momenti

$$M'_r = M_c + N_{sc} (d - c) \rightarrow M'_r = 0,122 + 0,118 \cdot 0,30 = 0,157 \text{ MN.m}$$

kesitin ağırlık merkezine göre direnme momenti

$$M'_r = M_r + N_d \left(\frac{h}{2} - e \right)$$

$$M_r = M'_r - N_d \left(\frac{h}{2} - c \right) \rightarrow M_r = 0,157 - 0,418 \cdot 0,15 = 0,0952 \text{ MN.m}$$

olarak hesaplanır.

$$M_d (=61 \text{ kN.m}) < M_r (=95,2 \text{ kN.m})$$

olduğundan dikkate alınan N ve M çifti için kolon 1,5 saatlik yangına dayanıklıdır.

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
b_f m	Δx m	x m	y m	α	10^3 ϵ_s	σ_s MPa	N_s kN	N_{ci} kN	N_{cc} kN	10^3 ϵ_{sc}	σ_{sc} MPa	N_{sc} MN	N_f kN	z_i m	ΔM mkN
0,122	0,02	0,02	0,025	0,0714	10	348	0,118	0,0475	0,0475	-3,51	-348	-0,118	-0,189	0,34	0,0162
0,195	0,02	0,04	0,050	0,143	10	348	0,118	0,0759	0,123	0	0	0	0,005	0,32	0,0243
0,264	0,02	0,06	0,075	0,214	10	348	0,118	0,103	0,226	1,16	232	0,0785	0,187	0,30	0,0309
0,317	0,02	0,08	0,10	0,286	8,75	348	0,118	0,123	0,349	1,75	348	0,118	0,349	0,28	0,0344
0,336	0,02	0,10	0,125	0,357	6,30	348	0,118	0,131	0,480	2,10	348	0,118	0,480		0,08 < x < 0,10
0,322	0,01	0,09	0,113	0,321	7,39	348	0,118	0,0627	0,412	1,94	348	0,118	0,412	0,255	0,016 $\approx 0,418$
															M = 0,122

5.10 Duvarların Denetimi

Duvarların yangın dayanımının denetimi, kesit etkilerini yangın yüklerinde dikkate alarak belirlemek koşuluyla soğukta hesapta kullanılan bağıntıları kullanarak yapılabilir (63). Ortam sıcaklığında burkulmayı dikkate almak için gerekli önlemlerin yangın anında da geçerli olduğu kabul edilmektedir (20).

5.10.1 Betonun Ortalama Sıcaklığı

Duvar kalınlığı (a) içerisinde ortalama sıcaklık aşağıdaki çizelgelerden:

- Yalnız bir yüzünden yangın etkisinde kalan duvarlar için Çizelge 5.20.
- Aynı anda iki yüzünden yangın etkisinde kalan duvarlar için ise Çizelge 5.21den alınırlar (19).

Yangın yayılmasına engel teşkil eden duvarlar için genellikle birinci varsayım kullanılmaktadır (20).

Çizelge 5.20. Bir Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Duvarlarda T_m Ortalama Sıcaklıkları (19)

Yangın Etkisinde Kalma Süreleri (saat)							
a cm	0,5	1	1,5	2	3	4	6
10	280	350	410	460	540	610	720
12	280	340	390	430	500	560	660
15	270	320	360	390	450	500	580
18	270	310	340	370	420	460	530
20	270	300	330	360	400	440	500
22	270	300	330	350	390	420	480
25	260	290	320	340	370	400	450
30	260	290	310	320	350	380	420
35	260	280	300	310	340	360	400
40	260	280	290	310	330	350	380
45	250	270	290	300	320	340	360
50	250	270	280	290	310	330	350

Çizelge 5.21. İki Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Duvarlarda T_m Ortalama Sıcaklıkları (19)

Yangın Etkisinde Kalma Süreleri (saat)							
a cm	0,5	1	1,5	2	3	4	6
10	340	530	660	740	850	970	1080
12	310	470	600	690	800	930	1040
15	300	400	510	610	730	850	980
18	290	360	450	540	660	780	930
20	290	350	410	500	620	740	900
22	280	340	390	460	580	690	870
25	280	330	380	430	530	630	820
30	270	320	360	390	470	560	740
35	260	310	350	370	430	510	680
40	260	300	340	360	410	480	620
45	260	300	330	350	390	450	580
50	260	290	320	340	380	420	550

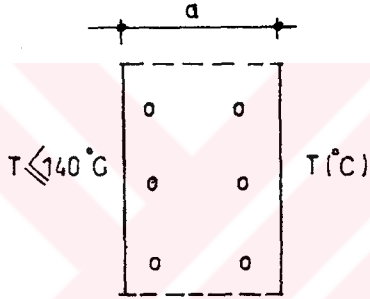
5.10.2 Donatı Sıcaklıkları

a) Bir yüzünden yangın etkisinde kalan duvarlar:

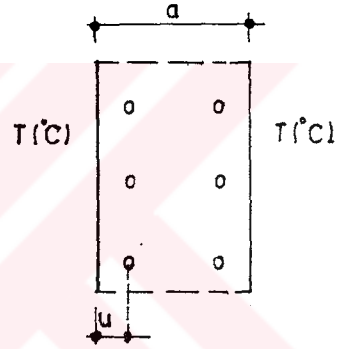
Yangın etkisinde kalan yüzeye yakın donatı sıcaklıkları madde 5.6 daki Çizelge 5.9 dan alınır. Soğuk yüze yakın donatı sıcaklıklarınının 140°C dan daha küçük olduğu kabul edilmektedir. (Şekil 5.33).

b) İki yüzünden yangın etkisinde kalan duvarlar:

Bu durumda duvar genişliği $b_w=a$ olan (Şekil 5.34) bir kirişe benzetilerek madde 5.8 deki Çizelge 5.17 kullanılmaktadır.



Şekil 5.33. Bir Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Duvar



Şekil 5.34. İki Yüzünden Yangın Etkisinde Kalan Duvar

5.10.3 İndirgenmiş Sıcak Kesit

A_c duvarın gerçek kesitini, ϕ_c madde 5.5 deki Çizelge 5.3'e uygun olarak betonun T_m ortalama sıcaklığına karşı gelen dayanım katsayısını göstermek üzere; indirgenmiş sıcak kesit

$$A_{cT} = \phi_c \cdot A_c$$

bağıntısıyla hesaplanır. Her bir donatı çubuğunda sıcaklık T_i ile gösterilirse bu sıcaklıklara Çizelge 5.4 ya da 5.5'e uygun

olarak ϕ_{si} dayanım katsayıları karşılık gelmektedir. Bu durumda indirgenmiş sıcaklık donatı kesiti;

$$A_{sT} = \sum \phi_{si} \cdot A_{si}$$

bağıntısıyla belirlenir.

5.10.4 Duvarın Merkezi Yük Taşıma Gücü

Betonun emniyet gerilmesinin

$$\bar{\sigma}_c = 0,5 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot f_{c28} \quad (5.42)$$

bağıntısıyla hesaplanabileceği kabul edilmektedir (63). Bu durumda $f_{cu} = 0,85 \cdot f_{c28}$, $\gamma_c = 1,5$ ve $\gamma_s = 1,4$ alınırsa, nihai emniyet gerilmesi

$$\bar{\sigma}_u = 0,85 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{f_{c28}}{0,85} \cdot \frac{1,5}{1,5} \cdot 1,4 = 1,24 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{f_{c28}}{1,5}$$

bağıntısıyla belirlenir. Yangına etkisinde kalmış beton için nihai emniyet gerilmesi ise;

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1,24}{0,85} \alpha \cdot \beta \cdot \frac{f_{c28}}{1,3} \approx 1,4 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{f_{c28}}{1,3} \quad (5.43)$$

bağıntısıyla belirlenir. Durum böyle olunca duvarın taşıyabileceği merkezi yük;

$$e \geq \frac{l_f/300}{1 \text{ cm}}, \quad \alpha = 1 - \frac{10 \cdot e}{3 \cdot a}$$

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \quad \text{ve} \quad \beta \leq \frac{1}{1 + 2(\lambda/100)^2} \leq 0,9$$

olmak üzere;

$$N_r = 1,4 \cdot \alpha \cdot \beta \left[\frac{A_{cT} \cdot f_{c28}}{1,3} + A_{sT} \cdot f_{yd} \right] \quad (5.44)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

$N_r > N_d$ ise duvarın yangına dayanıklılığı sağlanmaktadır. Burada N_d nin hesabında madde 5.6.1 de tanımlanan yük kombinezonlarının dikkate alınması gerektiğini belirtmek uygun olmaktadır.

SAYISAL UYGULAMA 5.13. Merkezi Yük Etkisindeki Bir Duvarın Yangına Göre Hesabı

Kalınlığı 20 cm, burkulma boyu 3,5 m, her iki yüzde bir metre genişlikteki donatı miktarı $6\emptyset 12$ ($f_{yd} = 400$ MPa) paspayı 2,5 cm olan bir duvarda kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımı $f_{c28} = 23$ MPa dir. Bu duvarın taşıyacağı sabit yük $g = 820$ kN/m, hareketli yük $Q = 400$ kN/m dir.

a) Bir yüzünden yangın etkisinde kalacak olan bu duvar 2 saatlik yangına dayanıklı mıdır?

b) İki yüzünden yangın etkisinde kalacak olan bu duvar 2 saatlik yangına dayanıklı mıdır?

Çözüm:

a) Çizelge 5.20 den ortalama beton sıcaklığı $T_m = 360$ °C olarak alınır. Buna $\phi_c = 0,827$ karşılık gelmektedir. Bu durumda indirgenmiş sıcak beton kesiti

$$A_{cT} = \phi_c \cdot A_c \rightarrow A_{cT} = 0,827 \cdot 0,20 = 0,165 \text{ m}^2/\text{m}$$

indirgenmiş donatı alanı

		A_s (cm ²)	T	ϕ_s	$\phi_s A_s$	A_{sT} (cm ² /m)
Sıcak yüz	$6\emptyset 12$	6,79	625	0,309	2,10	8,89
Soğuk yüz	$6\emptyset 12$	6,79	≤140	1	6,79	

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \rightarrow \lambda = \frac{3,5 \sqrt{12}}{0,2} = 60,6$$

$$\beta = \frac{1}{1+2(\lambda/100)^2} \rightarrow \beta = \frac{1}{1+2\left(\frac{60,6}{100}\right)^2} = 0,576$$

$$e \geq \frac{l_f/300}{1 \text{ cm}} \rightarrow e \geq \frac{350/300}{1 \text{ cm}} = 1,17 \text{ cm}$$

$$\alpha = 1 - \frac{10 e}{3 a} \rightarrow \alpha = 1 - \frac{10 \cdot 1,17}{3 \cdot 20} = 0,805$$

$$N_r = 1,4 \cdot \alpha \cdot \beta \left[\frac{A_{cr} \cdot f_{c28}}{1,3} + A_{sT} \cdot f_{yd} \right]$$

$$= 1,4 \cdot 0,805 \cdot 0,576 \left[\frac{0,165 \cdot 23}{1,3} + 8,89 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \right] = 2,13 \text{ MN/m}$$

olarak elde edilir.

Diğer taraftan duvarın hesap merkezi yükü

$$N_d = g + q \rightarrow N_d = 820 + 400 = 1220 \text{ kN/m} (=1,22 \text{ MN/m})$$

olarak elde edilir.

$$N_r > N_d$$

olduğundan duvar 2 saatlik yangına dayanıklıdır.

b) Çizelge 5.21 den ortalama beton sıcaklığı $T_m = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak alınır. Buna $\phi_c = 0,607$ karşılık gelmektedir. Bu durumda indirgenmiş sıcak kesit

$$A_{cT} = 0,607 \cdot 0,20 = 0,121 \text{ m}^2/\text{m}$$

Donatı sıcaklığı

$$b_w = a = 20 \text{ cm}$$

$$SF = 2 \text{ saat} \quad \text{için Çizelge 5.19 den}$$

$$u = 2,4 \text{ cm}$$

$$T = \frac{3.590+745}{4} = 630 \text{ } ^\circ\text{C}$$

olarak hesaplanır. Buna karşılık $\phi_s = 0,296$ alınır. Bu durumda

$$A_{sT} = 0,296.13,6 = 4,02 \text{ cm}^2$$

olur. Duvarın taşıyabileceği merkezi yük ise (5.43) bağıntısından

$$N_r = 1,4.0,805.0,576 \left[\frac{0,121.23}{1,3} + 4,02.10^{-4}.400 \right] = 1,5 \text{ MN/m}$$

olarak hesaplanır.

$$N_r > N_d$$

olduğundan bu durumda da duvar 2 saatlik yangına dayanıklıdır.

BÖLÜM 6

YÜKSEK SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN BETONUN DAYANIMINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

6.1 Giriş

Yangın yapıların önemli derecede hasar görmelerine ve kullanım dışı kalmalarına neden olabilmektedir. Bu hasar ve kullanım dışı kalmanın büyüklüğü yapıda kullanılan malzeme cinsine göre değişmektedir. Kullanılan malzemeye göre yapılar en az etkilenenden en fazla etkilenene doğru; kargir, beton, çelik ve ahşap yapılar şeklinde sıralanabilir. Bu sıralamadan beton yapıların yangından en az hasar gören yapılardan biri olduğu görülmektedir.

Yangın etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla bu bölümde, yüksek sıcaklığın ve soğuma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelendi. Bu amaçla betonun eğilme dayanımına ait değerler 4.4.16 cm boyutlarında prizmatik numuneler üzerinde belirlendi. Basınç deneyleri ise eğilme deneyinde iki parçaya ayrılan numuneler üzerinde gerçekleştirildi.

6.2 Deney Yöntemi

Deneylerin amacı aynı boyutlardaki beton numunelerin, çeşitli sıcaklıkların etkisinde bırakılarak, farklı şekillerde soğutulmaları halinde, eğilme ve basınç dayanımlarındaki değişimlerin ve bu değişimlere yaşın etkisinin incelenmesinden ibarettir.

Numunelerin sıcaklık etkisinde bırakılmasında 650 °C kapasiteli küçük elektrikli fırın kullanıldı. Fırından çıkartılan numunelerin bir kısmı havada normal laboratuvar koşullarında, diğerleri ise sürekli musluk suyuyla beslenen bir kap içerisinde 1 saat süreyle soğutuldu.

Bundan sonra ısıtıl işlem gören ve soğutulan numuneler deney anına kadar normal laboratuvar koşullarında saklandılar. Deney anında numuneler 28, 29 ve 35 günlüktü.

6.3 Deney Numunelerinin Özellikleri

Deney numuneleri, laboratuvarın mevcut araç ve gereçleriyle diğer imkanlarından yararlanabilmek için 40x40x160 mm boyutlu prizmatik elemanlar seçildi.

6.4 Kullanılan Betonun Özellikleri

Belirli sıcaklıkların etkisinde kalacak olan beton numunelerin mekanik davranışlarının incelenebilmesi için bu elemanların üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerindeki dağılımın en aza indirilmesi ve bu özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için üretimlerin yeknesak oluşuna azami gayret sarfedildi.

Yukarıda sözü edilen nedenlerle çimento, karmasuyu ve agrega miktar ve özellikleri özenle belirlendi.

6.4.1 Çimento

Numunelerin üretilmesinde Trabzon Çimento Fabrikasının traslı çimentosu (TÇ 325) kullanıldı. Bütün deney numunelerinin yapımına yetecek miktardaki çimento aynı üretimden alınarak geçirimsiz kapalı bidonda saklandı. Numunelerin üretiminde kullanılan çimento 400 kg/m^3 dü. Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, potansiyel bileşimi ve diğer bazı özellikleri Çizelge 6.1 de verilmektedir.

6.4.2 Agregası

Agregası olarak, Trabzon KASTAŞ firmasınınca işletilen kırmataş tesislerinden alınan agregalardan elenerek sadece 0,25-4 mm sınıfındaki ince agregası kullanıldı. Kullanılan bu agregasının petrografik özellikleri Çizelge 6.2 de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Kullanılan Trabzon Çimentosu (Traslı) Kimyasal Nitelikleri ve Potansiyel Bileşimi

Bileşenler	%
Çözünmeyen kalıntı	16.00
Silis (SiO ₂)	12.73
Alümin (Al ₂ O ₃)	7.28
Demir Oksit /Fe ₂ O ₃)	4.50
Kalsiyum Oksit (CaO)	51.00
Magnezyum Oksit (MgO)	1.31
Kükürt Oksit (SO ₃)	2.45
Kızdırma kaybı (CO ₂ +H ₂ O)	2.52
Potasyum Oksit (K ₂ O)	-
Sodyum Oksit (Na ₂ O)	-
Klor (Cl)-ölçülemeyen	2,24
Kükürt (S)	-
Toplam	100.00
Hidrolisite (vicat) indisi	%0,47
Serbest Kireç (CaO)	%0,61
Klinkerin yaklaşık potansiyel bileşimi	
C ₃ S=%57, C ₂ S=%17, C ₃ A=%5,5, C ₄ AF=%14	
Blaine permeabilimetre yöntemi ile ölçülen	
Özgül yüzey .4350 cm ² /gr	
Hidrolisite (vicat) indisi = $\frac{SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3}{CaO+MgO}$	

Çizelge 6.2. Kullanılan Agreganın Petrografik Özellikleri

Mineraller	Bazalt	Dasit	Andezit	Tüf	Kireçtaşı	Granit
%	42	24	14	10	6	4
Bazalt= Feldspat+Ferro-magnezyan mineraller						
Dasit = Kuvars+Feldspat+Mika						
Andezit=Feldspat+Ferro-magnezyan mineraller						
Tüf = Kuvars+Feldspat+ Ferrömagnezyan mineraller						
Kireçtaşı = CaCO ₃						
Granit = Kuvars+Feldspat+Mika						

Deney numunelerinin yukarıda belirtilen boyutları (Bkz.madde 6.1) geleneksel betonla deney yapmaya uygun düşmemektedir. Bu nedenle betonun davranışının bileşimi uygun mikrobeton üzerinde incelenebileceği gösterildiğinden (64) deney numuneleri en iri agrega tane boyutu 4 mm yi geçmeyen mikrobetondan yapıldı.

6.4.3 Karma Suyu Miktarı ve Betonun Bileşimi

Kalıplara kolayca yerleştirilmesi yönünden gerekli reolojik niteliklere sahip beton elde edebilmek için ağırlık cinsinden su/çimento oranı 0,60 olarak seçildi. Üretimde içmesuyu kullanıldı ve buraya kadar bileşenleri ayrıntılı olarak belirtilen betonun bileşimi Çizelge 6.3 de verilmektedir.

Çizelge 6.3. Betonun Bileşimi

Bileşenler	Miktarlar (kg/ m ³)
Agrega 0,25-4 mm	1833
Çimento	400
Su	240
Teorik birim kütle	2473

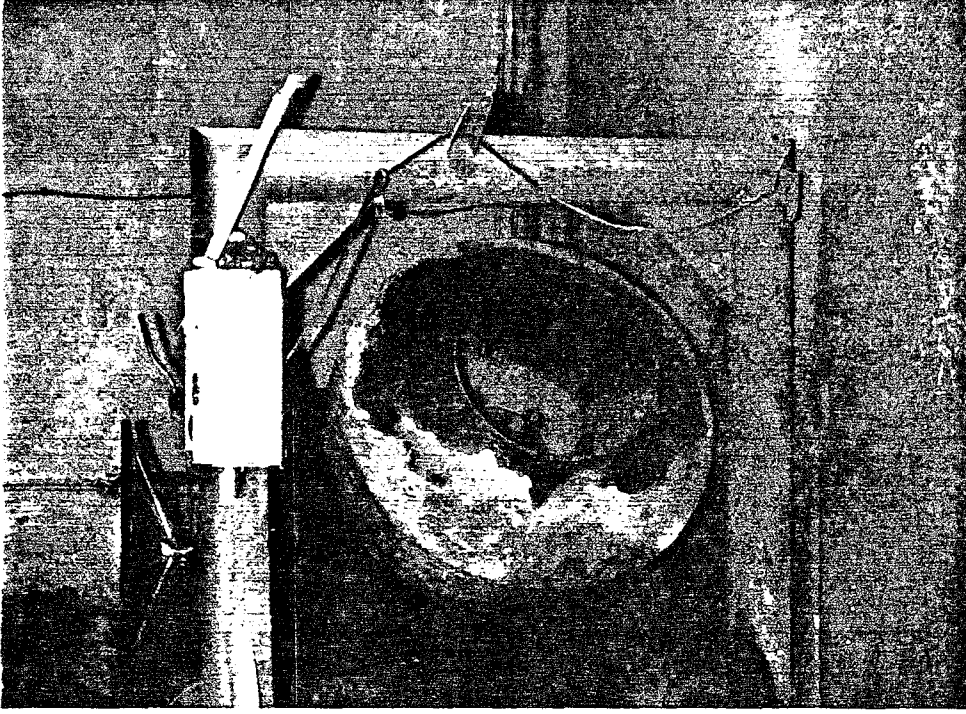
6.5 Deney Numunelerinin Yapımı

6.5.1 Karma

Betonun karılmasında 75 litre kapasiteli eğik eksenli bir betoniyer kullanıldı (Şekil 6.1). Agregası ve çimento tartılarak betoniyerin kovasına konduktan sonra, kuru halde 2 dakika, bunu takiben hiç durdurulmadan karma suyu ilave edilerek 3 dakika daha karıştırıldı.

6.5.2 Yerine Koyma

Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kalıplar, uygun şekilde yağlandı ve döküme hazır hale getirildi. Bu şekilde döküme hazır hale getirilen kalıplara beton, betoniyerden el arabasına alınarak iki yatak halinde yerleştirildi.

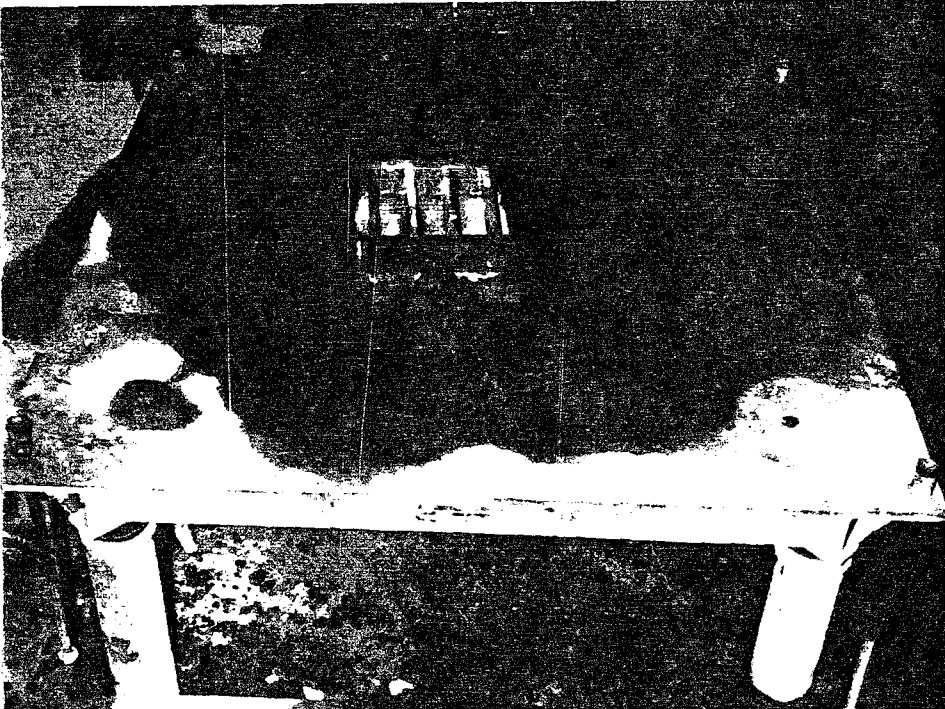


Şekil 6.1: Eğik Eksenli Betoniyer

Kalıplar vibrasyon tablası üzerine yerleştirilerek her bir yatak 15 sn süreyle iki kez sıkıştırıldı. Vibrasyon tablasının titreşim frekansı 2500 devir/dakika civarındaydı (Bkz.Şekil 6.2).

6.5.3 Kalıplar

Deneylerde TS24'e uygun olarak imal edilmiş üçlü çelik kalıp kullanıldı (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Vibrasyon Tablası ve Üçlü Çelik Kalıp

6.5.4 Deney Numunelerinin Saklanması ve Deney Anındaki Yaşları

Kalıba yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun su içeriği, çimentonun hidrasyonunu tamamlayabilmesi için yeterli olmakla beraber, bu suyun buharlaşarak azalması genellikle hidrasyonu güçleştirmektedir. Bu nedenle betonun saklanması su kaybını zarsız düzeyde tutmayı gerektirmektedir. Numuneler döküldükten sonra ilk 24 saatlik süre içinde sıcaklığı $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%80 \pm 8$ olan bir kür odasında kendi kalıpları içinde kaldı. Bu süre sonunda kalıplardan çıkartılan 42 adet numune 20. günün sonuna kadar su içinde saklandı.

Deney sırasında numune içerisindeki suyun etkisini azaltmak için 21. günün başında numuneler su içerisinden çıkartılarak hava ortamda kurutulmaya bırakıldı.

6.6 Deneylerin Yapılışı

6.6.1 Deney Elemanlarının Deneye Hazırlanması

Numuneler su içerisinden 21. gün çıkartılarak bünyelerindeki nemin deneylere etkisini azaltmak için bir hafta laboratuvar atmosferinde bekletildi.

Bu numunelerden 3 er adeti 28 ve 35. günlere ait normal dayanımların belirlenmesinde kullanıldı. Diğer numuneler 28. gün 300, 450 ve 600°C sıcaklıkların etkisinde bırakıldıktan sonra 18 adet numune laboratuvarda atmosfer koşullarında, 18 adet numune ise musluk suyu ile beslenen bir kap içerisinde 1 saat süreyle soğumaya bırakıldı.

Isıl işlem gören bu numuneler 29 ve 35. gündeki deney anına kadar laboratuvar atmosferinde bekletildi.

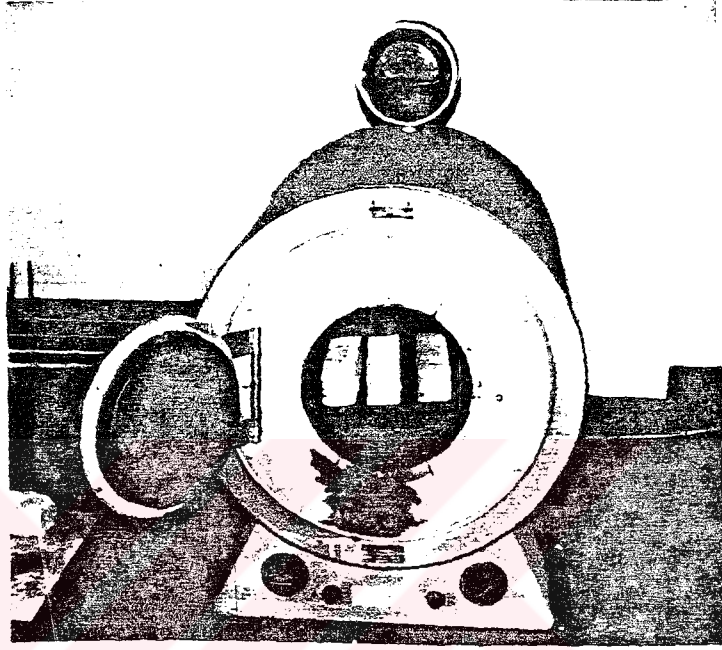
6.6.2 Deneylerde Kullanılan Aletler

6.6.2.1 Deney Fırını

Numunelerin yüksek sıcaklıkların etkisinde bırakılması amacıyla W.C.HERAEUS HANAU marka, NiCr-Ni sıcaklık ölçerli

(Thermocouple) 650 °C sıcaklık kapasiteli RL200 tipi ve sıcaklık yükleme hızı 12 °C/dakika civarında olan elektrikli fırın kullanıldı (Şekil 6.3).

Her bir sıcaklık için (300, 450, 600 °C) fırına aynı anda üç numune yerleştirildi ve fırın sıcaklığı deney sıcaklığına ayarlandı.



Şekil 6.3. Elektrikli Deney Fırını

6.6.2.2 Eğilme Deney Aleti

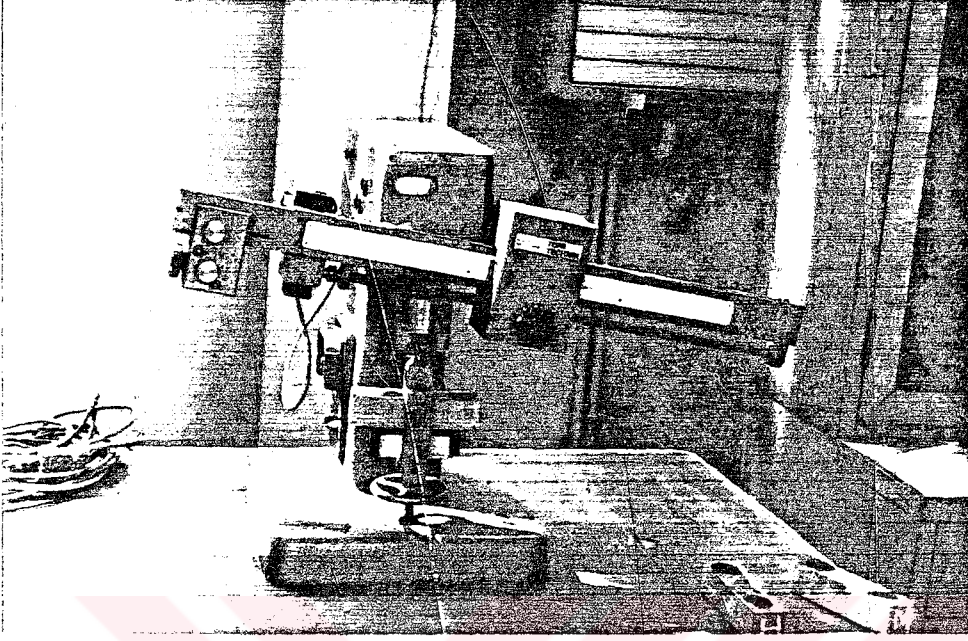
Beton numunelerin eğilme dayanımlarının belirlenmesinde MICHAELIS marka 630 kgf kapasiteli deney makinası kullanıldı (Şekil 6.4).

Deneylerde kullanılan numunelerin eğilme dayanımlarının belirlenmesi için, numuneler 10 cm açıklıklı iki mesnet üzerine yerleştirilerek yüklendi (Şekil 6.5).

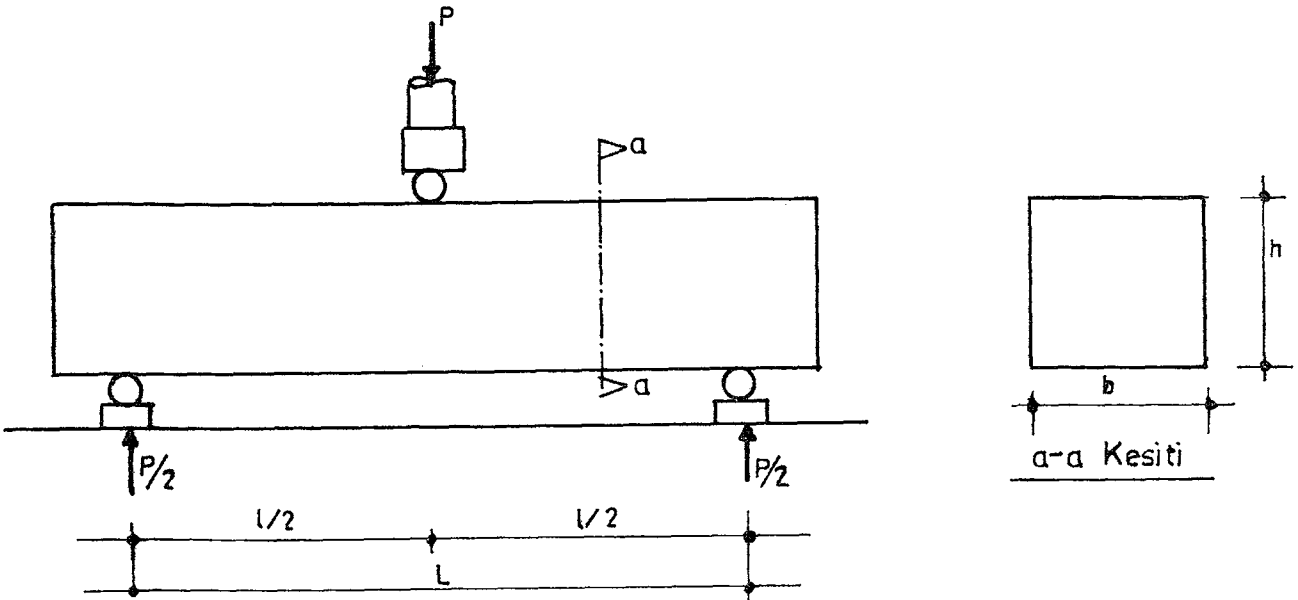
Deneylerde kırılan numunelerin eğilme dayanımları; P kırılmaya neden olan kuvveti (kg), L mesnet açıklığını (cm) b ve h sırasıyla numunenin genişliğini (cm) ve yüksekliğini (cm) göstermek üzere,

$$f_{cf} = \frac{3 PL}{2bh^2} \quad \text{kgf/cm}^2$$

bağıntısıyla otomatik olarak hesaplanan eğilme dayanımların değerleri aletin skalasından okunarak alındı.



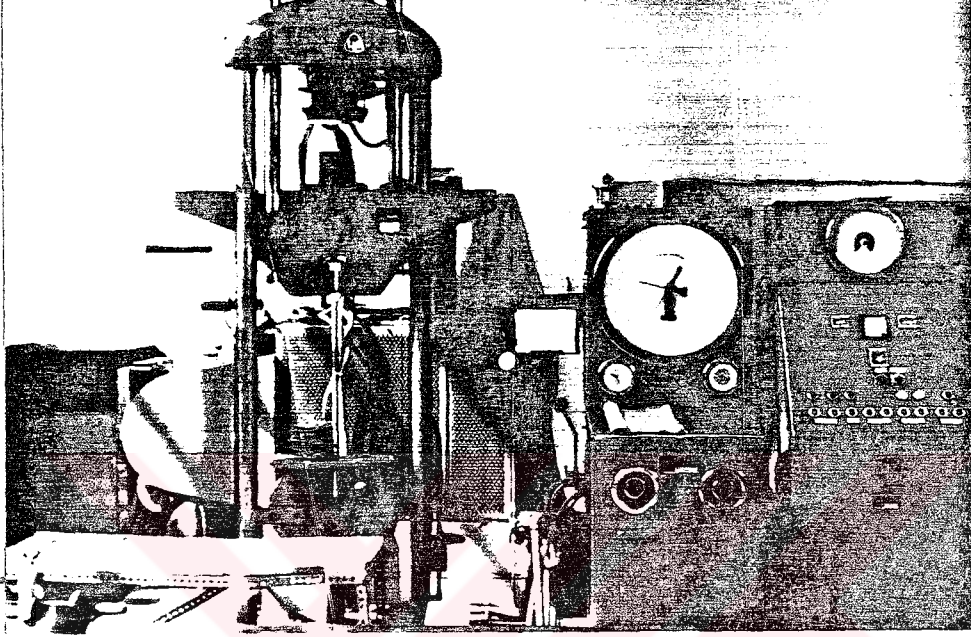
Şekil 6.4. Eğilme Deney Aleti



Şekil 6.5. Beton Numunesinin Eğilme Deneyi

6.6.2.3 Basınç Deney Aleti

Beton numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde K.T.Ü. Yapı Malzeme Laboratuvarında bulunan LOSHAUSEN WERK marka 60 tonluk üniversal deney makinası kullanıldı (Şekil 6.6).



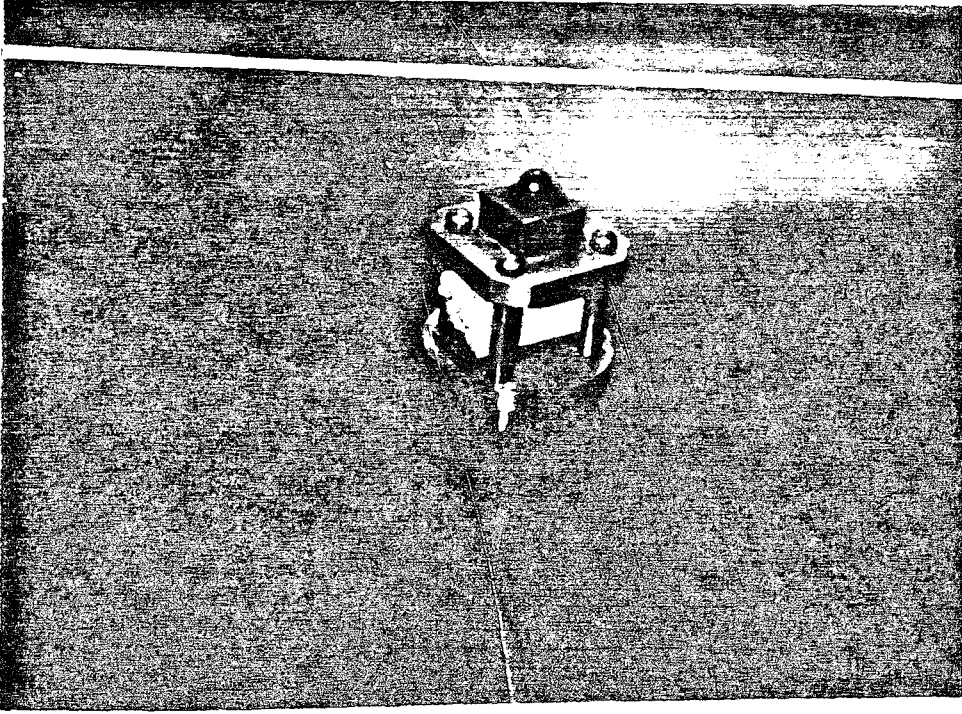
Şekil 6.6. Basınç Deney Aleti

Bu deneyler eğilme deneylerinde ikiye ayrılan prizmatik numune parçaları üzerinde 4x4 cm lik iki metal plaka aracılığıyla yapıldı. (Şekil 6.7).

P kırılma yükünü göstermek üzere basınç dayanımı

$$f_c = \frac{P}{b \cdot h} \quad f_c = \frac{P}{16} = 0,0625 \cdot P \quad \text{kgf/cm}^2$$

bağıntısıyla hesaplandı.



Şekil 6.7. Beton Numunelerin Basınç Deneyinde Kullanılan Metal Plakalar

6.7 Deney Sonuçları

Sıcaklık etkisinde kalmamış beton numunelerin 28 günlük ortalama basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla $265,4 \text{ kgf/cm}^2$ ve $46,3 \text{ kgf/cm}^2$ dir. 28 günlük bu numunelerin 12 şer adedi sırasıyla madde 6.6 da özellikleri verilen deney fırınında sırasıyla $300 \text{ }^\circ\text{C}$, $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $600 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklara kadar bekletildi. Fırın sıcaklığı bu değerlere ulaşır ulaşmaz içerisindeki numuneler alınarak 6 şar adedi suda 6 şar adedi ise havada soğumaya bırakıldı. Suda soğutma süresi 1 saat olarak seçildi. Hava ve suda soğutulan bu numunelerin 3 er adedi 29 ve 35 günlük ortalama basınç (f_c) ve eğilme dayanımlarının (f_{cf}) belirlenmesinde kullanıldı. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 6.4 ve 6.5 de verilmektedir.

Bu iki çizelgeden görüldüğü gibi hava ortamda soğutulan numunelerin dayanımları 29. günden itibaren 35. güne kadar azalmaktadır. Bu durum betondaki serbest nem ve çimento bileşiminde bulunan suyun dehidratasyonu sonucu nem kaybının artmasıyla

Çizelge 6.4. Havada ve Suda Soğutulmuş 29 Günlük Numunelerin Ortalama Dayanımları

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	f_{cf} (kgf/cm^2)		f_c (kgf/cm^2)	
	Havada soğutma	Suda soğutma	Havada soğutma	Suda soğutma
300	40,3	33,3	299,7	227,8
450	31,5	18,8	263,9	206,7
600	17,3	11,3	157,9	165,9

Çizelge 6.5. Havada ve Suda Soğutulmuş 35 Günlük Numunelerin Ortalama Dayanımları

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	f_{cf} (kgf/cm^2)		f_c (kgf/cm^2)	
	Havada soğutma	Suda soğutma	Havada soğutma	Suda soğutma
300	35,5	35,7	242,3	245,3
450	31,3	33,0	236,7	254,5
600	9,17	23,3	146,4	233,9

açıklanabilir. Çünkü betondaki nem kaybıyla sıcaklık yükselmekte dolayısıyla da, çimento hamurunun büzülmesiyle oluşan hareketler, agregaların genişmesiyle beton içerisinde oluşan mikro çatlaklar ve agregalardaki fiziksel ve kimyasal değişimlerin dayanım kaybını artırdığı düşünülebilir. Dayanım kaybındaki bu artış aynı süreler için su içinde soğutulmuş numunelerde görülmemekte aksine bu numunelerin dayanımlarında havada soğutulan numunelere göre artış bulunmaktadır. Bu artış 35. gün numunelerinde yüksek sıcaklıklarda belirgin olarak görülmektedir. Bu durum ise yüksek sıcaklıklarda hava ortamında soğutulan beton numunelerde çimento hamurunun dehidratasyonuna karşılık suda soğutulanların yeniden hidratasyon yaparak dayanımlarının bir kısmını tekrar kazanması şeklinde açıklanabilmektedir.

Hava ortamında soğutulan beton numunelerin 29 ve 35 günlük sürelerde dayanımlarında azalma olduğu görülmekte. Bu sonuç yüksek sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra hava ortamında soğutulan betonların dayanımlarındaki azalmanın üç gün ile bir aylık süre içerisinde devam ettiğini açıklayan diğer araştırma sonuçlarıyla da desteklenmektedir (65,66,67).

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de beton yapıların yangın emniyeti hakkında henüz yürürlüğe girmiş ve projelendirmelerde yangın yüklerinin dikkate alınmasını öngören bir standart bulunmaması ve bu konuda kapsamlı Türkçe kaynak olmaması nedeniyle, beton yapılarda yangın konusunda bir sentez çalışmasından sonra yüksek sıcaklıkların ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesinden ibarettir.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın birinci bölümündeki giriş bilgilerinden sonra, ısı geçişine ait temel kavramlar, ısı geçişi kuralları ve ısı taşınımının sonlu farklar yöntemiyle incelenmesi üzerinde durulmaktadır. Böylece yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton yapı malzemelerinin özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Üçüncü bölümde beton yapıların yangın dayanımına ait genel bilgiler verilerek beton yapıların yangın dayanımının sağlanması için, sıcaklığın beton ve donatı üzerindeki etkileri, yangın dayanımına etkileyen faktörler ve sıcaklık etkisiyle oluşan kırılmaları içeren bazı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde beton yapı elemanlarının kesitlerinde sıcaklık dağılımının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Zira yapı ya da yapı elemanlarının yangın etkisi altındaki davranışları, kesitlerinde meydana gelen sıcaklık dağılımlarından son derece etkilenmektedir. Bu da yapı elemanlarının yangın dayanımının hesabında kesitlerindeki sıcaklık dağılımlarının belirlenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu nedenle bu bölümde bazı kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarının bilgisayar programıyla belirlenmesine dair sayısal uygulamalar da verilmiştir.

Beşinci bölümde yapıların yangın denetimi, standart ve doğal yangın, sıcaklık dağılımı, malzeme özelliklerine ait bilgilerden sonra, dikkate alınacak hesap ilkeleriyle birlikte sırasıyla döşemelerin, kirişlerin, kolonların ve duvarların yangın denetiminde kapsayan pratik hesap ilkeleriyle birlikte sayısal uygulamalar verilmiştir.

Altıncı bölümde çalışmanın temel amacı doğrultusunda deneysel yolla betonun mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla yüksek sıcaklığın ve soğutmada kullanılan yöntemlerin betonun eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu incelemeden elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Yüksek sıcaklıkların etkisinde kalan betonların dayanımları Çizelge 6.4 ve 6.5 de verilmiştir. Beklendiği gibi agregaların genleşmesi, çimentonun büzülmesi, beton boşluklarındaki ve çimento bileşimindeki suyun dehidratasyonu gibi bir takım fiziksel ve kimyasal olaylarla, beton dayanımı azalmaktadır.
2. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun hava ve su ortamlarında soğutulmalarıyla elde edilen dayanımlarındaki azalma, su ortamında soğutulanlarda daha küçüktür. Bu durum beton numunelerin su içerisinde iken yeniden hidrasyon yapabilecek ortamı bulması ve bunun sonucu dayanımının bir kısmını geri kazanmasıyla açıklanabilmektedir.
3. Uygulanan soğutma türlerinin beton dayanımına etkileri farkı yüksek sıcaklıklarda çok daha artmaktadır (Bkz. Çizelge 6.5). Ancak bu sonuçların bu çalışma koşullarında ve bu deney numuneleri için geçerli olduğu açıktır.
4. Beton numunelerin sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra hava ortamında soğutulanların dayanımlarında 29 günden itibaren 35. güne kadar azalma, aynı süre için suda soğutulanların dayanımında ise artış meydana gelmektedir (Bkz. Çizelge 6.4 ve 6.5).

Bu deneysel sonuçlar beton yapılarda yangın söndürme türlerinin de önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu deneysel çalışmaya benzer çalışmaların geleneksel ve hafif agregalı beton yapı ya da yapı elemanları üzerinde karşılaştırmalı olarak sürdürülmesinin yararlı olacağına inanılmaktadır.



KAYNAKLAR

1. Durel, A., Bina Yangınlarında Alınması Lazım Gelen Tedbirler, Binalarda Yangına Karşı Güvenlik ve Sigorta, Mart 1989, İstanbul, Yapı-Endüstri Merkezi Sempozyum ve Sergiler, 25-26.
2. Gary, M., Brandproben an Eisenbetonbauten, Deutscher Ausschuß für Eisenbeton, 33, (1916) 75-83.
3. Kristen, Th. und Wiering, H.J. Der Einfluß hoher Temperaturen auf Bauteilen aus spannbeton, Der Bauingenieur, 1, (1960) 78-84.
4. Gustaferro, A.H. and Carlson, C.C., An Interpretation of Results of Fire Tests of Prestressed Concrete Building Components, J PCI, 7, 5 (1962) 23.
5. Kardina, K., Grundlagen für den Entwurf von Stahlbeton und Spannbetonbauteilen mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer, Festschrift, Prof. Rüch, Verlag-W.Ernst und Sohn, Berlin 1969.
6. Kakaç, S., Isı Transferine Giriş I, Cilt No.I., II. Baskı, ODTÜ yayınevi, 1982.
7. Dağsöz, A., Isı Geçişi, Cilt No.I, II. Baskı, Arpaz Matbaacılık, 1977.
8. Kakaç, S., Isı Transferi, Cilt No.I., III. Baskı, ODTÜ yayınevi, 1976.
9. Ehm, H., Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1966, 45-49
10. Schneider, U., Über die Möglichkeit der Umrechnung von natürlichen Bränden auf die Brandbeanspruchung nach DIN 4102, Zentralblatt für Industriebau 19, 1 (1973) 60-70.
11. Furamura, F., The Stress-Strain Curve of Concrete at High Temperatures, Magazine of Concrete Research, 23, 6 (1966) 50-52.
12. Malhotra, H.L., The Effect of Temperature on The Compressive Strength of Concrete, Magazine of Concrete Research, 8, 3 (1956) 85-94.

13. Saemann, J.C. and Washa, G.W., Variation of Mortar and Concrete Properties with Temperature, Journal of The American Concrete Institute, 54, 5 (1957) 385-395.
14. Cruz, C.R., Elastic Properties of Concrete at High Temperatures, J. PCA, Research and Development Laboratories, 8, 1 (1966) 56-62.
15. Haß, Meyer-Ottens C. Quast, Verbundbau Brandschutz Handbuch, Erns und Sohn-Verlag, Berlin, 1989.
16. Baldwin, D. and North, M.A., A Stress-Strain Relationship for Concrete at High Temperatures, Magazine of Concrete Research, 25, 5 (1973) 208-212.
17. Pingbt, M., Calcul des Ouvrages en Beton Par la Méthode des Etats Limites Ultimates, Tome II, INSA, Toulouse, 1977.
18. Harmathy, T.Z., Design of Concrete Masory Walls for Fire Endurance, A.C.I., 39, (1973) 126-130.
19. Boutin, J.P., Pratique Du Calcul De La Résistance Au Feu Des Structures En Béton, Eyrolles, Paris, 1983.
20. D.T.U.: Précise Les Modelités Pratiques Du Calcul De La Résistance Au Feu Des Elements De Construction En Béton Armé Ou Précontrait, Paris, 1974. 350-378.
21. Orchard, D.F., Concrete Technology, 4th edition, Vol.1, Applied Science, London, 1979.
22. BS476: Fire Tests on Building Materials and Structures, London, (1953) 1-40.
23. A.C.I.: American National Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials, Berkeley, (1977) 1-120.
24. National Fire Codes, National Fire Protection Association International, 3, 7 (1955) 40-60.
25. Damone, C.D. and Sidwell, E.H., Testing Concrete in Tension, Magazine of Concrete Research, 20, 5 (1968), 4-6
26. Johnston, C.D., Anisotropy of Concrete and its Practical Implications, Highway Research Record, 473, (1973) 11-16.
27. Galloway, J.W. and Raithby, K.D., Effects of Rate of Loading on Flexural Strength and Fatigue Performance of Concrete, TRRL Report, 547, (1973) 125-145.
28. BS5337: Code of Practice For The Structural Use of Concrete For Retaining Aqueous Liquids, London, (1982) 33-50

29. Naga, S.A.R., The Effect of Fire Fighting Media on the Mechanical Properties of Steel Bars, Journal of Testing and Evaluation, 13, 3 (1985) 132-136.
30. Troxell, G., Davis, E. and Kelly, E., Comparison and Properties of Concrete, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Co., California, 1968,
31. David, J.N., Heat Resistant Portlant Cement Concrete to Withstand Combined High Temperatures and Structural Loads, Journal A.C.I., 13, 2 (1972) 118-124.
32. Cimilli, T., Yapı Malzemesi, I. Baskı, KTÜ Yayınları, Trabzon, 1985.
33. Mohamedbhai, G., The Residual Strength of Concrete Subjected to Elevated Temperatures, Concrete, 6, 9 (1983) 22-27.
34. Campbell, D., The Influence of Agregate on Behaviour of Concrete at Elevated Temperatures, Nuclear Engineering and Design, 6, 5 (1967) 65-77.
35. Guerrin, A., Traité De Béton Armé, Tome I, Dunod, Paris, 1959.
36. Kruppa, J., Calcul Des Températures Critiques, Annales, 78, 9 (1976) 98.
37. BS 476: Method For Determination of The Fire Resistance of Elements of Construction, London, (1987) 1-45.
38. Lefter, J., Fire Safety of Concrete Slabs, Fire Safety, 18, 8 (1987) 23-28.
39. Lafuma, F., Les Liants Hydrauliques, Tome I, Dunod, Paris, 1959.
40. Meyer-Ottens, C., Brandverhalten von Bauteilen, DIN 4102 Teil 2 und ergänzen der Bestimmungen mit Erläuterungen und Beispielen aus DIN 4102 Teil 4, Brandschutz im Bauwesen (BRABA), 22, (1981) 35-41.
41. Klingsch, W., Zur Frage der brandschutztechnischen Überdeckungserhöhung bei gegliederten Stahlbetonbauteilen Betonwerk+Fertigteil, 12 (1978) 5-11.
42. Gosman, A.D., Launder, B.E. and Newton, P.A., Teach-C, A computer Program For The Simultation of Two Dimensiona Heat Transport and Analogous Phenomena, England, 1976.
43. Shoub, H., Early History of Fire Endurance Testing in The United States, Symposium on Fire Test Methods, April (1961), Publication no. 301, 120-142.

44. ISO 2843: Fire Resistance Tests of Structures, (1968) 43-96.
45. Arnoult, P., Ehm, H. et Kruppa, J., Report Experimental Sur Les Essais Avec Des Feux Naturels Exécutés Dans La Petite Installation de Maizieres-Les Metz, C.T.I.C.M., 6 (1973) 103-114.
46. Arnoult, P., Ehm, H. et Kruppe, J., Incendies Naturels Avec Des Meubles Et Du Papier, C.T.I.C.M., 7 (1974) 5-13.
47. Magnusson, S.E. and Thelandersson, S., Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development, Lund Institute of Technology-Suède, 16,5 (1970) 85-94.
48. Kawagde, K., Fire Behaviour in Rooms, Building Research Institute, 27, 1 (1958) 80-97.
49. Kawagde, K. and Sekine, T., Estimation of Fire Temperature-Time Curve in Room, Building Research Institute, 11, 7 (1963) 17-43.
50. Barhelemly, B., Programme De Calcul Automatique Du Déroulement Des Incendies Naturels Et De la Réponse Thermique Des Charpentes Métalliques, C.T.I.C.M., 2 (1977) 47.
51. Malaval, B., Synthèse des Essais de Compartements à Chaud des Aciers Pour Béton armé et Pour Béton Précontraint, Annales, 7, 3 (1981) 73.
52. C.S.T.B., Méthode De Prévision Par Le Calcul Du Comportement Au Feu Des Structures En Béton, 2 (1980) 208.
53. Coin, A., Temperatures dans un Solide Hétérogène au Cours d'un Incendie, Annales, 5, 4 (1976) 68-80.
54. Ödeen, K., Computing of Nonsteady State two Dimensional Heat Conductions, Statens Provningsanstalt, Stockholm, 1964.
55. Becker, J., Bizri, H. and Bresler, B., A Computer Programm For The Fire Response of Structures-Thermal, Fire Research Group, Report UCB-FRG 741, (1974) 79-86.
56. D.T.U.: Règles Techniques De Conception Et De Calcul Des Ouvrages Et Des Constructions En Béton Armé Suivant La Méthode Des Etats-Limites, Paris, 1975.
57. İnşaat Mühendisleri Odası, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara (1976) 6-7.

58. Harmathy, T.Z. and Lie, T.T., Experimental Verification of The Rule of Moisture Moments, National Research Council, 484, (1971) 58-74.
59. Harmathy, T.Z., Effect of Moisture on the Fire Endurance of Building Elements, National Research Council, 270, 1965 12-24.
60. Coin, A., Rotules Plastiques des Dalles Soumises au Feu, Annales, 35, 5 (1975) 67-70.
61. Bernaert, S. and Haas, A.M., Le Calcul aux Etats Limites des Dalles et Structures Plannes, Annales, 63, 5 (1969) 14-25.
62. Perchat, J., Collection Memento, Eyrolles, Paris. (1981)
63. D.T.U.: Parois Et Murs En Béton Banché-Regles De Calcul, Paris, (1975) 160-180.
64. Durmuş, A., Contribution à L'étude des Critères de Ruine D'éléments de Structures en Béton-Application aux Piece Armées, Thèse de Docteur Ingénieur, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1976.
65. Harada, T., Takeda, J., and Furamura, F., Strength Elasticity and Thermal Properties of Concrete Subjected to Elevated Temperatures, ACI, 34, 1 (1972) 377-406.
66. Weigler, H. and Fischer, R., Influence of High Temperatures on Strength and Deformations of Concrete, ACI, 34, 1 (1972) 481-493.
67. Lea, F.C. and Stradling, R.E., The Resistance of Concrete and Reinforced Concrete, 114, Engineering, 114, 10 (1922) 341-344.
68. Ya-Sa Yayınları, Yangın Araştırması, İnşaat Malzemeleri ve Uygulamalar, 4, 3 (1988) 28-36.

EK - A

YANGIN KONUSUNDA BİR STANDART NİTELİĞİNDEKİ
PADİŞAH FERMANI

A.1 Giriş

"İstanbul kadısına hüküm ki;

İstanbul arada sırada yangınsız olmuyor. Yangın çıkar çıkmaz önlemek için ne gerekirse, her şeyden mühimdir. İstanbul ehalisinden herkes, evinin damına kadar ulaşacak bir merdiven bulunduracaktır. Ve yine herkes, evinde bir fiçı dolusu su bulunduracaktır. Bir yerde yangın çıktığı gibi oradan kimse kaçmayacaktır. Herkes adamları ve komşuları ile, yeniçeriler ve sair halk yetişinceye kadar yangını söndürmeye çalışacaktır. Her iki üç ayda bir, bilhassa yangın tehlikesine fazla maruz bulunan yerler teftiş edilecektir. Evlerinde merdivenleri ve su fiçıları bulunmayanlar tutulup subaşıya teslim edilecektir ve cezaya çarptırılacaklardır."

Bu sözler bundan 412 yıl önce yangın konusuna verilen önemi, yasal düzenlemeler ve cezai yaptırımlar çerçevesinde kanıtlayan bir padişah fermanına ait. Bu durum Osmanlı döneminde bu tür düzenlemelerle yangına karşı önlemler alınmaya çalışıldığını, günümüzde ise yangın ve yangın güvenliği konusundaki hükümlerin; birçok kanun, tüzük ve yönetmeliklere serpiştirilmiş olması bakımından oldukça ilgi çekicidir.

Bu nedenle yangınla etkili mücadelede bulunmak için onun iyi tanınmasını ve yangın etkisinde kalan yapı elemanlarının davranışlarıyla sıcaklığın bu eleman üzerindeki etkilerinin belirlenmesini gerçekleştirecek çalışmalar ve bu çalışmalar doğrultusunda ilgili standartların hazırlanmasını gerektirmektedir.

Bu bölümde faydalı olacağına inanılan yangın türleri ve nedenleriyle, Türkiye'de bugüne kadar yapılan çalışmalar ve yangına karşı alınabilecek bazı önlemler sırasıyla madde A.2, A.3 ve A.4 de verilmektedir.

A.2 Yangın Türleri ve Nedenleri

A Sınıfı Yangın: Normal derecede yanıcı maddelerle (ahşap, kağıt, tekstil vb.) çıkan yangındır. Bu tür yangınların söndürülmesinde su kullanılabilir.

B Sınıfı Yangın: Yanıcı sıvılar ile yağlardan (petrol ürünleri, yağlı boya vb.) çıkan yangındır. Bu yangınlar, yanan maddelerin oksijeninin yok edilmesiyle engellenebilir. Bu yangınların söndürülmesinde köpükler, tozlar ya da bazı gazlar kullanılabilir.

C Sınıfı Yangın: Elektrikli cihazlardan (motorlar, kontrol panoları, elektrik kabloları vb.) çıkan yangınlardır. Bunların söndürülmesinde kısa devre tehlikesi ile iletken olmayan söndürücüleri kullanmak gerekmektedir. Bu tür yangınların söndürülmesinde halon gazının kullanılması ideal bir çözüm olmaktadır.

D Sınıfı Yangın: Sıvılaştırılmış gazların yanması, tüp patlaması ya da kaçaklarından çıkan yangınlardır. Bu tür yangınların köpükler, kimyasal tozlar ya da halon gazı gibi gazlarla söndürülmesi gerekmektedir (68).

A.3 Türkiye'de Yangın Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar

Yangın ve yangın güvenliği konusunda Türkiye'de mevcut bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir:

1. 1985 tarihli İmar Kanunu.
2. "3030 sayılı kanun kapsamı dışında kalan belediyeler tip imar yönetmeliği", 1985 (Madde 17,18,33,36,44).
3. Büyük şehir Belediyelerinin görevleri hakkında yönetmelik, 1984 (Madde 24).

4. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", (Kısım II, Madde 4.1).
5. "Sivil savunma bakımından şehir ve kasaba planları ile mühim bina ve tesislerde tatbik olunacak esaslar hakkında Tüzük", 1959.
6. "Devlet tarafından kullanılan binaların yangından korunması hakkında yönetmelik", 1966.
7. "İtfaiye teşkilatının kuruluş, görev, eğitim denetim esaslarına dair yönetmelik", 1985.
8. "TCDD tarafından kullanılan binaların yangından korunması hakkında yönetmelik",
9. İstanbul İmar Yönetmeliği, 1985 (Madde 6.01, 6.02, 7.04, 7.06, 7.10, 7.12, 7.19, 7.29).
10. "İstanbul Büyük Şehir Belediye Başkanlığı İtfaiye Müdürlüğü Yangından Korunma Yönetmeliği (taslak)".
11. "İstanbul Belediyesi Zabıta Talimatnamesi", 1972.
12. 1930 tarih ve 1580 sayılı "Belediye Kanunu".
13. 1949 tarih ve 5442 sayılı "İl İdaresi Kanunu".
14. 1224 tarih ve 442 sayılı "Köy Kanunu".
15. 1959 tarih ve 7269 sayılı (1968 de 1051 ile değişik) "Umumi Hayata Müessir Afetler dolayısıyla alınacak tedbirler ile yapılacak yardımlara dair kanun".
16. 1983 tarih ve 2918 sayılı "Karayolları Trafik Yasası".

Bunların dışında:

- Bazı Türk standart taslakları,
- Sivil Savunma Yasası,
- Patlayıcı Maddeler Kanunu,
- Türk Ceza Kanunu.

gibi kanunlarda yangından korunma ve yangın güvenliği ile ilgili bazı hükümler yer almaktadır.

A.4 Yangına Karşı Alınacak Önlemler

Yangınla mücadelenin en önemli noktasında yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Fakat bu konuda ülkemizde etkili ve yaygın bir

biçimde yapı standardı ve yönetmeliği bulunmadığı daha önce belirtilmişti. Aşağıda yapının tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında yangın konusunda alınması gereken önlemler verilmektedir.

A.4.1 Tasarım ve İnşaat Aşamalarında Alınması Gereken Bazı Önlemler.

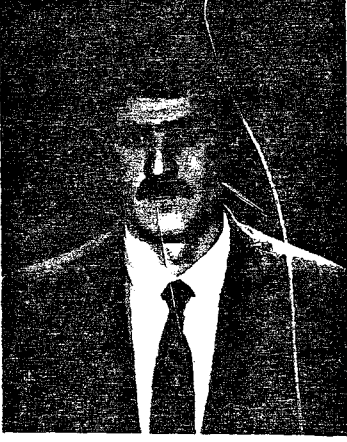
1. Yapılarda yangın anında yeterli sayıda çıkış yollarının sağlanması (Mimari proje sırasında binanın kullanım amacına göre merdiven koridor vb. ayarlanması).
2. Yangın yayılımının önlenmesi için yapıyı bölmelere ayırması
3. Tesisatların uygun olması.
4. Yangın alarm sistemlerinin iyi belirtilmesi.
5. Yangına dayanıklı ve yangının geçişini engelleyen kapıların öngörülmesi, uygulanması.
6. Bina çıkışlarının düzenlenmesi.
7. Kontrollü havalandırmanın yapılması.
8. Büyük binalarda yangın sırasında enerji kesileceği için, dahili aydınlatmalar konulması.
9. Yangınların bir binadan diğer binaya atlamamasını önleyici tasarım yapılması.
10. Dumanın yayılmasının önlenmesi.
11. Yangın söndürme araçlarının binaya uzanma mesafelerinin iyi ayarlanması.
12. Bina giriş yerlerinin belirlenmesi.

A.4.2 İşletme Aşamasında Alınabilecek Önlemler

1. Yangın tehlikesini azaltmaya yönelik önlemler.
2. Yangınla mücadele donanımlarının olması.
3. Yangın alarm sistemlerinin ve söndürme sistemlerinin bulunması.
4. Personel ve binada yaşayanların eğitilmesi.

Ancak beton yapıların yangın dayanımlarının sadece basit bir takım önlemlerle sağlanamayacağını hiç bir zaman akıldan çıkartmamak gerekir. Bunun için ileri ülkelerde çok sayıda kitap, makale, bildiri ve standardın bulunması bu düşünceyi desteklemektedir.





ÖZGEÇMİŞ

Reşat ATAMAN 1963 yılında Gümüşhane'nin Kelkit ilçesinde doğdu . İlk, orta ve lise öğrenimini 1969-1980 yılları arasında Samsun'da tamamlayarak, 1984-1985 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1987-1988 öğretim yılında bu bölümden Haziran döneminde mezun oldu. Aynı yıl girdiği sınavı kazanarak, mezun olduğu bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. Bekar olan Reşat ATAMAN İngilizce bilmekte ve halen K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde, yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

T. ©.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi